

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار - عنابة

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA

Année 2017

Faculté de Sciences de la Terre

Département de Géologie

THESE

Présentée en vue de l'obtention de diplôme de

Doctorat En Sciences

**Ressources en eau et leurs utilisations dans le
bassin versant de l'Oued Kébir Ouest
(Nord Est algérien)**

Option : *Hydrogéologie*

Présentée par

DAIFALLAH Tarek

Directeur de Thèse : Azzedine HANI Pr. Université Badji Mokhtar Annaba

Soutenue publiquement le : 24 /09/2017 devant le jury :

Président	Pr Larbi Djabri	Université d'Annaba
Examineurs	Pr CHAFFAI Hicham	Université d'Annaba
	Pr FEHDI Chemseddine	Université de Tébessa
	Pr BAALI Fethi	Université de Tébessa
	Dr SAKAA Bachir	CRSTRA Biskra
Invité	M. SAYAD Mouldi	

REMERCIEMENT

J'avais envie d'adresser mes sincères remerciements à ceux qui ont contribué à l'élaboration de ma thèse. Je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur Hani Azzedine, En tant que Directeur de thèse qui m'a soutenu, encouragé, et avec qui j'ai fini mon travail.

Je remercie aussi M et Mme Sayad qui m'ont accompagné pendant mon cursus en post graduation depuis le Magister.

Je souhaite remercier M Salem Bouri du L3E, Sfax d'avoir m'accepter dans son laboratoire et d'avoir m'aider durant mes stages.

Remerciement également à M Pulido Bosch Antonio d'avoir m'accepter dans son laboratoire et d'avoir m'aider durant mon stage à l'université d'Almeria.

Je remercie, Mr le Professeur Larbi Djabri, d'avoir accepté de présider le Jury, je lui en suis très reconnaissant.

Mes vives gratitudes vont aussi à Monsieur Hicham Chaffai Pr. Université Badji Mokhtar Annaba, Monsieur Bachir Sakka Dr CRSTRA Beskra, Monsieur Chemseddine Fahdi Pr. Université Larbi Tébessi Tébessa et Pr Baali Fethi de l' université Larbi Tébessi de Tébessa qui ont bien voulu examiner ce travail.

DEDICACE

*Je saisis l'occasion de ce modeste travail pour
exprimer mon profond amour à ma petite famille,
ma grande famille, mes amies et mes collègues.*

RESSOURCES EN EAU ET LEURS UTILISATIONS DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED KÉBIR OUEST (NORD-EST ALGÉRIEN)

الملخص:

أما حوض الوادي الكبير - الغربي الشكل رقم 1 (، الذي يقع في حوض القسنطيني مركز في شمال شرق الجزائر، وتبلغ مساحته 1863 كم²، (1850 كم²) وفقا للوكالة الوطنية للموارد الهيدروليكية ANRH (مقسمة إلى حوضين فرعيين، وادي كبير حمام ووادي كبير مقرون. يتمتع بمناخ البحر الأبيض المتوسط حيث يبلغ المردود السنوي من المياه حوالي 411 مليون متر مكعب ويعتبر الخزان الرئيسي للمياه السطحية وهو سد زيت العنبة الذي يبلغ حجمه المنظم 43.5 مليون متر مكعب. أما خزانات المياه الجوفية الرئيسية في نظام طبقات المياه الجوفية في وادي الكبير ونظام المياه الجوفية في عزابة. في الوقت الحاضر، فإن الوضعية المتعلقة بالمياه في الحوض مريحة، مع حجم سنوي متوفر للفرد يفوق 2000 لتر، ولكن هذا الوضع المطمئن في الوقت الحاضر سوف يخضع في الواقع للتغيرات المناخية و الديمغرافية في المستقبل، و السؤال المطروح، هو هل هذا الوضع سوف يستمر على المدى المتوسط والطويل؟

وقد كشفت مواجهة العرض / الطلب على المياه في المستقبل في ظل سيناريوهات مختلفة باستعمال نموذج (WEAP) الضغوط المستقبلية للمياه التي من المحتمل أن تؤثر على المنطقة في المستقبل. ويستند ظهورهم على مر الزمن إلى الفرضيات المقترحة.

الكلمات الدالة :

مستجمعات المياه. الكبير الغربي. موارد المياه؛ العرض والطلب؛ WEAP.

RESUME

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (Fig.01), est situé dans le Constantinois centre au Nord-est algérien. D'une superficie de 1850 km² (d'après l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ANRH) est répartie en deux sous-bassins, l'Oued Kébir Hammam en amont et Oued Kébir Magroune en aval. Il bénéficie d'un climat méditerranéen avec des potentialités en eau annuelles de l'ordre de 411 Hm³. Le principal réservoir d'eau superficielle est le barrage de Zit Emba d'un volume régularisé de 43,5 Hm³. Les principaux réservoirs souterrains se présentent dans le système aquifère de la vallée de l'oued Kébir-ouest et le système de la plaine d'Azzaba. Actuellement, la situation hydrique dans le bassin est confortable, avec un volume annuel disponible par habitant de plus de 2000 l, mais cette situation rassurante à l'heure actuelle subira des changements globaux dans l'avenir, ce qui nous pousse à poser la question est ce que cette situation durera à moyen et à long terme ?

La confrontation Offre/Demande en eau future sous différents scénarios à l'aide du modèle WEAP a révélé des futurs stress hydriques qui vont toucher probablement la zone dans le futur. Leurs apparitions dans le temps dépendent des hypothèses proposées.

Mots clés :

Bassin versant ; Kébir Ouest ; Ressources en eau ; Offre/Demande ; WEAP.

Abstract

The Kébir-west basin (Fig.01) is located in Constantois center in northeastern Algeria. Covering an area of 1850 km² (according to the National Agency for Hydraulic Resources ANRH) is divided into two sub-basins, Kébir Hammam in upstream zone and Kébir Magroune in downstream zone. It benefits from a Mediterranean climate with annual water potentialities of the order of 411 Hm³. The main reservoir of surface water is the Zit Emba dam with a regulated volume of 43,5 Hm³. The main deep reservoirs are present in the aquifer system of the valley of the Wadi Kébir West and the system of the plain of Azzaba. Currently, the water situation in the basin is comfortable; with an annual water volume available per capita more than 2000 liter, but this reassuring situation at the present time will undergo global changes in the future, which prompts us to ask the question will this situation last in the medium and long term?

The confrontation of supply / demand of future water under different scenarios using the WEAP model revealed future water stresses that are likely to affect the area in the future. Their appearances over time depend on the hypotheses proposed.

Keywords:

Watershed; Kébir-west; Water resources; Supply/ demand; WEAP.

Table de matière

REMERCIEMENT.....	I
DEDICACE.....	II
:الملخص.....	III
RESUME.....	IV
ABSTRACT.....	V
LISTE DE TABLEAUX.....	X
LISTE DE FIGURES.....	XII
LISTE DES ACRONYMES.....	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CADRE PHYSIQUE DU BASSIN VERSANT DU KEBIR OUEST.....	
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE :.....	3
II. GEOLOGIE :.....	4
II.1. GEOLOGIE RÉGIONALE.....	5
1.1. Domaine interne.....	5
1.2. Domaine externe.....	6
II.2. ENSEMBLES MORPHOSTRUCTURAUX.....	10
2.1. Formations superficielles.....	10
2.2. Ensemble tendre.....	10
2.3. Ensemble des marno-calcaires.....	10
2.4. Complexe conglomératique.....	11
2.5. Ensemble de flyschs.....	11
2.6. Roches anciennes.....	12
2.7. Ensembles des grès quartzeux et numidiens.....	12
2.8. Ensemble des calcaires.....	12
III. TECTONIQUE.....	14
IV. HYDROGEOLOGIE.....	15
IV.1. Identification des différents ensembles hydrogéologiques.....	15
1.1 Le sous bassin versant de l'oued Emchekel.....	15
1.2 Le sous bassin de l'oued El Hammam :.....	19
1.3. Le sous bassin de l'oued El Kébir-magroun.....	20
IV.2. Capacité des complexes de nappes aquifères d'après l'ANRH, 2010.....	21
IV.3. La piézométrie.....	22
CADRE MORPHOMÉTRIQUE ET HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT.....	25
INTRODUCTION.....	26
I. LE RELIEF.....	26
I.1. Superficie.....	26
I.2. Périmètre (P) du bassin versant.....	26
I.3. La forme du bassin.....	26
I.4. Longueur (L) du rectangle équivalent.....	27
I.5. Répartition altimétrique du bassin.....	27
I.6. Les pentes.....	31
6.1. L'indice de pente global (I _g).....	31
6.2. Indice de pente de Roche Ip.....	31
6.3. Dénivelée spécifique D _s	32
6.4. Classes de pentes.....	33
II. CARACTERISTIQUES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	35
II.1. Hiérarchisation du réseau.....	35
II.2. Densité de drainage (D _d).....	37
II.3. La fréquence des thalwegs d'ordre 1 (F ₁).....	37
II.4. Le temps de concentration (T _c).....	37

FIGURE 14. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT CALCULES PAR LE LOGICIEL WCS 1.0 LIGHT ...	39
CONCLUSION	39
CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT.....	41
INTRODUCTION	- 42 -
I. PRECIPITATIONS METEORIQUES.....	- 43 -
I.1. Analyse statistique des données pluviométriques.....	- 43 -
I.2. Précipitations moyennes mensuelles.....	46
I.3. Régime pluvial mensuel	47
I.4. Hauteurs de précipitations moyennes annuelles et leur variabilité temporelle	48
I.5- Calcul de la lame d'eau moyenne annuelle précipitée à l'échelle spatiale	51
I.5.1- La méthode ARITHMETIQUE (1976/77-2005/06)	51
I. 5.2- La méthode de Polygones de Thiessen	51
I.5.3 Méthode des isohyètes	53
II. TEMPERATURE	54
II.1 Températures moyennes mensuelles.....	54
II.2. Courbe Ombro-thermique (relation précipitation-température).....	56
II.3. Température moyenne annuelle à la station de Skikda.....	58
II.4. Indice d'aridité de DE MARTONNE	58
III. AUTRES FACTEURS INFLUENÇANT LE CLIMAT	59
III.1. L'humidité de l'air	59
III.2. Le vent	59
IV. EVAPOTRANSPIRATION.....	60
IV.1. Bilan hydrologique selon la méthode de THORNTHWAITE.....	60
IV.2. Calcul de l'ETR par la formule de Turc.....	65
IV.3. Calcul de l'ETR par la formule de COUTAGNE I.....	66
V- BILAN HYDROLOGIQUE (ESTIMATION DE L'ÉCOULEMENT ET L'INFILTRATION)	66
V.1. Détermination du ruissellement.....	67
V.2. Estimation de l'infiltration.....	67
CONCLUSION.....	68
L'ÉCOULEMENT DANS LE BASSIN VERSANT.....	69
INTRODUCTION	70
I. L'ÉCOULEMENT MOYEN ANNUEL.....	70
I.1. Le débit moyen annuel brut (Q (m^3/s)).....	70
I.2. Le débit moyen spécifique (q ($l/s/km^2$)).....	70
I.3. Variations interannuelles de l'écoulement.....	70
I.4. Le rapport des débits extrêmes (R)	71
I.5. Le coefficient d'hydraulicité (CH)	72
II. REPARTITION FREQUENTIELLE DES MODULES DE L'OUED KEBIR OUEST A AIN CHARCHAR	73
II.1. Ajustement des débits moyens annuels à la loi de GAUSS	73
III. VARIATION MENSUELLE	75
III.1. Variation mensuelle des débits.....	75
III.2. Variabilité mensuelle des débits.....	75
III.3. Coefficient mensuel de débit.....	75
III. FORME EXTREME DE L'ÉCOULEMENT A LA STATION DE AINCHARCHAR.....	77
III.1. Prédétermination des crues.....	77
IV. CORRELATION ENTRE PLUIE – DEBIT	79
IV.1. Régression linéaire simple de Q en P	79
IV.2. Utilisation d'un modèle pluie-débit GR1 A	81
IV.3. Estimation des débits de crue à partir des précipitations maximales journalières	82
CONCLUSION.....	87
CHAPITRE V	89
RESSOURCES EN EAU ACTUELLES ET USAGES DANS LE BASSIN VERSANT.....	89
INTRODUCTION	90

I. USAGERS DE L'EAU DANS LE BASSIN :	90
I.1. Population.....	90
I.2. Agriculture.....	93
I.3. L'industrie.....	95
II. ESTIMATION DES RESSOURCES EN EAU	97
II.1. Les apports pluviométriques.....	97
II.2. Les ressources naturelles renouvelables	98
II.3. Le bilan des apports	99
III. MOBILISATION DES RESSOURCES EN EAU.....	101
III.1. Eau superficiel.....	101
1.1-Le barrage de ZITEMBA :	101
1.2-Les retenues collinaires :	104
1.3- les prises d'eau des Oueds :	105
1.4 -Les sources :	105
III.2. Ressources souterraines.....	105
Les forages.....	105
V. INDICES DE GESTION DE L'EAU.....	109
IV.1. Indice d'exploitation des ressources renouvelables	109
IV.2. Volume d'eau renouvelable disponible annuellement par habitant	110
V. PROBLEMES LIES A LA QUALITE DES EAUX DANS LE BASSIN VERSANT.....	111
V.1. Pollution mercurielle de la zone de l'Oued Fendek.....	112
V.2. Qualité des eaux du barrage Zit el Amba	115
V.3. Biseau salé au littoral (Aquifère de Guerbès).....	116
CONCLUSION.....	117
SIMULATION DE L'IMPACT DES CHANGEMENT GLOBAUX SUR L'EVOLUTION DES RESSOURCES EN EAU ET LEUR UTILISATIONS.....	119
INTRODUCTION	120 -
I. DESCRIPTION DU MODELE	120 -
Acquisition du logiciel WEAP 21	121 -
II. INTRODUCTION EST TRAITEMENT DES DONNEES	123 -
II.1 Phase schématique :	123 -
II.2 Rubrique données	124 -
II.2.1. Compte actuel.....	124 -
Ressources en eau souterraine.....	130 -
Calibration du model	130 -
II.2. ELABORATION DES SCENARIOS FUTURES.....	131 -
Paramètres générales.....	131 -
Scenario de référence (SR).....	132 -
Scenario changement climatique (SCC).....	132 -
Scenario pression sur la ressource (SPR).....	133 -
Scénario changement climatique et pression sur la ressource (SCCPR)	133 -
Scénario gestion de la demande (SGD).....	133 -
III. RÉSULTATS	133 -
III.1. Ressources en eau.....	133 -
III.2. Demandes en eau.....	136 -
IV. CONFRONTATION OFFRE/DEMANDE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED KEBIR OUEST.....	143 -
IV.1. L'indice de pénurie.....	144 -
CONCLUSION	145 -
CHAPITRE VII	146 -
NOTION DE GESTION INTEGREE ET STRATEGIE DE GESTION DE L'EAU EN ALGERIE .-	146 -
INTRODUCTION	147 -
I. NOUVELLE STRATEGIE DE LA GESTION DES EAUX EN ALGERIE.....	147 -
I.1. L'eau est un bien économique.....	147 -

I.2.L'eau est rare et vulnérable	- 148 -
I.3.L'eau est l'affaire de tous	- 148 -
II. DESCRIPTION DES INSTITUTIONS DE GESTION DE L'EAU EN ALGERIE	- 148 -
II.1. Conseil supérieur de l'eau (CSE).....	- 148 -
II.2. Ministère des ressources en eau (MRE).....	- 148 -
II.3. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).....	- 148 -
II.4.-L'algérienne des eaux (ADE).....	- 149 -
II.5. Office National de l'Assainissement (ONA)	- 150 -
II.6. Agence des Bassins Hydrographiques (ABH).....	- 150 -
II.7. Direction des Etudes d'Aménagement Hydraulique (DEAH).....	- 150 -
II.8. Agence Nationale des Barrages et des Transferts (ANBT).....	- 151 -
II.9. Office National de l'irrigation et du Drainage (ONID)	- 151 -
II.10. Offices des Périmètres Irrigués (OPI).....	- 151 -
II.11. Offices des Périmètres Irrigués de Wilaya (OPI W).....	- 152 -
II.12. Agence Nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (AGIRE).....	- 152 -
IV. PASSER DE LA GESTION DE L'OFFRE A LA GESTION PAR LA DEMANDE	- 152 -
IV.1. Principaux axes d'intervention et principes d'une approche de gestion des demandes en eau : le principe CROIRRE ?	- 153 -
IV.2. Quelles économies peut-on attendre de la mise en œuvre d'une politique de gestion de la demande en eau ?	- 153 -
CONCLUSION.....	- 157 -
CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS	- 158 -
BIBLIOGRAPHIE	- 163 -

Liste de tableaux

Tableau 1. Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le bassin versant.....	29
Tableau 2. Indice de pente de ROCHE dans le bassin versant de l'oued Kébir Ouest...	32
Tableau 3. Répartition des pentes dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest.....	34
Tableau 4. Classification du chevelu hydrographique du bassin versant	36
Tableau 5. Tableau recapitaliser des paramètres morphométriques du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest.....	38
Tableau 6. Coordonnées géographiques des stations météorologiques retenues dans l'étude du climat du bassin versant (ANRH)	42 -
Tableau 7. Précipitations moyennes mensuelles (1980/1981 – 2010/2011).....	46
Tableau 8. Coefficients pluviométriques relatifs mensuels. D'après la méthode d'ANGOT (1895)	47
Tableau 9. Précipitations annuelles et leurs variabilités	49
Tableau 10. Ecart à la normale des précipitations annuelles (1980/1981-2010/2011)...	50
Tableau 11. Les résultats de calcul de la lame d'eau.....	51
Tableau 12 Superficies de classes de précipitations dans le bassin versant du Kebir ouest (1980-2011).....	54
Tableau 13 l'indice d'aridité calculé pour les deux stations Azzaba et Skikda sur la période (1980-2011)	59
Tableau 14 Durée mensuelle du jour en heures par mois en fonction de la Latitude.....	61
Tableau 15. Variation annuelle de l'écoulement et du débit spécifique dans le bassin versant de l'oued Kébir Ouest à Ain Charchar (1985-86 /1998-99).....	71
Tableau 16. Abondance moyenne annuelle de l'écoulement et coefficient d'irrégularité interannuel	72
Tableau 17. Coefficient de l'hydraulicité du bassin versant à la station d'Ain Charchar	73
Tableau 18. Ajustement à une loi de GAUSS des débits moyens annuels à la station d'Ain Charchar	74
Tableau 19. Débits moyen mensuels (m3/s)- Station de Ain Charchar (1985-86 / 1998-99).....	76
Tableau 20. Débits maximums journaliers de la station d'Ain Charchar (1985-86 /1998-99).....	77
Tableau 21. Crues maximums probables dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest	78
Tableau 22 Régression linéaire simple de Q en P.	80
Tableau 23. Résultats d'ajustement des pluies journalières maximales à une loi de Gumbel (1985-1999).....	83
Tableau 24. Pluies maximales pour différentes périodes de retour	84
Tableau 25. Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de Pjmax en mm	84
Tableau 26. Coefficient de ruissellement en fonction de la période de retour	85
Tableau 27 Intensité de pluies pour une durée égale à Tc pour les différentes périodes de retour.	85
Tableau 28 Débits maximums pour différentes périodes de retour (Méthode de Turazza)	86
Tableau 29 Tableau donnant f en fonction de γ	86
Tableau 30 Débits maximums pour différentes périodes de retour (Méthode de Sokolovsky)	86
Tableau 31. Evolution de la population par commune selon les recensements de 1998 et 2008 dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest	91
Tableau 32 Superficie irriguée au bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (Compagne 2014).....	95

Tableau 33. Bilan d'eau naturelle du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest.....	100
Tableau 34. Caractéristiques du barrage de Zit Emba	101
.Tableau 35 Situation mensuelle du barrage Zit Emba (Du 01/09/2004 au 31/08/2005)	102
Tableau 36. Inventaire des retenus collinaires dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest	104
Tableau 37 Inventaire des sites potentiels pour des retenues collinaires.....	105
Tableau 38. Inventaire des forages et des débits destinés à l'AEP	106
Tableau 39 inventaire des prélèvements d'eau pour industrie. (Année 2014)	107
Tableau 40. Récapitulatif de mobilisation et prélèvements des ressources en eau dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (2014).	108
Tableau 41 indice d'exploitation des ressources en eau renouvelables selon Shiklomanov 1991.	110
Tableau 42 Seuils de pénurie d'eau proposés par Falkenmark (1989).....	110
Tableau 43 Les grands traits du WEAP.....	- 121 -
Tableau 44. Caractéristiques des sous-bassin introduits pour le modèle.....	- 127 -
Tableau 45. Caractéristiques des nappes d'eau souterraines.....	- 130 -
Tableau 46. Seuils de l'indice de pénurie (Falkenmark et Widstrand, 1995).....	- 144 -
Tableau 47. Evolution de l'indice de pénurie d'eau dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest	- 145 -

Liste de figures

Figure 1. Carte de la situation géographique du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest...	4
Figure 2. Carte géologique de la zone d'étude	9
Figure 3. Coupe géologique de Dj. Debegh.....	13
Figure 4. Coupe géologique de Djebel Gar	13
Figure 5. Position de quelques failles majeures, d'après Raoult (1971), Vila (1974), Durand Delga (1978), Bouaroudj (1986).....	15
Figure 6. Coupes géologiques montrant les deux complexes aquifères de la plaine d'Azzaba (Benhamza, 2007).....	19
Figure 7. Coupes géo-électriques à disposition perpendiculaire au rivage (Hadj Said, 2007)	21
Figure 8. Carte des nappes aquifères dans le bassin versant Côtier Constantinois (ANRH, 2010)	22
Figure 9. Carte piézométrique de la nappe alluviale de la plaine de l'Oued Kébir Ouest (Hadj Said, 2007).....	23
Figure 10. Carte de répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le bassin versant.....	28
Figure 11. Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest	30
Figure 12. Carte de répartition de pentes du bassin versant d'El Kébir-ouest.....	34
Figure 13. Carte du réseau hydrographique dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest	36
Figure 14. Caractéristiques du bassin versant calculés par le logiciel WCS 1.0 LIGHT	39
Figure 15. Les stations pluviométriques (Hadj Said, 2007)	43
Figure 16. Ajustement à la loi de Gauss des hauteurs de précipitations annuelles moyennes des quatre stations retenues dans l'étude (1980-2011).....	45
Figure 17. Moyennes de précipitations moyennes mensuelles (1980/1981-2010/2011)	47
Figure 18. Régime pluvial mensuel dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest.....	48
Figure 19. Variation des précipitations moyennes annuelles (mm).....	49
Figure 20 Polygones de THIESSEN dans le bassin versant du Kébir-ouest (1980-2011)	52
Figure 21 Carte isohyète dans le bassin versant d'el Kébir-ouest (1980-2011)	53
Figure 22 Courbe de variations des températures mensuelles à la station de Azzaba (1980/81 – 2010/11).....	55
Figure 23 Courbe de variations des températures mensuelles à la station de Skikda (1980/81 – 2010/11).....	55
Figure 24 Courbe Ombro-thermique de la station d'Azzaba (1980/81-2010/11).	56
Figure 25 Ombro-thermique de la station de Bekouche Lakhdar (1980/81-2010/11). ..	57
Figure 26 Courbe Ombro-thermique de la station de Berrahal.	57
Figure 27 Courbe Ombro-thermique de la station de Skikda.	57
Figure 28 Evolution des températures moyennes annuelles à la station de Skikda (1980-2011)	58
Figure 29 Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite St. Azzaba (1980/1981-2010/2011)	62
Figure 30 Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite St. Skikda (1980/1981-2010/2011)	63
Figure 31 Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite St. Berrahal (1980/1981-2010/2011)	64
Figure 32 Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite St. BEKOUCHE L (1980/1981-2010/2011)	65

Figure 33. Variations des débits moyens annuelles de l'oued kébir Ouest Station de Ain Charchar (1985-86 /1998-99)	71
Figure 34. Ajustement à une loi de Gauss des débits moyens annuels à la station de Ain Charchar.....	74
Figure 35. Débits moyen mensuels (m3/s)- Station de Ain Charchar (1985-86 / 1998-99)	76
Figure 36. Courbe de coefficient mensuel de débit (CMD) de l'oued Kébir Ouest à Ain Charchar (1985-86 / 1998-99)	76
Figure 37. Ajustement à une loi de GUMBEL des débits maximums journaliers	78
Figure 38. Hydrogramme de crue de 25-12-1986 au bassin versant de l'Oued Kébir Ouest.....	79
Figure 39. Corrélation pluie- débit à la station de Ain Charchar (1985-86 / 1998-99) ..	81
Figure 40. Relation pluie-débit observé débit simulé obtenue par le modèle GR1A	82
Figure 41. Relation entre débit observé et débit simulé par le modèle GR1 A. (1985-1999).....	82
Figure 42. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies journalières maximales (1985-1999)	83
Figure 43. Résultats des débits de crue obtenus par différentes méthodes.....	87
Figure 44. Répartition des superficies irriguées du bassin versant du Kébir Ouest	94
Figure 45. Répartition des unités industrielles dans le bassin versant.....	96
Figure 46. Répartition des ressources en eau en Hm ³ dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest.....	99
Figure 47 Bilan des apports en eau en Hm ³ dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest	99
Figure 48 Bilan des apports en eau dans le bassin (1980-2011).....	100
Figure 49. Courbe de variation mensuelle des réserves en eau (Hm ³). (Année2004/2005)	103
Figure 50. Apport mensuel en eau (Hm ³) en 2004 /2005	103
Figure 51 La capacité de stockage dans les retenues collinaires dans le bassin versant (m ³)	104
Figure 52. Volume d'eau prélevée A: par secteur; B: par type de ressource	109
Figure 53. Schéma de repartition des ressources en dans le bassin versant	109
Figure 54. Carte de localisation des problèmes qualitatifs des ressources en eau.....	112
Figure 55. Situation des gisements de mercure (Benhamza, 2008 ; Benhamza, 2015)113	
Figure 56. Représentation des ions majeurs sur le diagramme de Piper (Benhamza, 2008).....	114
Figure 57. Le faciès chimiques des eaux de surface de Zit el Emba (Belhadj, 2006) ..	115
Figure 58. Evolution des teneurs en nitrates (juin 2002), d'après Hadj Said, (2007) ...	117
Figure 59. License WEAP acquise pour la présente étude	122 -
Figure 60. Schématisation des sites de demandes et des ressources en eau	123 -
Figure 61. Sites de demande du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest.....	124 -
Figure 62. Nombre d'habitants actuel obtenu par WEAP	125 -
Figure 63. Superficies agricoles actuelles dans le bassin obtenues par WEAP.....	125 -
Figure 64. Besoins en eau actuelles des unités industrielles.....	126 -
Figure 65. Diagramme conceptuel et équations incorporées dans le modèle d'humidité du sol.....	127 -
Figure 66. Schéma conceptuel d'un barrage	129 -
Figure 67. Débit observé / débit simulé.....	131 -
Figure 68. Paramètres généraux du modèle.....	132 -
Figure 69. Evolution des Précipitations annuelles par scénario (2015-2050)	134 -

Figure 70. Evolution des températures mensuelles par scénario (2015-2050).....	134 -
Figure 71. Evapotranspiration potentielle simulée par scénario.....	135 -
Figure 72. Evapotranspiration réelle simulé par scénario (2015-2050).....	135 -
Figure 73. Evolution du nombre d'habitant pour les deux scénarios (SR et SCC)...	137 -
Figure 74. Evolution de nombre d'habitant pour les scénarios (SPR, SCCPR et SGD)....	137 -
Figure 75. Evolution des superficies irriguées dans le bassin versant (SR, SCC)....	138 -
Figure 76. Evolution des superficies agricoles (SPR, SCCPR et SGD).....	138 -
Figure 77. Evolution des besoins en eau industrielles scénarios SR et SCC.....	139 -
Figure 78. Evolution des besoins en eau industrielles scénarios SPR, SCCPR et SGD....	139 -
Figure 79. Evolution des besoins totaux en eau par scénario	140 -
Figure 80. Evolution de demandes totales en eau par scénario (2015-2050)	141 -
Figure 81. Volume en eau distribué pour tous les usagers par scénario	141 -
Figure 82. Evolution du volume stocké dans le barrage Zit El Emba simulé par le WEAP pour différents scénarios.....	142 -
Figure 83. Volume d'eau de stockage dans les nappes d'eau souterraines.....	142 -
Figure 84. Volume en eau non satisfaite par scénario	143 -
Figure 85. Evolution des Réductions des pertes selon les mesures proposées	154 -

Liste des acronymes

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques

ADE : Algérienne des Eaux

ANBT : Agence Nationale des Barrages et de Transfert

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

BNEDER : Bureau National d'Etude pour le Développement Rural

BV: Bassin Versant

DD : Développement Durable

DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya

DPAT : Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire

DSA : Direction des Services Agricoles

DUH : Direction d'Urbanisme et d'Habitat

FAO : Food and Agriculture Organization

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

GPI : Grand Périmètre Irrigué

IRD : Institut de Recherche en Développement

MRE : Ministère des Ressources en Eau

OIE : Office International de l'Eau

ONA : Office National d'Assainissement

ONID : Office National d'Irrigation et de Drainage

ONM : Office National de Météorologie

ONS : Office National de Statistiques

ORSTOM : Office des Recherches Scientifiques et Technologiques d'Outre Mer

PNUD : Programme des Nations Unie pour le Développement

RADP : Regional Agricultural Development Program

SEI : Stockholm Environment Institute

WEAP: Water Evaluation And Planning

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est le moteur de la vie, une source précieuse, quelle que soit abondante ou rare, nécessite un soin spécial, une économie et une gestion convenable. Chaque personne a droit d'accéder à l'eau mais aussi elle doit préserver cette ressource aux autres usagers à l'aval, qui ont en le droit également.

En fait, cette ressource fragile se trouve face à plusieurs contraintes, gaspillage et pollution notamment. Les recherches montrent que l'homme est son principal destructeur soit directement à travers l'exploitation irrationnelle et la pollution ou indirectement en produisant les gaz à effet de serre.

L'Algérie subit actuellement un stress hydrique aigu. La Banque Mondiale estime que la dotation actuelle (inférieure à 1000 m³/habitant/an) ne sera que de 430 m³/habitant en 2020. Cette situation liée à la faiblesse de la ressource, aggravée par la sécheresse, impliquera ipso facto des conflits sérieux entre les différents utilisateurs qui nécessiteront inmanquablement des arbitrages malaisés par les pouvoirs publics, et ce d'autant que les besoins en eau potable (AEP) seront multipliés par 2,5 environ en vingt cinq ans et qu'ils représenteront pratiquement 40 % des ressources mobilisables vers l'an 2025 (PNUD, 2009). Le 21^{ème} siècle s'annonce sous le signe d'une aggravation des pénuries d'eau, particulièrement dans les régions occidentales du pays en dépit du recours à d'autres formes de mobilisation de l'eau (PNUD, 2009).

A cet égard, les gestionnaires ont essayé d'utiliser des méthodes modernes et de nouvelles techniques pour gérer et économiser de l'eau, en commençant par des approches de mobilisation de toutes les ressources à celles de la gestion intégrée en réunissant tous les acteurs et les usagers pour discuter d'une répartition assez équitable des ressources en eau. L'approche de concertation et de la sensibilisation ainsi que les modèles d'aide à la décision sont également envisagés. Les modèles numériques sont largement développés et utilisés ces dernières années par les auteurs pour surtout aider les gestionnaires à comprendre les comportement actuels et futurs des ressources en eau face aux différentes façons de gestion basés sur des hypothèses et *scenarii*.

Il existe un ensemble d'infrastructures logicielles dont on peut estimer qu'il permet des services de ce type : logiciels de modélisation mathématique (MathLab1, Maple, Mathematica, etc), plateformes de simulation par événements discrets

(AnyLogic, SimuLink, DEVS), environnements graphiques de développement logiciel par composants (Rational Rose, WinDev), plateformes multi-agents (Swarm, Repast dont SimBuilder, Cormas, DIASFACET, MadKit...), dynamique de systèmes équationnels (VenSim, Stella, ICMS, WEAP21). Cependant; et pour des critères de disponibilité, utilisabilité, expressivité et présentation le choix de WEAP21 a donc été adopté pour notre présente étude. Le WEAP est déjà utilisé dans divers pays, y compris l'Allemagne, les Etats-Unis, le Mexique, le Brésil, le Maroc, la Tunisie, le Ghana, le Burkina Faso, le Kenya, l'Afrique du Sud, la Mozambique, l'Egypte, l'Oman, l'Asie centrale, le Sri Lanka, l'Inde, le Népal, la Chine, la Corée du Sud, et la Thaïlande.

En Algérie, le modèle a été appliqué par Ouled Zaoui et *al* (2010) dans l'est du pays, à Souk-Ahras, à l'ouest, à Chelif par RADP (2010) et par Hamlat et *al* (2013).

WEAP ou « Water Evaluation and planning System » est créée par Stockholm Environment Institute (SEI) à Tellus Institute 11 Arlington Street, Boston, MA U2116-3411 USA par les chercheurs Jack Seiber, Water Systems Modeler ; Chris Swartz , Research Associate et Annette Huber – Lee, Director Water Program Stockholm Environment Institute.

La présente recherche est consacrée à la confrontation entre les ressources existantes et les demandes actuelles et leur tendance future selon un scénario de référence et un second scénario qui tient compte de l'effet du changement climatique sur le devenir quantitatif de l'eau dans le bassin versant de l'oued El Kébir Ouest et un scénario basé sur la pression de la population sur les ressources en eau, à l'aide du modèle WEAP.

L'objectif est de mettre en évidence une éventuelle pénurie que la zone va subir dans les années à venir.

CHAPITRE I

CADRE PHYSIQUE DU BASSIN VERSANT DU KEBIR OUEST

I. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

La région d'étude se situe dans le Nord-Est de l'Algérie, entre le massif du Filfila dans le Nord et les Monts de Constantine dans le Sud.

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest fait partie du grand bassin du Constantinois Centre englobant les deux sous-bassins, 03-12 et 03-13. Administrativement, le bassin s'étale partiellement sur les trois wilayas, SKIKDA à l'Ouest, GUELMA au sud et ANNABA à l'Est. Il s'étend sur une superficie totale de l'ordre de 1873 Km². Limitée par les latitudes 36°30' et 37°15 Nord et les longitudes 7° et 7°45 Est.

L'Oued Kébir Ouest est formé de la confluence des deux Oueds El Hammam et Mechekel à l'amont puis l'Oued Kébir Magroune sur la partie aval (Fig.1).

L'Oued Mechekel traverse avec son réseau hydrographique une superficie de 605,80 km². Ainsi la limite ouest du bassin est contrôlée par les ramifications de cet Oued et est constituée par les monts de Djebel Laharta (561 m) et Djebel Seddak (467 m). La limite Ouest Nord-Ouest est formée par les Monts de Djebel El Alia (659 m), Kef Serrak (530m), Djebel Makdoua (474 m), Djebel Tengout (649 m), Djebel Bou Tellis (882 m) et Djebel Fedj Seris (915 m).

L'Oued El Hammam est le talweg principal du Barrage de Zit Emba, franchi avec ses affluents une superficie de 523,46 Km². A la limite Sud du réseau hydrographique de l'Oued El Hammam, on distingue les sommets les plus élevés du bassin considéré, dont les altitudes dépassent les 600 m, tels que Djebel Ouchani (1082 m), Djebel Taya (1208 m), Djebel Mermera (993 m), Djebel Debagh (1060 m) et Djebel Sbaa (623 m).

Les deux réseaux hydrographiques des Oueds Mechekel et El Hammam sont délimités par un relief morcelé ; parmi ceux-ci, il y a Djebel Chbebik (306 m), Djebel Moulmdefa (572 m), Djebel Regouba (502 m), Djebel Ben Chik (490 m) et Koudiat Belouhahème.

L'oued Kébir Magroune, qui draine la zone basse du bassin, est limité au nord par djebel Chebebigk et le cap de fer, à l'est par les Monts de Djebel l'Edough, au sud-est par Mechta Tafra et Ain Mokra (BERRAHAL). Au nord-ouest, l'oued débouche sur la mer méditerranéenne.

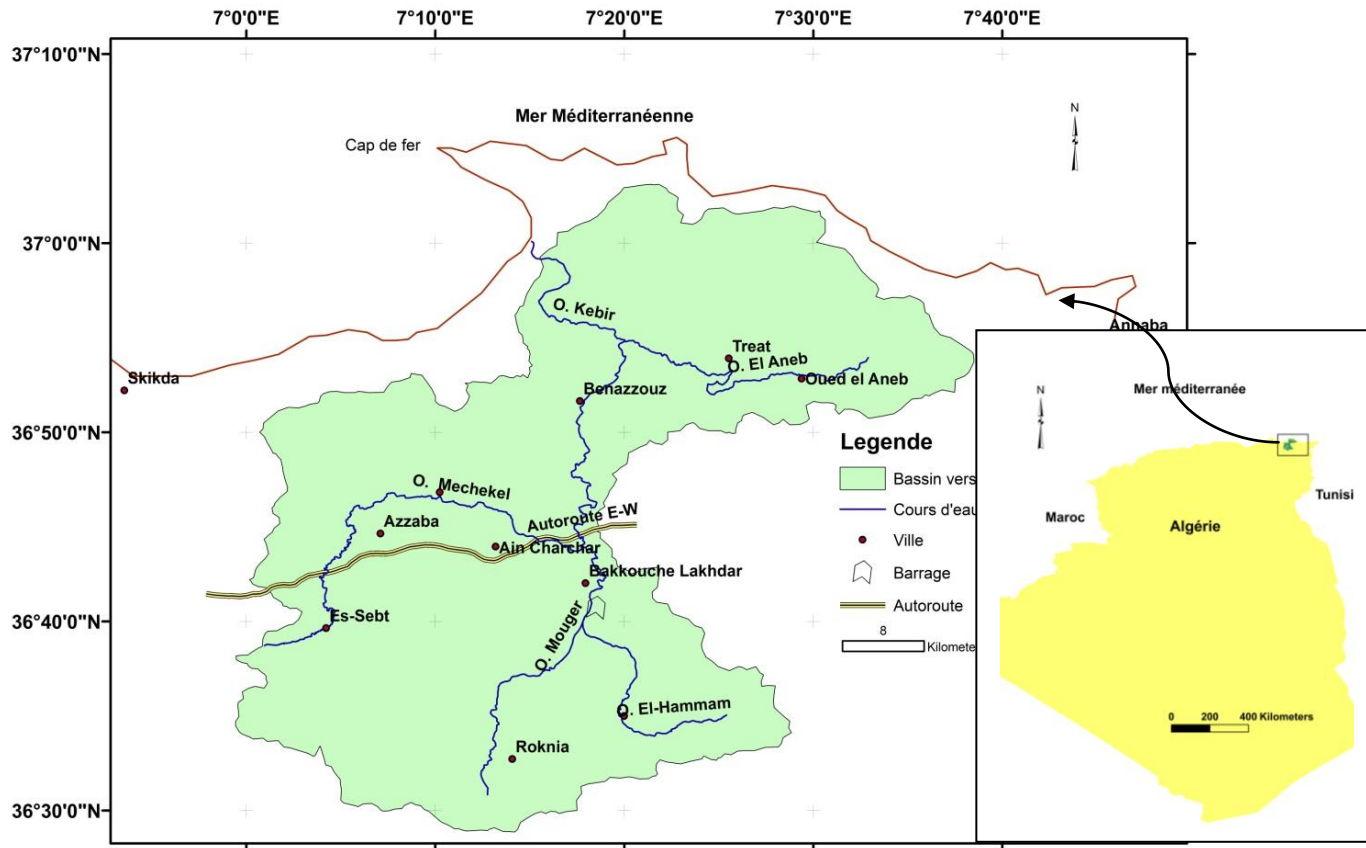


Figure 1. Carte de la situation géographique du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

II. GEOLOGIE :

L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à l'étude hydrogéologique. La géologie, moyen d'étude de l'eau souterraine, est la base fondamentale de l'hydrogéologie (Castany, 1998). Cette analyse permet d'identifier les matériaux et les structures des formations susceptibles de conduire et d'emmagasiner l'eau des précipitations en profondeur, tout en permettant la détermination du type d'aquifère.

Nombreux sont les géologues qui ont étudié la géologie de l'Algérie. Vu l'importance de cette étude pour l'identification des gisements d'eau souterraine de la région, on s'est inspiré pour l'accomplir des travaux de Durand-Delga (1955), de Hilly (1962) sur le massif de l'Edough et Cap de Fer, de RAOULT (1974) sur la géologie du centre de la chaîne Numidique dans lequel il a donné une description litho-stratigraphique et structurale des monts de Safia et Filfila. De BOLFA et *al* (1952) sur les massifs

crystallins du Nord constantinois, de Deleau (1938) sur le pays constantinois et de J.M.VILA (1980) sur la chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens.

II.1. GEOLOGIE RÉGIONALE

Le terrain d'étude se trouve dans la petite Kabylie qui fait partie de la chaîne alpine des Maghrebides. D'après J.M. Vila (1980) on distingue du Nord vers le Sud les grandes unités structurales suivantes :

- ✓ **Le socle kabyle (paléozoïque) :**
- ✓ **La dorsale kabyle (chaîne calcaire) :**
- ✓ **Le Néritique (Jurassique, créacé supérieur) :**
- ✓ **Les séries de flysch (Barrémien, Lutétien supérieur) :**
- ✓ **Les séries telliennes (Néocomien Lutétien) :**
- ✓ **L'Oligo-Miocène Kabyle :**
- ✓ **La Nappe Numidienne (Oligo- Moyen- Burdigalien inférieur) :**
- ✓ **Les terrains Post-Miocènes :**

1.1. Domaine interne

1.1.1- Le socle kabyle (paléozoïque) :

Le socle kabyle est caractérisé par les vastes affleurements de terrains métamorphiques anciens (gneiss, micaschistes, phyllades) localement surmontés par du paléozoïque non métamorphique, ensuite, en transgression et discordance, par les formations grésomiacées et des débris de socle de l'Oligo-Miocène kabyle (Raoult, 1974) .

1.1.2- La dorsale kabyle (chaîne calcaire) :

La dorsale kabyle, située au Sud du socle kabyle, est caractérisée par une série mésozoïque métamorphique ou non. Raoult (1974), distingue divers types de séries du Permo-trias au Lutétien qui compte tenu des relations structurales permettent de définir les sous zones interne, médiane et externe, montrant toutes des séries assez variées, lacuneuses et condensées. Du bas en haut, nous avons :

- ✓ Le Permo-Trias, détritique et rouge, est bien développé dans la dorsale médiane et externe, absent ou très réduit dans la dorsale interne.
- ✓ Le Muschelkalk n'est connu que dans la dorsale médiane.

- ✓ Le Lias débute par des dolomies et des calcaires dolomitiques, surmontant les niveaux précédents. Au dessus, viennent des calcaires blancs massifs, graveleux, de faciès constant.
- ✓ Le Sunémurien à Rhynchonellines et Arnioceras n'est présent que dans la série de Rhédir.
- ✓ Du Carixien au Bajecien, les séries sont très lacuneuses. La dorsale externe de Rhédir montre des calcaires et des marnes du Domérien que l'on retrouve avec le même faciès dans la dorsale médiane et interne.
- ✓ Du Malm au Néocène-barrémien, on a des calcaires de faciès pélagiques assez uniformes, mais seule la dorsale externe possède des radiolarites.
- ✓ Après le Barrémien, les différents ensembles apparaissent. Dans la dorsale externe, une phase tectonique de créacé (moyen) provoque une érosion importante suivie de dépôts détritiques. La dorsale médiane montre, au contraire, une série lacuneuse de marno-calcaires pélagique de l'Albien supérieur, au Maestrichtien. La dorsale interne ne présente aucun dépôt de cet âge.
- ✓ Du Paléocène au Lutétien, la dorsale externe est marquée par une sédimentation détritique avec des conglomérats peuvent être discordants jusque sur le Lias. La dorsale médiane voit se poursuivre la sédimentation marno-calcaire qui est, cependant, assez proche des zones néritiques (apport de Nummulites et Orthophragmines) et se termine par un horizon peu profond juste avant la phase Fini-Lutétienne. Dans la dorsale interne, on a transgression du Paléocène-yprésien (niveaux de base sableux, conglomératiques, dolomitiques) et dépôts de calcaires néritiques, localement puissants, couronnés par une brèche monogénique, ferrugineuse et encroûtée, annonçant la phase fini-Lutétienne.

1.2. Domaine externe

1.2.1- Les flyschs :

Les flyschs sont regroupés en deux séries distinctes avec au Nord le flysch de type Maurétanien et au Sud, le flysch Massylien.

a. Flysch Maurétanien :

La série Maurétanienne (Raoult, 1974), allant du Malm au Préabonien comporte de bas en haut :

- I) des calcaires fins, Tithonique à Barrémien surmontant les radiolarites.
- II) Des grés en bancs métriques, Aptien-Albien.

- III) Calcaires à silicifications blanches du Cénomaniens.
- IV) Calcaires microbréchiques, Turonien- Mæstrichtien.
- V) Calcaires microbréchiques et marnes Paléocène- Lutétien supérieur.

b. Flysch Massylien :

D'après Raoult, 1974, le flysch Massylien est composé de bancs minces argilo-gréseux dont la base est d'âge imprécis probablement Aptien, ou plus ancien et le sommet Albien moyen-supérieur et d'un ensemble Vracono-Cénomaniens mince et varié, à phanites ou à brèches colorées, et enfin des microbrèches Sénoniens.

Du point de vue tectono-structurale, le Flysch Massylien est partout superposé aux unités ultra-telliennes et est surmonté par d'autres nappes (Nummulitique II et Flysch Maurétanien ou Dorsale) ou encore par la série Numidienne.

1.2.2- Le Nummulitique II :

Le Nummulitique II, (Raoult, 1974), débute dans le Lutétien supérieur ou à la limite Lutétien-Priabonien et atteint l'Oligocène supérieur. Les formations de Nummulitique II sont sableuses et riches en micas détritiques et en débris de socle.

De bas en haut nous avons :

- I) Des marno-calcaires rouges.
- II) Des grés micacés rouges. (N^{tiq.} II a).
- III) Des grés micacés brun tabac. (N^{tiq.} II a).
- IV) Faciès intermédiaire
- V) Flysch grés-micacé (N^{tiq.} II b).
- VI) Molasses conglomératiques et grés micacés.

1.2.3- L'Oligo-miocène kabyke :

Cette série est constituée de bas en haut par des conglomérats, des grés micacés et par une série pélitique à silexites blanches (Vila, 1980).

1.2.4- Le Numidien :

La série numidienne est d'âge récent, composée de :

- I) Des argiles dites sous-numidiennes, varicolores et fréquemment à Tubotomaculum ;
- II) Des grés numidiens grossiers et parfois à dragées de quartz ;
- III) Des argiles supra-numidiennes à horizons siliceux (Raoult, 1974).

- la série numidienne est d'âge Oligocène-Miocène inférieur.

- Dans les régions où il n'y a pas de tectonique tangentielle d'âge Miocène moyen ou supérieur, la série numidienne surmonte toujours les autres nappes et n'est impliquée dans aucun des contacts anormaux les séparant. Elle se différencie ainsi clairement d'une part des grés micacés du Nummulitique II qui sont tectonisés et d'autre part de l'Oligo-miocène kabyle grés-micacé qui se trouve sous des unités charriées. Raoult (1974) a interprété les deux faits précédents, concernant la série numidienne, de la manière suivante :

- 1) Le Numidien est charrié avec tout ou partie des autres nappes et sans indépendance tectonique est due à des propriétés mécaniques particulières ;
- 2) La série numidienne est charriée, mais constitue une nappe indépendante de toute les autres tant pour sa partie que pour sa mise en place ;
- 3) La série numidienne s'est déposée après la formation des nappes en position infra et supra-kabyle.

1.2.5- Le Miocène continental : Cette série comporte de bas en haut :

- I) Un ensemble conglomératique de base ;
- II) Un terme médian composé par des alternances d'argiles sableuses, de grés, des calcaires lacustres ;
- III) Un terme supérieur composé d'argile.

1.2.6- Le Quaternaire :

Le quaternaire est composé d'alluvions de toute sorte ; limons, sables, argiles sableuses, cailloutis, arènes et en moindre importance des travertins et des tufs calcaires (Lamari & Younsi, 1988).

II.2. ENSEMBLES MORPHOSTRUCTURAUX

2.1. Formations superficielles

Elles sont bien représentées dans la plaine d'Azzaba et celle d'oued el Hammam (Fig. 2). Les alluvions actuelles et celles de la basse terrasse se composent respectivement d'un matériel de dépôts caillouteux roulés et limoneux, et sablo-argileux -graveleux. Les alluvions de la moyenne terrasse se trouvent à l'Oued El Hammam et Mouger. Les alluvions de la haute terrasse (pléistocène ancien) sont limoneuses et bien développées au niveau de l'Oued El Hammam, au Nord-ouest de Bouati Mahmoud.

Dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest, les colluvions les plus représentatives se répartissent sous forme de glacis et de dépôts de pente. Au pied du Djebel Ferfour, des glacis dominés par des dépôts sablo-argileux et des blocs de grés numidiens. Au piémont du Djebel Maksen, des grés numidiens. Sur l'Oued Fendek, après le passage des gorges entre Djebel Tengout et Saiafa, les restes d'un grand glacis-cône s'étalent dans le bassin de Azzaba (Marre, 1992) et au pied de Djebel Makdoua. Au pied des Kefs Toumiet, de grandes coulées à blocs descendent jusqu'à Oued El Hammam où elles viennent dominer la basse terrasse de l'Oued.

2.2. Ensemble tendre

Les marnes schisteuses et marnes du Sénonien-Piabonien occupent le sous bassin de l'Oued El Hammam, on les trouve au pied du massif de Garar, Debegh et douar d'Ouled Ghrara. Au Djebel Garar, les marnes et marnes schisteuses reposent en concordances sur les calcaires. Les marnes de l'Eocène très peu répondues, se répartissent dans la partie médiane du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest, en contact avec les formations du Nummulitique.

Les argiles sous-numidiennes sont des surfaces qui comportent des blocs de grés issus du massif gréseux. Elles couvrent une grande partie du sous bassin de l'Oued El Hammam, au Djebel Debegh.

2.3. Ensemble des marno-calcaires

On distingue ces formations, d'âge Sénonien, dans le Sud-ouest du bassin, constituant la ligne de crête du bassin tels que Djebel Bou Sba (625 m) et Djebel Ragouba (577 m).

2.4. Complexe conglomératique

Cette formation est constituée essentiellement de conglomérats, brèches, grès et argilites, peu répandue dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest. On observe cette série dans les parties septentrionale et médiane du bassin dans la vallée de l'Oued Oum Nehal.

On peut dire que les conglomérats sont affectés par de nombreux plis et failles, tels que Djebel El Kantour qui apparaît en forme de dôme. Il est dissymétrique et présente un versant Nord en pente plus raide que le versant Sud. Ce massif est porté à forte altitude grâce à une faille au sud et un système de gradins au nord. Cet accident d'El Kantour rejoint l'accident méridional du Kef Hahouner et se poursuit jusqu'au Djebel Debagh (Khanchoul, 2006)

2.5. Ensemble de flyschs

L'ensemble des flyschs regroupe les grès argilo-calcaireux de l'Albien-Aptien et les grès micacés du Nummulitique-Eocène.

Les grès argilo-calcaireux affleurent à l'Est et au Nord-est du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest, à Koudiat Aziza et Koudiat Mazzouz en petit val perché. Elles dominent au Djebel Bou Tellis (882 m) et Fedj Seris (912 m) en corniches gypseuses.

Les grès micacés du Nummulitique atteignent leur extension maximale au Sud du Djebel Tengout, à l'Est du Djebel Guettara et au Sud de Koudiat Mzara.

Dans le sous bassin du Kébir Magroune, les flyschs Oligocène affleurent au Nord-ouest de la vallée de l'oued El-Kébir Ouest au lieu dit Ali Ben Ali dans le vallon de l'oued Ksaiba et constitue le premier flysch de recouvrement ultra-kabyle. Il présente une alternance d'argilites, aleurolite, marnes, des lits de calcarénites et des brèches calcaires à nummulites souvent importantes.

Le 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 et Djebel Laharta 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 mètres de puissance (Durand-Delga, 1955).

2.6. Roches anciennes

Les roches métamorphiques affleurent dans le sous bassin de l'Oued Emchekel sous forme de phyllades et schistes. Elles appartiennent aux formations paléozoïques du socle kabyles.

Le massif de Boumaiza est l'extrémité occidentale de la série cristallophyllienne à métamorphisme moindre. Cette série autochtone présumée du précambrien est située à la bordure Sud-Est de la dépression alluviale en rive droite de l'Oued El Kébir Ouest. Cet ensemble métamorphique est recouvert par des sables rouges dans sa partie Nord-Ouest et par des alluvions récentes de la vallée de l'Oued Magroune dans sa partie Nord-est (Khammar, 1981).

2.7. Ensembles des grés quartzeux et numidiens

Les grés quartzeux d'âge Oligocène affleurent dans la région d'Azzaba et Roknia, au Nord à Djebel Laharta (561 m) et Fedj El Foul (472 m).

Les grés numidiens dominent à l'Ouest, Djebel Makdoua (363 m) et Kef Serrak (530 m). La partie médiane, où se trouvent Djebel Ragouba et Grabs, est formée par un petit ensemble de monticules en pentes fortes qui sont profondément et agressivement encaissés par les affluents de l'Oued Mouger. Au Sud-est, un ensemble gréseux surmonte les grés argilo-gréseux au Nord et les marnes et marno-calcaires au Sud dont l'Oued El Hammam coule le long du contact tectonique caché par les alluvions.

Les grés de dunes sont 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 Dissia et le long du littoral de la vallée de l'Oued Kébir Ouest. Ces formations sont prises dans un ciment argilo-calcaire.

2.8. Ensemble des calcaires

Les calcaires à faciès Aptien néritique, surmontent en concordance les calcaires compacts Barrémiens, dans la chaîne des dômes de Taya, Grar et Debagh. Ce dernier est le plus important des massifs de calcaires néritiques du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest. Le Djebel Grar est constitué par une série de monoclinaux inclinée vers le Nord de 30° à 40°.

Les calcaires du Sénonien supérieur sont principalement représentés par les monts Saiafa Tengout, qui sont séparés par le bassin de l'Oued Fendek. Ils affleurent à Djebel Abiod (473 m) et Djebel Chbebik (447 m) à l'Est, les calcaires qui affleurent au Nord-est âgés du Jurassique.

La sédimentation de la chaîne calcaire dans la zone Kabyle a eu lieu au cours d'une courte période et est liée à l'existence des bassins locaux peu profonds. Elle groupe un complexe calcaréo-dolomitique du Lias au centre sur laquelle repose en discordance une série flyschoides de l'Albo-aptien. Des dolomies massives grises d'une épaisseur de 80 mètres datées du Rhétien Sinémurien 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 mètres 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 calcaires marneux à ammonites pyriteuses avec une épaisseur de 60 mètres.

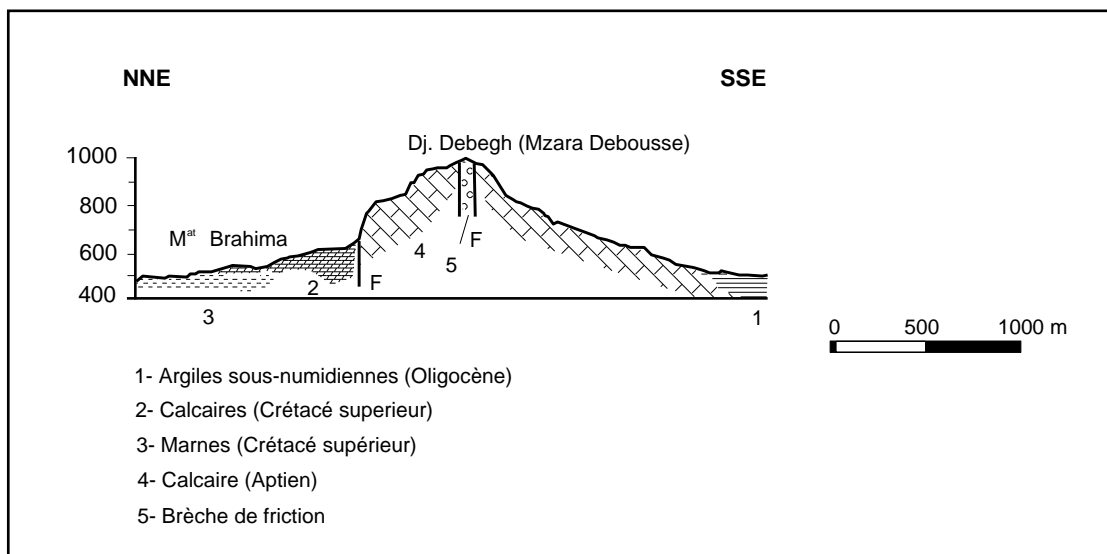


Figure 3. Coupe géologique de Dj. Debegh

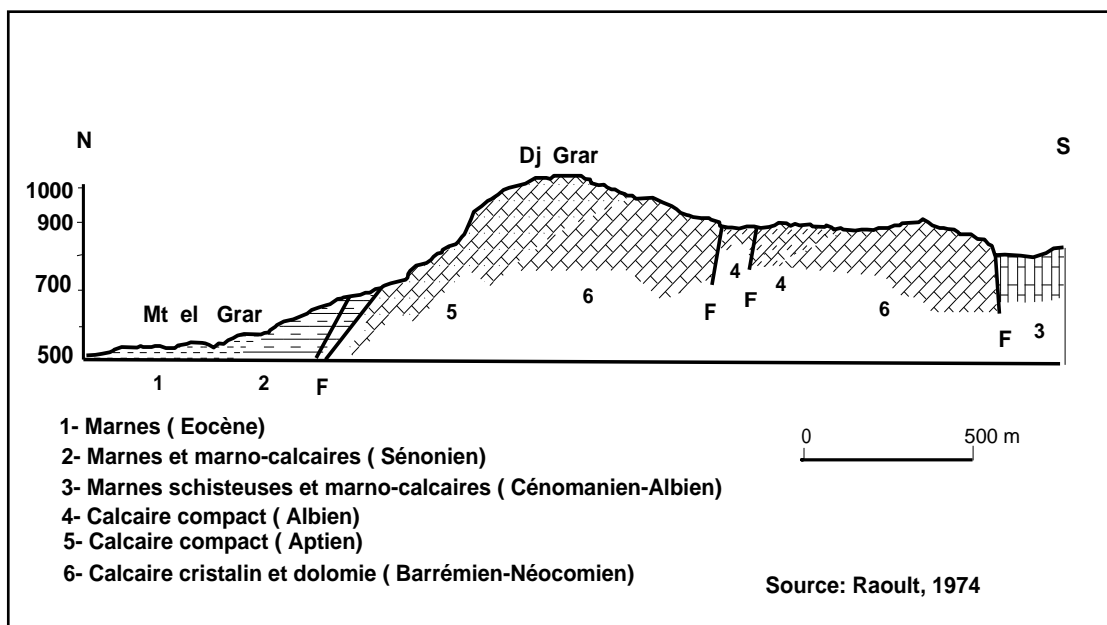


Figure 4. Coupe géologique de Djebel Gar

III. TECTONIQUE

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest est affecté par une néotectonique, responsable de la structure actuelle (Fig. 3, 4, 5).

D'après J.F. Raoult (1974) et J.M. Vila (1980), on distingue les phases tectoniques les plus importantes suivantes :

1- Les mouvements tectoniques précoces (Crétacé- paléocène) ou y remarque que la dorsale kabyle est affectée par de nombreuses petites failles durant le Jurassique et le Néocomien-Barrémien (Djebel chbékik).

Au Néocomien-Barrémien, de minces niveaux conglomératiques et grésos-micacées sensiblement concordants sur les termes sous-jacents, terminant la série Mésozoïque et précèdent l'émersion qui durera jusqu'au début de Paléocène.

1. La phase fini-lutétienne (Lutétienne supérieur – Priabonien supérieur), cette phase est caractérisée par une tectonique tangentielle qui est Post-paléogène, elle a affectée la partie Nord du sous bassin de l'Oud El Hammam (Djebel Moulmdéfa et Chbékik), est également par d'importantes chevauchements dans le domaine de la dorsale Kabyle.

2. La phase finie Oligocène et Miocène (Oligocène Terminal Aquitanien).

Elle est caractérisée par de nombreux plis et failles qui ont affectés la région après la phase fini-Lutétienne et la sédimentation des séries Grésos-Micacées d'importantes déformations finies- oligocènes ont affectées la zone.

Le socle kabyle et le bord interne de la dorsale sont recouverts en discordance par des dépôts conglomératiques et Grésos-Micacés définissant l'Oligo-Miocène kabyle ; ce dernier est chevauché par des flysch, ces flysch correspondent à des séries mauritaniennes également de séries telliennes (Bouilin & Glacon, 1973). Le Djebel Chbékik est affecté par une importante faille Est-Ouest. Les séries de Grar, Taya et Debar sont en fenêtre sous des unités ultra-telliennes qui sont charriés sur le domaine néritique, on constate également que l'axe Kef-Hahonner Debar est limité par des failles poste-nappes continentales. Après les dépôts Poste-nappes, des plis et des failles reprennent l'ensemble et lui donnent l'aspect actuel.

De cette importante tectonique résultent de nombreuses failles donnant naissance à plusieurs sources hydrothermales comme celles d'Azzaba et cours d'eau qui drainent le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest.

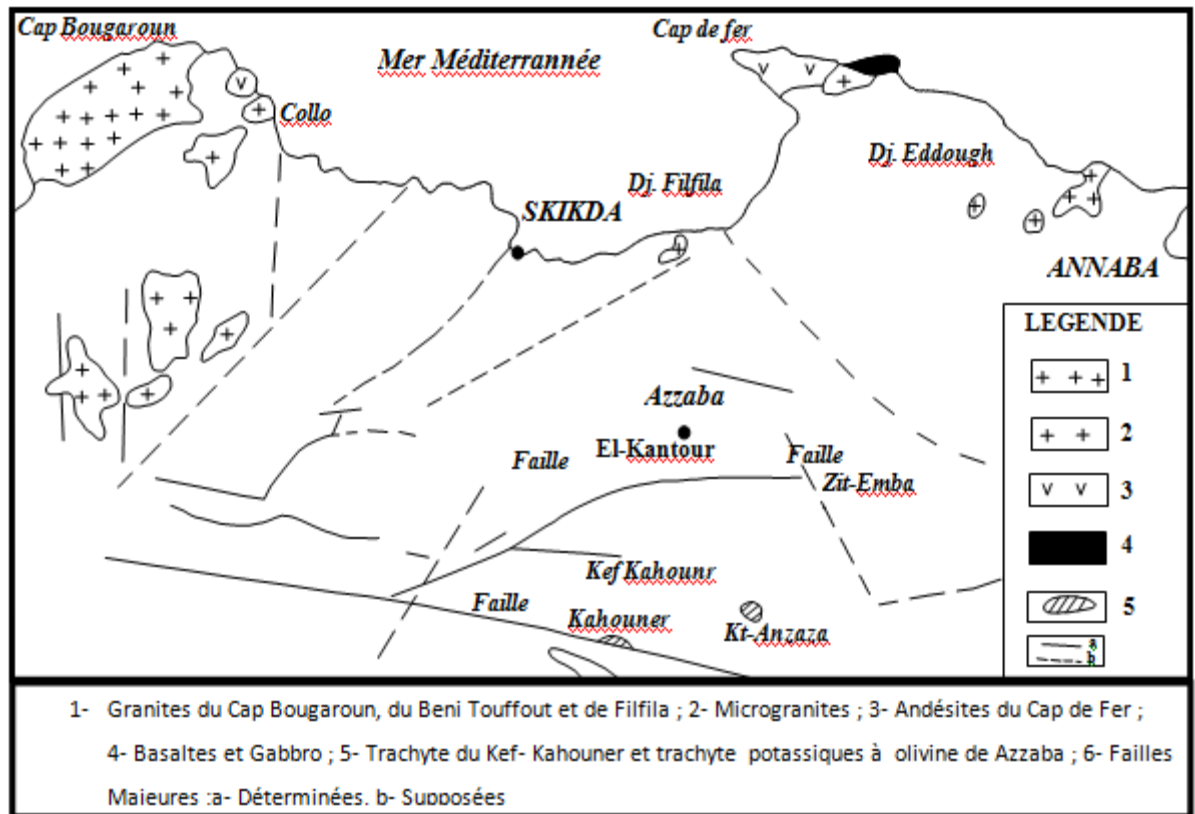


Figure 5. Position de quelques failles majeures, d'après Raoult (1971), Vila (1974), Durand Delga (1978), Bouaroudj (1986)

IV. HYDROGEOLOGIE

IV.1. Identification des différents ensembles hydrogéologiques

1.1 Le sous bassin versant de l'oued Emchekel

Dans le terrain d'étude, on rencontre deux complexes aquifères ayant des charges piézométriques très proches : le complexe aquifère des dépôts de l'Oligocène et le complexe aquifère du Paléocène-Eocène. Ces deux complexes sont séparés par les roches imperméables du Paléozoïque et du Lutétien-Priabonien.

Sur les terrains avoisinants, situés au NE, on trouve un autre horizon dans les alluvions récentes.

L'horizon aquifère des dépôts alluvionnaires récents et des terrasses situé au dessus de la plaine inondable de l'Oued Fendek a une extension limitée. Les eaux de la nappe phréatique comprises dans les sables hétéro-grenus et au sein des dépôts de galets et des graviers ont un niveau libre. La puissance de la nappe varie de 2 à 5 m. Le niveau des eaux souterraines diminue en été jusqu'à la base des dépôts alluvionnaires,

l'alimentation en eau de cet horizon aquifère se fait principalement par les précipitations atmosphériques.

Les roches aquifères des dépôts de l'Oligocène sont les grès fissurés alternant avec des lits d'argiles. La puissance totale des grès varie entre 32 et 62 m. Les grès aquifères sont recoupés par une série de sondages, dans la partie centrale du terrain d'étude (sond. 288 Hy, 325, 260, 265). Les eaux souterraines s'écoulent vers le Nord. Les eaux souterraines circulent aux profondeurs de 10 m (sond. 260) à 44,0 m (sond. 325). Au fur et à mesure du plongement des couches au Nord et au nord-ouest, la profondeur de leur circulation descend jusqu'à 62 m (sond. 396). Les coupes hydrogéologiques établies illustrent la schématisation des nappes aquifères de la région (Fig. 16, 17 et 18). L'alimentation des eaux souterraines se fait par les précipitations atmosphériques dans les endroits où les grès affleurent et le drainage des eaux des horizons sous-jacents, qui circulent suivant les accidents tectoniques.

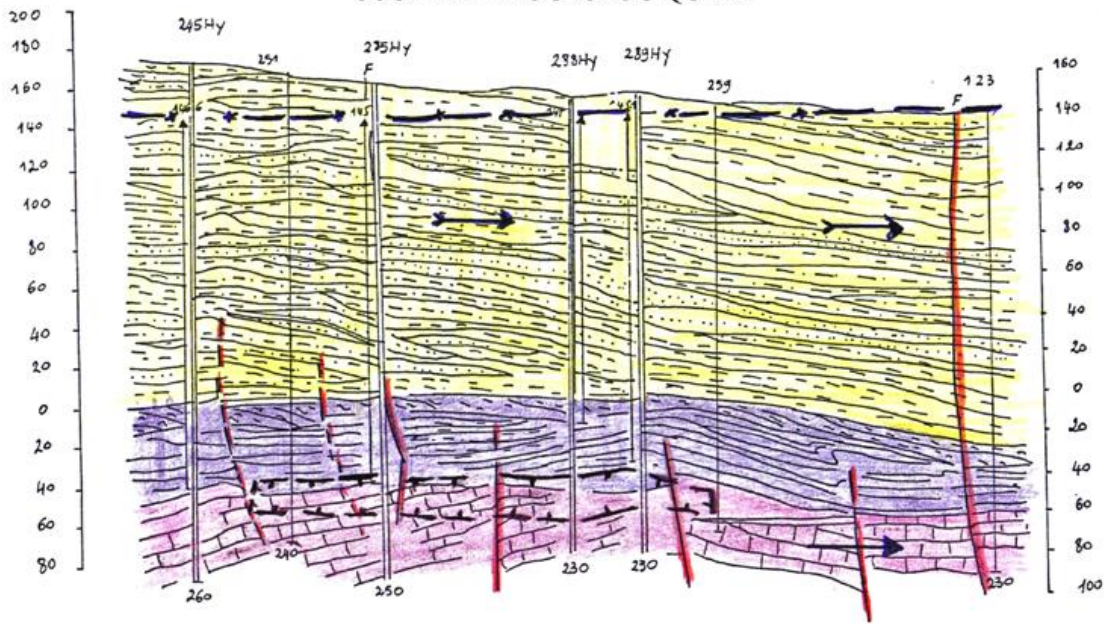
Le mur séparant la nappe aquifère de l'Oligocène de celle du Paléocène-Eocène est représenté par les schistes charbonneux du Paléozoïque, les argilites et les aleurolites du Lutétien-Priabonien. La puissance des roches imperméables est de l'ordre de 50-60 m.

Le complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène est largement développé dans la région d'étude. Les eaux souterraines du gisement s'associent aux grès, aux calcaires, aux conglomérats-brèches de la zone sous-chevauchement, aux calcaires caverneux et fissurés, aux grès calcaireux du Paléocène, aux zones aquifères des accidents tectoniques.

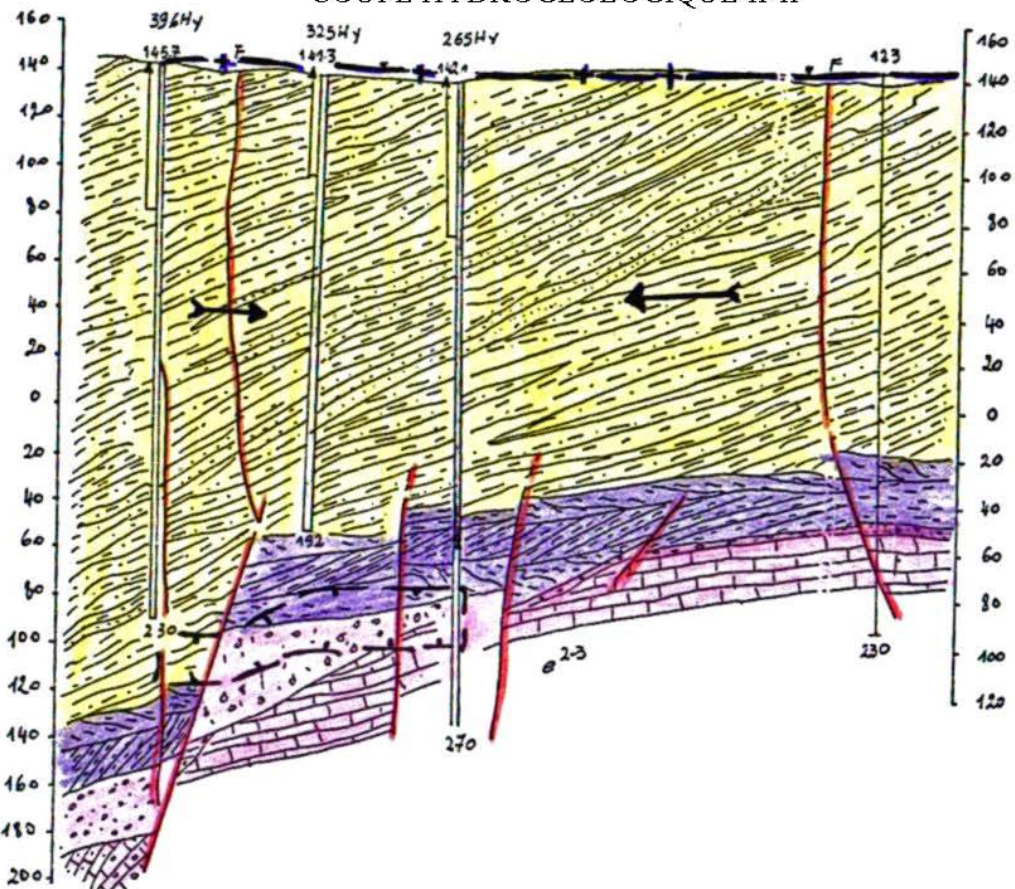
Vu l'absence de murs imperméables, les horizons aquifères ont une liaison hydraulique étroite et forment un complexe aquifère uni des eaux de filons et de diaclases. La puissance des roches aquifères varie en larges plages. La profondeur de leur disposition augmente vers le Nord. Le mur supérieur résistant à l'eau est représenté par les schistes charbonneux graphiteux métamorphisés du Paléozoïque, ainsi que les argilites et les aleurolites du Lutétien-Priabonien. Leur puissance totale est de 50-60 m. La position du mur imperméable inférieur est contrôlée par l'amortissement de la fissuration des roches. (Fig. 16, 17 et 18). Pendant les travaux de prospection réalisés au gisement et les recherches de l'eau pour l'alimentation du complexe mercuriel, la plupart des sondages recoupant le complexe aquifère étaient jaillissants. Les sondages jaillissants se trouvent dans la partie Nord du gisement (Sond. 308, 325 Hy) avec des débits respectifs de 0,1 et 2,5 l/sec et à son flanc Est avec un débit jaillissant de 0,2 l/s pour le sondage 123 et 8,5 l/s pour le sondage 130. L'alimentation des eaux souterraines

du complexe se fait par les précipitations. Ce type d'alimentation se situe dans la partie SW de la région, là où affleurent les roches du Paléocène-Eocène. Les grands accidents tectoniques affectant les formations du Paléocène-Eocène, jouent en conditions hydrogéologiques du complexe un rôle de drains naturels. Par ces derniers, les eaux souterraines sont drainées par des terrains voisins. En s'enfonçant vers le Nord, les eaux souterraines s'accumulent dans des calcaires fissurés et karstiques et des grès calcaireux du Paléocène-Eocène. La direction d'écoulement des eaux souterraines au NNE et à l'Est coïncide avec la direction d'enfoncement des principales structures géologiques et à l'abaissement général du relief (fig. 6). Le complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène prendra la principale part de la formation des venues d'eau dans les ouvrages miniers. Cette dernière est déterminée par les facteurs naturels suivants : 1) hétérogénéité de la série des formations très disloquées du Paléocène-Eocène. A côté des calcaires bien perméables, des conglomérats calcaireux, des conglomérats brèches, des grès, on trouve des aleurolites peu perméables. Dans de telles séries hétérogènes, la fissuration et la karstification se développent irrégulièrement. C'est avec ces deux dernières que sont étroitement liés la perméabilité de l'eau, la transmissivité, le coefficient de diffusivité et le coefficient d'emmagasinement. 2) complexité des conditions quant à la disposition géo-structurale des calcaires, des grès, des conglomérats-brèches aquifères ; des rapports entre eux et avec les dépôts de l'Oligocène. Donc les principaux paramètres pour la prévision des venues d'eau sont les paramètres obtenus à la suite du pompage de faisceau. Ils reflètent amplement la situation hydrodynamique de tout le massif.

COUPE HYDROGEOLOGIQUE I-I



COUPE HYDROGEOLOGIQUE II-II



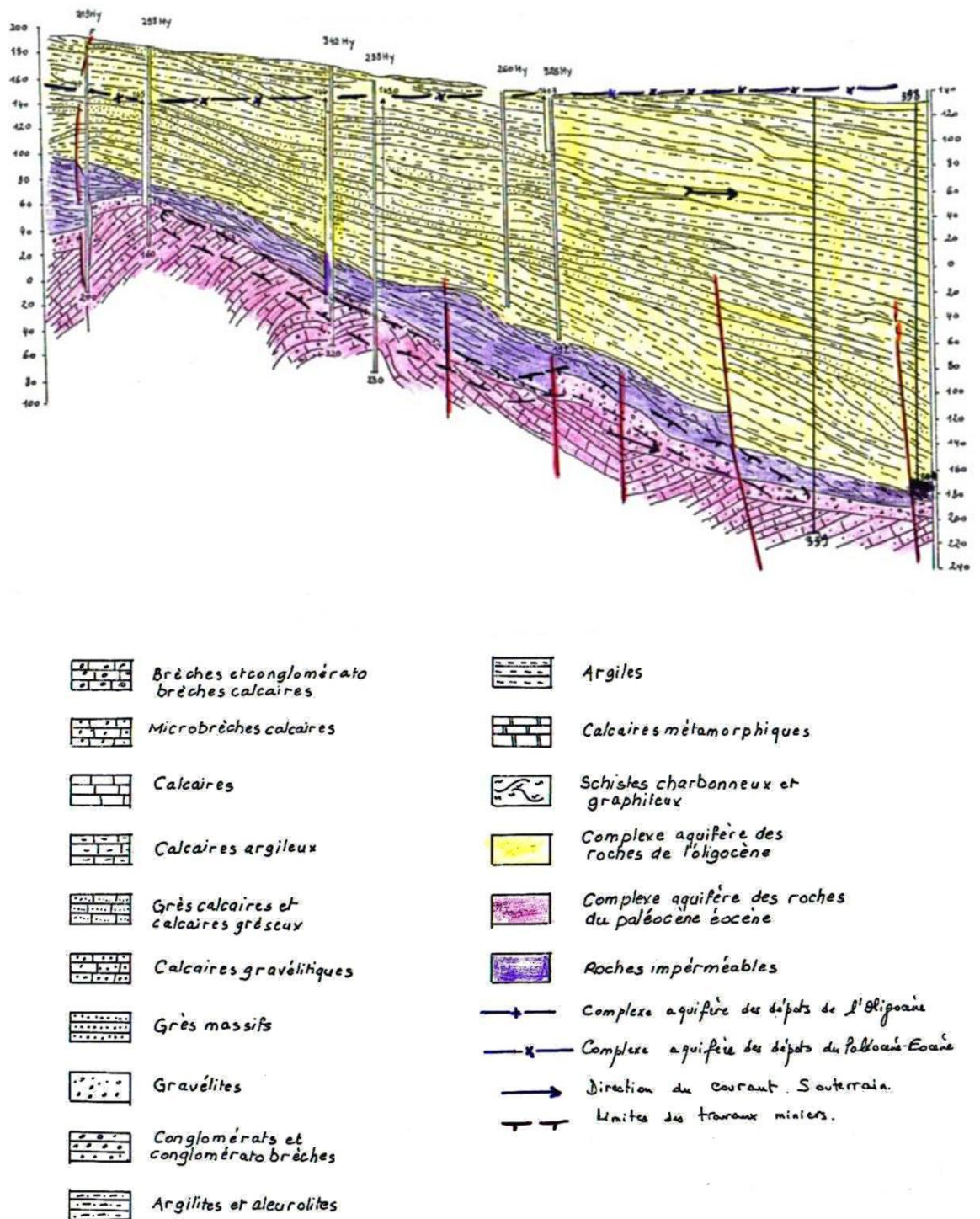


Figure 6. Coupes géologiques montrant les deux complexes aquifères de la plaine d'Azzaba (Benhamza, 2007)

1.2 Le sous bassin de l'oued El Hammam :

Les particularités de la structure litho-géologique de la vallée de l'Oued El Hammam, ont déterminé les conditions de développement et le régime des eaux souterraines.

Les travaux de reconnaissances (Forage \approx 100 m) ont mis en évidence, dans l'intervalle de profondeur traversée, deux niveaux aquifères : nappe suspendue (temporaire) et nappe phréatique (superficielle) à surface libre.

a) La nappe temporaire : se forme en saison pluviale au sein de terrains peu perméables, constituant la formation diluvio-proluviales et se présente sous forme de lentilles suspendues, peu étendues tant au plan, qu'en épaisseur.

b) La nappe superficielle : Le niveau phréatique à surface libre, se reconnaît bien dans les flyschs néogènes, relativement perméables et, surtout, dans les calcaires liasique (J^{3-2}) et éocènes (P_2 et I-II), caverneux et karstifiés. Son alimentation et son régime dépendent directement du niveau d'eau dans l'Oued et de l'infiltration des précipitations atmosphériques.

Le courant phréatique se situe à une profondeur, allant de quelques mètres, dans la partie en terrasse de la vallée, jusqu'à 15 à 40 m, au niveau des bords de la vallée et est dirigé suivant une pente de 0.01 à 0.005 vers le lit de l'oued.

Les variations saisonnières du niveau des eaux phréatiques sont de 2 à 3 m dans la partie du fond de la vallée et dépassent 10-15 m dans ses bords. Cela s'explique par la morphologie de la surface des versants, le caractère d'alternance des variétés lithologiques qui diffère par leur perméabilité à l'eau et le degré de drainage.

1.3. Le sous bassin de l'oued El Kébir-magroun

Les études de Khammar (1981) et de Hadj Said (2007) ont montré l'existence de deux horizons aquifères dont la discontinuité est soulignée par la composition lithologique des sédiments, sablo-argileux dans les niveaux superficielles, graveleux dans les niveaux profonds. Les deux nappes sont séparées par des lentilles d'argile.

Le niveau superficiel présente une très grande hétérogénéité tant verticale qu'horizontale ; plus argileux dans la plaine alluviale, il passe progressivement à des sédiments plus homogènes sablo-argileux à sableux dans le massif dunaire, compris entre 10 et 20 mètres dans la plaine alluviale, ces sédiments s'épaississent en direction du massif dunaire où ils atteignent en moyenne trente cinq mètres.

La nappe profonde est constituée d'un niveau graveleux (gravier centimétriques) qui représente les alluvions anciennes de l'Oued Kébir ; cet horizon se profile sur les unités structurales ante-miocènes qui forment le substratum : i) calcaires et dolomies du Lias et marno-calcaire du Crétacé inférieur dans la localité de Hadjar Soud ; ii) roches

métamorphiques du Paléozoïque dans la localité de Boumaiza ; iii) marnes et argiles numidiennes dans la localité de Sidi Lakhdar et le massif dunaire.

Pour déterminer la nature et l'emplacement des aquifères de la région nous avons réalisé des coupes schématiques dont les informations sont issues des données de forages combinées avec les données géophysique. 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 (HADJ-SAID, 2007) .

La Figure 7 représente les différentes nappes existantes dans le massif dunaire de la plaine de Sanhadja. Il est à noter la présence d'une zone salée peut être l'origine de la salinité des eaux.

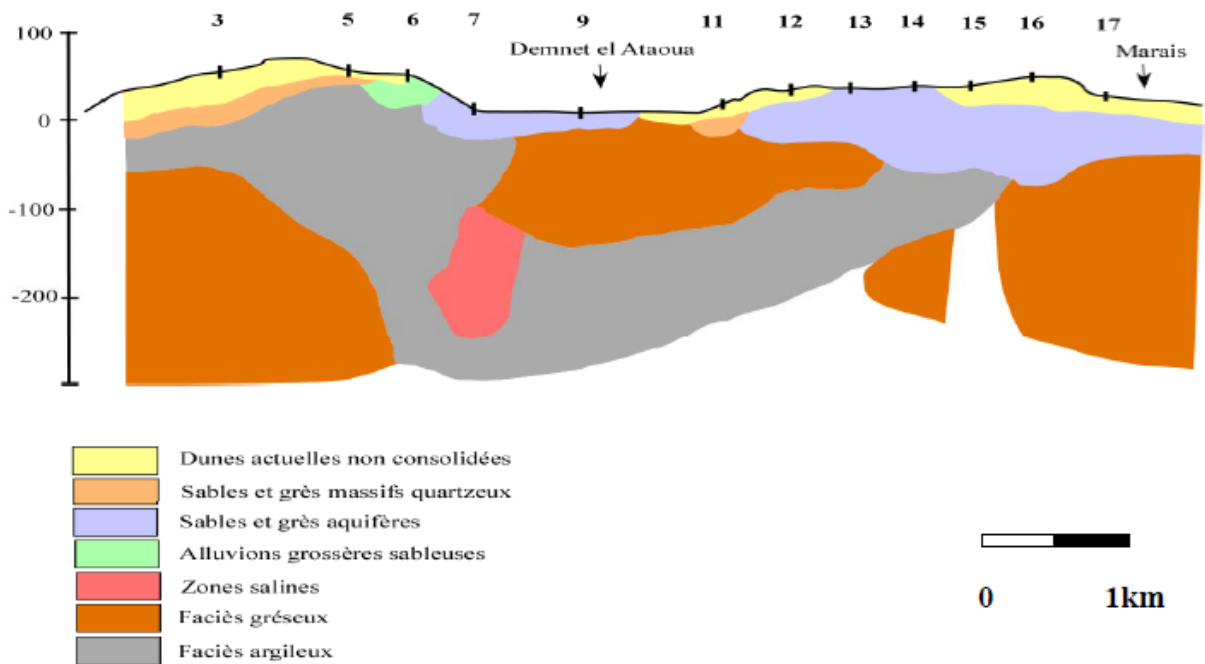


Figure 7. Coupes géo-électriques à disposition perpendiculaire au rivage (Hadj Said, 2007)

IV.2. Capacité des complexes de nappes aquifères d'après l'ANRH, 2010

La carte des nappes aquifère du côtier constantinois (Figure 8) établie par l'ANRH en 2010 montre la présence de deux systèmes aquifères dans la zone d'étude, celui de la plaine de l'oued El Kébir Ouest avec une capacité moyenne de 11,08 millions de mètres cubes, et le complexe de la plaine d'Azzaba d'une capacité moyenne de 16,4 millions de mètres cubes. Soit une réserve totale de 27,48 Hm³. Ces réserves en eau

souterraine dans le bassin versant du Kébir Ouest diminuent en période des basses eaux pour atteindre 13,68 Hm³.

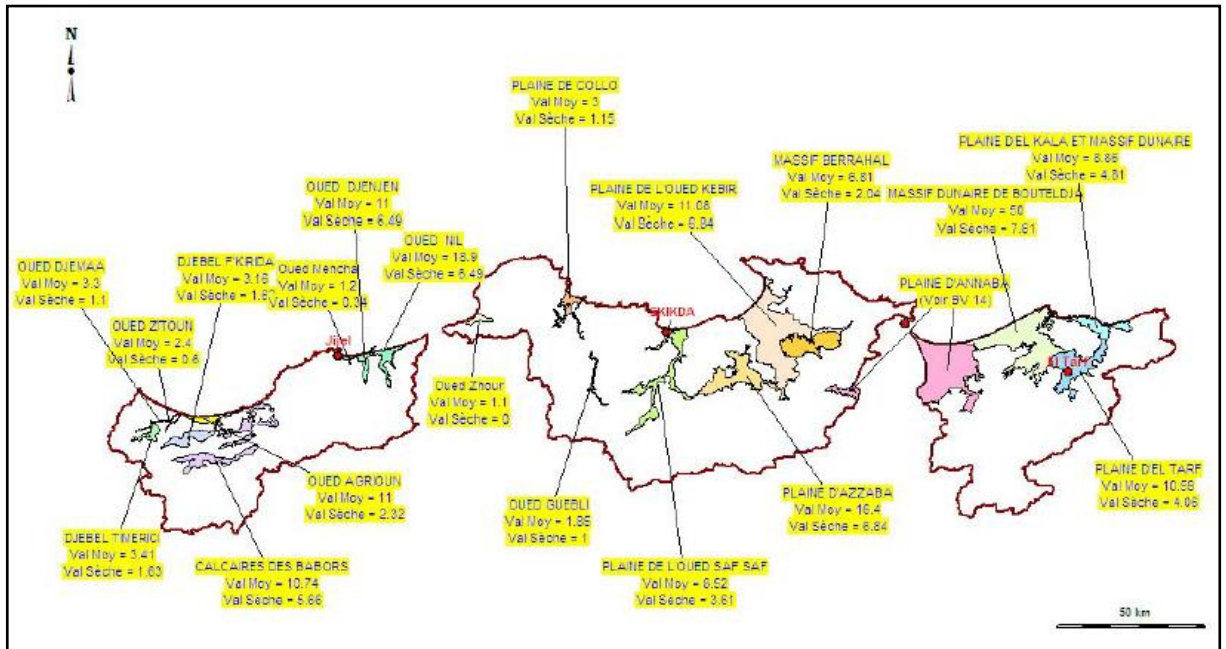
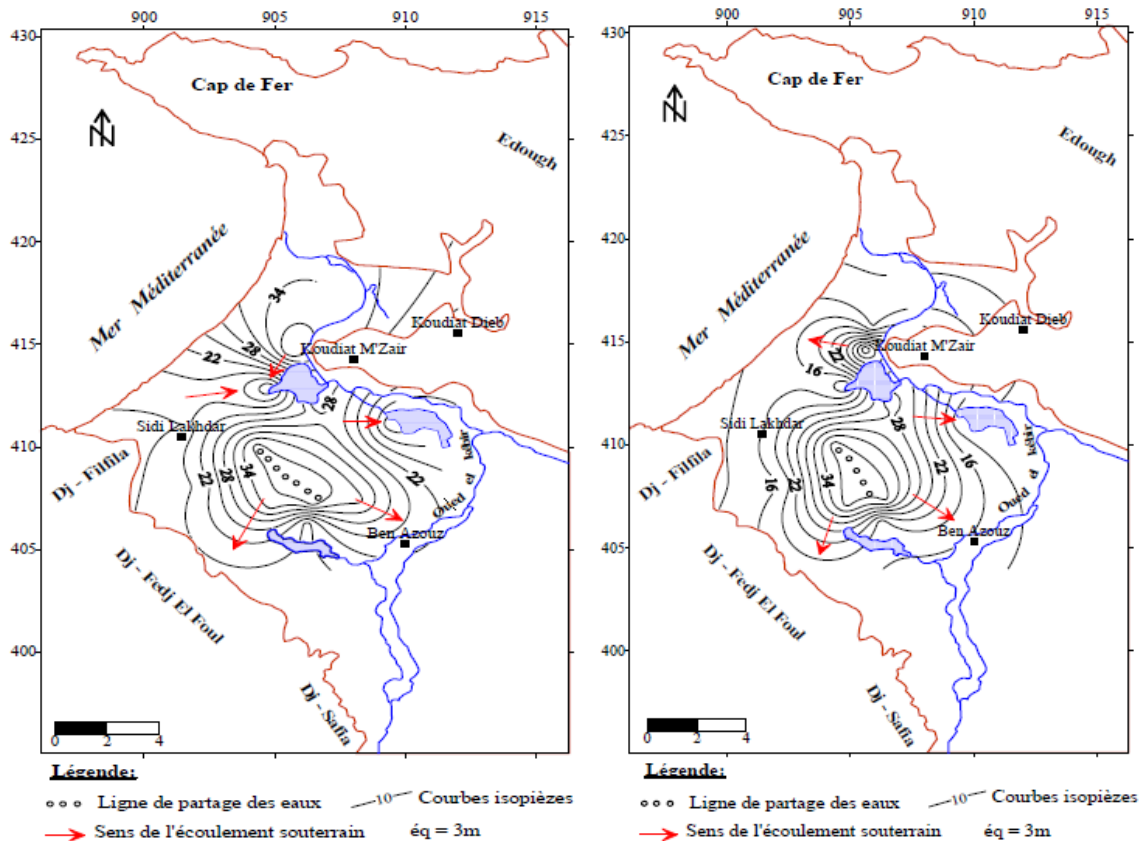


Figure 8. Carte des nappes aquifères dans le bassin versant Côtier Constantinois (ANRH, 2010)

IV.3. La piézométrie

L'allure générale des lignes de courant montre l'existence d'une relation eau souterraine eau de surface, ou l'oued et les plans d'eau de surface drainent la nappe que soit au début ou à la fin de période basses eaux (Fig. 9). En rapprochant au littoral le sens d'écoulement est orienté de la nappe vers la mer en Octobre, cependant, il devient de la mer ver la nappe en Avril se qui nous faire supposer l'éventuel biseau salé en période estivale.

A l'ouest de la plaine l'écoulement souterrain suit une direction NE-SO, donc du centre de la nappe vers les dépressions de Guerbez. Généralement les courbes isopièzes sont plus ou moins identiques aux courbes hypsométriques de la zone.



Avril 2003

Octobre 2003

Figure 9. Carte piézométrique de la nappe alluviale de la plaine de l'Oued Kébir Ouest (Hadj Said, 2007)

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté la situation géographique de la zone d'étude et son cadre physique (géologie et hydrogéologie).

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest, l'un des sous bassin du constantinois centre, situé au Nord-est algérien, est un bassin à vocation agricole avec excellence.

Cette situation géographique a donnée au bassin le comportement structural de la petite Kabylie, présenté sous les huit grandes unités suivantes : le socle kabyle (paléozoïque), la dorsale kabyle (chaîne calcaire), le Néritique (Jurassique, créacé supérieur), les séries de flysch (Barrémien, Lutétien supérieur), les séries telliennes (Néocomien Lutétien), l'Oligo-Miocène Kabyle, la Nappe Numidienne (Oligo-Moyen-Burdigalien inférieur) et les terrains Post-Miocènes.

En ce qui concerne l'hydrogéologie, qui est le produit de la géologie du terrain, on a pu identifier deux horizons aquifères principaux au niveau de la plaine alluviale de l'Oued Kébir Ouest et la plaine d'Azzaba. Au niveau de la vallée de l'oued El

Hamman, également, deux nappes, le premier est phréatique et la deuxième est temporaire, elle se forme en saison pluviale.

CHAPITRE II

CADRE MORPHOMÉTRIQUE ET HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT

INTRODUCTION

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant influencent fortement son caractère hydrologique, et notamment le régime des écoulements. Le temps de concentration t_c qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : à savoir, la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente moyenne et caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes topographiques ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques.

I. LE RELIEF

I.1. Superficie

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. Elle s'obtient par planimétrie sur une carte topographique après que l'on y ait tracé les limites topographiques et éventuellement hydrogéologiques.

Avec une superficie planimétrie de l'ordre de 1863,60 km² (1850 km² selon les données de l'A.B.H), le bassin versant du Kébir Ouest est un important bassin des côtiers Constantinois (16.19 % de 11570 km²).

I.2. Périmètre (P) du bassin versant

On utilise différentes caractéristiques de longueur ; la première est une des plus utilisées est le « Périmètre P du bassin versant ». Le périmètre curvimétré sur la carte topographique est (P= 272,95 km) mais, selon l'échelle de la carte, les détails sont plus ou moins nombreux et il en résulte des différences de mesures.

I.3. La forme du bassin

La caractéristique de forme la plus utilisée est le "**coefficient Kc de Gravelius**". Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface (appelée aussi coefficient de capacité) :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

A : surface et P : périmètre du bassin versant

Cet élément peut être traduit par le paramètre K_c : Indice de compacité de Gravelius ayant une influence certaine sur l'écoulement. Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface. La forme du bassin détermine l'allure de l'hydrogramme de crue, où un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée.

Pour le bassin du Kébir Ouest, l'indice K_c a été estimé par 1,77 ; Traduisant une compacité faible (bassin allongé).

1.4. Longueur (L) du rectangle équivalent

Le périmètre P n'est généralement pas utilisé directement mais le plus souvent à travers des valeurs qui en dérivent, comme la "longueur L du rectangle équivalent". On définit le rectangle équivalent comme le rectangle de longueur L et de largeur l qui a même surface et même périmètre que le bassin versant, soit à l'aide de :

$$L = \sqrt{A} \cdot \frac{K_c}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1.12)^2}{(K_c)^2}} \right] \quad \text{et} \quad A = L.l \Rightarrow l = \frac{A}{L} \quad \text{d'où :}$$

$L = 120,19$ km et $l = 15,51$ km, pour le bassin de l'Oued Kébir Ouest.

Ces résultats confirment que le bassin ainsi que ses deux affluents ont des formes allongés.

L'inconvénient de cette méthode est que l'on peut rencontrer des bassins plus compacts qu'un carré ; l'équation n'a alors plus de racines réelles !

1.5. Répartition altimétrique du bassin

On a pu réaliser la carte et le tableau suivants à partir de la carte MNT de l'Algérie septentrionale. Les cotes du bassin varient de 0 m jusqu'à moins de 1173,68 m.

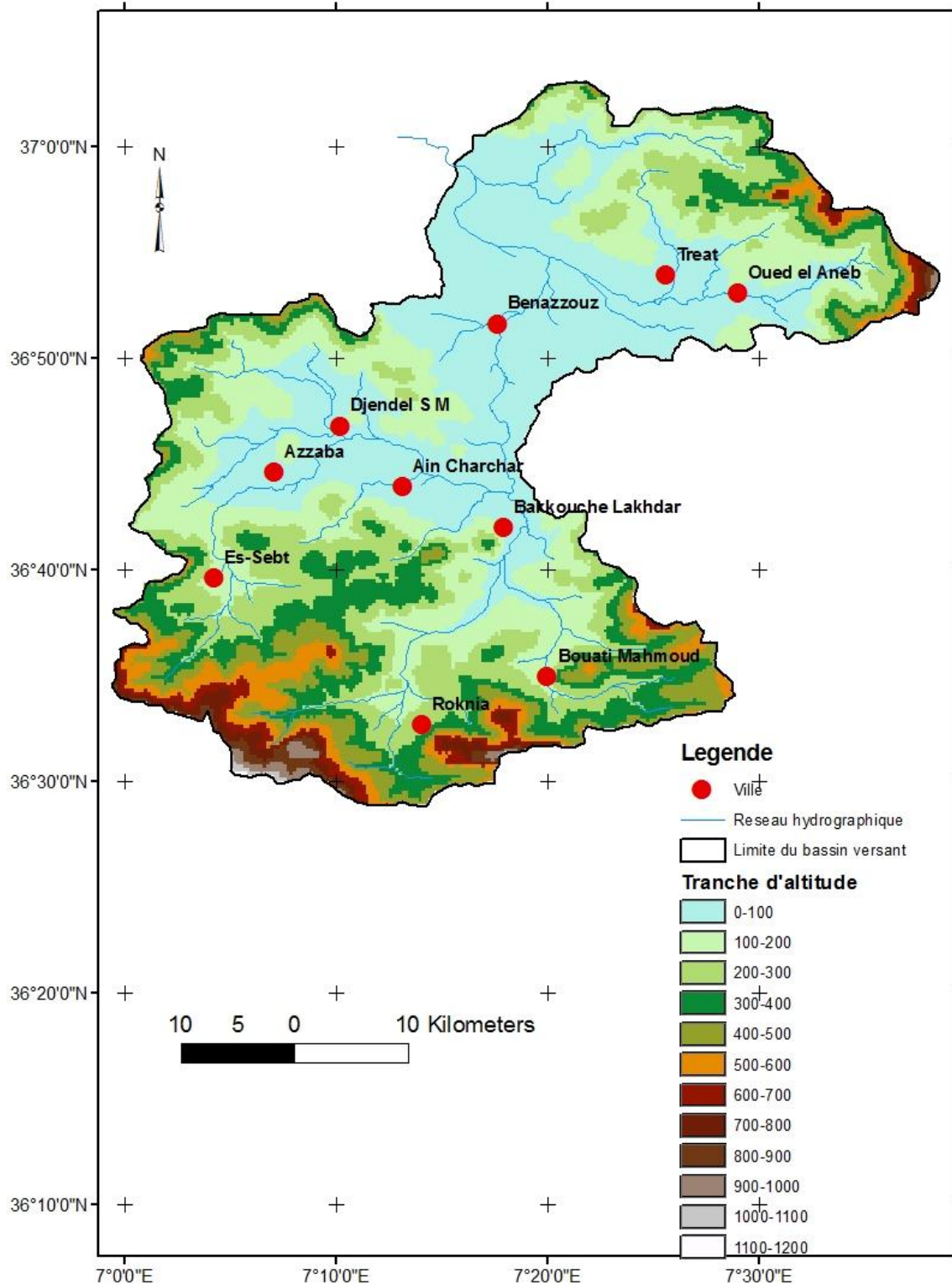


Figure 10. Carte de répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le bassin versant

Tableau 1. Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le bassin versant

Tranche d'altitude (m)	S (km ²)	Sc (km ²)	Sc %	S %	Xi	S.Hi
0-100	603,960	603,960	0,324	0,324	50	30198
100-200	418,230	1022,190	0,224	0,549	150	62734,5
200-300	318,740	1340,930	0,171	0,720	250	79685
300-400	222,720	1563,650	0,120	0,839	350	77952
400-500	140,070	1703,720	0,075	0,914	450	63031,5
500-600	76,680	1780,400	0,041	0,955	550	42174
600-700	33,390	1813,790	0,018	0,973	650	21703,5
700-800	23,890	1837,680	0,013	0,986	750	17917,5
800-900	14,320	1852,000	0,008	0,994	850	12172
900-1000	9,090	1861,090	0,005	0,999	950	8635,5
1000-1100	1,900	1862,990	0,001	1,000	1050	1995
1100-1200	0,610	1863,600	0,000	1,000	1150	701,5
Somme	1863,600		1,000			418900

L'altitude moyenne du bassin du Kébir Ouest :

$$\bar{H} = \frac{\sum A_i . X_i}{A}$$

A_i : superficie partielle (km²) de la tranche d'altitude.

X_i : centre de la classe d'altitude (m).

A : superficie du bassin (km²).

$$\bar{H} = 224,78 \text{ m}$$

L'altitude moyenne est de l'ordre de 224,78 m. cette valeur traduit une faiblesse relative de l'altitude, ou le diagramme des fréquences altimétriques fait ressortir la répartition par tranche d'altitude de la superficie du bassin, ainsi donc, Nous pouvons aisément constater les diverses altitudes caractéristiques du bassin :

L'altitude médiane

Elle est déduite à partir de la courbe hypsométrique (fig. 10), elle est égale à 180 m (H 50%).

La répartition par tranche d'altitude de la superficie est plus significative que l'altitude moyenne, ceci ressort nettement de la courbe hypsométrique et de l'histogramme de fréquences établis pour le bassin versant :

Les secteurs d'altitude dépassant les 850 m sont peu étendus dans le bassin (1,5 %) et correspondent aux montagnes situés au sud du bassin : Djebel Marmara, Taya.

Les zones d'altitudes comprises entre 450 et 850m, représentent les collines, couvrent 236,20 km², soit environ 20,90% de la superficie totale du bassin, et parmi ces collines on cite :

- ✓ Djebel Debagh (624 m), et Djebel Manchoura (563 m) situés au Sud Est du sous bassin de l'Oued El Hammam.
- ✓ Djebel Boufernana (534 m) et Djebel Fenngant (649 m) situés au Sud Ouest du sous bassin de l'Oued El Hammam.
- ✓ Djebel Fej Fhoul (534 m) et Djebel El Allia (660 m) situés dans les deux parties Nord Est et Nord Ouest du sous bassin de l'Oued Emchekel.

Par contre, les zones d'altitude allant de 50 à 450 m couvrent une superficie de 856,71 km², soit 75,80 % de la superficie totale du bassin versant, correspondants aux versants, cette unité se caractérise par une exposition généralement au Nord, les pentes moyennes à fortes (> 12%) et une dominance des roches moyennement résistantes tels que les grés dont les cultures et les maquis y sont installés.

Enfin, la tranche d'altitudes inférieures à 50 m, constitue 20,34 km² soit 1,8% de la superficie totale du bassin, concerne largement les plaines alluviales du bassin de l'Oued Kébir Ouest et ses principaux affluents, comme la grande plaine de AZZABA et la plaine de l'Oued EL Hammam.

On ce qui concerne les glacis, ils se localisent aux pieds des versants à pentes inférieures à 10%, ils sont généralement occupés par des terres agricoles, ils se localisent principalement au pied de Djebel Beziounn, au piément des reliefs à la jonction avec la plaine de AZZABA et les micro-plaines de Bouati Mohmoude et Roknia.

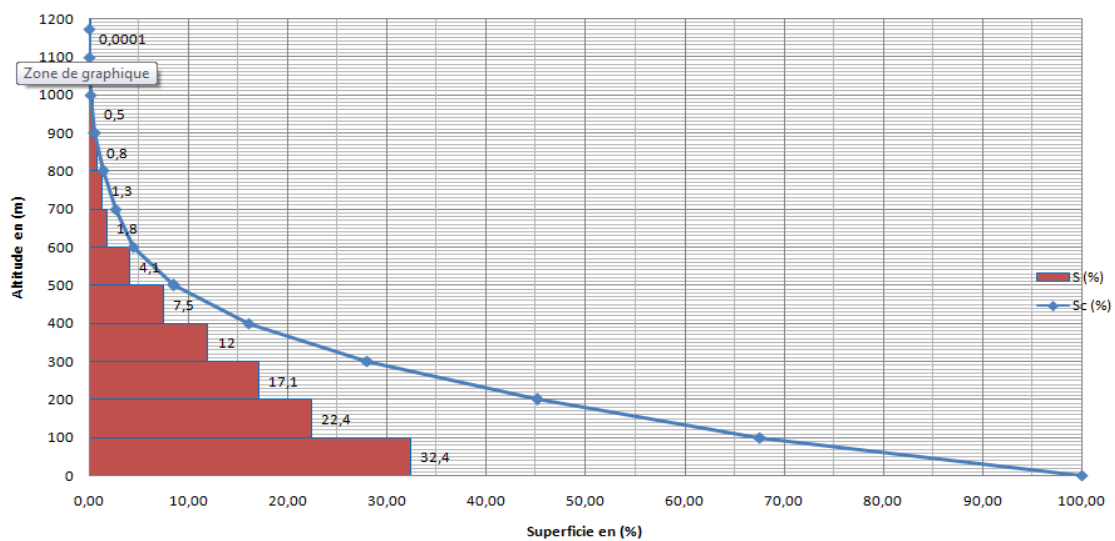


Figure 11. Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

H5% = 20 m
 H50% = 180 m
 H95% = 580 m

I.6. Les pentes

Le relief joue un rôle primordial dans la plus ou moins grande aptitude au ruissellement des terrains. Il peut être quantifié à l'aide de quelques indices : L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications.

6.1. L'indice de pente global (Ig)

Obtenu par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

D étant la dénivelée simple (m) : h5 % - h95 %, définie sur la courbe hypsométrique ; L étant la longueur du rectangle équivalent.

H 5% = 20 m ;

H 95% = 580 m ; déduites de la courbe hypsométrique.

D'où $D = 560$ m et $I_g = 4,66$ m/km.

Cet indice, très facile à calculer, est des plus utilisés. Il sert de base à une des classifications IRD (ex :O.R.S.T.O.M.) pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km² :

L'indice de pente global 'Ig' est estimé à 4,66 m / km, cela implique que le relief du bassin du Kébir Ouest est *faible*.

6.2. Indice de pente de Roche Ip

Peut être estimé par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{b_i (a_i - a_{i-1})} \quad \text{Avec :}$$

L : longueur du rectangle équivalent (m) ;

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

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

Tableau 2. Indice de pente de ROCHE dans le bassin versant de l'oued Kébir Ouest

Tranche d'altitude (m)	S %	hi-hi-1	s.(hi-hi-1)	$\sqrt{s. (hi - hi - 1)}$
0-100	32,4	100	3240	56,9209979
100-200	22,4	100	2240	47,3286383
200-300	17,1	100	1710	41,3521463
300-400	12	100	1200	34,6410162
400-500	7,5	100	750	27,3861279
500-600	4,1	100	410	20,2484567
600-700	1,8	100	180	13,4164079
700-800	1,3	100	130	11,4017543
800-900	0,8	100	80	8,94427191
900-1000	0,5	100	50	7,07106781
1000-1100	0,1	100	10	3,16227766
1100-1200	0,0001	100	0,01	0,1
Somme	1			271,973163

L= 120,19 km ;

D'où **Ip= 24.81 %**.

Le résultat s'avère assez élevé et confère au relief une importante incision.

6.3. Dénivelée spécifique D_s

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique D_s ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à

\sqrt{A} :

$$D_s = I_g \sqrt{A} = \frac{D}{L} \sqrt{Ll} = D \sqrt{\frac{l}{L}}$$

D'où **$D_s = 201,17$ m/km**.

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ($D = H5\% - H95\%$) et de la forme du bassin (l/L).

Elle donne lieu à une deuxième classification de l'IRD (ex : O.R.S.T.O.M.), indépendante des surfaces des bassins :

La D_s estimée par **201,17** m/km traduit bien l'importance du volume montagneux, et de même les importantes dénivelées, et donne au relief du bassin du Kébir Ouest la qualification de R5 ou *Relief assez fort* ($100m < D_s < 250$ m).

Ce relief fort, est un élément déterminant de la réaction du bassin vis-à-vis les pluies.

6.4. Classes de pentes

La pente topographique exprime l'inclinaison des versants par rapport à l'horizontal.

C'est un facteur essentiel de l'écoulement de surface, car en effet ce dernier a tendance à avoir plus d'énergie cinétique et vive en présence des fortes pentes et dénivelées. Et par conséquent, elle assure une réponse hydrologique rapide et une dynamique érosive agressive.

Selon Tricart (1957), l'intensité de l'écoulement est fonction de la pente comme suit :

- Écoulement faible : pente inférieure à 10 %.
- Écoulement fort : pente égale à 10 %.
- Écoulement très fort : pente supérieur à 20 %.

Dans le bassin du Kébir Ouest, on a pu faire ressortir quatre classes de pente (tableau 3).

1- La classe des pentes (moins de 5 %) :

Coïncide avec une surface importante et caractérise les basses terrasses de l'Oued Kébir Ouest. Elle se répartisse sur plus de 57% de la superficie totale du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest et constitue une surface favorable à l'agriculture et au pâturage.

2- La classe des pentes (5 – 15 %) :

Elle représente près de 13,26 % du bassin. Soit une superficie totale du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest de 247,11 km². Ces surfaces sont utilisées par les agriculteurs surtout celles de céréalicultures extensives.

3- La classe des pentes (15-20 %) :

Cette classe occupe une superficie de 355,95 km² soit 19,1 % de la superficie totale du bassin. Ces pentes s'étendent au niveau des collines et des versants. Elle couvre la zone d'Essebt et Roknia ayant des terrains contenant des roches moyennement dure.

4- La classe des pentes (> 25%) :

Cette classe occupe environ 190,03 km², soit 10% de la superficie totale du bassin versant, La répartition de cette classe de pentes est rencontrée dans les versants des hautes montagnes.

Tableau 3. Répartition des pentes dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

Classe de pente %	km ²	%
0 – 5	1070,45	57,44
5– 15	247,11	13,26
15- 25	355,95	19,1
> 25	190,09	10,2
Total	1863,6	100

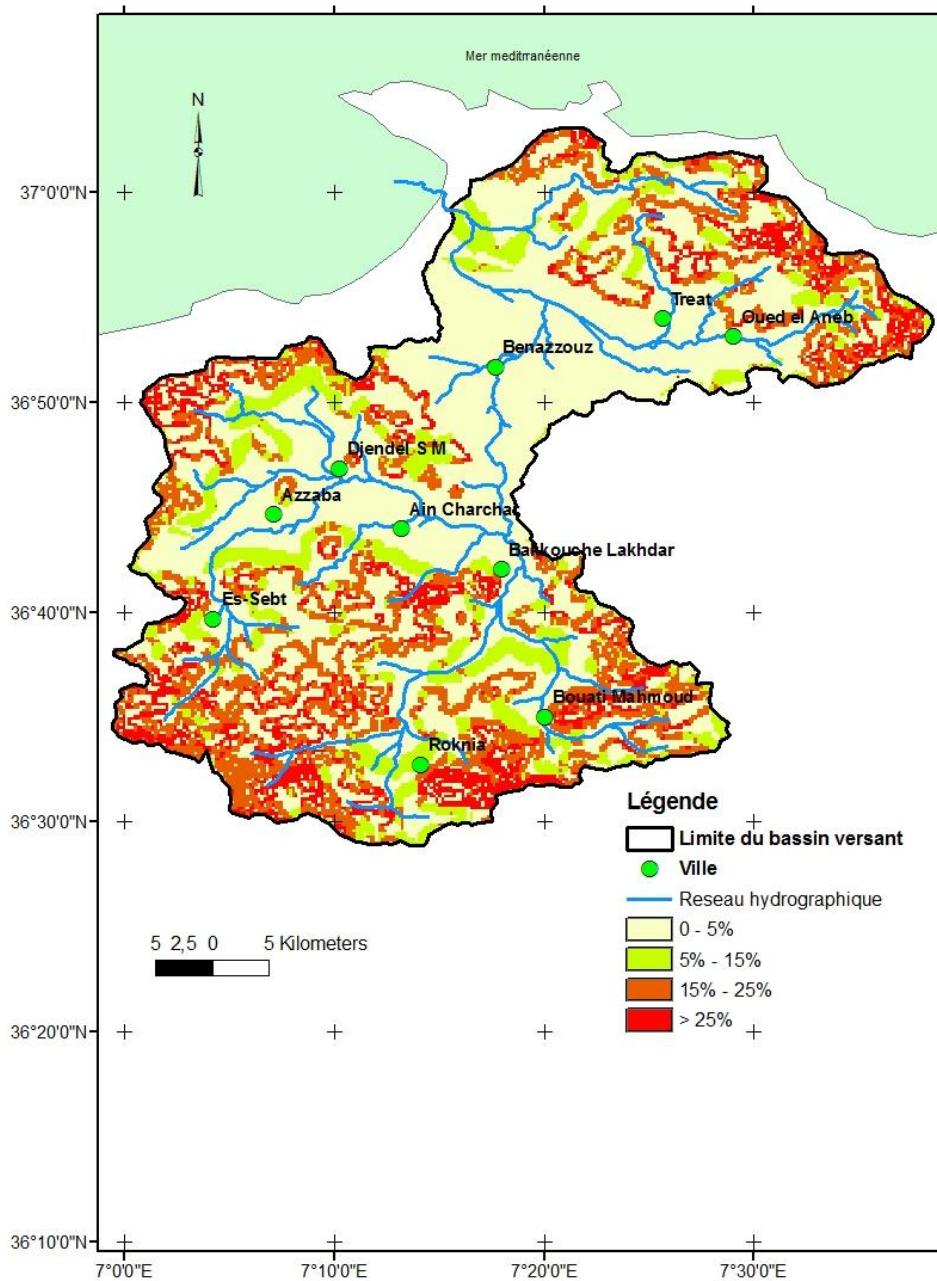


Figure 12. Carte de répartition de pentes du bassin versant d'El Kébir-ouest

II. Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant (Laborde, 2000).

L'étude du chevelu hydrographique servant surtout à comparer des bassins entre eux, il suffit, dans la plupart des cas, de se fixer une définition du thalweg élémentaire et de l'appliquer pour l'étude de tous les bassins.

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

II.1. Hiérarchisation du réseau

La topographie contrastée, l'agressivité du climat et la lithologie tendre (marnes et argiles) ont permis l'installation d'un réseau hydrographique dense. Le bassin d'el Kébir- ouest est drainé principalement par : l'Oued Emchekel et l'Oued El Hammam et l'Oued el Kébir Magroun.

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs. Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle de Strahler :

- tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1,
- au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n + 1$,
- un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par :

$$n + (n + 1) = n+1 \text{ et } n + m = \max (n,m).$$

Pour le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest la classification de chevelu hydrographique est représentée dans le tableau 4.

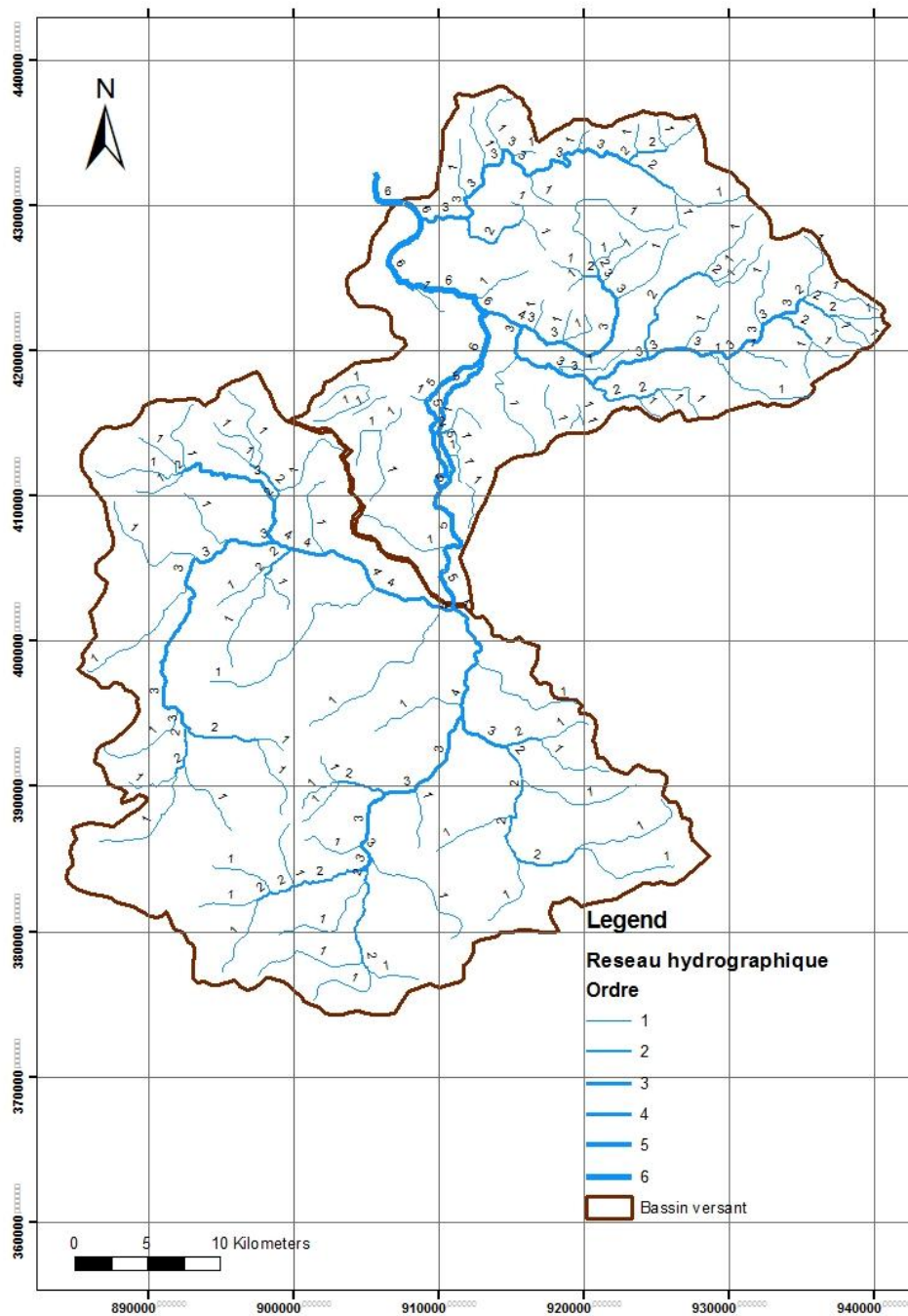


Figure 13. Carte du réseau hydrographique dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

Tableau 4. Classification du chevelu hydrographique du bassin versant

Ordre	Nombre	L (km)
6	6	22,19
5	8	34,14
4	9	26,42
3	35	112,25
2	39	90,18
1	107	507,12
Total	204	792,30

II.2. Densité de drainage (Dd)

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant. L'utilisation de ce paramètre significatif est conseillée en vue de connaître si le chevelu du réseau hydrographique est dense ou lâche.

$$Dd = \frac{L}{A} \quad \text{Avec :}$$

L : longueur totale curvimétrée (km) des cours d'eau permanents et temporaires ;

A : superficie du bassin (km²).

$$Dd=0,425 \text{ km/km}^2$$

La longueur totale de tous les cours d'eau du bassin est de 792,23 km, la densité de drainage est de l'ordre de 0,425 km/ km².

II.3. La fréquence des thalwegs d'ordre 1 (F1)

C'est le rapport du nombre total de thalwegs d'ordre 1 à la surface du bassin versant, en (km⁻²), la fréquence des drains utilisée ici est celle de Strahler. Cet indice peut être significatif que la densité de drainage, car il tient compte, non pas de la longueur mais du nombre des thalwegs d'ordre 1.

$$F1 = \frac{N1}{A} \quad \text{Avec :}$$

N1 : nombre de thalwegs d'ordre 1 ;

A : superficie du bassin (km²).

Dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest, nous remarquons que la valeur est (F1=0,057km⁻²) ou la contribution des drains de l'ordre 1 est considérable.

II.4. Le temps de concentration (Tc)

C'est le temps mis par la première goutte de pluies tombée sur le point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire. Ce paramètre est en fonction de la pente, la lithologie, l'intensité de précipitation est le couvert végétal en jouant le rôle d'empêchement ou d'encouragement de l'eau de s'écouler. Parmi les formules proposées pour calculer le temps de concentration, nous utiliserons celle de Giandotti ; car elle tient compte des paramètres morphométriques :

$$Tc = \frac{4 \sqrt{A + 1.5 Lp}}{0.8 \sqrt{Hm}} \text{ Avec :}$$

A : superficie du bassin versant (km²) ;

Lp : longueur du cours d'eau principal (km) ; (Lp du bassin total 76 km)

Hm : altitude moyenne (m). **224,78 m**

D'où : **Tc = 14,83 heures**

II.5. Morphométrie du réseau hydrographique

L'interaction du climat, lithologie et relief ont généré un chevelu hydrographique particulièrement dense, cela est traduit par une densité de drainage (Dd) élevée (2,48km / km²). Certes, cette importance de drainage hydrologique n'a rien d'étonnant quand on sait que le temps de concentration du bassin, calculé à une loi de Giandotti **2** ne dépasse pas les 14 heures.

Ces valeurs indiquent que les pluies précipitées vont être transformées en écoulement, et atteindre l'exutoire au bout d'environ 14 heures.

Et vu l'étendue de la surface du bassin (1863 km²), cette vitesse de mobilisation hydrique paraît assez rapide, et cela est dû aux caractères physiques du bassin précédemment discutés qui favorisent la réponse hydrologique.

Tableau 5. Tableau recapitaliser des paramètres morphométriques du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

Paramètres	Formules ou symboles	Unités	Grandeur
Surface	A	Km ²	1863,6
Périmètre	P	Km	272,95
Altitude médiane	H 50%	m	180
Altitude moyenne	$\bar{H} = \frac{\sum Ai . Xi}{A}$	m	224,78
Indice de compacité	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$		1,77
Dénivelée simple	D = H _{5%} - H _{95%}	m	560
Longueur du rectangle équivalent	$L = \sqrt{A} \cdot \frac{Kc}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1.12)^2}{(Kc)^2}} \right]$	Km	120,19

Indice de pente globale	$I_g = \frac{D}{L}$	m/Km	4,66
Dénivelée spécifique	$D_s = I_g \sqrt{A}$	m/Km	201,17
Indice de pente de Roche	$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{b_i (a_i - a_{i-1})}$	%	2,481
Densité de drainage	$D_d = \frac{L}{A}$	Km/Km ²	0,425
Fréquence des thelwegs d'ordre 1	$F_1 = \frac{N_1}{A}$	Km ⁻²	0,057
Temps de concentration	$T_c = \frac{4 \sqrt{A + 1.5 L p}}{0.8 \sqrt{H_m}}$	Heure	14,83

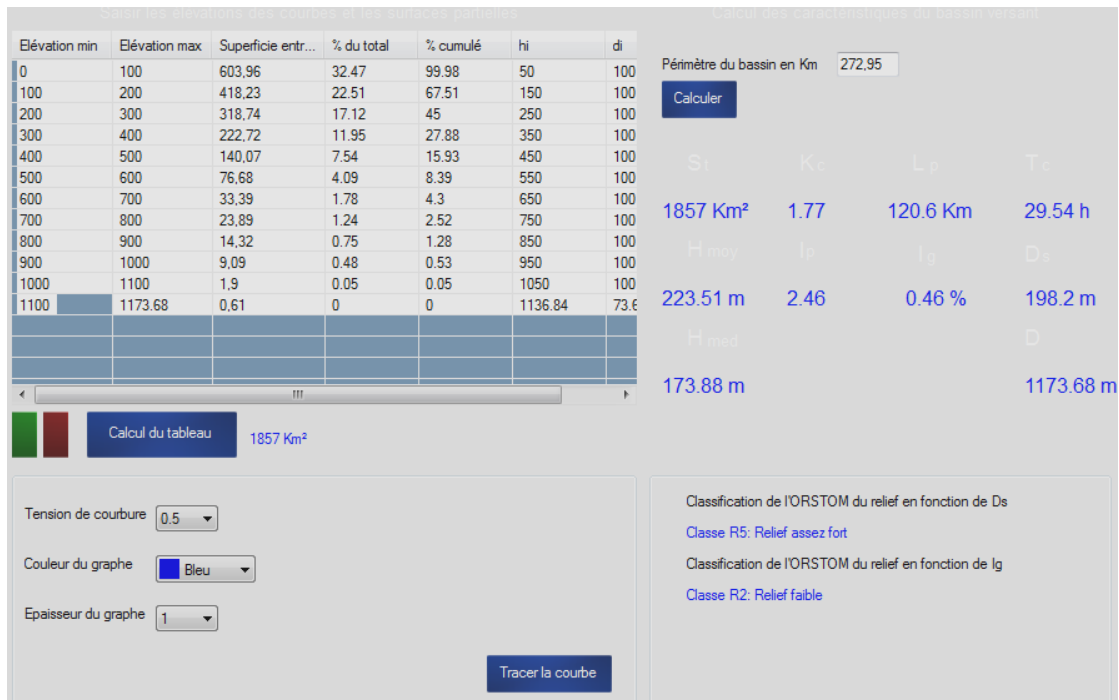


Figure 14. Caractéristiques du bassin versant calculés par le logiciel WCS 1.0 LIGHT

Conclusion

L'analyse des caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest nous a permis de dégager les principaux paramètres qui ont une influence certaine sur le dynamisme des eaux surtout superficielles, qui y circulent.

La forme rectangulaire (allongée) du bassin, la dominance des classes altimétriques inférieur à 200 m et l'altitude moyenne est de 224,78 m.

Le relief du bassin est faible à assez fort, selon les valeurs de l'indice de pente globale (2,48 m/km) et de la dénivelée spécifique (201,17m/km).

Plus de 57% de la superficie du bassin ont des pentes inférieures à 5%.

Le temps de concentration long (>14 heures) pour la concentration des eaux et des crues, et la densité de drainage moyenne de l'ordre de 0,425 km/km².

CHAPITRE III

CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT

INTRODUCTION

Sous l'effet de la chaleur, l'eau s'évapore au-dessus des océans, du sol et des plantes, puis se condense dans l'atmosphère, en formant des nuages. Elle est ensuite transportée par les vents et précipitée sur les continents. C'est ce que l'on appelle le cycle hydrologique ou cycle de l'eau. Or, l'étude de l'abondance de l'eau dans une région est principalement liée aux composantes de ce dernier.

La zone d'étude se situe à proximité de la côte de la mer Méditerranée, elle est caractérisée par un climat de type méditerranéen. Son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la précipitation météorique et la température :

Nous tenterons à partir des données disponibles, de faire ressortir les caractères généraux du climat de la région, ses nuances spatiales et ses irrégularités temporelles.

Quatre stations pluviométriques (Azzaba, Bekouche Lakhdar, Skikda et Berrahal) sont retenues dans cette étude, avec une série d'observation commune de 31 ans allant de 1980 à 2011, les coordonnées des stations sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 6. Coordonnées géographiques des stations météorologiques retenues dans l'étude du climat du bassin versant (ANRH)

Station	Azzaba	Bekouche Lakhdar	Skikda	Berrahal	
Code	03-11-06	03-11-02	03-11-02	03-13	
Coordonnées	X	893,63	911,45	874,50	923.35
	Y	391.00	385,30	406,39	405.56
	Z	95,00	81,00	1,30	33,00

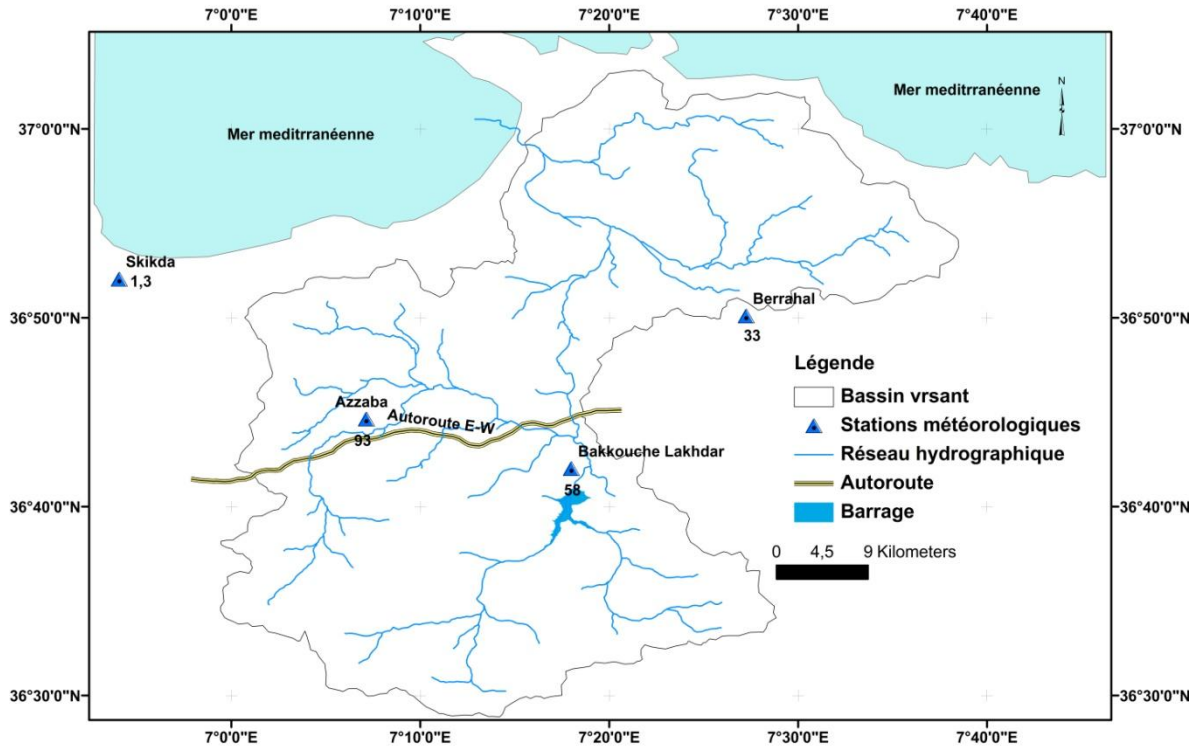


Figure 15. Les stations pluviométriques retenues dans l'étude (Hadj Said, 2007)

I. PRECIPITATIONS METEORIQUES

Il s'agit d'estimer la précipitation totale annuelle, saisonnière et mensuelle sur l'ensemble du bassin, l'analyse des données se fait à l'aide du logiciel HYDROLAB. Pour aborder l'étude du bilan moyen de l'écoulement, et l'abondance des cours d'eau, il est important donc de connaître les totaux pluviométriques moyens ou modules pluviométriques.

I.1. Analyse statistique des données pluviométriques

En vue d'une utilisation effective des données pluviométriques, l'analyse primaire de ces séries semble primordiale. Elle permet de contrôler (Musy & Higy, 2004) :

- La vraisemblance de l'information,
- L'homogénéité spatiale et temporelle des données,
- La représentativité des mesures.

Examen de la normalité des précipitations

Avant de pouvoir exploiter les données pluviométriques dans le bassin Kébir Ouest, il est important de les ajuster tout d'abord à la loi normale ou loi Gaussienne. Sur une période de 31 ans allant de 1980 à 2011, nous avons réalisé un examen visuel sur les valeurs de précipitations à l'échelle annuelle des quatre stations (Azzaba, Bekouche Lakhdar, , Skikda et Berrahal), pour savoir si cet échantillon de 30 valeurs suit la loi normale. La procédure utilisée est la suivante :

- Classement de la série des modules pluviométriques dans l'ordre croissant, associant à chaque valeur un rang r .
- Détermination pour chaque valeur de la fréquence empirique, utilisant la formule de Hazen :

$$F = \frac{r - 0.5}{n},$$

r étant le rang de chaque valeur et n la taille de l'échantillon. A chaque

fréquence empirique, nous avons fait correspondre ainsi une variable normale centrée et réduite.

- Construction du graphe des valeurs pluviométriques en fonction de la variable réduite de Gauss U .

$$U = \frac{Pi - \bar{P}}{\sigma}$$

Un examen visuel des graphiques représentatifs d'ajustement à la loi normale

(Figure 16) affirme que les valeurs pluviométriques annuelles des stations de référence s'ordonnent suivant la loi normale.

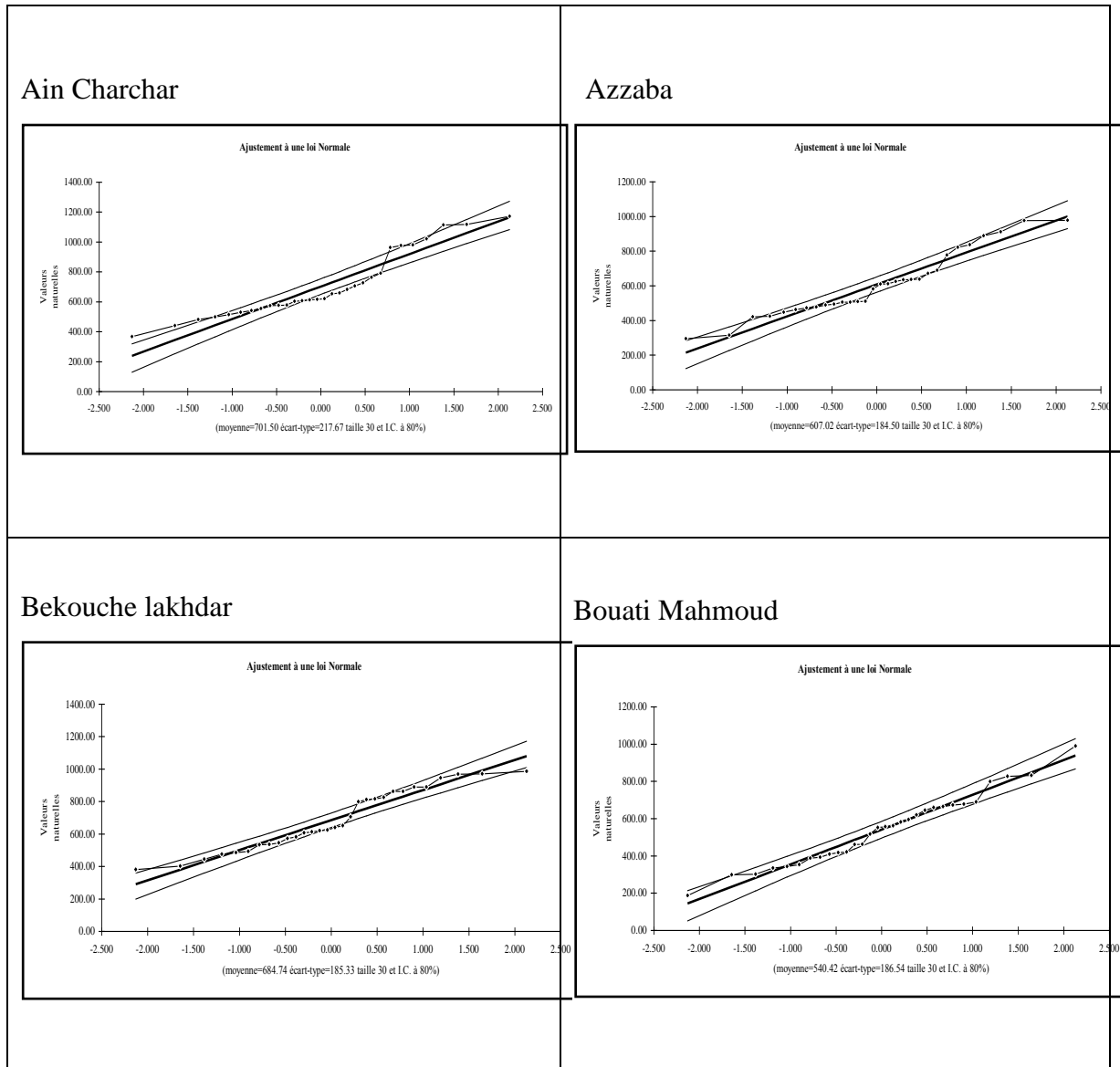


Figure 16. Ajustement à la loi de Gauss des hauteurs de précipitations annuelles moyennes des quatre stations retenues dans l'étude (1980-2011)

I.2. Précipitations moyennes mensuelles

La répartition mensuelles et saisonnière, influence directement les régimes hydrologiques, il est donc nécessaire de calculer les hauteurs de pluies moyennes mensuelles pour chaque station, et pour chacun des mois de l'année.

Ces hauteurs permettent de traduire les variations saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle.

Tableau 7. Précipitations moyennes mensuelles (1980/1981 – 2010/2011)

STATION	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	TOTAL
Azzaba	30,40	56,33	94,91	125,95	100,20	86,32	63,11	42,06	24,61	6,82	0,47	8,32	639,51
Bekouche L	33,50	44,75	73,82	111,00	85,96	69,20	70,16	48,91	23,93	8,80	1,18	4,42	575,64
Berrahal	32,01	60,83	93,34	131,36	105,27	79,35	69,14	57,64	40,66	11,32	3,13	5,99	690,05
Skikda	47,68	69,81	103,62	150,23	115,19	96,45	68,55	62,73	38,48	15,48	2,81	10,13	781,16

Les valeurs de précipitations moyennes mensuelles des quatre stations pour la période de (1980 – 2011) sont traduites dans les histogrammes (Fig. 17).

Le mois de juillet est le mois le plus sec où les précipitations sont presque nulles, la hauteur maximale de précipitations moyennes mensuelles est enregistrée au mois de décembre pour les quatre stations où elle dépasse 129 mm dans la station d'Ain Charchar.

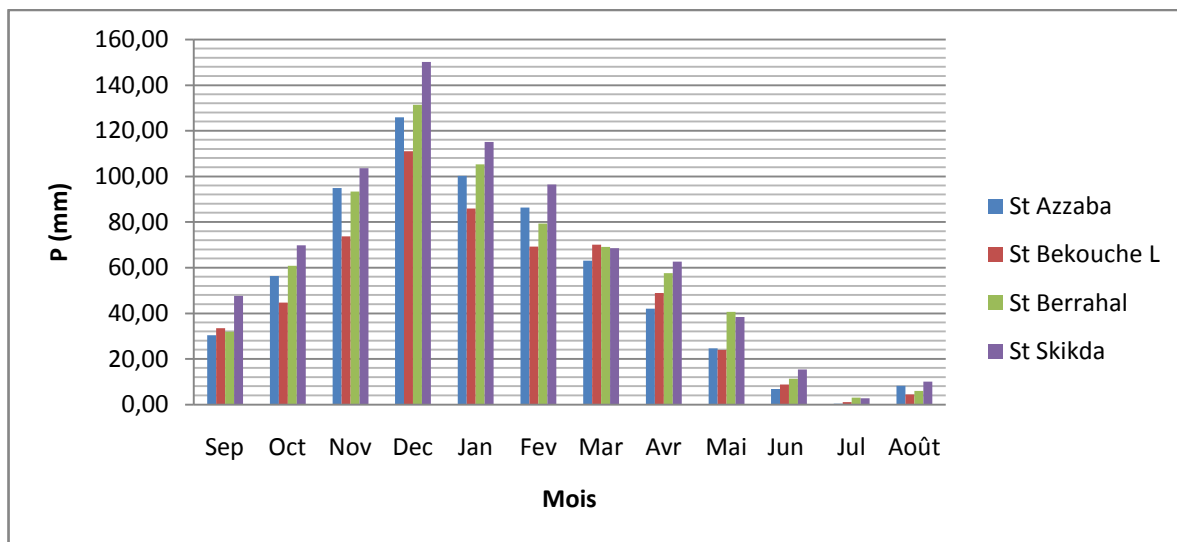


Figure 17. Moyennes de précipitations moyennes mensuelles (1980/1981-2010/2011)

I.3. Régime pluvial mensuel

L'étude du régime pluvial mensuel est facilitée par le calcul des coefficients pluviométriques relatifs grâce à la formule d'ANGOT (1895) qui s'exprime de la manière suivante :

$$i = 365 \cdot \frac{P_i / n_i}{P}$$

Avec :

i : coefficient pluviométrique relatif mensuel.

P_i : précipitation du mois en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

n_i : nombre de jours dans le mois.

Tableau 8. Coefficients pluviométriques relatifs mensuels. D'après la méthode d'ANGOT (1895)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août
St Azzaba	0,58	1,04	1,81	2,32	1,84	1,76	1,16	0,80	0,45	0,13	0,01	0,15
St Bekouche L	0,71	0,92	1,56	2,27	1,76	1,57	1,44	1,03	0,49	0,19	0,02	0,09
St Berrahal	0,56	1,04	1,65	2,24	1,80	1,50	1,18	1,02	0,69	0,20	0,05	0,10
St Skikda	0,74	1,05	1,61	2,26	1,74	1,61	1,03	0,98	0,58	0,24	0,04	0,15

Le coefficient pluviométrique relatif nous permet de diviser l'année en deux saisons, la saison hivernale (pluvieuse) et la saison estivale (sèche). Le mois est pluvieux si son coefficient est supérieur ou égale à l'unité, et sec dans le cas contraire.

On note une saison pluvieuse de cinq mois pour la station d'Azzaba contre une saison sèche de sept mois, les stations d'Ain Charchar et Bekouche Lakhdar, sont caractérisées par deux saisons qui sont pratiquement égaux.

D'après le graphe il est apprais clairement que le mois de décembre est le mois le plus pluvieux ou le coefficient dépasse le 1.9 et que la pluviométrie minimale enregistrée au mois de juillet entre 0.01 et 0.06 pour les quatre stations pluviométriques.

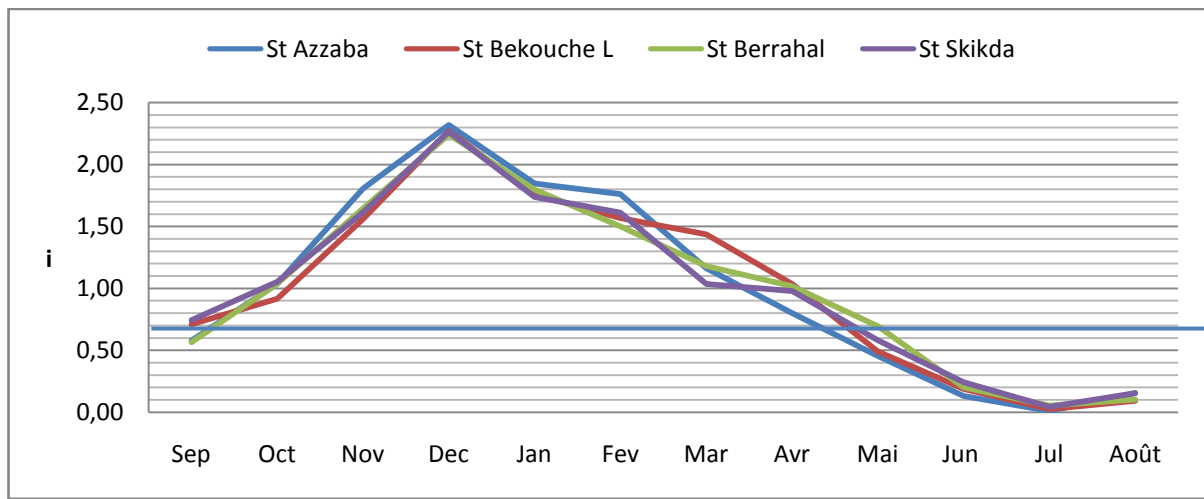


Figure 18. Régime pluvial mensuel dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

I.4. Hauteurs de précipitations moyennes annuelles et leur variabilité temporelle

La moyenne interannuelle des 30 années d'observations dans les quatre stations révèle que la plus forte pluviométrie moyenne est enregistrée à la station de Skikda à l'Est du bassin avec une hauteur moyenne annuelle dépasse 781 mm, la station de Bekouche Lakhdar enregistre une hauteur de pluie faible par rapport aux autres stations (575 mm).la Figure 19 représente la variation interannuelle des précipitations pour les quatre stations retenues.

Les irrégularités interannuelles des précipitations sont traduites par le coefficient de variation (cv) égale au rapport de l'écart type à la moyenne.

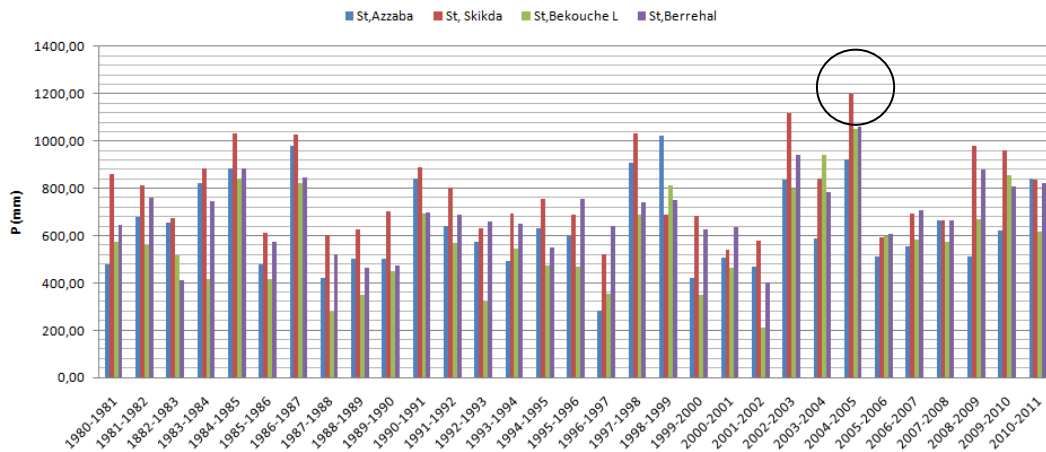


Figure 19. Variation des précipitations moyennes annuelles (mm)

Les pluviométries maximales ont été observées en 2004/2005 à la station de Skikda, Bekouche Lakhdar et Berrahal, en 1998/1999 à celle de Azzaba. Dans cette dernière station la pluviométrie minimale a été enregistrée en 1996/1997, et c’est en 1995/96 à la station de Skikda et 2001-2002 dans les deux autres stations.

Tableau 9. Précipitations annuelles et leurs variabilités

Station	St. Skikda	St. Azzaba	St. Bekouche Lakhdar	St. Berrahal
P (mm)				
Max	1198,30	1021,60	1049,4	1060,6
Année	2004-05	1998-99	2004-05	2004-05
Min	518,50	282,80	209,60	400,60
Année	1995-96	1996-97	2001-02	2001-02
Moyenne	781,16	639,51	575,64	690,05
Ecart type	179,63	188,04	204,84	152,70
CV	0,23	0,29	0,36	0,22

Avec :

$$cv = \frac{\sigma P}{P}$$

$$\sigma P : \text{Ecart type} = \sqrt{\frac{\sum (P_i - \bar{P})^2}{n}}$$

Pour $n = 30$

$$\bar{P} : \text{La moyenne} = \frac{\sum P_i}{n}$$

n : taille de l'échantillon.

Les coefficients de variations varient peu d'une station à l'autre, ils sont compris entre 0.22 et 0.36, ce qui se traduit par une certaine régularité de la distribution des précipitations moyennes annuelles tant au niveau spatial que temporel ; le bassin étant protégé par des montagnes contre la pénétration des masses humides transportées par les cyclones méditerranéens.

L'irrégularité pluviométrique est également exprimée par les écarts à la normale, qui sont élevés notamment pour l'année la plus sèche et l'année la plus humide.

L'écart à la moyenne caractérise l'excédent ou le déficit de précipitations de l'année considérée par rapport à la moyenne des 30 ans.

L'écart à la normale :

$$ei = \frac{P_i - P_n}{P_n} \times 100 \quad \text{Avec}$$

P_i : Total de l'année considérée en mm ;

P_n : Précipitation moyenne pour la série d'observation (30 ans) en mm.

Tableau 10. Ecart à la normale des précipitations annuelles (1980/1981-2010/2011)

<i>Station</i>	<i>St. Skikda</i>	<i>St. Azzaba</i>	<i>St. Bekouche</i>	<i>St. Berrahel</i>
P de l'année sèche extrême (mm)	518,50	282,80	209,60	400,60
Période	95/96	96/97	2001/02	2001/02
Ecart à la normale	-33,62	-55,78	-63,59	-41,95
P de l'année humide extrême (mm)	1198,30	1021,60	1049,4	1060,60
Période	2004/05	98/99	2004/05	2004/05
Ecart à la normale	53,62	59,75	82,30	53,70

I.5-Calcul de la lame d'eau moyenne annuelle précipitée à l'échelle spatiale

En climat méditerranéen, la moyenne pluviométrique ne reflète pas la réalité climatique, pourtant sa détermination demeure nécessaire pour l'étude de l'abondance fluviale et permet de cerner la variabilité des précipitations sur de longues séries d'observations.

Trois méthodes ont été utilisées pour le calcul de la lame d'eau précipitée sur le bassin de l'Oued Kébir Ouest.

I.5.1- La méthode ARITHMETIQUE (1976/77-2005/06)

La lame d'eau moyenne précipitée pour l'ensemble du bassin est égale à :

$$\bar{H} = \frac{\sum P_i}{n}$$

\bar{P}_i : Précipitation annuelle moyenne pour chaque poste pluviométrique en mm;

n : nombre de poste.

$$\bar{H} = 671,59 \text{ mm}$$

I. 5.2- La méthode de Polygones de Thiessen

C'est une méthode géométrique qui consiste à attribuer à chaque pluviomètre une zone d'influence (fig. 20), la hauteur des précipitations recherchée sur le bassin est égale à :

$$\bar{H} = \frac{\sum P_i \times A_i}{A}$$

\bar{H} : Lame d'eau annuelle moyenne précipitée en mm ;

\bar{P}_i : Précipitation moyenne annuelle pour chaque poste pluviométrique en mm;

A_i : Surface planimétrie de polygone considéré en Km^2 ;

A : Surface totale du bassin en Km^2 .

Tableau 11. Les résultats de calcul de la lame d'eau

Station	Polygone	P_i (mm)	A_i (km^2)	$P_i.A_i$ (mm. km^2)
Azzaba	1	639,51	603,2	385752,43
Berrahal	2	690,05	635,4	438457,77
Bekouche lakhdar	3	575,65	603,4	347347,21
Skikda	4	781,16	5,7	4452,601
Total			1847,7	1176010

$$\bar{H} = 636,47 \text{ mm.}$$

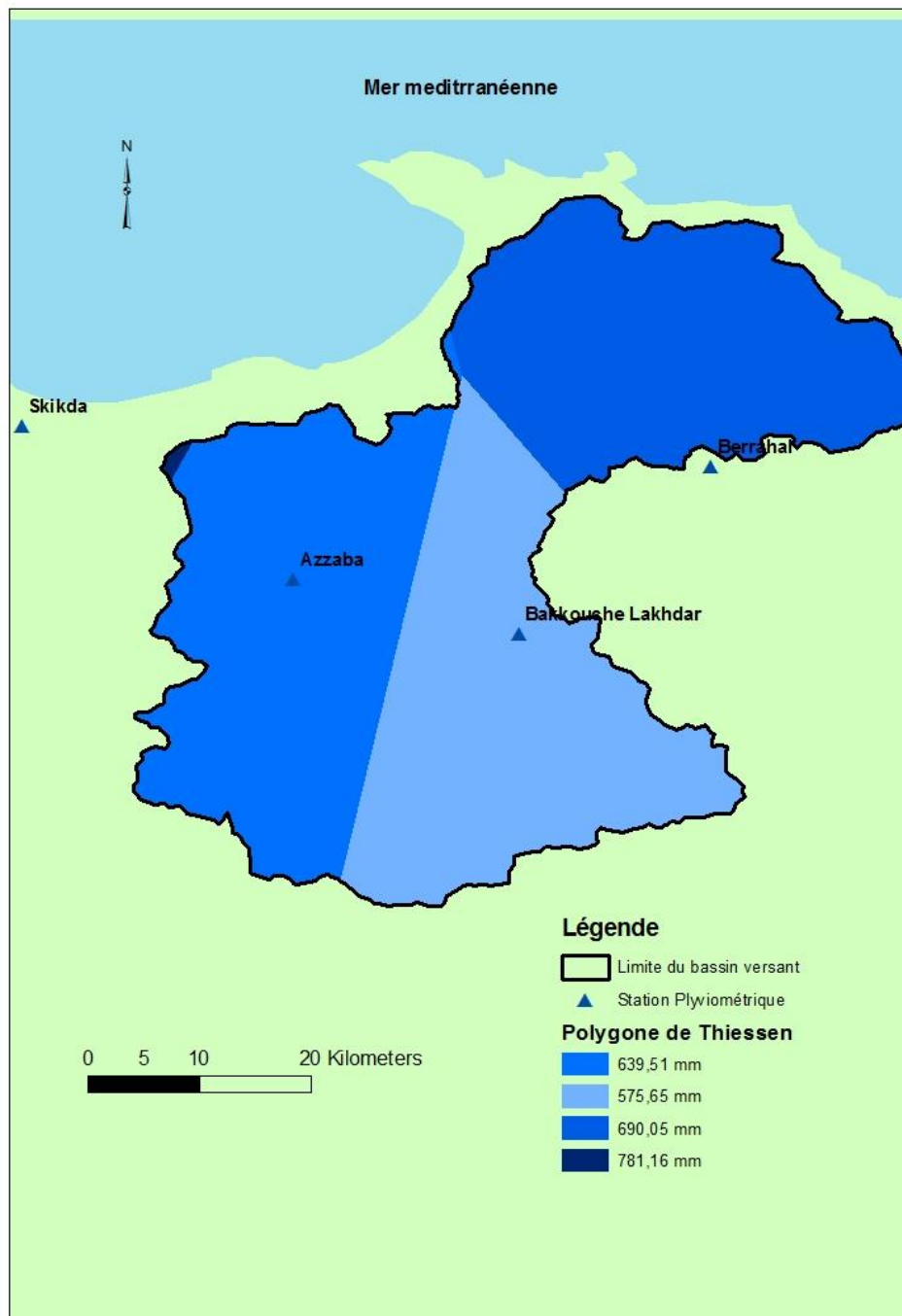


Figure 20 Polygones de THIESSEN dans le bassin versant du Kébir-ouest (1980-2011)

1.5.3 Méthode des isohyètes

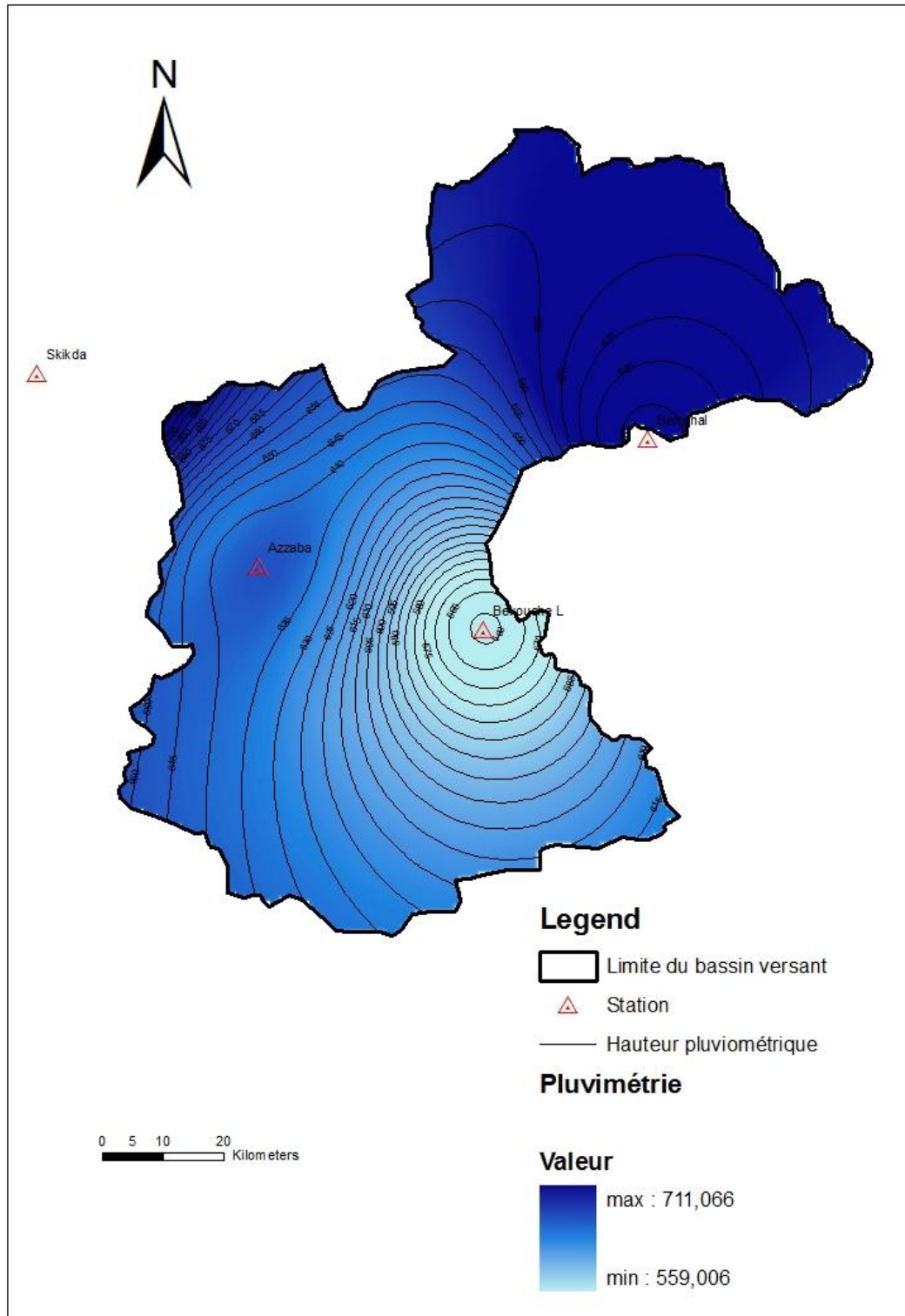


Figure 21 Carte isohyète dans le bassin versant d'el Kébir-ouest (1980-2011)

Tableau 12 Superficies de classes de précipitations dans le bassin versant du Kebir ouest (1980-2011)

<i>Classe P (mm)</i>	<i>Pim (mm)</i>	<i>Ai (km2)</i>	<i>Pim*Ai (mm.km2)</i>
559,00 - 575,00	567,00	75,27	42678,09
575,00 - 615,00	595,00	393,98	234418,10
615,00 - 640,00	627,50	484,45	303992,38
640,00 - 675,00	657,50	764,91	502928,33
675,00 - 711,00	693,00	126,10	87387,30
Somme		1844,71	1171404,19

$$\bar{H} = 635,01 \text{ mm.}$$

Les résultats de calcul de la moyenne pondérée (méthode de Thiessen et la méthode des isohyètes) sont les plus fiables, les deux valeurs de la lame d'eau moyenne précipitée sur l'ensemble du bassin sont très proches.

II. TEMPERATURE

La température, excellent paramètre pour caractériser le climat, trouve son importance dans l'évaluation du déficit d'écoulement qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique.

II.1 Températures moyennes mensuelles

Dans notre cas, deux séries d'observations de températures ont été utilisées, celles de la station de Skikda, située au Nord-Ouest du bassin et a pour altitude 1,3 m, et celle d'Azzaba pour la période de (1980/81 – 2010/11), les valeurs moyennes des températures mensuelles sont présentées dans les tableaux 13.

Les températures moyennes mensuelles sur la période d'étude à la station d'Azzaba varient entre 9,2 °C en Janvier et 27,2 °C comme maximum enregistrée dans le mois d'Août. La température moyenne annuelle est de 17,92 °C.

Tableau 13. Variations de températures mensuelles de la station d'Azzaba (1980/81 – 2010/11) (ANRH)

<i>Mois</i>	<i>sep</i>	<i>oct</i>	<i>nov</i>	<i>déc</i>	<i>janv</i>	<i>févr</i>	<i>mars</i>	<i>avr</i>	<i>mai</i>	<i>juin</i>	<i>juil</i>	<i>août</i>	Moy
Max	33,1	26,3	20	19,3	13,6	15,1	18,1	21,5	26	29,6	31,6	36,9	24,26
Moyenne	25,2	21	14,6	13,9	9,2	9,9	12,4	15,3	18,3	22,1	25,9	27,2	17,92
Min	17,2	15,7	9,1	8,5	4,7	4,6	6,7	9	10,5	14,5	17,1	17,5	21,09

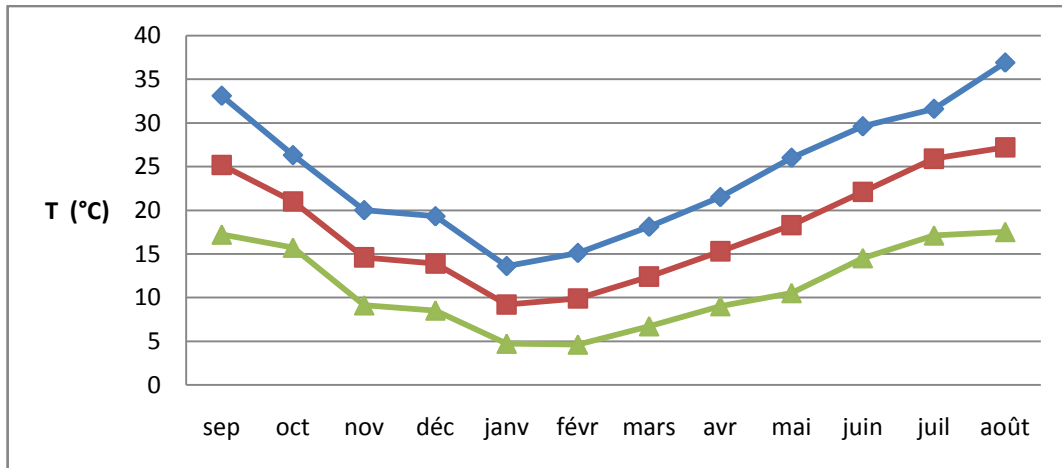


Figure 22 Courbe de variations des températures mensuelles à la station de Azzaba (1980/81 – 2010/11)

L'examen des températures moyennes mensuelles à la station de Skikda, montre que le mois le plus froid est le mois de janvier. La moyenne est de 12.4 °C, la température minimale extrême s'abaisse durant ce mois à 8.6°C. Le mois le plus chaud est le mois d'août, avec une moyenne de 25.5 °C. la moyenne annuelle est de l'ordre de 18,54

Tableau 13. Variations de températures mensuelles de la station de Skikda (1980/81 – 2010/11)

Mois	sep	oct	nov	déc	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	Moy
Max	25,7	23,3	18,1	16,1	15,2	14,8	17,9	18,3	21	25,5	28,1	29,2	21,10
Moyenne	23,9	20,9	16,7	13,8	12,5	12,6	14,1	16,0	18,7	22,2	25,2	25,9	18,54
Min	22,1	18,2	15,1	10,5	9,9	10,1	12,5	11	13,5	20,3	22	23,6	15,73

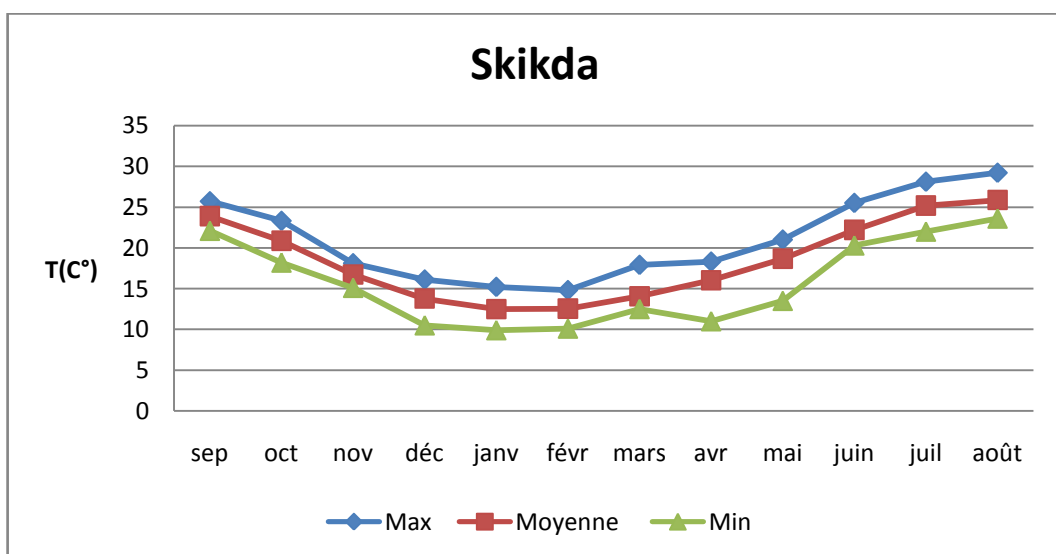


Figure 23 Courbe de variations des températures mensuelles à la station de Skikda (1980/81 – 2010/11)

A l'échelle annuelle les températures enregistrées dans les deux stations sont très proches, cependant, l'écart thermique à la station d'Azzaba (18°C) est très élevé par rapport à celui de la station de Skikda (13,4 °C) justifié par le rapprochement de cette dernière à la mer qui joue le rôle d'adoucisseur de la température, et l'altitude de la station d'Azzaba (95 m).

II.2. Courbe Ombro-thermique (relation précipitation-température)

La zone d'étude est caractérisée par un climat doux et humide en hiver, chaud et sec en été, ces caractéristiques indiquant un climat méditerranéen.

A partir des diagrammes ombro-thermique des quatre stations (Fig. 24, 25, 26 et 27), on distingue une saison sèche s'étend de la fin d'avril au début d'octobre et une saison humide allant de septembre à avril pour la station de Azzaba, pour les deux stations Skikda et Berrahal la saison humide débute au mi-septembre et la saison sèche commence au mois de Mai, à la station de Bekouche Lakhdar la saison humide s'étale du moi de Septembre au moi d'Avril. Les mois les plus pluvieux se succèdent de novembre à mars, ce qui traduit le climat méditerranéen à caractère semi-aride du bassin.

Sur le plan temporel, on constate une nette coïncidence typiquement méditerranéenne entre le maximum thermique et le minimum pluviométrique, ce qui se traduit par une sécheresse marqué ou l'évapotranspiration atteint son maximum.

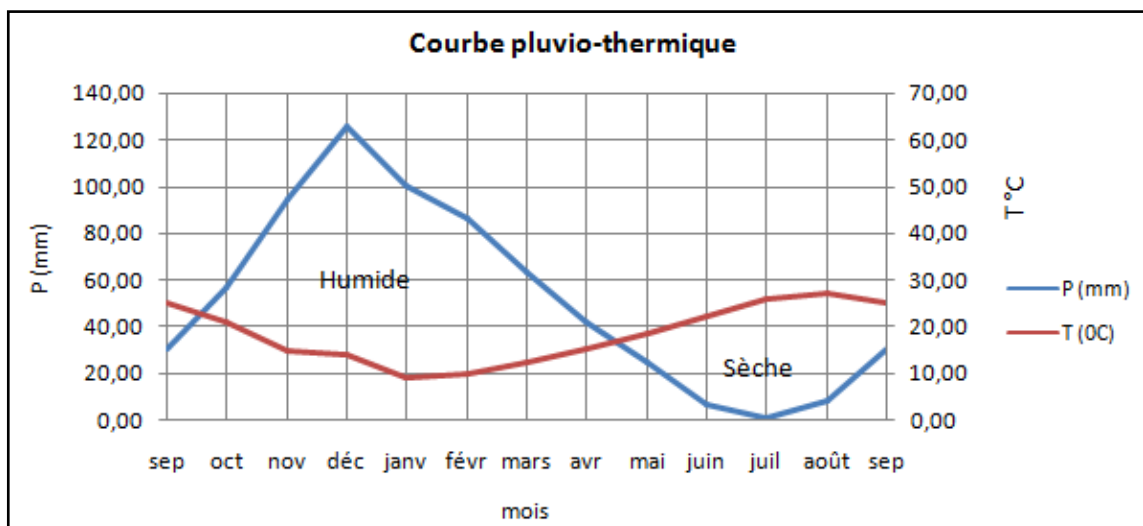


Figure 24 Courbe Ombro-thermique de la station d'Azzaba (1980/81-2010/11).

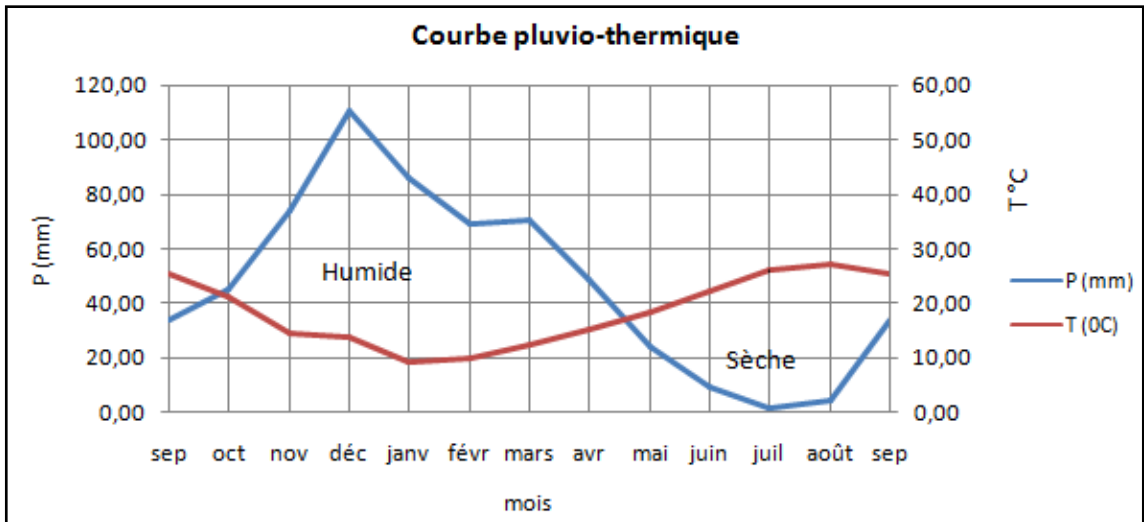


Figure 25 Ombro-thermique de la station de Bekouche Lakhdar (1980/81-2010/11).

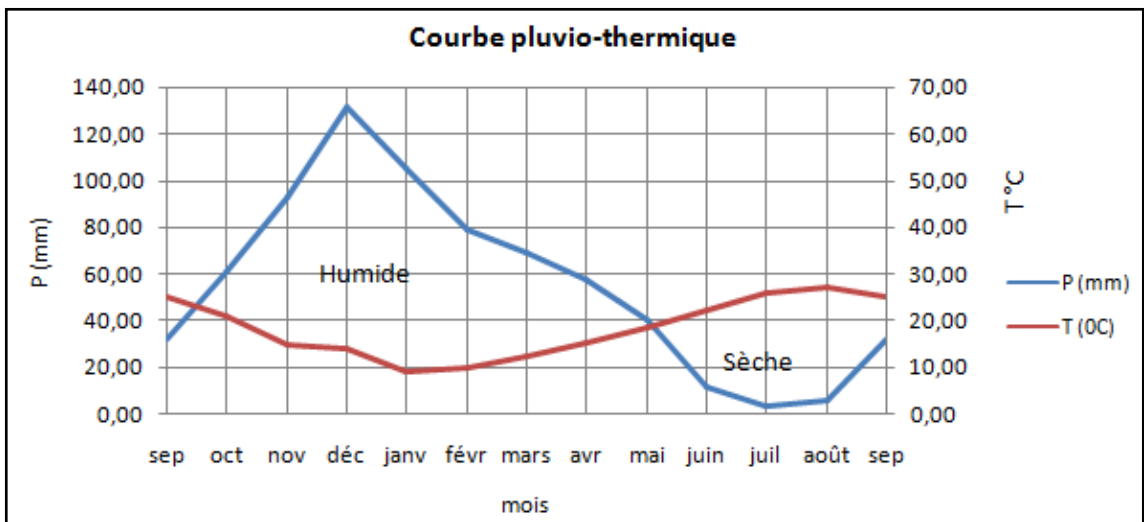


Figure 26 Courbe Ombro-thermique de la station de Berrahal.

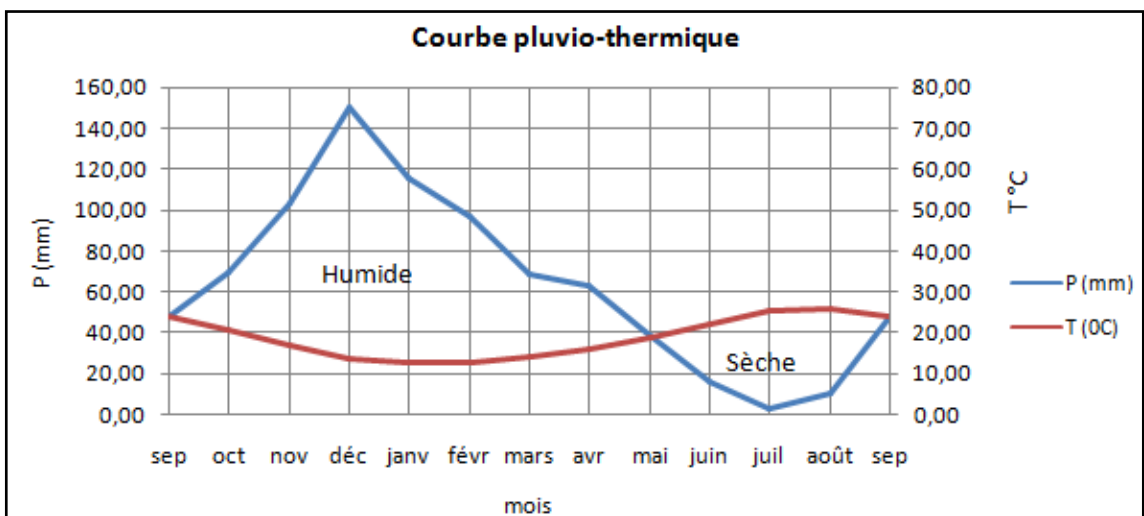


Figure 27 Courbe Ombro-thermique de la station de Skikda.

II.3. Température moyenne annuelle à la station de Skikda

L'évolution annuelle des températures moyennes enregistrées à la station de Skikda, représentées dans la Figure 28 , la courbe montre une température qui variée entre 17 et 18°C pour les années de 1980 à 1994, puis les fluctuations deviennent entre 18 et 19°C, d'où, une tendance à l'augmentation traduite par l'équation de la droite de tendance. Cette équation indique une augmentation de l'ordre de 1,38 °C dans 30 ans. Ce qui indique l'influence du changement climatique sur la zone.

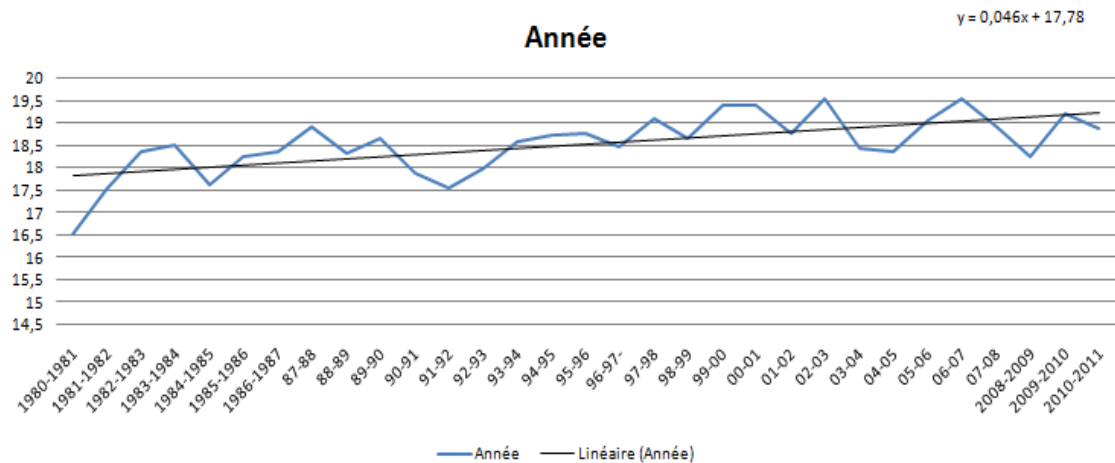


Figure 28 Evolution des températures moyennes annuelles à la station de Skikda (1980-2011)

II.4. Indice d'aridité de DE MARTONNE

L'indice de l'aridité est un indicateur quantitatif du degré du manque d'eau présente à un endroit donné (Oliver, 2006). On va calculer cet indice (A) par la formule de DE MARTONNE.

Indice d'aridité : $A = \frac{P}{T+10}$

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (C°).

Si A est compris entre 5-10 : milieu très sec.

10-20 : milieu semi-aride.

20-30 : milieu tempéré.

Le tableau (13) montre la température moyenne annuelle, la précipitation moyenne annuelle, et l'indice d'aridité calculé pour les deux stations Azzaba et Skikda sur la période (1980-2011).

Tableau 13 l'indice d'aridité calculé pour les deux stations Azzaba et Skikda sur la période (1980-2011)

Station	P	T	A
Azzaba	639,51	17,92	22,91
Skikda	781,16	18,54	27,37

Les résultats du calcul de l'indice de DE MARTONNE, est conforme aux valeurs attendues pour la zone indiquent un climat tempéré.

III. AUTRES FACTEURS INFLUENÇANT LE CLIMAT

III.1. L'humidité de l'air

Nous disposons des valeurs moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité relative de deux stations hors le bassin versant : celles de Guelma, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 62.58 %, et celles de la station de Skikda avec une moyenne de 72.26 %, sur une période d'observation de dix ans (1993-2003). En générale les moyennes mensuelles ne descendent pas au-dessous de 50% dans la station de Guelma et 70 % dans celle de Skikda.

Tableau 14. Humidité relative mensuelle à la station de Skikda et Guelma (H)en %

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	A
Skikda	72.4	72.3	71.5	72.3	72.7	72.0	72.9	72.5	72.6	72.6	70.9	72.4
Guelma	61.0	66.5	76.4	76.8	75.4	75.0	73.4	67.8	70.7	64.5	53.1	65.3

Source : météo Skikda.

La variation de l'humidité relative au cours de l'année et irrégulière, elle atteint leur minimum au mois de juillet, tandis que, le maximum est enregistré au mois de mars à la station de Skikda et décembre à la station de Guelma.

III.2. Le vent

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat.

D'après les données de la station de Skikda et de Guelma, les vents dominants sont de direction Nord-ouest et Nord-est. Leur activité se manifeste pendant la période pluvieuse. Ces vents soufflent en été sous forme de Sirocco. Ils sont secs, chauds et souvent assez forts, favorisant ainsi l'évaporation.

Tableau 15. Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/s) (1968-2003)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	A
Skikda	9.86	9.83	10.2	11.9	11.4	11.1	10.5	10.2	9.47	9.40	9.43	9.32
Guelma	8.70	7.00	4.30	4.00	3.70	7.30	6.30	7.00	7.70	10.0	10.7	9.3

Source : SELTZER.

IV. EVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration est définie comme étant l'ensemble des pertes par transformation de l'eau en vapeur, autrement dit, c'est la somme de l'évaporation (phénomène physique), et la transpiration de la couverture végétale (phénomène biologique).

IV.1. Bilan hydrologique selon la méthode de THORNTHWAITTE

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule a été appliquée. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum (Gaude 1976 in Debieche, 2002).

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitation, température, le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i)) de calculer l'évapotranspiration potentielle selon la relation suivante :

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

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.5}$$

$$I = \sum_1^{12} i$$

$$a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$$

t est la température moyenne mensuelle du mois considéré ;

ETP est l'évapotranspiration potentielle du mois considéré (en mm d'eau) ;

K est un coefficient d'ajustement mensuel.

$$K = \frac{n \times H}{360}$$

n.H : durée mensuelle du jour en heures par mois

Tableau 14 Durée mensuelle du jour en heures par mois en fonction de la Latitude

$$\text{Correction pour la latitude: } K = \frac{n.H}{360}$$

Latitude	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
n.H : durée mensuelle du jour en heures par mois												
30 °	324	313	372	387	425	422	429	410	371	355	320	317
32 °	320	311	372	389	429	427	434	413	371	354	316	312
34 °	316	309	372	391	433	432	439	416	372	352	312	307
36 °	311	307	371	391	437	437	444	419	373	354	306	302
38 °	306	304	371	395	441	443	449	422	373	348	301	297

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

- si pour un mois $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $DA = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Les résultats de calcul de ces paramètres pour les stations d'Azzaba, sont présentés dans le tableau suivant :

Afin d'éclairer les résultats obtenus, une représentation graphique des données a été faite en (fig. 29). Les tableaux et les graphiques des résultats de calcul du bilan des autres stations sont en annexe.

Le graphe suivant montre que l'évapotranspiration maximum a été observée pendant le mois de Mai 79,7 mm, et que le minimum est observé en mois de Janvier 160 mm, ce qui produit un déficit agricole qui s'étend de Juin à Octobre, son maximum atteint le mois de Juillet (155,3 mm). Par contre, pendant les mois de Décembre, Janvier, Février et Mars le sol est saturé et le surplus d'eau va partir soit sous forme de ruissellement, ce dernier avoir son maximum à Janvier avec 87,7 mm et représente 36,84% de la hauteur des précipitations annuelle.

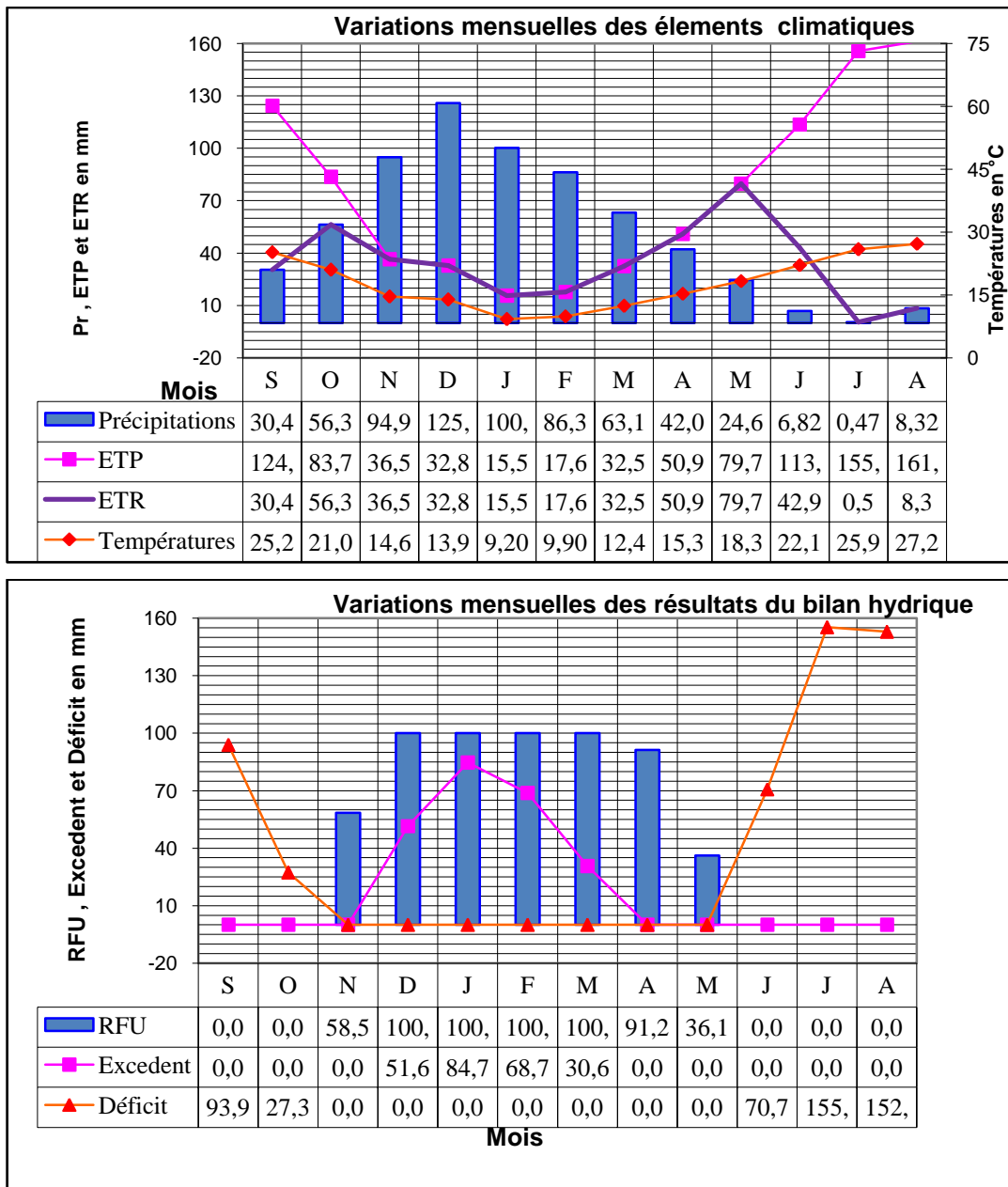


Figure 29 Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite St. Azzaba (1980/1981-2010/2011)

A la station de Skikda, l'ETR maximale est observée le mois de Mai avec 80,5 mm, le minimum au mois de Février (26,3 mm), la RFU atteint son maximum à Décembre ou l'écoulement de surface commence, ce dernier arrive à sa valeur max à Janvier (83,7 mm) et s'annule au mois de Mai, le total annuel de ruissellement est de 249,6 mm, ce qui représente 31,95 % de précipitations. On a enregistré une période de sécheresse allant de Juin à Octobre avec un déficit maximum de 135,1 mm le mois d'Aout.

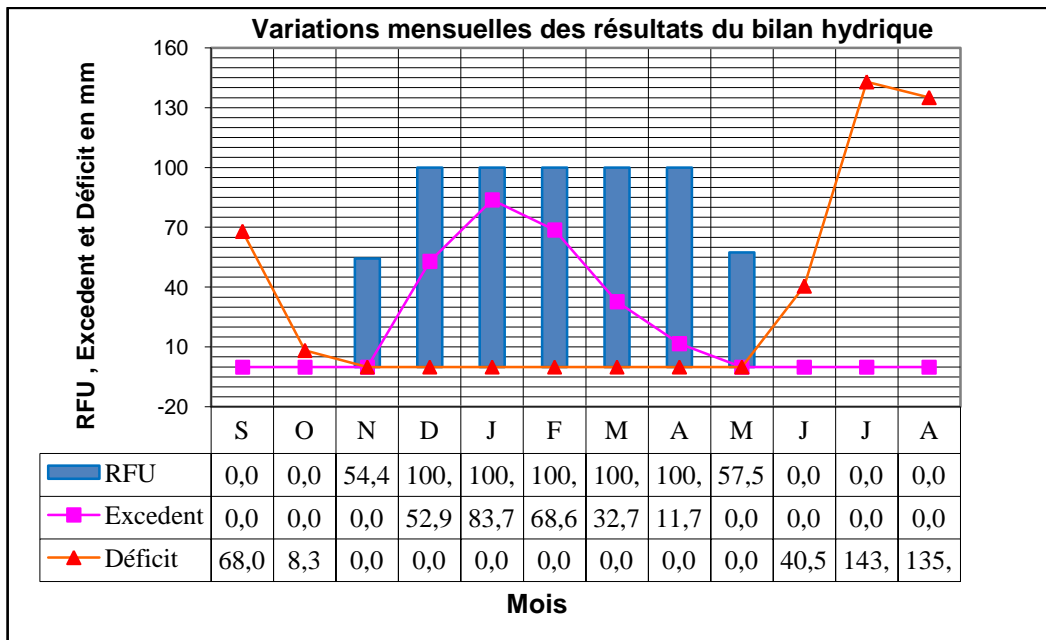
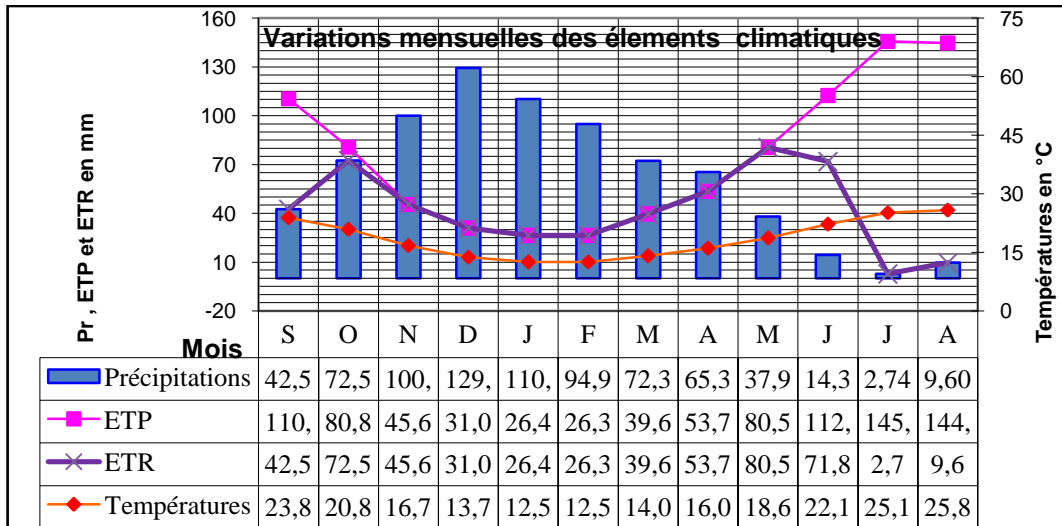


Figure 30 Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite St. Skikda (1980/1981-2010/2011)

Les résultats de calcul à la station de Berrahal, représentés à la figure suivante, montre une période déficitaire de Juin à Octobre, le DA est maximum à Aout avec une valeur de 155,5 mm, contre une période excédentaire sur le reste de l'année ou le total annuel de ruissellement dépasse 250 mm, soit 36,32% de la hauteur de précipitations annuelle.

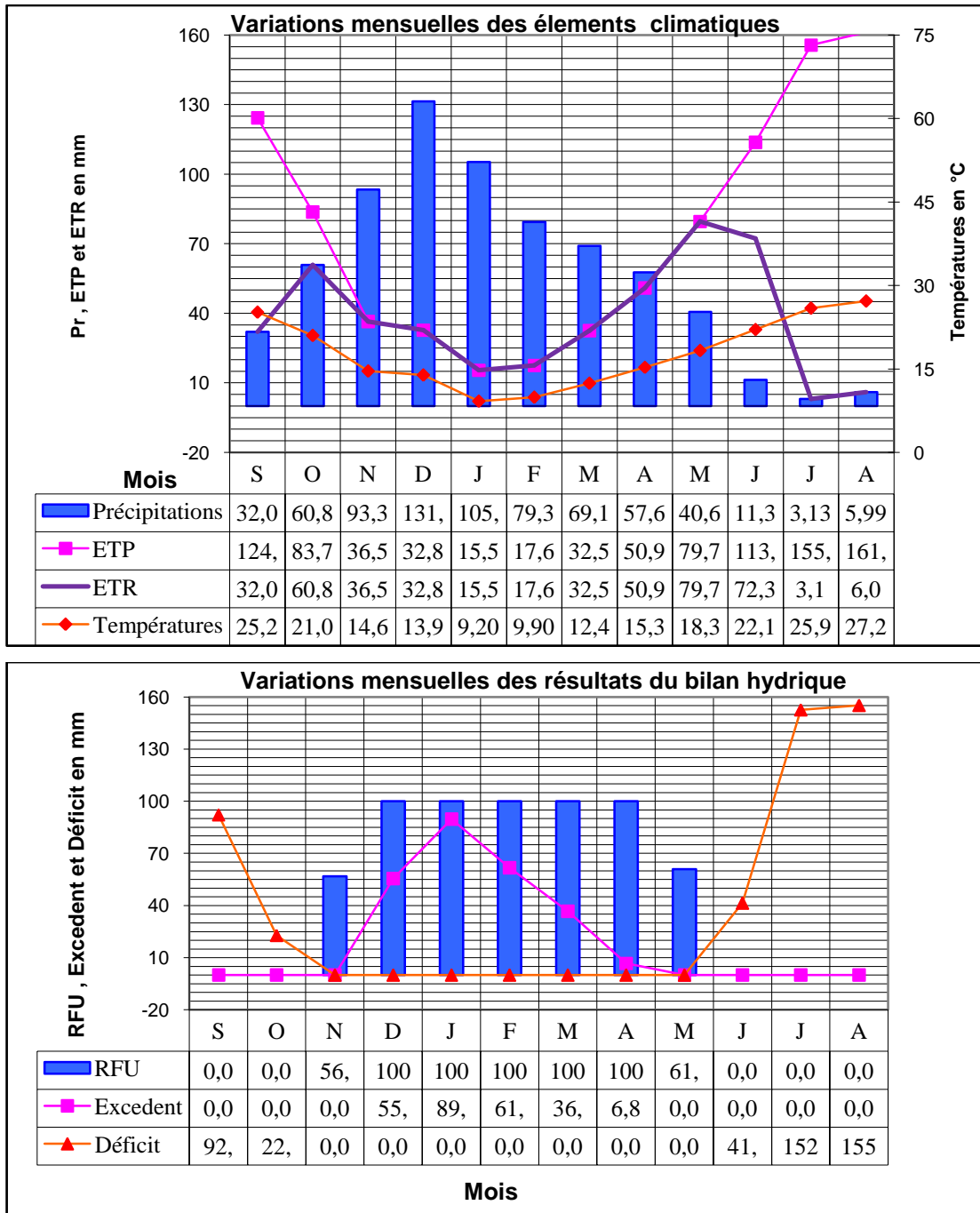


Figure 31 Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite St. Berrahal (1980/1981-2010/2011)

Les résultats de calcul à la station de Bekouche Lakhdar, représentés à la figure suivante, montre une période déficitaire de Juin à Octobre, le DA est maximum à Aout avec une valeur dépassant 156 mm, contre une période excédentaire sur le reste de l'année ou le total annuel de ruissellement de 175.3 mm, soit 30,45% de la hauteur de précipitations annuelle. L'évapotranspiration réelle maximale est enregistrée à Mai avec 79,7 mm.

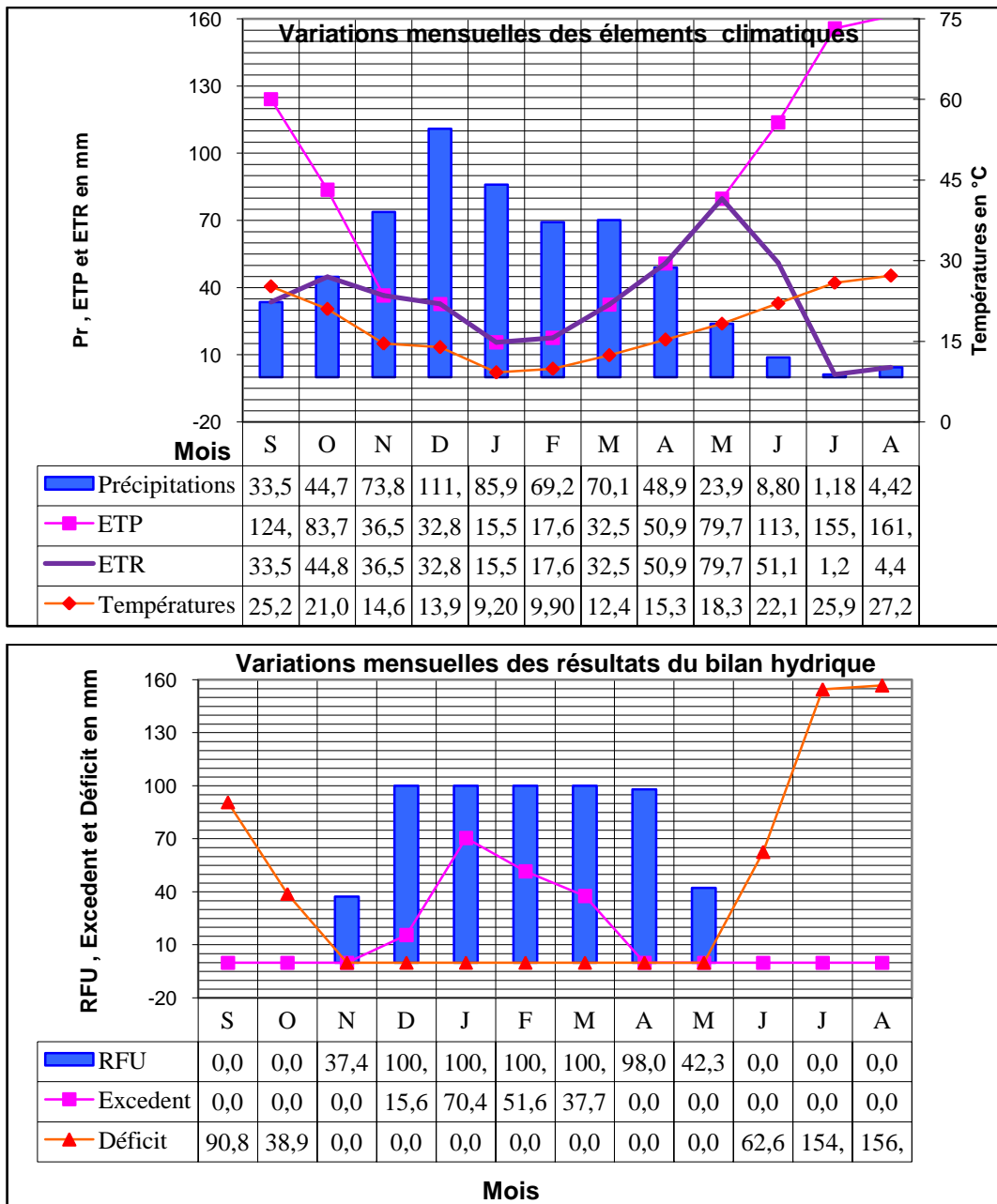


Figure 32 Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite St. BEKOUCHE L (1980/1981-2010/2011)

IV.2. Calcul de l'ETR par la formule de Turc

Elle fait intervenir les précipitations et les températures moyennes annuelles :

$$ETR(mm) = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \text{ Avec :}$$

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

t : Température moyenne annuelle (°c) ;

P : Pluie moyenne annuelle (mm).

IV.3. Calcul de l'ETR par la formule de COUTAGNE I

Le déficit d'écoulement calculé à partir de cette formule peut être rapproché de l'ETR, elle fait aussi intervenir la pluviométrie et la température :

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{Ou :}$$

D : déficit d'écoulement en mètres/an ;

P : précipitation annuelle en mètres ;

$$\lambda = \frac{I}{0.8 + 0.4T}$$

T : température moyenne annuelle en °c.

Elle n'est applicable que pour les valeurs de P comprises entre $1/2 \lambda$ et $1/8 \lambda$,

$\lambda = 0.123$ et $1/2 \lambda = 4.064$ $1/8 \lambda = 1.016$, les précipitations annuelles des quatre stations ne comprises pas entre ces deux valeurs.

Tableau 17. Résultats de l'ETR des quatre stations.

Station	St. Skikda	St. Azzaba	St. Bekouche Lakhdar	St. Berrahal
ETR (mm) THORNTHWAITE	502,3	403,9	400,3	439,7
ETR (mm) TURK	655,1	564,9	523,5	595,2

V- BILAN HYDROLOGIQUE (ESTIMATION DE L'ÉCOULEMENT ET L'INFILTRATION)

L'application des différentes méthodes pour le calcul du bilan hydrologique montre que, lorsque l'on s'intéresse à des régions à déficit hydrique, l'estimation du bilan devient un véritable exercice d'équilibre. L'équation générale d'un tel bilan peut s'écrire :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Précipitation annuelle en mm ;

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm ;

R : Ruissellement en mm ;

I : Infiltration annuelle en mm.

V.1. Détermination du ruissellement

Le ruissellement est donné par la formule empirique de TIXERONT BERKALOFF qui s'appliquerait beaucoup plus aux grands bassins hydrologiques en climat semi-aride à aride.

Cette formule est basée sur la relation :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2} \quad \text{Si } P < 600 \text{ mm,}$$

Cette formule est modifiée par ROMANTCHOK (1974) comme suit :

$$R = \frac{P^3}{3} \quad \text{Si } P > 600$$

Avec :

R : Ruissellement en m ;

P : Précipitation moyenne mensuelle en m ;

ETP : L'évapotranspiration calculée par la méthode de THORNTHWAITE en m.

Tableau 18. Résultats du ruissellement calculé par la méthode de TIXERON.BERKALOFF et ROMANTCHOUK.

<i>Station</i>	<i>Skikda</i>	<i>Azzaba</i>	<i>Bekouche</i>	<i>Berrahal</i>	R
			<i>Lakhdar</i>		MOYEN
R (mm)	158,89	87,18	77,80	109,52	108,35

V.2. Estimation de l'infiltration

De la même manière que le ruissellement, nous avons essayé d'estimer l'infiltration en sachant que ce paramètre est très difficile à déterminer quand on ne dispose pas de mesures directes (Lysimètres par exemple).

L'infiltration a été déterminée en tirant sa valeur de l'équation du bilan :

$$I = P - ETR - R \quad \text{Ou :}$$

I : L'infiltration en mm ;

P : Pluie moyenne annuelle sur le bassin en mm ;

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne selon le bilan de THORNTHWAITE en mm ;

R : Ruissellement en mm.

Cette infiltration est souvent observée pendant les mois de décembre, janvier et février où la précipitation est supérieure à 100 mm. Mois-1.

Tableau 19. Résultats du bilan hydrologique.

	<i>P (mm)</i>	<i>ETR (mm)</i>	<i>R (mm)</i>	<i>I (mm)</i>
Skikda	781,16	502,3	158,89	119,97
Azzaba	639,51	403,9	87,18	148,43
Bekouche. L	575,65	400,3	77,8	97,55
Berrahal	690,05	439,7	109,52	140,83
Moyenne	671,59	436,55	108,35	126,70
%	100,00	65,00	16,13	18,86

Les résultats montrent qu'au niveau de la station d'Azzaba la valeur de l'infiltration est presque le double de celle du ruissellement. Tandis que, dans les stations d'Ain Charchar et Bouati Mahmoud les infiltrations sont légèrement inférieures aux ruissellements.

Cette différence entre l'infiltration et le ruissellement à la station de Azzaba est semble logique en sachant que la zone de Azzaba est une plaine représentée par des pentes très faibles et une forte perméabilité.

Les deux tiers de la lame d'eau précipitée sont détournés par l'évapotranspiration, et seulement un tiers qui atteint les cours d'eau de surfaces et les nappes souterraines avec des parts presque égaux.

CONCLUSION

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest est soumis à un climat Méditerranéen, caractérisé par une période humide qui s'étale du mois d'octobre au mois de mai et une période sèche qui s'étend du mois de mai jusqu'au mois de septembre.

Les moyennes annuelles des précipitations variant entre 540 mm et 711 mm, sous une température moyenne annuelle de l'ordre de 18.32 °C.

Le bilan hydrique de la zone d'étude montre les caractéristiques suivantes : une évapotranspiration réelle représente 65 % des précipitations, ruissellement 16,13 %, alors que l'infiltration récolte 18,86 % des eaux de précipitations.

CHAPITRE IV

L'ÉCOULEMENT DANS LE BASSIN VERSANT

INTRODUCTION

L'étude hydrologique est basée sur l'observation des mesures de débits du cours d'eau principale. Ainsi, nous disposons des résultats de mesures durant la période (1985-86 / 1998-99) enregistrés à la station de Ain Charchar, ces débits sont jugés peu significatifs.

I. L'ÉCOULEMENT MOYEN ANNUEL

L'écoulement est représenté soit par le débit défini comme le volume d'eau écoulé dans temps considéré, soit par la hauteur d'eau répartie d'une façon uniforme dans le bassin exprimé en mm.

La détermination de cette lame se calcule par la formule suivante :

$$E = \frac{Q \cdot T \cdot 10^{-6}}{A \cdot 10^{-3}}$$

Avec :

E : lame d'eau moyenne écoulée (mm) ;

Q : débit moyen annuel de la période considérée en m^3/s ;

A : Superficie du bassin versant en km^2 .

I.1. Le débit moyen annuel brut (Q (m^3/s))

L'analyse de la répartition spatiale des débits moyens annuels dans le bassin nous a donnée une valeur de $3.70 m^3/s$, pour une superficie de l'ordre de $1130.26 km^2$, ce qui est peu pour une région arrosée par plus de $633 mm$ de précipitation.

I.2. Le débit moyen spécifique (q ($l/s/km^2$))

La valeur du module spécifique est de l'ordre de $3.28 l/s/km^2$.

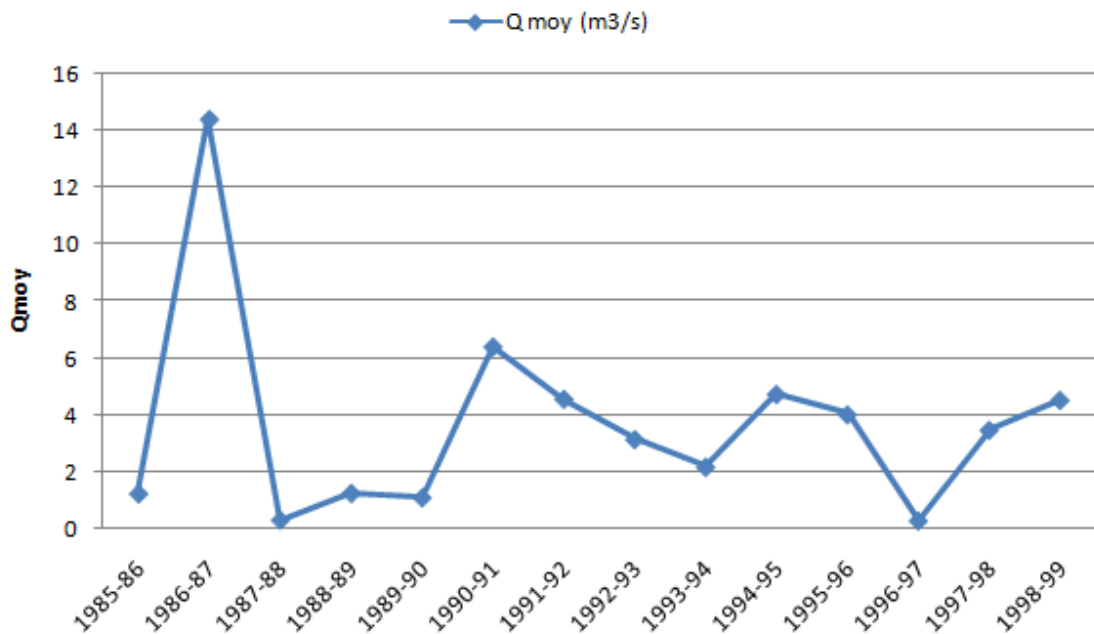
La lame d'eau ruisselée annuellement est de l'ordre de $103.39 mm$ (Tableau 20). En comparant avec la valeur estimée précédemment à partir du bilan hydrique ($90.28 mm$), la différence est de $13.11 mm$, et peu être représente l'écoulement hypodermique qui rejointre l'oued.

I.3. Variations interannuelles de l'écoulement

Les variations interannuelles de l'écoulement dans le bassin étudié sont directement liées aux fluctuations des précipitations. La distribution chronologique des débits de l'oued Kébir Ouest sur 14 ans successifs, nous a permis d'apprécier la variation des débits d'une année à l'autre, confirmée également par l'estimation de coefficient de variation (CV) et l'illustration graphique (Fig. 33).

Tableau 15. Variation annuelle de l'écoulement et du débit spécifique dans le bassin versant de l'oued Kébir Ouest à Ain Charchar (1985-86 /1998-99)

	Q moy (m ³ /s)	E (mm)	q (l/s/km ²)	L P (mm)	D (mm)	C (%)	V (Hm ³)
1985-86	1,258	35,1	1,113	491,9	456,8	7,136	39,672
1986-87	14,43	402,619	12,767	981,1	578,481	41,038	455,064
1987-88	0,332	9,263	0,294	530,3	521,037	1,747	10,47
1988-89	1,275	35,574	1,128	574,2	538,626	6,195	40,208
1989-90	1,116	31,138	0,987	579,9	548,762	5,37	35,194
1990-91	6,429	179,379	5,688	794,5	615,121	22,578	202,745
1991-92	4,586	127,956	4,057	706,4	578,444	18,114	144,624
1992-93	3,167	88,364	2,802	653,4	565,036	13,524	99,875
1993-94	2,195	61,244	1,942	516,4	455,156	11,86	69,222
1994-95	4,753	132,616	4,205	609,1	476,484	21,772	149,891
1995-96	4,04	112,722	3,574	646,1	533,378	17,447	127,405
1996-97	0,301	8,398	0,266	368,7	360,302	2,278	9,492
1997-98	3,496	97,544	3,093	912,1	814,556	10,694	110,25
1998-99	4,55	126,952	4,026	1061,4	934,448	11,961	143,489
Moyenne	3,709	103,491	3,282	673,25	569,759	13,694	116,972

**Figure 33. Variations des débits moyens annuelles de l'oued kébir Ouest Station de Ain Charchar (1985-86 /1998-99)****I.4. Le rapport des débits extrêmes (R)**

Le tableau résume les résultats de l'analyse de l'abondance interannuelle moyenne du débit dans le bassin. Les variations sont caractérisées par le rapport des débits

extrêmes (maximal et minimal). Le produit de ce rapport est appelé le coefficient d'immodération ou d'irrégularité R où :

$$R = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$$

Tableau 16. Abondance moyenne annuelle de l'écoulement et coefficient d'irrégularité interannuel

Période	Q_{moy} (m ³ /s)	E (mm)	q (l/s/km ²)	$Q_{annuel\ min}$ (m ³ /s)	$Q_{annuel\ max}$ (m ³ /s)	R
1985-86 / 1998-99	3.709	103.491	3.282	0.301	14.43	47.94

D'après le tableau 21, le débit maximal est de l'ordre de 14.43 m³/s en 1986/87, le débit minimal égale à 0.301m³/s en 1996/97, cette forte variabilité entre l'année la plus humide et l'année la plus sèche est traduite par le coefficient d'immodération qui est de l'ordre de 47.94. Ceci s'explique par le comportement hydrologique du bassin influencé surtout par les conditions climatiques.

I.5. Le coefficient d'hydraulicité (CH)

Pour mieux saisir l'irrégularité interannuelle de l'écoulement moyen du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest, on a calculé les écarts annuels des débits de chaque année particulière (Qi) au débit moyen de la série d'observation (Q).

$$CH = \frac{Q_i}{Q}$$

L'hydraulicité élevée de l'année (1986-1987) traduite par un coefficient de l'ordre de 3.89 peut être attribuée aux fortes crues de saison froide, elle s'oppose nettement au fort déficit de l'année (1996-1997) avec un coefficient de 0.08.

Tableau 17. Coefficient de l'hydraulicité du bassin versant à la station d'Ain Charchar

Période	Q moy (m ³ /s)	CH
1985-86	1.258	0.34
1986-87	14.43	3.89
1987-88	0.332	0.09
1988-89	1.275	0.34
1989-90	1.116	0.30
1990-91	6.429	1.73
1991-92	4.586	1.24
1992-93	3.167	0.85
1993-94	2.195	0.59
1994-95	4.753	1.28
1995-96	4.04	1.09
1996-97	0.301	0.08
1997-98	3.496	0.94
1998-99	4.55	1.23
Moyenne	3.709	1.00
σ	3.609	
cv	0.97	

Le coefficient de variation CV est calculé par la formule :

$$CV = \frac{\sigma}{Q}$$

L'utilisation de coefficient de variation permet de mesurer la dispersion des débits particuliers autour de leur moyenne. La valeur de 0,97 confirme la forte variabilité interannuelle des débits moyens annuels.

II. REPARTITION FREQUENTIELLE DES MODULES DE L'OUED KEBIR OUEST A AIN CHARCHAR

II.1. Ajustement des débits moyens annuels à la loi de GAUSS

L'analyse fréquentielle étant d'une grande nécessité, elle complète la connaissance du phénomène d'irrégularité de l'écoulement annuel, il est à noter ici que la précision des estimations reste étroitement liée à la taille de l'échantillon.

L'ajustement des débits moyens annuels à une loi de GAUSS se fait à l'aide du logiciel HYDROLAB. Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau et figure suivants,

Tableau 18. Ajustement à une loi de GAUSS des débits moyens annuels à la station d'Ain Charchar

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeurs expérimentales	Valeurs théoriques	Borne inférieure	Borne supérieure
1.258	0.301	1	0.0357	-1.803	0.301	-2.798	-5.332	-1.076
14.43	0.332	2	0.1071	-1.242	0.332	-0.773	-2.800	0.695
0.332	1.116	3	0.1786	-0.921	1.116	0.386	-1.388	1.746
1.275	1.258	4	0.2500	-0.674	1.258	1.276	-0.331	2.579
1.116	1.275	5	0.3214	-0.463	1.275	2.037	0.551	3.315
6.429	2.195	6	0.3929	-0.271	2.195	2.729	1.331	4.006
4.586	3.167	7	0.4643	-0.089	3.167	3.386	2.050	4.682
3.167	3.496	8	0.5357	0.089	3.496	4.031	2.736	5.368
2.195	4.04	9	0.6071	0.271	4.04	4.689	3.412	6.087
4.753	4.55	10	0.6786	0.463	4.55	5.381	4.103	6.867
4.04	4.586	11	0.7500	0.674	4.586	6.142	4.839	7.749
0.301	4.753	12	0.8214	0.921	4.753	7.032	5.672	8.806
3.496	6.429	13	0.8929	1.242	6.429	8.192	6.723	10.218
4.55	14.43	14	0.9643	1.803	14.43	10.217	8.494	12.750

Taille n=14 Moyenne= 3.709 Ecart-type= 3.609 I.C. à (en%)= 80
 U Gauss=1.2817

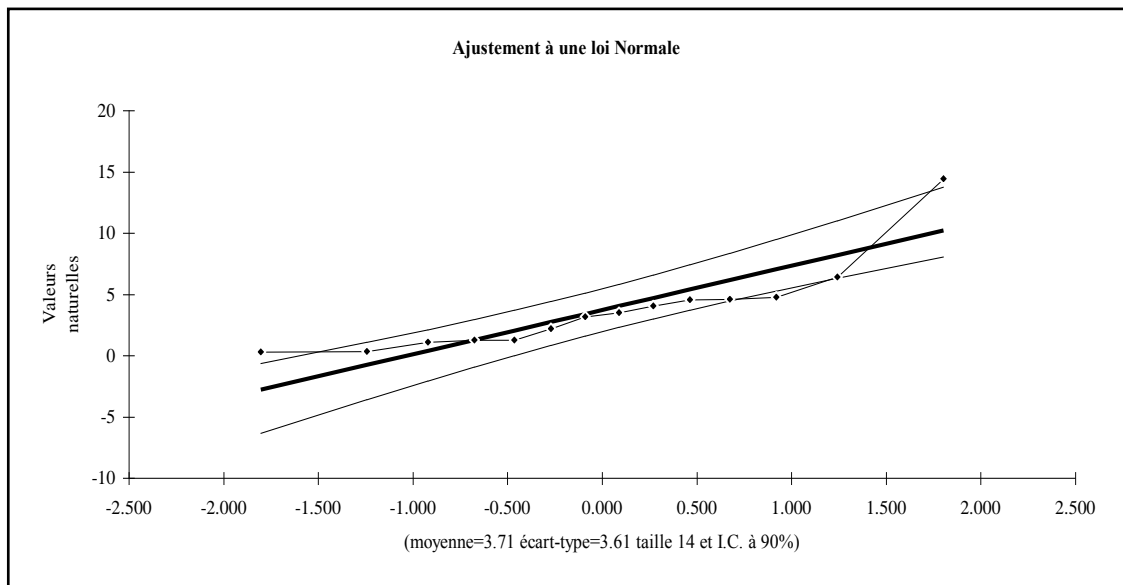


Figure 34. Ajustement à une loi de Gauss des débits moyens annuels à la station de Ain Charchar

III. VARIATION MENSUELLE

III.1. Variation mensuelle des débits

L'analyse des débits mensuels permet de mettre en lumière les régimes saisonniers d'un cours d'eau, ces régimes peuvent être traduits par des divers critères numériques et graphiques, parmi lesquelles on retiendra principalement les coefficients mensuels de débits.

Le débit maximum a été de $12.38 \text{ m}^3/\text{s}$ en février et le minimum de $0.007 \text{ m}^3/\text{s}$ en août, et ce pour un débit moyen mensuel de $3.709 \text{ m}^3/\text{s}$. (tableau 19).

III.2. Variabilité mensuelle des débits

L'irrégularité mensuelle et saisonnière des débits est parfaitement observée dans les valeurs du coefficient de variation. En effet, l'écoulement mensuel est très variable d'une année à l'autre. D'après le tableau 27 on distingue une valeur de coefficient de variation importante en mois de septembre, atteignant 2.426, la valeur la plus faible et remarquée en juillet (0.932).

III.3. Coefficient mensuel de débit

Le coefficient mensuel de débit, qui exprime le rapport de débit moyen mensuel au débit moyen de la période considérée, permet d'étudier le régime fluvial mensuel et saisonnier désigné par (C M D), ce coefficient correspond aux mois de hautes eaux lorsqu'il est supérieur à 1.

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest présente cinq (05) mois pluvieux qui s'observent en hiver et dans les deux tiers du printemps, le maximum de C M D est au février avec une valeur de 3.268. Le minimum de ce coefficient de l'ordre de 0.002 observé au mois d'Août.

La constatation qui peut être tirée de cette analyse est l'emplacement de la période des hautes eaux dans les saisons hivernale et printanière, et la période des basses eaux dans les deux saisons estivale et automnale.

Tableau 19. Débits moyen mensuels (m3/s)- Station de Ain Charchar (1985-86 / 1998-99)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	MOY
Q	0.155	0.442	2.996	7.053	9.368	12.386	6.516	4.674	1.388	0.251	0.251	0.0075	3.791
σ	0.376	0.602	4.32	10.253	11.035	19.471	7.004	8.963	1.91	0.374	0.234	0.014	3.6
CV	2.426	1.362	1.442	1.454	1.178	1.572	1.075	1.918	1.376	1.490	0.932	1.867	0.950
CMD	0.041	0.117	0.790	1.861	2.471	3.268	1.719	1.233	0.366	0.066	0.066	0.002	1.000
	<i>Basses eaux</i>			<i>Hautes eaux</i>				<i>Basses eaux</i>					

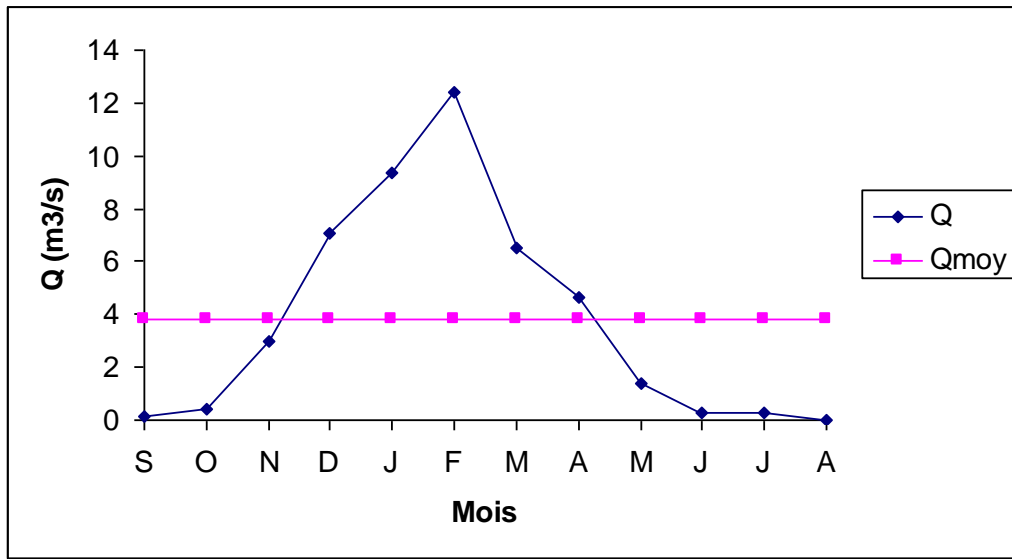


Figure 35. Débits moyen mensuels (m3/s)- Station de Ain Charchar (1985-86 / 1998-99)

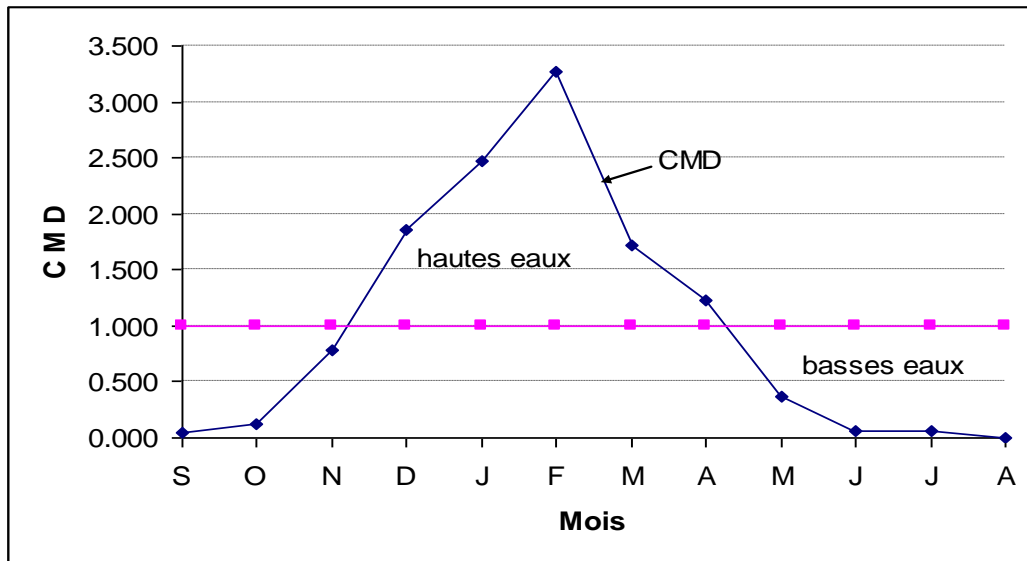


Figure 36. Courbe de coefficient mensuel de débit (CMD) de l'oued Kébir Ouest à Ain Charchar (1985-86 / 1998-99)

III. FORME EXTREME DE L'ÉCOULEMENT A LA STATION DE AINCHARCHAR

Pour mieux cerner le problème d'écoulement extrême, il est nécessaire de descendre à une échelle plus fine dans l'analyse des valeurs extrêmes, notamment l'étude des crues qui peuvent être définies comme étant le plus fort débit observé dans l'année.

III.1. Prédétermination des crues

La prédétermination des crues a pour but de relever les crues fréquentielles les plus importantes à fin de garantir un maximum de sécurité pour les ouvrages. Ces crues peuvent être déterminées par la loi de GUMBEL qui s'adapte le mieux aux écoulements et apports extrêmes.

Le tableau suivant montre les débits maximaux journaliers pour la période de 1985-86 / 1998-99), à partir duquel on a calculé les paramètres d'ajustement (l'ajustement est fait en utilisant le logiciel HYDROLAB) :

Tableau 20. Débits maximums journaliers de la station d'Ain Charchar (1985-86 /1998-99)

<i>Année</i>	<i>Qjmax (m³/s)</i>	<i>Rang</i>	<i>Fréquence (%)</i>
1987-88	6.695	1	3.57
1996-97	12.70	2	10.71
1989-90	25.78	3	17.85
1985-86	42.12	4	25.00
1988-89	81.55	5	32.14
1993-94	81.77	6	39.28
1997-98	90.17	7	46.42
1995-96	116.2	8	53.57
1992-93	120.1	9	60.71
1991-92	134.0	10	67.85
1994-95	151.6	11	75.00
1998-99	171.6	12	82.16
1990-91	172.4	13	89.28
1986-87	264.4	14	96.42

La moyenne des débits maximums journaliers sur les quatorze ans est de l'ordre de 105.08 m³/s, le mode $\sigma = 72.65$ et le gradex $\alpha = 56.19$, l'équation de la droite de l'ajustement s'écrit comme suit : $X = 72.65 + 56.19 U$

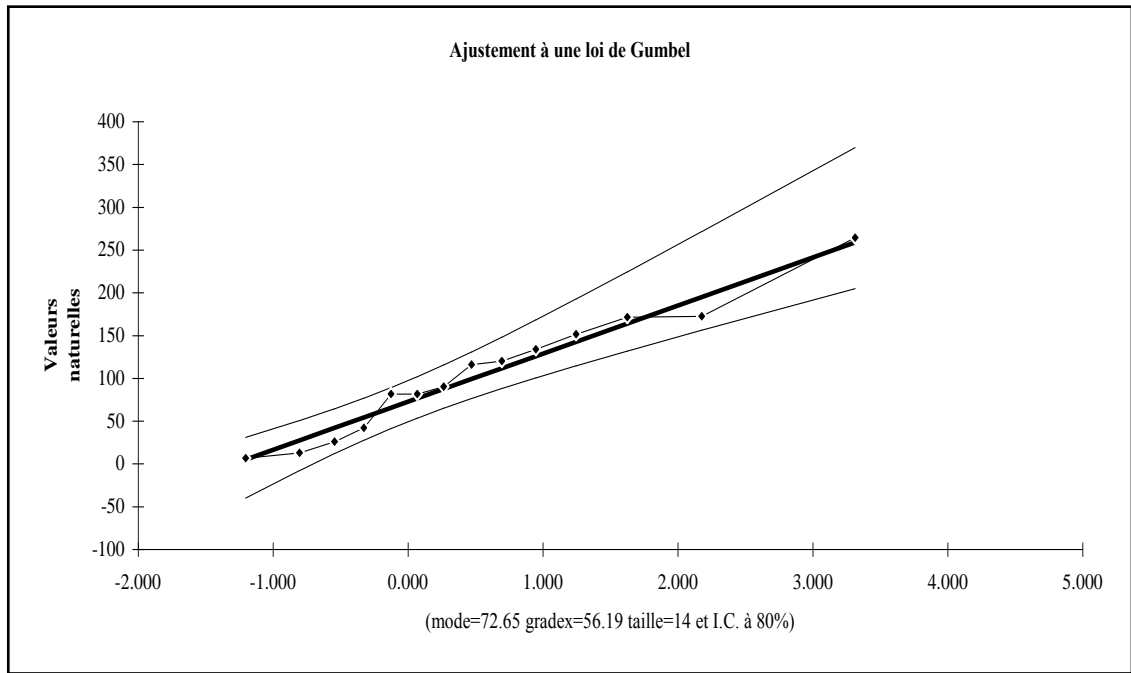


Figure 37. Ajustement à une loi de GUMBEL des débits maximums journaliers

A partir du graphe de GUMBEL (Fig.37), on estime les débits probables des crues pour différentes périodes de retour, les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 21. Crues maximums probables dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

Fréquence	Durée de retour (an)	Crue maximale probable (m ³ /s)
0,5	2	93.24
0,2	5	156.93
0,1	10	199.10
0,02	50	291.90
0,01	100	331.13

Pendant une période d'observation de 14 ans, plusieurs crues ont été enregistrées, dont les plus importantes :

Crue de 22 décembre 1986 au 1 janvier 1987 ;

Crue de 23 au 26 décembre 1990 ;

Crue de 26 novembre au 1 décembre 1998.

En fin, l'estimation de la période de retour et de récurrence de la crue de 25-12-1986 à la station d'Ain Charchar s'exprime comme suit :

$$Q= 264.6 \text{ m}^3/\text{s} ; U=3.41 ; F=0.9642 ; T = \frac{1}{1-F} \approx 28 \text{ an.}$$

Les crues de la saison humide sont les plus fréquentes et sont dues aux pluies torrentielles.

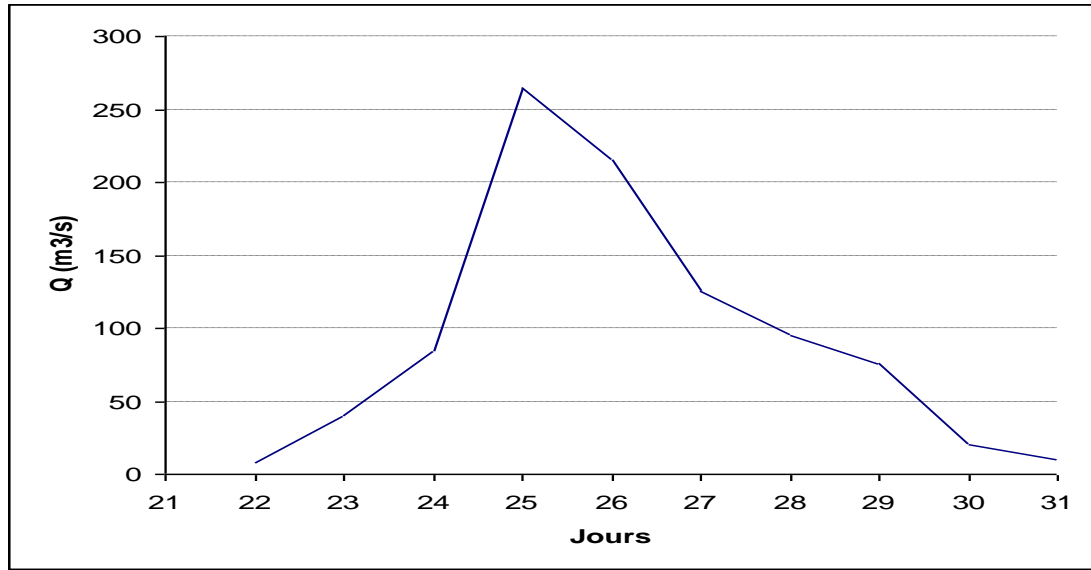


Figure 38. Hydrogramme de crue de 25-12-1986 au bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

D'après l'hydrogramme de crue, on constate l'amplitude des débits caractérisée par une allure impressionnante, le débit journalier passe en l'espace de trois jours de 7.95 m³/s (le 22 décembre) pour atteindre le débit de pointe de 264.6 m³/s (le 25 décembre), la décrue s'est faite lentement par rapport à la montée.

L'apport de cette crue est calculé de la manière suivante :

Les somme des débits pendant la période de crue $\sum Q_i = 938.42 \text{ m}^3/\text{s}$;

La moyenne est de $Q_{moy} = \frac{\sum Q_i}{n}$

avec n : nombre de jour de la période de crue ;

d'où $Q_{moy} = 93.84 \text{ m}^3/\text{s}$

Volume total ruisselé = $938.42 * 86400 = 81.08 \text{ Hm}^3$.

Hauteur d'eau écoulé = $\frac{81.08 \text{ Hm}^3}{1130.26 \text{ Km}^2} = 0.072 \text{ m} = 72 \text{ mm}$.

IV. CORRELATION ENTRE PLUIE – DEBIT

IV.1. Régression linéaire simple de Q en P

Le but de technique de corrélation et de régression est d'étudier la dépendance des deux séries décrivant chacune un caractère quantitatif d'un certain nombre d'individus :

- ♦ Mettre en évidence graphiquement la liaison entre les deux séries ;

- ◆ Optimiser l'estimation d'un caractère en fonction de l'autre ;
- ◆ Mesurer l'intensité de la dépendance entre les deux caractères (Coefficient de corrélation (R)).

La relation pluie-débit se fait généralement suivant une loi normale. Le débit d'un cours d'eau (abondance hydrologique ou non) est fonction de la quantité de pluie précipitée sur le bassin.

Dans notre cas on a utilisé la série précédente de débit moyen annuel de la période 1985-86 / 1998-99) à la station de Ain Charchar, est une série de pluie moyenne de la même période (moyenne arithmétique des pluies moyennes annuelles des quatre stations retenues dans l'étude).

La régression simple entre les deux séries est faite à l'aide du logiciel HYDROLAB. Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau et le graphe suivants :

Tableau 22 Régression linéaire simple de Q en P.

<i>Variables</i>	<i>à expliquer</i>	<i>explicatif</i>	<i>Q</i>	<i>I.C. à (%) = 70</i>	
<i>Observations</i>	<i>Q</i>	<i>P</i>	<i>le plus probable</i>	<i>Borne.Inf.</i>	<i>Borne.Sup.</i>
12	0.301	344.050	-0.923	-3.450	1.605
3	0.332	430.705	0.536	-1.889	2.961
5	1.116	495.305	1.624	-0.748	3.996
1	1.258	461.950	1.062	-1.335	3.459
4	1.275	504.925	1.786	-0.580	4.152
9	2.195	552.693	2.590	0.247	4.933
8	3.167	566.718	2.826	0.488	5.164
13	3.496	863.300	7.819	5.332	10.306
11	4.04	655.595	4.322	1.988	6.657
14	4.55	777.045	6.367	3.970	8.764
7	4.586	689.992	4.902	2.557	7.246
10	4.753	582.740	3.096	0.762	5.430
6	6.429	803.890	6.819	4.398	9.241
2	14.43	939.442	9.101	6.507	11.695

L'équation de la droite de régression $Q = 0.017 P - 6.715$, le débit moyen est de $3.709 \text{ m}^3/\text{s}$ et l'écart type de 3.609 . La précipitation moyenne est de 619.169 mm et l'écart type égale à 175.495 .

Le coefficient de corrélation $r = 0.82$ implique une bonne corrélation directement proportionnelle entre les précipitations moyennes annuelles sur le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest, et les débits moyens annuels à la station de Ain Charchar.

La variable réduite de Gauss est égale à 1.036, le test de Student donne une valeur de 1.083.

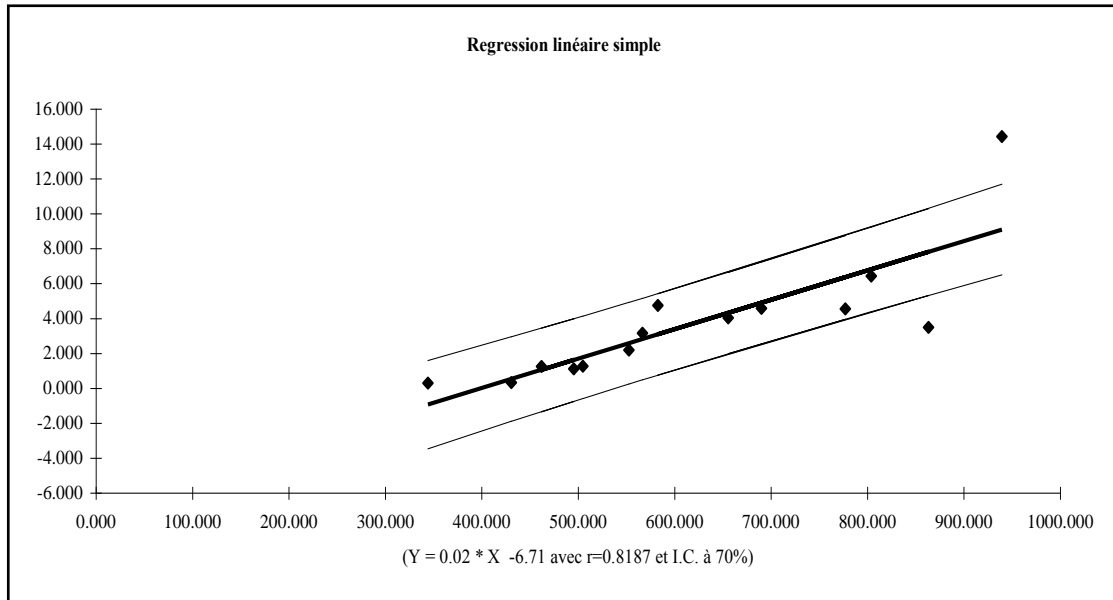


Figure 39. Corrélation pluie- débit à la station de Ain Charchar (1985-86 / 1998-99)

IV.2.Utilisation d'un modèle pluie-débit GR1 A

Les données d'entrée au modèle sont la superficie du bassin versant (1130 km²), l'évapotranspiration potentielle prise égale à 904 mm, le coefficient de correction de l'ETP, $X = 0,11$ et les deux séries de pluie et débit observées à la même période (1985-1999). La pluie initiale est de 634,00 mm correspond à la pluie moyenne durant la période d'étude.

Pour l'année 1998, un décalage important est observé entre le débit observé, relativement faible et un très fort débit simulé par le programme (Fig. 40). Ceci peut être expliqué par les travaux de réalisation du barrage de Zit Emba en amont de la station.

Donc avant la mise en eau du barrage, le débit de l'oued est directement lié aux précipitations. Ces débits seront affectés par l'artificialisation du bassin en amont.

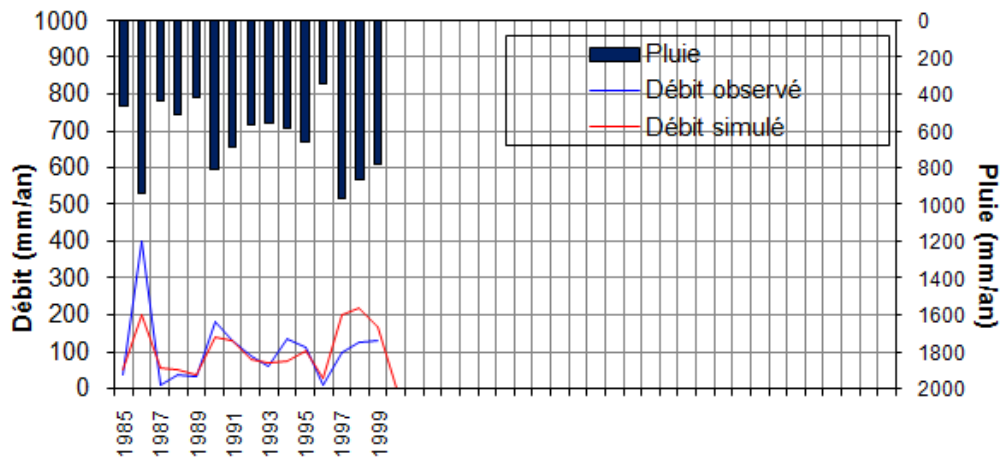


Figure 40. Relation pluie-débit observé débit simulé obtenue par le modèle GR1A

Une corrélation linéaire est obtenue entre le débit observé et le débit simulé avec un coefficient de corrélation de 0,69 (Fig. 41). Le modèle est donc parfaitement adapté à la région d'étude.

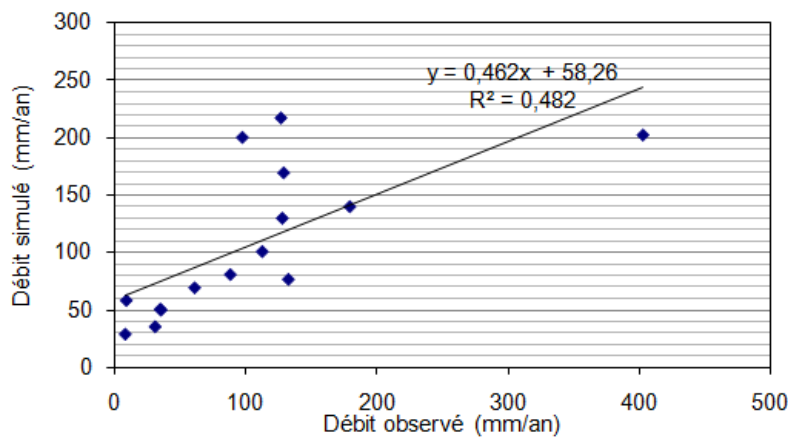


Figure 41. Relation entre débit observé et débit simulé par le modèle GR1 A. (1985-1999)

IV.3. Estimation des débits de crue à partir des précipitations maximales journalières

-Pluviométrie journalière maximale

La station d'Azzaba a été choisie pour la série des pluies moyennes maximales. La série est ajustée à différentes lois de probabilité. La loi de GUMBEL s'est révélée la plus adéquate, d'où

$$F_x = e^{-e^{-u}} \text{ avec } u = \frac{x-\bar{x}}{s}$$

Les paramètres de la loi de Gumbel sont représentés dans le tableau 23 et la figure 42.

Tableau 23. Résultats d'ajustement des pluies journalières maximales à une loi de Gumbel (1985-1999)

Paramètre	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation	Paramètre d'échelle	Le mode
Formule	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$	$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2}}{n - 1}$	$cv = \frac{s}{\bar{x}}$	$s = 0,78 \sigma$	$x_0 = \bar{x} - 0,577s$
Résultat	42,52	3,11	0,06	2,43	42,27

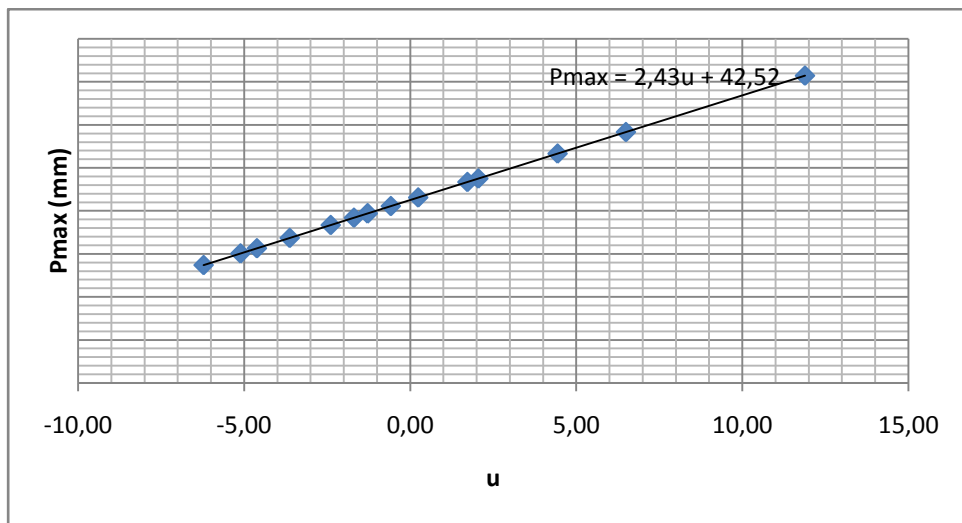


Figure 42. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies journalières maximales (1985-1999)

A partir de l'équation d'ajustement $p_{jmax} = 2,43 u + 42.52$, on peut estimer les pluies journalières maximales pour les périodes de retour $T= 100, 50, 10, 5$ et deux ans

(Tab. 24).
$$T = \frac{1}{1-F}$$

Tableau 24. Pluies maximales pour différentes périodes de retour

T (an)	100	50	10	5	2
F	0,99	0,98	0,9	0,8	0,5
u	4,60	3,9	2,25	1,5	0,37
p_{jmax} (mm)	53,70	52,00	47,99	46,17	43,42

-Pluies de courte durée

Les pluies de courte durée pour différentes fréquences ont été déterminées à l'aide de la relation de MONTANA préconisée par l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

$$p_{tc} = p_{jmax} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

Avec : p_{tc} : Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de p_{jmax} en mm

p_{jmax} : Pluie journalière maximale de fréquence voulue en mm

t = temps considéré en heures

b = coefficient climatique (pour notre région $b=0,38$)

Les résultats pour t égal au temps de concentration en heures, $t_c = 13,52$ heures et pour les différents temps de retour sont reportés dans le tableau 4.

Tableau 25. Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de P_{jmax} en mm

T (an)	100	50	10	5	2
p_{jmax} (mm)	53,70	52,00	47,99	46,17	43,42
P_{tc}	42,96	41,60	38,39	36,94	34,74

Débits maximums fréquentiels

L'une des formules les plus utilisées est celle de TURAZZA, qui s'écrit de la manière suivante :

$$Q_{P\%} = \frac{(C \times I_{P\%} \times S)}{3,6}$$

Avec : $Q_{P\%}$ = Débit maximum de fréquence (P%) en mm

$I_{P\%}$ = Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration T_c ,

S = superficie du bassin versant,

C = Coefficient de ruissellement lié à la probabilité d'occurrence,

Le coefficient de ruissellement est fonction de la nature du sol et la pente moyenne du bassin versant (Tab. 26).

Dans notre cas, nous avons opté pour les valeurs suivantes pour le coefficient de ruissellement en suivant les intervalles de données par Casenave (Casenave, Guiguen, & Simon, 1982).

Tableau 26. Coefficient de ruissellement en fonction de la période de retour

Période de retour	100	50	10	5	2
C	0,32	0,30	0,22	0,18	0,12

Rappelons que :

$$I_{P\%} = \frac{P_{tc(p\%)}}{T_c}$$

Tableau 27 Intensité de pluies pour une durée égale à T_c pour les différentes périodes de retour.

T (an)	100	50	10	5	2
P_{tc}	42,96	41,60	38,39	36,94	34,74
$I_{P\%}$	3,18	3,08	2,84	2,73	2,57

Les résultats obtenus des débits maximums fréquentiels sont représentés dans le tableau 28.

Tableau 28 Débits maximums pour différentes périodes de retour (Méthode de Turazza)

Période de retour	100	50	10	5	2
$Q_{P\%}$	319,15	289,73	196,08	154,34	96,77

La deuxième méthode utilisée est celle de SOKOLOVSKY :

$$Q_{max} = \frac{0,28 \times P_{tc(P\%)} \times C_e \times S}{t_m} \times f$$

f = coefficient de forme de crue, $f = \frac{12}{4+3\gamma}$ (), on prend $\gamma = 2,5$ d'où $f=1,04$

Tableau 29 Tableau donnant f en fonction de γ

γ	2,0	2,5	3,0	4,0
f	1,2	1,04	0,95	0,75

C_e = Coefficient d ruissellement en fonction de la fréquence ;

t_m = durée de montée en heures ou $t_m=f(t_a)$ et t_a étant le temps de l'averse,

Pour des petits bassin, $t_m=t_a=t_c$, d'où les débits maximums fréquentiels du tableau 30.

Tableau 30 Débits maximums pour différentes périodes de retour (Méthode de Sokolovsky)

T	100	50	10	5	2
Q_{max} (m^3/s)	341,39	309,92	209,75	165,09	103,52

Pour les deux méthodes utilisées les valeurs des débits des crues allant de 96 à 341 m^3/s pour des périodes de retour allant de deux à 100 ans.

Ces débits calculés sont identiques aux débits de crue estimés à partir des mesures hydrométriques au niveau de la station d'Ain-Charchar enregistrés sur une période de 14 ans(Fig.43).

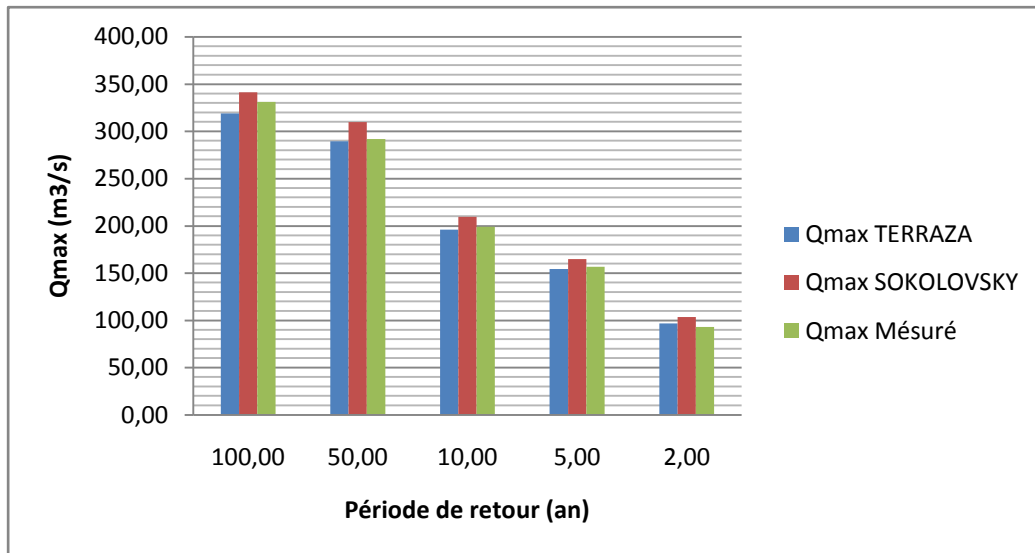


Figure 43. Résultats des débits de crue obtenus par différentes méthodes

CONCLUSION

Les inondations restent toujours des alias naturels immaitrisables par l'homme. Plusieurs aménagements hydrauliques peuvent réduire l'ampleur des crues, mais le moyen le plus efficace est de ramener la conscience de la population à un niveau qui leur permettra de s'intégrer dans une politique de prévention contre les inondations. Dans cette recherche, les débits des crues probables estimés à partir de la série de mesures disponibles pour différentes périodes de retour varient de 92 et 331 m³/s pour des périodes de retour allant de deux à 100 ans. Alors qu'un débit de 264.6 m³/s a pu générer une inondation importante en 1986, ce débit correspond à une période de retour d'environ 28 ans.

L'étude statistique à l'aide du logiciel Hydrolab montre une corrélation directement proportionnelle entre les précipitations et le débit du cours d'eau dans le bassin avec un coefficient $R= 0,82$. Le logiciel Hydrolab donne de bons résultats pour reconstituer des débits à partir des données pluviométriques.

Le modèle GR1A a montré une corrélation simple linéaire entre les débits moyens enregistrés à la station hydrométrique d'Ain-Charchar et les pluies moyennes sur le

bassin versant pour la même période de mesure, avec un coefficient de corrélation de 0,69.

En somme, les calculs par les méthodes de Turazza et de Sokolovski ont donné des valeurs pratiquement égales aux débits de crues mesurés, en optant pour des coefficients de ruissellement de 12% à 32% (terrain de perméabilité moyenne et de pente modérée).

CHAPITRE V

RESSOURCES EN EAU ACTUELLES ET USAGES DANS LE BASSIN VERSANT

INTRODUCTION

La planification à l'exploitation de l'eau repose sur l'évaluation de la réserve (potentiel) qui est la quantité ou le volume disponible à une date donnée ou stockée au cours d'une période moyenne annuelle, dans un système hydrologique, évaluée en unités de volume. Et de la ressource qui est la quantité ou le volume, d'eau pouvant être extraite d'un domaine circonscrit pendant une période donnée, exprimée en matière de débit moyen.

Pour avoir une idée sur les ressources en eau et leur usage dans le bassin versant de l'oued Kébir Ouest, on a essayé de quantifier tous les apports hydriques superficiels (barrage, retenues collinaires et oueds) et souterrains (nappes libres et profondes) en se basant sur les données fournies par les différents organismes chargés de la gestion de ces ressources d'une part, et d'autre part l'étude des usagers de ces ressources dans le but d'une gestion plus adéquate.

I. USAGERS DE L'EAU DANS LE BASSIN :

Un "Usager" est un utilisateur de l'eau (industriels, agriculteurs, population...).

I.1. Population

L'étude démographique dans un bassin hydrographique pose un problème du zonage, car les données sont collectées dans la plupart des cas selon les limites administratives.

Le bassin du Kébir Ouest ne fait pas exception ; nous avons obtenu les données de population par commune, d'une part, de la direction de l'hydraulique (DHW) d'Annaba, Skikda et Guelma, et d'autre part, de l'Office National de statistique (ONS). Les communes retenues dans ce chapitre sont celles qui se situent dans les limites du bassin.

Si nous retenons la limite du bassin (voir Figure 46), seules sept communes sont prises en compte dans l'analyse : Azzaba, Djendel Saadi Mohamed, Es Sebt, Ain Charchar et Bekouche Lakhdar dans la wilaya de Skikda, Roknia et Bouati Mahmoud dans la wilaya de Guelma.

Les données de population des communes incluses partiellement dans le territoire du bassin, ne sont pas prises en considération parce que la majorité de leurs surfaces se localise à l'extérieur de la limite du bassin.

Lors du recensement de 1998, la population dans le bassin s'est élevée à 119461 habitants dont 53998 en milieu urbain soit 45.2 %, 54.34 % de la population urbaine

dénombrée à la commune de Azzaba, et 65463 en milieu rural soit 54.8 % (Tableau 31).

Tableau 31. Evolution de la population par commune selon les recensements de 1998 et 2008 dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

<i>Wilaya</i>	<i>Commune</i>	<i>Population</i>		<i>Taux d'accroissement</i>	<i>Population 2014</i>
		<i>1998</i>	<i>2008</i>		
<i>Skikda</i>	<i>Azzaba</i>	48992	56922	1,51	62278
	<i>Djendel S M</i>	7831	8655	1,00	9187
	<i>Ain Charchar</i>	13717	15725	1,38	17002
	<i>Bekouche L</i>	14092	15176	0,74	15862
	<i>Benazzouz</i>	24969	29162	1,56	32000
	<i>Es Sebt</i>	15889	15266	-0,4	14903
<i>Guelma</i>	<i>Roknia</i>	10114	9752	-0,36	9543
	<i>Bouati M</i>	8823	9658	0,91	10197
<i>Annaba</i>	<i>Oued El Aneb</i>	17306	21088	2	23059
	<i>Treat</i>	5089	6076	1,79	6758
<i>Total</i>		<i>166822</i>	<i>187480</i>		<i>200791</i>

Source : (ONS, 2014)

Le taux d'accroissement est obtenu à partir de l'équation suivante :

Sur la base de nombre d'habitant recensé en 1998 et 2008 par l'ONS, et le taux d'accroissement de la population habite le bassin, on a estimé leur évolution pour les différents horizons, en exploitant la formule suivante :

$$P_F = P_A (1 + T)^n$$

Avec :

P_F : population future

P_A : population actuelle

T : taux d'accroissement

La population du bassin dépasse actuellement (2014) 200791 habitant, avec une densité de l'ordre de 110 hab./km²,

Seule la population urbaine qui présentera une augmentation considérable dépassant le 100%. Le monde rural reste presque stable, alors que la population du monde épars aura

une diminution de l'ordre de 38%. Cela peut être s'expliquer par la continuation de l'exode rural vers les villes.

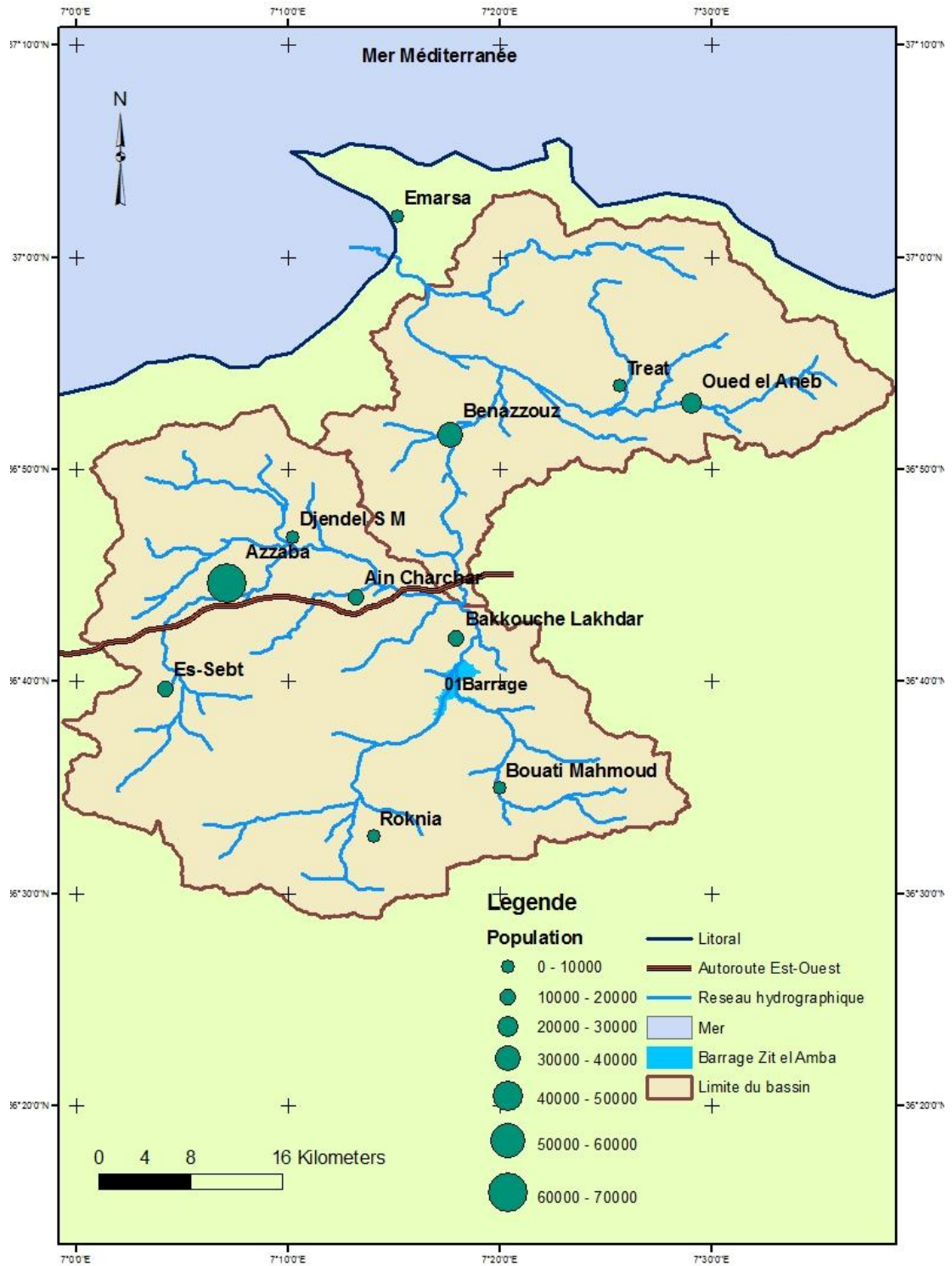


Fig. 46. Répartition de la population du bassin versant du Kébir Ouest

I.2.Agriculture

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest est un bassin à vocation agricole, à cause de la superficie importante des terres agricoles utiles. Qu'elle est de l'ordre de 55328 hectares, soit 30% de la superficie totale du bassin.

Les plus grandes superficies agricoles sont réparties comme suit :

- la plaine alluviale du Kébir-ouest, contient la commune de Benazzouz avec un SAU plus de 11401 ha sur, la commune de Bekkouche Lakhdar avec 6124 ha, la commune de Oued el Aneb 5656 ha et la commune de Treat de 2633 ha ;
- la plaine d'Azzaba, avec 6739 ha SAU à la commune d'Azzaba, 8181 à la commune d'EsSebt, Ain Charchar par 5000 ha d'environ 7800 ha, et Djendel Saadi Mohamed d'une SAU de 4653 ha ;
- les communes de Roknia et Bouati Mahmoud dans le sous-bassin de l'Oud El Hammam. Avec des superficies successivement de 1984 et 2957 ha.
- Les superficies irriguées forment 12,42 % de la surface agricole utile dans le bassin versant du Kébir-ouest (Tableau 32).

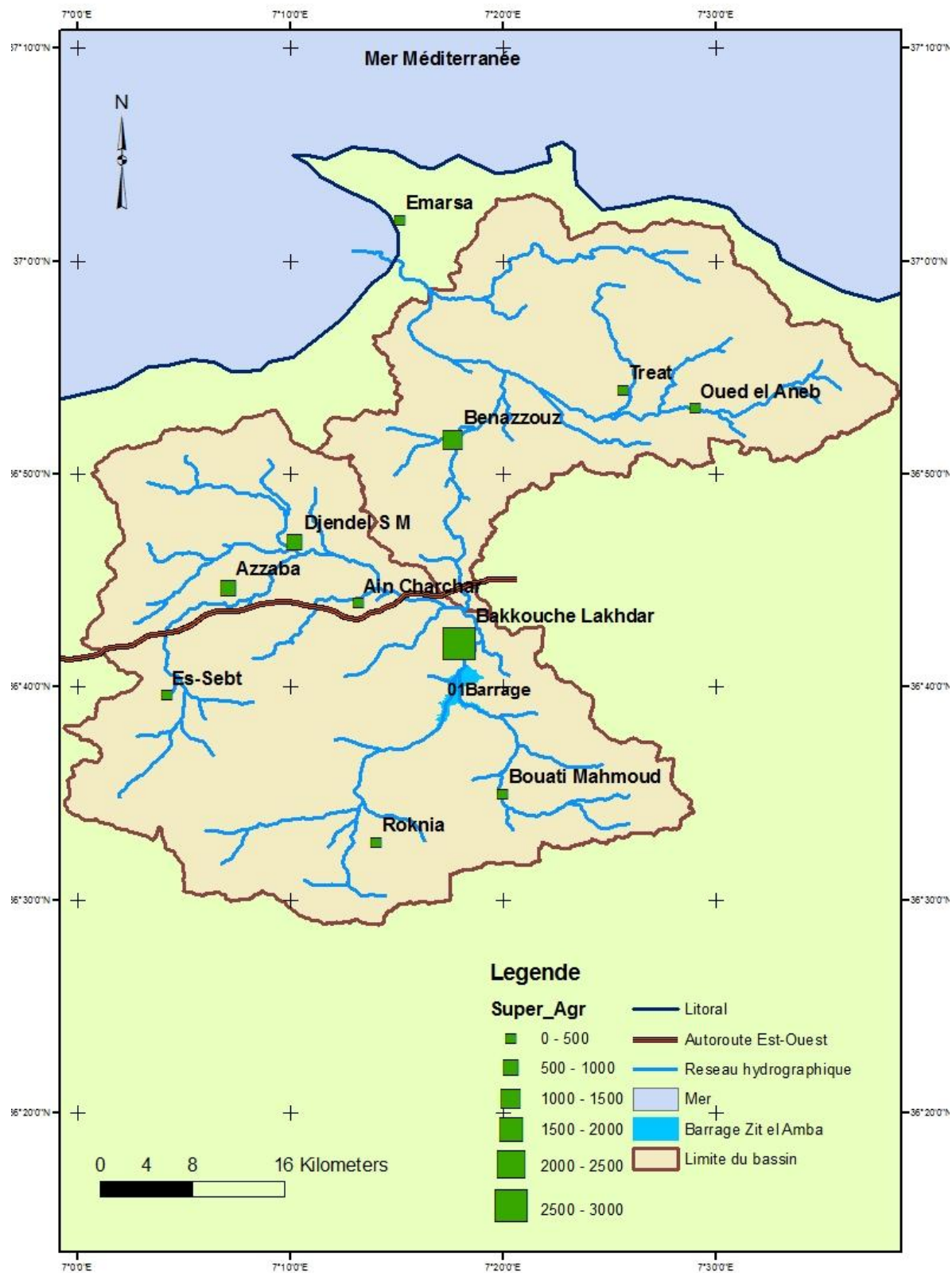


Figure 44. Répartition des superficies irriguées du bassin versant du Kébir Ouest

Tableau 32 Superficie irriguée au bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (Compagne 2014)

<i>Commune</i>	<i>Superficie agricole utile (SAU) en ha</i>	Superficie irriguée (ha)
Azzaba	6739	884
Ain Charchar	5000	835
Djendel	4653	820
Es Sebt	8181	113
Bekouche Lakhder	6124	1008
Benazzouz	11401	1426
Bouati Mahmoud	2957	1021
Roknia	1984	322
Oued El Aneb	5656	276
Treat	2633	165
Total (bassin versant)	55328	6870

Source : (DSA, 2014)

Le potentiel en terres irriguées du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest est estimé de 6870 ha (selon les données de la DSA de Annaba, Skikda et Guelma), ce qui représente 12,42% de superficie agricole totale. A ces terres rajoute le périmètre irrigué de Zit Emba d'une superficie de 6475 ha, la première tranche de 2516 ha est réalisée et mise en eau, reste la deuxième tranche de 3959 ha en cours de réalisation. Au total la superficie irriguée en 2014 est de 9386 ha.

La moitié de la surface agricole est constituée par des cultures maraîchères ; la plupart d'entre eux se trouvent en dehors des périmètres irrigués. Les cultures industrielles occupent aussi une partie notable du bassin. Les cultures fruitières sont les activités agricoles non négligeables.

I.3.L'industrie

L'industrie dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest est considérée comme un utilisateur d'une importance insignifiant par rapport des deux premiers usagers.

Elle se représente par l'unité de mercure à EsSebt (à l'arrêt), l'unité de production d'emballage métallique à Azzaba et quelques conserveries, à savoir celle de Bouati Mahmoud, Izdihar à Benazzouz.



Figure 45. Répartition des unités industrielles dans le bassin versant

II. ESTIMATION DES RESSOURCES EN EAU

Bien que doté d'une situation géographique favorable, à l'extrême nord-est de l'Algérie, le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest reste une zone à climat essentiellement semi-aride dans la majeure partie de son territoire.

Le régime des précipitations est caractérisé par une grande variabilité temporelle et spatiale. Ce régime varie d'une région à l'autre tout en restant dominé par une forte irrégularité dans le temps inter et intra-annuelle. L'alternance d'épisodes de sécheresse et de forte hydraulicité est un caractère de plus en plus marquant des régimes climatiques et hydrologiques du pays.

Les précipitations moyennes annuelles varient de 575 à 781 mm, et se répartissent comme suit :

- 781,16 à la station de Skikda
- 690,05mm à la station de Berrahal
- 639,51 mm à la station d'Azzaba.
- 575,64 mm à la station de Bekouche Lakhdar.

II.1. Les apports pluviométriques

Les apports pluviométriques sont ainsi inégalement répartis sur le territoire du bassin. Les apports pluviométriques en m³/an, d'une année moyenne, sont calculés à partir de pluviométrie moyenne estimée dans chaque station et la superficie contrôlée par chacune d'entre eux.

$$Q = P_i \cdot 1000 \cdot A_i$$

Avec :

Q : Apport pluviométrique en m³/an ;

P_i : Pluviométrie moyenne de la station i en mm,

A_i : Superficie du polygone contrôlé par la station i en Km².

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 40 :

Tableau 40 : Répartition des apports pluviométriques annuels moyens

<i>Station</i>	<i>Pluviométrie Moyenne Pi (mm)</i>	<i>Superficie (Polygone Thiessen) Ai (km²)</i>	<i>Apports pluviométriques de Q (Hm³/an)</i>
Azzaba	639,51	603,2	385,75
Skikda	781,16	5,7	4,45
Bekouche lakhdar	575,65	603,4	347,35
Berrahal	690,05	635,4	438,46
Ensemble du bassin versant			1176,01

Dans ce contexte climatique, globalement les apports pluviométriques sur l'ensemble du territoire sont estimés à près de 1176 millions de m³ par an, 65% de cet apport représente l'évaporation.

II.2. Les ressources naturelles renouvelables

Sur ces apports pluviométriques, la pluie utile (efficace) ou ressources renouvelables ne constituent que 411,60 millions de m³, soit près de 35% de ces apports, qui contribuent aux écoulements d'eau de surface et la recharge des nappes d'eau souterraine. Les ressources en eau de surface renouvelables sont estimées à près de 189,69 millions de m³ par an et celles en eau souterraine est estimée à 221,90 millions de m³ par an. Ces apports sont estimés à partir des résultats des ruissellements calculés par la méthode de TIXERON.BERKALOFF et ROMANTCHOUK, et de l'infiltration tirée du bilan hydrique.

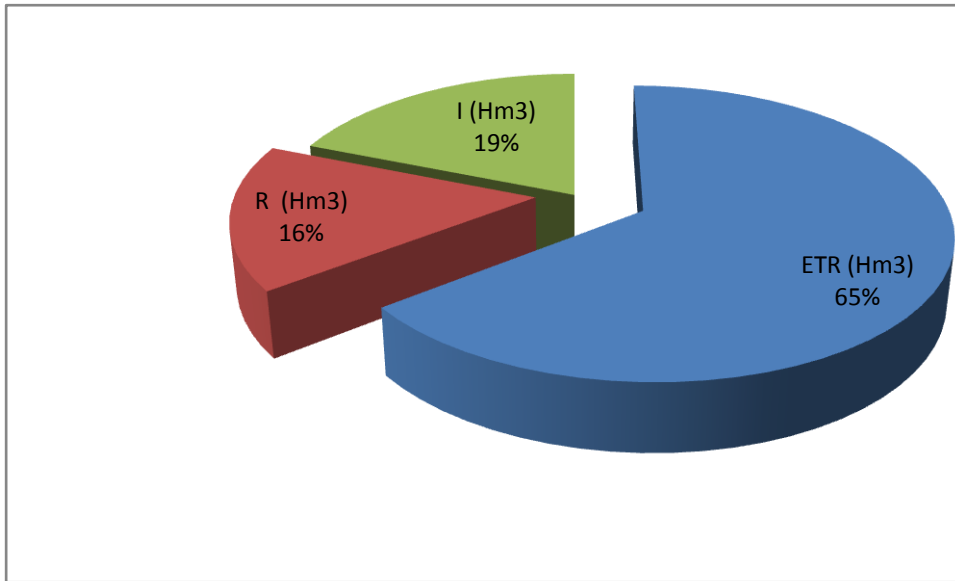


Figure 46. Répartition des ressources en eau en Hm³ dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

II.3. Le bilan des apports

L'efficacité des précipitations est réduite par le rôle inhibiteur de l'évapotranspiration.

Celle-ci représente une lame d'eau de 436,55 mm avec un maximum de. La sollicitation climatique évaporatoire représente 65 % de l'apport brut (436,55 contre 636 mm), soit 764,41 Hm³. Le bilan climatique est globalement excédentaire :

- en année moyenne, sur un apport total 1176,01 Hm³, le surplus hydrologique représente 411,60 Hm³ (soit : 235,05 mm).

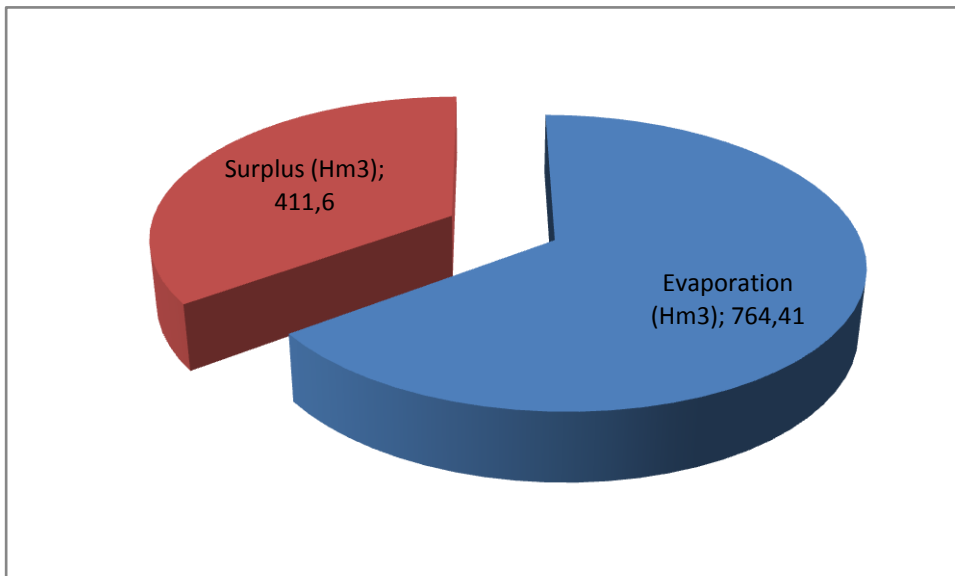


Figure 47 Bilan des apports en eau en Hm³ dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

Cependant, les chiffres ci-dessus énoncés ne sont que des résultats de calcul à partir d'un schéma conceptuel moyen. En réalité, les phénomènes de ruissellement peuvent être plus importants tant en intensité qu'en durée, compte tenu de la physionomie des précipitations.

Les surplus ainsi dégagés, aussi bien en année excédentaire que déficitaire, sont en mesure de satisfaire totalement ou en partie les besoins en eau actuelles dans le bassin.

Cependant, leur étalement sur toute l'année conduit, en raison de la concentration de l'écoulement sur deux ou trois mois, à une pénurie structurelle que seul un stockage des eaux de ruissellement peut résorber.

En effet, subdiviser les ressources en eau renouvelables en ressources en eau de surface et ressources en eau souterraine n'a qu'une signification théorique si on assimile les unes et les autres aux deux composantes de l'écoulement total. En outre, la distinction peut se référer à la séparation conceptuelle entre les eaux de surface et les eaux souterraines faite :

- soit au niveau des apports (ruissellement, infiltration alimentant les nappes souterraines),
- soit au niveau des écoulements sortants (composantes présumés : écoulement superficiel, écoulement souterrain, sous écoulement) ; (Erhard Cassegrain & Margat, 1979).

Tableau 33. Bilan d'eau naturelle du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

	<i>P</i>	<i>ETR</i>	<i>R</i>	<i>I</i>
%	100	65	16,13	18,86
Apport Hm3	1176,01	764,41	189,69	221,8

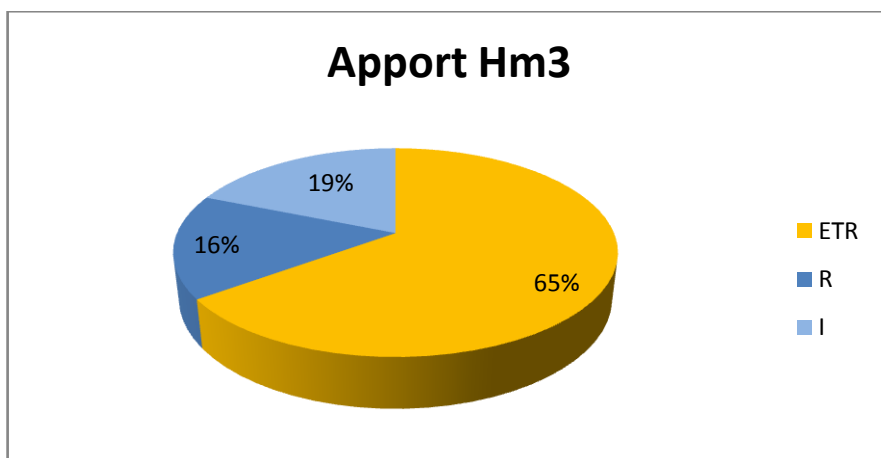


Figure 48 Bilan des apports en eau dans le bassin (1980-2011)

Le flux superficiel sortant au niveau de l'exutoire vers le bassin du Kébir Magrone, estimé précédemment dans le chapitre VI à partir d'une série de quatorze ans (1985-86 / 1998-99) des mesures hydrométriques à la station de Ain Charchar, contrôlant une superficie de l'ordre de 1130 km², est de 116,98Hm³.

III. MOBILISATION DES RESSOURCES EN EAU

III.1. Eau superficiel

1.1-Le barrage de ZITEMBA :

Le barrage de Zit Emba est situé sur l'Oued Hamman dans la partie nord-est de l'Algérie à 2 km de la localité de Bekkouche-Lakhdar dans la wilaya de Skikda, sa capacité totale est de 120 hm³. Il est destiné à l'alimentation en eau potable de la commune d'Azzaba, mais aussi et surtout à l'irrigation d'un périmètre de 6 500 ha situé sur la plaine de Ben Azzouz. La sécheresse qui a sévi a incité les autorités de procéder à une adduction et la pose d'une canalisation sur une distance de 56 km pour doter le barrage de Zerdezas d'une quantité de 9,5 Hm³, à fin de l'alimentation de la ville de Skikda.

Le barrage régularise 43.4 Hm³ annuellement.

Tableau 34. Caractéristiques du barrage de Zit Emba

Année de construction	1989
Année de Mise en eau	2002
Capacité	117,39 hm ³
Apport moyen annuel	50,00 hm ³ /an
Envasement annuel	0, 24 hm ³ /an
Surface du bassin versant	485,00 km ²
Hauteur	55,00 m
Longueur	688,00 m
Côte retenue Normale (R.N)	86,00 m
Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	91,00 m
Déversoir à seuil libre	1094,00 m ³ /s

Source : (MREE, 2014)

Tableau 35 Situation mensuelle du barrage Zit Emba (Du 01/09/2004 au 31/08/2005)

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Tot mm
Réserve au début du mois, RDM (hm ³)	110.12	108.11	105.38	116.84	120.75	120.08	118.57	117.33	117.17	115.85	111.22	107.73	
Réserve à la fin du mois, RFM (hm ³)	108.11	105.3	116.84	120.75	120.08	117.99	117.41	117.17	115.94	111.46	107.81	105.60	
RFM- RDM	-2.013	-2.735	11.46	3.915	-0.673	-2.086	-1.16	-0.165	-1.23	-4.398	-3.415	-2.125	
Apport mensuel (hm ³)	0.899	0.384	26.834	25.171	34.582	59.108	43.262	25.336	2.795	0.29	0.491	0.419	219.571
Taux de remplissage (%)	90.09	87.81	100.21	103.57	102.99	101.20	100.71	100.49	99.44	95.6	92.47	90.58	
Pluviométrie (mm)	76.3	10.1	223.8	105.8	112.7	150	91.9	100.8	4	3	0	9.1	887.5

Source : DHW. Skikda

* La réserve à la côte normale du barrage ZIT EMBA est de 116.590 Hm³ depuis le mois de Novembre au lieu de 120 Hm³

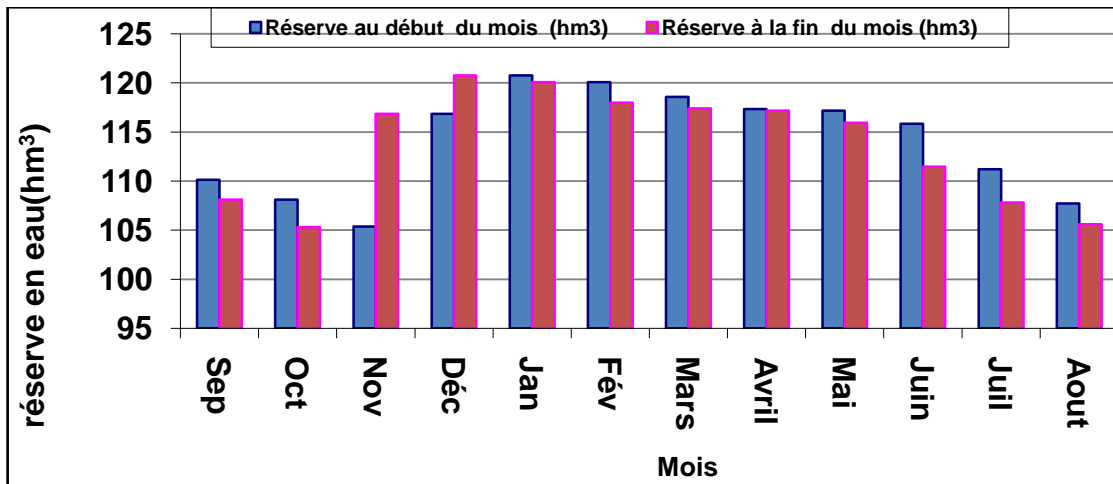


Figure 49. Courbe de variation mensuelle des réserves en eau (Hm³). (Année2004/2005)

A partir de mois d’octobre jusqu’à janvier la réserve à la fin du mois est supérieure par rapport au début, ce qu’il indique que les apports entrants excédents les apports sortants, le contraire est remarqué pendant le reste de l’année.

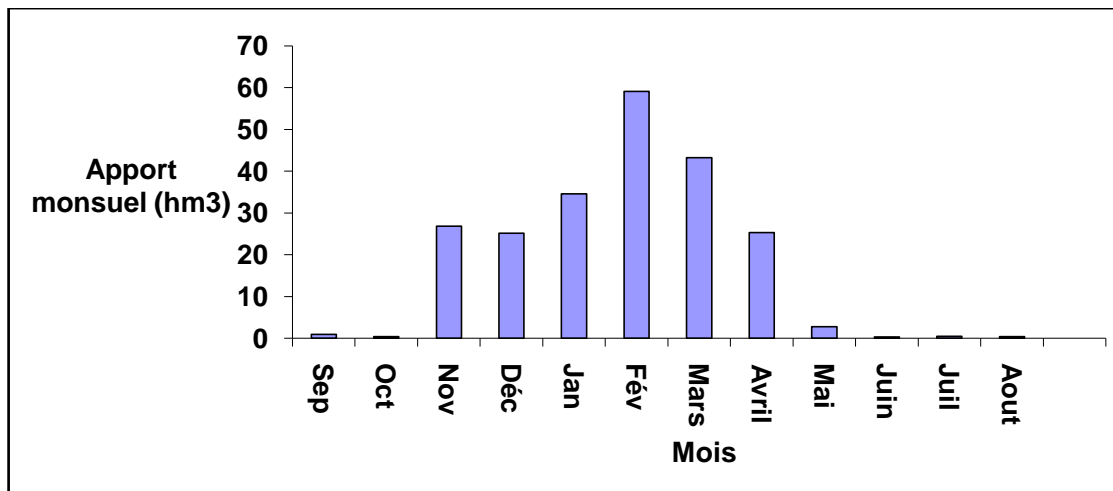


Figure 50. Apport mensuel en eau (Hm³) en 2004 /2005

Les prélèvements dans le barrage de Zit el Emba en 2014 sont estimé à environ 25,23 millions de mètre cube, répartie entre l’irrigation de la première tranche du périmètre irrigué avec 6,5 Hm³, l’alimentation de la station de traitement et de production d’eau potable d’Azzaba avec 9,23 Hm³ et le transfert vers le barrage de Zerdezas de 9,5 Hm³.

1.2-Les retenues collinaires :

Les retenues collinaires dans le bassin versant de Kébir Ouest, sont destinées essentiellement à l'irrigation des moyens et petits périmètres et l'abreuvement des cheptels, elles sont au nombre de 36 depuis les années 80 mobilisant un volume total approximative de 1,89 millions de mètres cube par an d'eau de surface.

Tableau 36. Inventaire des retenus collinaires dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

<i>Commune</i>	<i>Nbre de retenus</i>	<i>Capacité de stockage en m³</i>
Bouati M	2	50000
Roknia	2	130000
Ain Charchar	6	245000
Djendel	4	66000
Benazzouz	5	135500
Treat	9	622000
O el Aneb	9	645000
Total	37	1893500

Source : ABHcsm (Guelma, Skikda, Annaba).

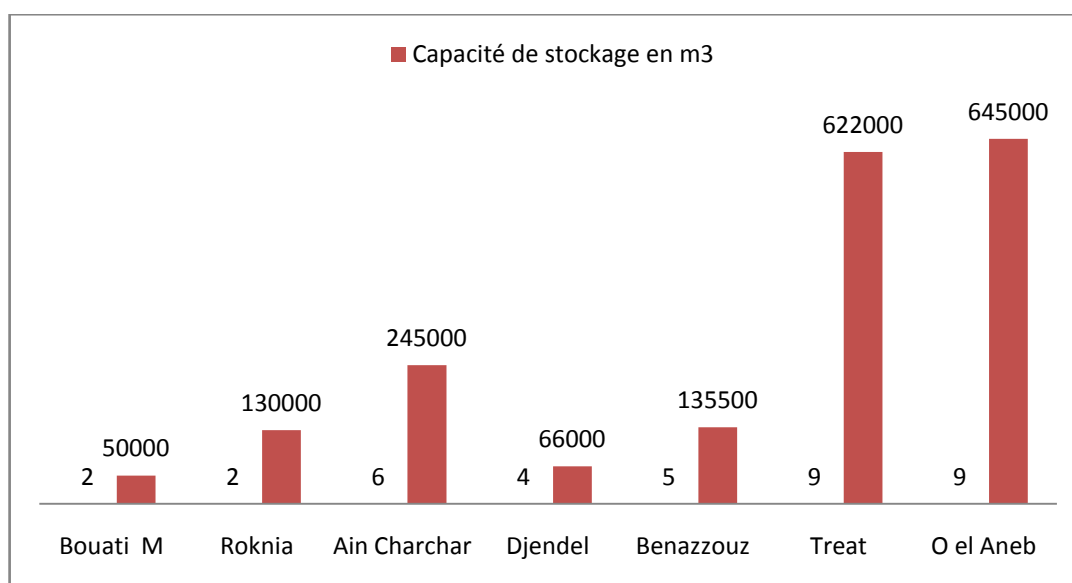


Figure 51 La capacité de stockage dans les retenues collinaires dans le bassin versant (m³)

Des études sont en projet pour l'inventaire des sites potentiels pour des retenues collinaires (tableau 37), avec une capacité totale éventuelle de 1,45 hm³.

Tableau 37 Inventaire des sites potentiels pour des retenues collinaires

Nom du site	Commune	Superficie BV. km ²	Apport (hm ³)	Capacité (hm ³)
MAHARIA	BOUATI. MAHMOUD	10,35	0,825	0,7
MESSILA	ROKNIA	9,5	0,57	0,25
OUED ROKNIA	ROKNIA	11,2	0,72	0,3
H,BOU DJIM	BOUATI. MAHMOUD	8,7	0,52	0,2
Total				1,45

1.3- les prises d'eau des Oueds :

Sur le réseau hydrographique du bassin on relève 120 prises d'eau destinée à l'irrigation totalisent un volume moyen annuel de 14 Hm³.

1.4 -Les sources :

Deux sources sont captées, assurant l'alimentation en eau potable de la commune d'Azzaba, avec un débit de 25 l/s, le volume moyen annuel est de 0.788 Hm³. D'autres sources de moins importance sont recensées au sein du bassin.

Il est à noter l'existence des sources thermales d'importance thérapeutique et touristique exploitées dans la zone à savoir celle de Hammam es-Salihine à Azzaba, Hammam Oueled Ali de Guelma, et celui d'el Hama à Benazzouz.

Au total de 73.57 Hm³, le volume mobilisé par le barrage est les retenues collinaires existant dans le bassin, est de l'ordre de 58.613 Hm³, soit 79.67 %.

III.2.Ressources souterraines

La connaissance d'un aquifère exploitable et de son potentiel repose sur l'étude de tous ses paramètres (transfert de masse, transmissivité, fonction capacitive, perméabilité...).

Les réserves souterraines dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest sont estimées à environ 26 Hm³ proviennent essentiellement des différents ouvrages de captage localisés dans la plaine de Azzaba, captant les deux horizons aquifères existants dans la zone.

Les forages

La majorité du potentiel hydrique souterrain est extraite par pompage à partir d'une batterie de forages implantée dans la plaine alluvionnaire d'Azzaba et la vallée de l'Oued el Kébir Ouest.

Au mois de décembre 2016, on a dénombré 41 forages opérationnels destinés à l'alimentation en eau potable (AEP) des chefs lieu des communes et de ces

agglomérations secondaires. Le volume total mobilisable est de 559,7 l/s, soit 17,65 Hm³ par an. En fait, de fait de l'ancienneté de la plus part des forages, le débit total d'exploitation est de 337,3 l/s qui correspondre à un volume annuelle de 10,64 millions de mètre cube.

Il est à noter aussi que ces forages fonctionnent seulement pendant le jour, ce qui réduit les prélèvements à la moitié, soit 05,32 millions de mètre cube par ans.

Tableau 38. Inventaire des forages et des débits destinés à l'AEP

Communes	Nom de Forage	Lieu du forage	Debit max (l/s)	débit exploité (l/s)
Ben Azzouz	Ben azzouz 01	Dem el bagrat	35	25
	ben azzouz 02	Dem el bagrat	13	12
	Aouadi mabrouk	Aoudi mabrouk	13	12
	Zaouia01	Zaouia	6	3
	Zaouia02	Zaouia	13	12
	Ain necma 01	Ain nechma	12	7
	Ain necma 02	Ain nechma	18	15
	Mdjez Stah 01	Mdjez-Stah	4	3
	Mdjez Stah 02	Mdjez-Stah	15	15
	Laklallba	Lalhlallba	14	15
	El-hamma	EL-HAMMA	15	10
Ain chaiba	Ain chaiba	15	8	
s/total			173	137
La marsa	Diar Eldjedri	Dia Eldjedri	2	1,5
	Sidi Merzougue	Sidi Merzougue	7	4
	Mechtat lazrag	Mechtat lazrag	8	6
s/total			17	11,5
Djendel	Guerbes1	Guerbes	4	4
	Guerbes3	Guerbes	6	6
	Redjata1	Redjata	6	5
	Redjata 2	Redjata	6	4
	Refaya	Refaya	7,5	6
	Raghma	Lakhiadra	7,5	6
	Lakhiadra 1	Lakhiadra	3	0,5
s/total			40	31,5
Azzaba	Oued Fendek	Oued Fendek	10	6
	Zaouia 1	Sidi Meziane	4	3,8
	Menzel Bendiche	Sidi Meziane	12	9
	Université	Sidi Meziane	4	4
	Menzel Al Abtal	Ressort	4	2,5
	Menzel Al Abtal	ferme Filali	12	12

	Menzel Bendiche	Base de vie COOJAL	5	5
s/total			51	42,3
Ain Charchar	Ain Charchar1	Ain Charchar	10	8
	Ain Charchar2	Ain Charchar	15	13
	Oued el Kébir	Oued el Kébir	10	4
	Zaher	Zaher	18	6
s/total			53	31
Essebt	Essebt 1	Es Sebt	5,7	5
	Essebt 2	Es Sebt	5	5
s/total			10,7	10
Roknia	0	0	0	0
s/total			0	0
Bouati M	Hammam Ouled Ali	Hammam ouled Ali	25	18
s/total			25	18
Oued el Aneb	Draa Errich	Berrahal	36	9
s/total			36	9
Treat	Treat1	Treat	37	3
	Treat2	Treat	45	20
	Treat3	Oued el Aneb	36	15
	Treat4	Oued el Aneb	36	9
s/total			154	47
Total			559,7	337,3
Volume en Hm³			17,65	10,64

Sept forages sont destinés à l'alimentation en eau pour l'industrie ; Leurs débits compris entre 5 et 40 l/s. mobilisent un volume total de 3,41 Hm³/an, le volume prélevé est de l'ordre de 2,78 Hm³.

Tableau 39 inventaire des prélèvements d'eau pour industrie. (Année 2014)

Commune	Nom du Forage	Débit Max l/s	Débit Exp l/s
Benazzouz	Conserverie izdihar	40,00	36,00
	Conserverie Boumaiza	35,00	30,00
	ORAVI 01	8,00	8,00
	ORAVI 02	10,00	8,00
	ORAVI 03	15,00	6,00
Bouati Mahmoud	Conserverie Ben Amor	01	01
Azzaba	UPD	01	01
Total		108,00	88,00
Volume total en Hm³		3,41	2,78

Pour l'irrigation, les nappes d'eau souterraines sont sollicitées par une batterie de forages et puits, dont le débit d'exploitation varie entre 1 et 25 l/s, le volume d'eau mobilisé est estimé à 13,55 Hm³ par ans. Néanmoins, le volume prélevé est très difficile à estimer, puisque ces forages et puits exploités seulement dans la période d'irrigation et que cette dernière est variable dans le temps et dans l'espace et même selon le type de culture et le mode d'irrigation. Pour cela on a proposé une estimation d'un tiers des ressources mobilisées est prélevé, soit 4,51 millions de mètre cube.

Le volume d'eau mobilisé annuellement par les forages et puits existants dans le bassin pour différentes utilisations, est de l'ordre de 34,52 Hm³. Répartie comme suit : 51,13% pour le secteur de l'alimentation en eau potable, 39,25% pour l'irrigation et 9,88% pour l'industrie.

Tableau 40. Récapitulatif de mobilisation et prélèvements des ressources en eau dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (2014).

Secteur	Eau souterraine		Eau superficielle		Total	
	Mobilisé	Prélevé	Mobilisé	Prélevé	Mobilisé	Prélevé
AEP(Hm ³)	17,65	10,64	-	19,52	-	30,16
AEP(%)	51,13	59,34	0,00	46,58	0,00	50,40
AEA (Hm ³)	13,55	4,51	-	22,39	-	26,9
AEA (%)	39,25	25,15	0,00	53,42	0,00	44,95
AEI (Hm ³)	3,41	2,78	0	0	3,41	2,78
AEI (%)	9,88	15,50	0,00	0,00	0,00	4,65
Total (Hm³)	34,52	17,93	47,63	41,91	82,15	59,84
Total (%)	42,02%	29,96	57,98%	70,04	100	100

En terme de pourcentage, le secteur d'eau potable utilise plus de 50% des ressources prélevées, suivi par le secteur agricole qui prélève environ 45%, les prélèvements d'eau pour le secteur industriel n'atteignent pas les 5%, il est à noter que ce dernier n'utilise que les eaux de forage. Les trois secteurs utilisateurs d'eau dans le bassin sollicitent 70% de ces besoins à partir des eaux superficielles, soit 41,91 millions de mètre cube, le reste de ces besoins est comblé par les ressources en eau souterraines.

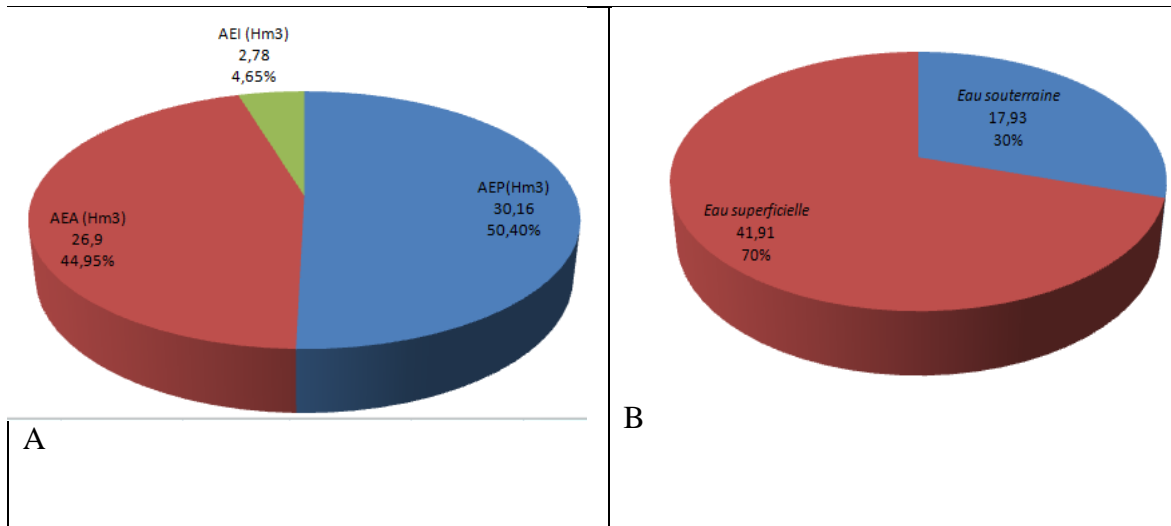


Figure 52. Volume d'eau prélevée A: par secteur; B: par type de ressource

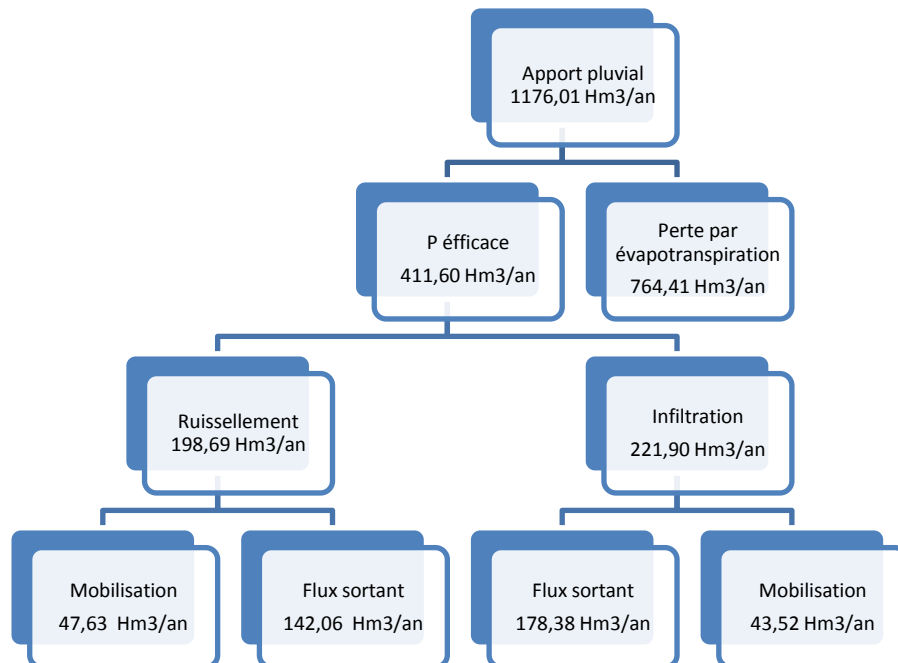


Figure 53. Schéma de repartition des ressources en dans le bassin versant

V. INDICES DE GESTION DE L'EAU

IV.1. Indice d'exploitation des ressources renouvelables

Cet indicateur mesure la pression relative des prélèvements annuels sur les ressources d'eau douce naturellement renouvelables conventionnelles (Planbleu, 2006)

$$IER = \left(\frac{P}{R} \right) \times 100$$

Avec :

IER : Indice d'exploitation des ressources en eau renouvelables.

P : Somme des volumes des prélèvements annuels en eau naturelle renouvelable conventionnelle pour toutes utilisations, incluant les pertes lors du transport, en référence à une année spécifiée ; égale à **59,84** Hm³.

R : Volume du flux annuel moyen de ressources en eau naturelle renouvelable, égale à 411,6 Hm³.

D'ou **IER = 14,54 %**.

La valeur de l'IER comprise entre 10 et 20 indique un stress hydrique faible (Tableau 41) la nécessité de renforcer les efforts de gestion des ressources et d'investissements dans le domaine de l'eau.

Tableau 41 indice d'exploitation des ressources en eau renouvelables selon Shiklomanov 1991.

Indice en %	Situation
<10%	Pas de stress (Confort)
10% - 20%	Stress faible
20% - 40 %	Stress modéré
40% - 80%	Stress important
>80%	Stress sévère (pénurie)

(Milano, 2002), d'après Shiklomanov, (1991)

IV.2. Volume d'eau renouvelable disponible annuellement par habitant

L'indicateur le plus fréquemment utilisé est celui de l'hydrologue suédoise (Falkenmark, 1989). Sa présence remarquable dans la littérature est due principalement à la facilité à interpréter et à comprendre les résultats obtenus au moyen de cet indicateur et à la disponibilité des données requises pour le calculer (Jemmali, 2013)

Tableau 42 Seuils de pénurie d'eau proposés par Falkenmark (1989)

<i>Disponibilité annuelle (par hab en m³)</i>	<i>Situation hydrique</i>
< 500	Rareté d'eau absolue
500 -1000	Manque d'eau chronique (Rareté)
1000 -1700	Stress hydrique modéré
> 1700	Pas de stress hydrique

VDH= Ressource renouvelable disponible /Nombre d'habitant

$411,6 \cdot 10^6 / 200791 = 2049,89 \text{ m}^3/\text{hab}$ et par an.

Cette valeur dépasse la moyenne mondiale : $1\,243 \text{ m}^3/\text{personne}/\text{an}$ (Hoff *et al*, 2014), et dépasse sept fois la ressource en eau renouvelable totale disponible par habitant en Algérie en 2014 donnée par la (FAO) ($292 \text{ m}^3/\text{Hab}$).

D'après le tableau ci-dessus, la zone d'étude est située dans une situation confortable en matière d'eau à l'heure actuelle (pas de stress hydrique).

V.PROBLEMES LIES A LA QUALITE DES EAUX DANS LE BASSIN VERSANT

La synthèse de la qualité des eaux du bassin est basée sur la littérature, en fait, plusieurs études hydrochimiques ont été réalisées sur les eaux du bassin. L'analyse de ses études peut révéler les principaux problèmes qualitatifs dont souffrent les eaux de la zone. En allant de l'amont vers l'aval on peut Subdiviser la zone en trois secteurs : i) la plaine de Fendek-Azzaba avec une pollution mercurielle très marquée ; ii) le secteur d'oued el Hammam marqué par la détérioration de la qualité des eaux au niveau du barrage Zit-el Emba ; iii) la plaine Senhadja-Guerbez avec les menaces du biseau salé au littoral et la pollution d'origine agricole (Oued Kébir).

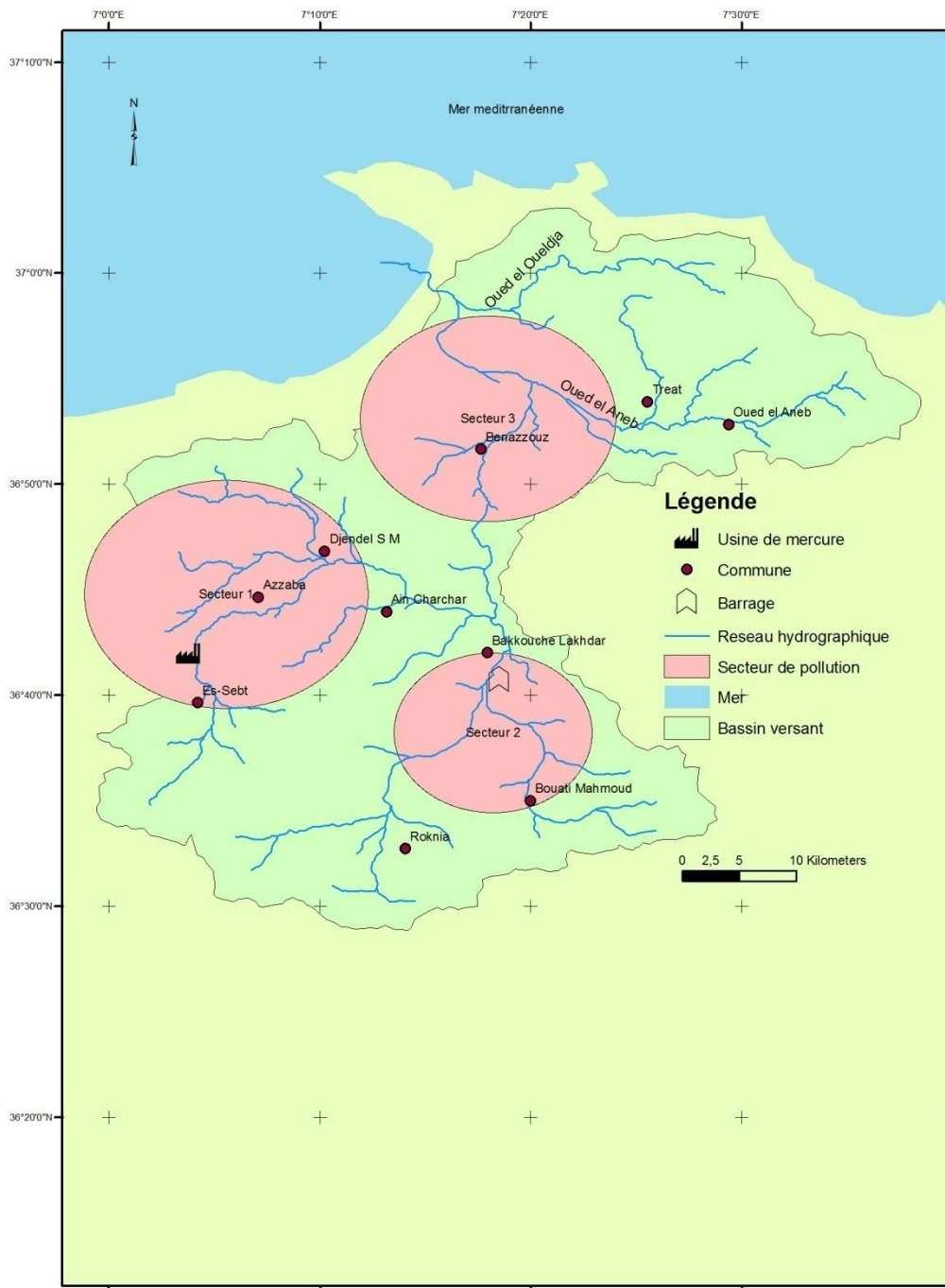


Figure 54. Carte de localisation des problèmes qualitatifs des ressources en eau

V.1.Pollution mercurielle de la zone de l'Oued Fendek

En se référant aux travaux de Benhamza, (2008) et de Benrabah *et al* (2013) on peut décrire la situation de la zone sur le flanc Nord de la chaîne Numidique à 30 Km vers le sud de la ville Skikda et de 3 à 10 Km d'Azzaba. Les gisements de mercure du district occupent une position géologique déterminée et sont regroupés en deux champs miniers. Le champ d'Ismaïl regroupant les trois gisements (Ras El Ma, Ismaïl et

Guenicha) ayant pour horizon porteur de la minéralisation mercurielle les conglomérats brèches calcaires de l'Hyprésien-luthétien. Le second de Mra-Sma constitué par les gisements (Mra-Sma I, MraSma II et koudiat Sma) ayant pour horizon porteur de la minéralisation les pseudo-brèches calcaires du Campanien et les grès du Néocomien (Fig. 55).

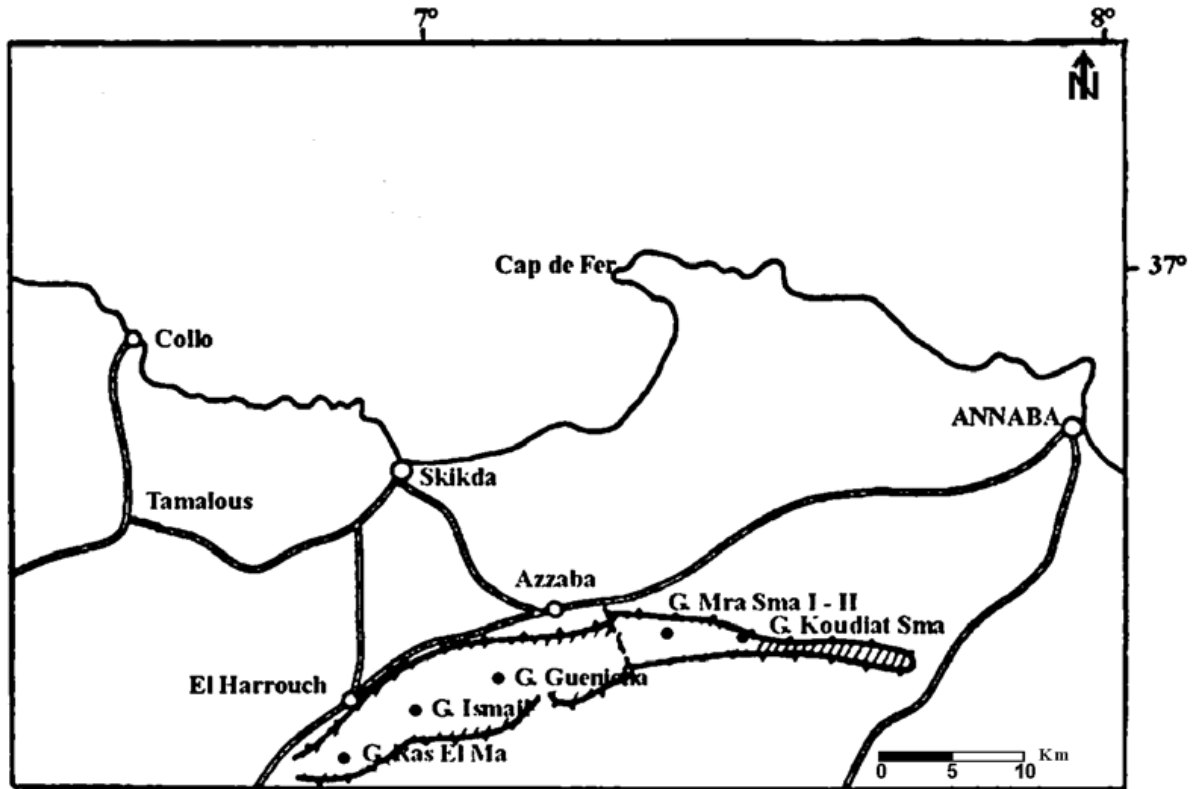


Figure 55. Situation des gisements de mercure (Benhamza, 2008 ; Benhamza, 2015)

Le faciès chimique dominant, dans les eaux des nappes tiré à partir des neuf points d'analyse choisis par Benhamza (2008) et Benhamza (2015), est le bicarbonaté calcique (fig. 56). Ce faciès provient du réservoir du Paléocène éocène constitué de calcaires caverneux et fissurés et de grès calcaires du Paléocène. Deux autres faciès ont été révélés également, il s'agit du chloruré magnésien et de sulfaté calcique. Le premier est du essentiellement aux formations gréseuses et argileuses de l'oligocène et à la dissolution des chlorures de sodium des alluvions salifères. Le second s'explique par le lessivage des grès et des argiles prédominant dans les roches Oligocène. Ce faciès provient en grande partie de la dissolution des sulfates de calcium contenus dans les inclusions évaporitiques et dans les alluvions.

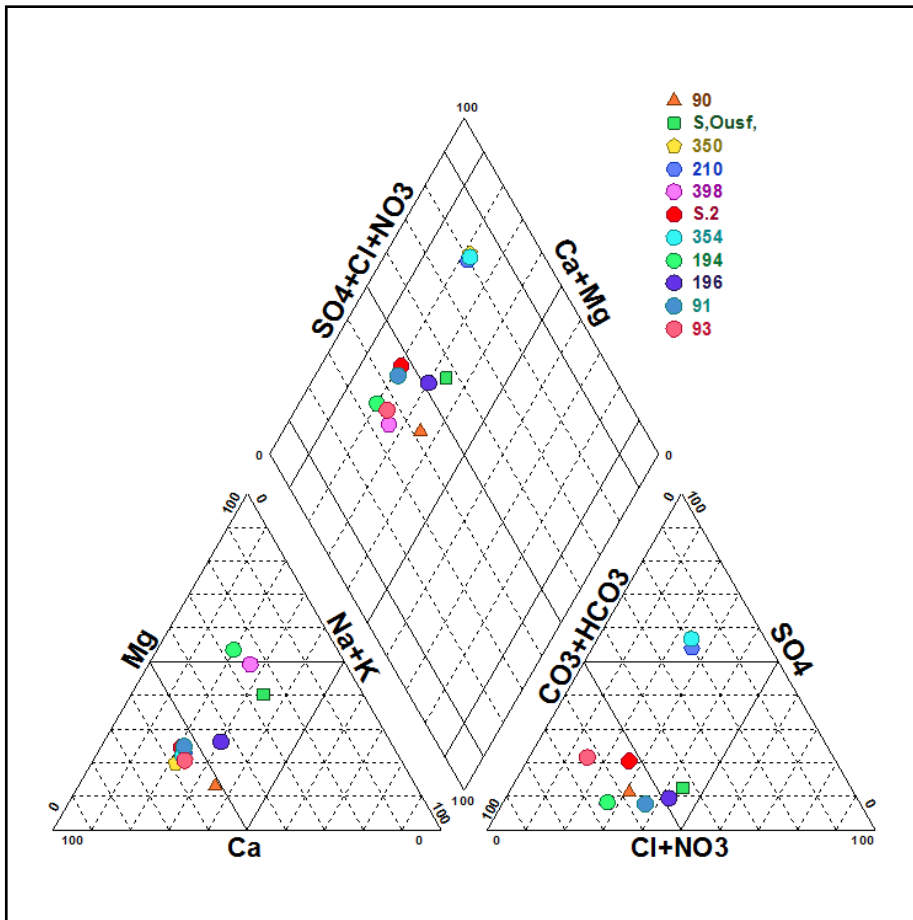


Figure 56. Représentation des ions majeurs sur le diagramme de Piper (Benhamza, 2008)

Les teneurs élevées en Hg et en Pb dans les eaux analysées, jusqu'à 80 µg /L ont été retrouvées dans la nappe de l'Oligocène (la nappe superficielle) ; alors que dans la nappe Paléo-Eocène elles sont relativement faibles. Des travaux effectués dans la région ont montré que l'usine de mercure présente une double pollution atmosphérique et hydrique, en effet une partie des teneurs en mercure résulte du recyclage par les pluies de l'Hg atmosphérique dégagé par l'usine et la grande partie provient des rejets hydriques de cette dernière (Benhamza, 2008). Les teneurs en Hg et en Pb retrouvées dans les eaux souterraines de la région sont très élevées et dépassent les normes admissibles, témoignant ainsi d'une contamination de la nappe phréatique de l'Oligocène.

L'indice de risque du mercure et l'Arsenic est très élevé (inacceptable) et constitue un risque pour la population de la région et surtout pour les enfants d'Azzaba. Le risque cancérigène de l'Arsenic sur les enfants de la région est de l'ordre de 10^{-5} .

V.2. Qualité des eaux du barrage Zit el Amba

Le barrage de Zit el Emba constitué le seul et le principale réservoir d'eau superficielle dans le bassin versant du Kébir-ouest. La connaissance de la qualité de ses eaux s'avère très importante pour son aptitude aux différents usages.

Plusieurs études ont été réalisé sur la qualité des eaux du barrage, on peut citer celle de (Belhadj, Boudoukha et Mezedjri, 2011 ; Harrat & Achour, 2011).

Les deux faciès dominant sont le bicarbonaté magnésien et le bicarbonaté calcique magnésien (fig 57). Les faciès dominants selon Belhadj (2006) sont en liaison directe avec la géologie qui laisse affleurer des formations carbonatées telles que les calcaires, les dolomies, de l'âge Crétacé de la plate forme néritique constantinoise. Par contre le faciès sulfaté ne représente qu'un faible pourcentage à cause de la faible présence des formations évaporétiques dans la région d'étude, Le faciès sulfaté-chloruré de ces eaux est caractéristique d'une pollution anthropique par contre le faciès bicarbonaté des eaux du barrage est acquis lors du ruissellement de l'eau sur des terrains carbonatés.

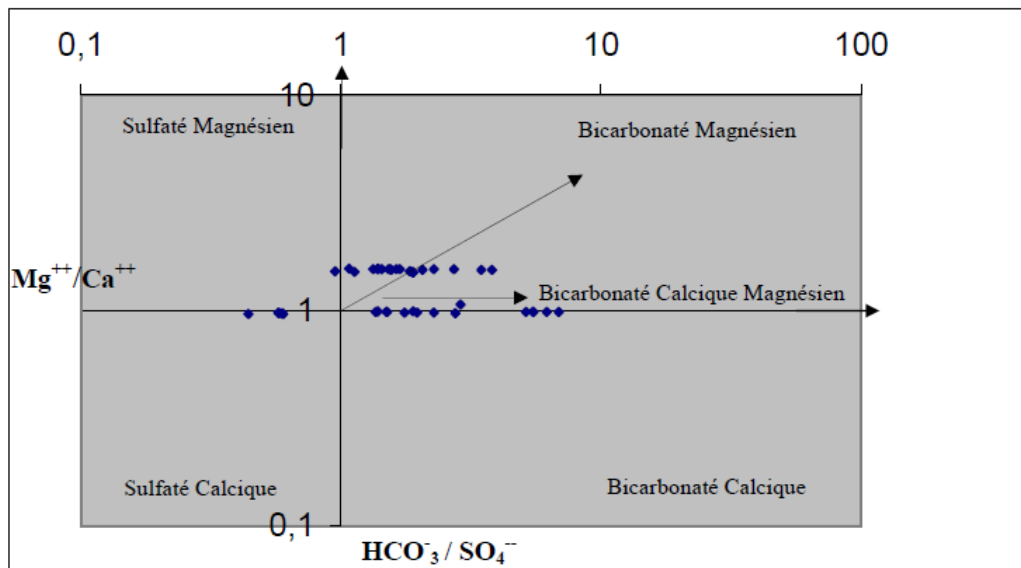


Figure 57. Le faciès chimiques des eaux de surface de Zit el Emba (Belhadj, 2006)

La teneur en éléments traces (Pb^{2+} et Hg^{2+}) dans ces eaux de surface est très élevée, la concentration du Plomb dans les eaux du barrage sont très élevées (de 0,067 à 0,907 mg/l) en comparant avec les normes de potabilité de l'(OMS) (0,1 mg/l). La teneur en mercure de 0,038 mg/l en moyenne (entre 0,004 et 0,012 mg/l) selon Belhadj (2006) ce qui dépasse largement la norme prescrite par l' (OMS) pour les eaux potable (0,001 mg/l).

D'après Belhadj (2006), les eaux du barrage sont de qualité admissible à bonne pour l'irrigation.

V.3. Biseau salé au littoral (Aquifère de Guerbès)

Aux risques d'épuisement et de dégradation qualitative de la ressource, se superpose le risque d'intrusion marine. Le système aquifère de la plaine alluviale du Kébir Ouest avec son système exoréique et leur différentes caractéristiques hydrogéologiques (faible épaisseur des nappes, conductivités hydrauliques relativement élevées, faibles distances par rapport à la côte, ...etc.), constitue des ressources très vulnérables au phénomène d'invasion marines.

Une étude menée par Hadj-Said *et al.* (2005) a permis d'analyser l'existence ou non du biseau salé dans le système aquifère de Sanhadja-Guerbès sur la base des données hydrochimiques.

Les eaux de la plaine de Guerbès située en région côtière seront vraisemblablement influencées par la mer. Les formations géologiques au travers desquelles, elles circulent ou dans lesquelles elles séjournent influencent également la composition chimique des eaux (Hadj Said, 2007). Les eaux de l'oued Kébir appartiennent essentiellement aux deux familles des eaux :

- chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (2 échantillons),
- chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (5 échantillons).

Quant à la nappe superficielle, selon la campagne de juin 2002, les eaux appartiennent aux familles des eaux :

- chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (13 échantillons),
- chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (3 échantillons)

Pour la campagne d'octobre 2000 (fig. 85), on remarque sur le diagramme que les eaux de la nappe appartiennent aux familles des eaux :

- chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (9 échantillons),
- chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (8 échantillons),
- bicarbonatée calcique et magnésienne (1 échantillon),
- carbonatée sodique et potassique (2 échantillons)

Les eaux de la nappe profonde appartiennent aux familles des eaux :

- chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (1 échantillon),
- chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (4 échantillons)

Globalement, le faciès chloruré sodique à chloruré calcique est le plus abondant. L'utilisation de la cartographie hydrochimique, les rapports Br/Cl , rMg/rCa et rSO_4/rCl et la méthode du Delta ionique ont permis d'expliquer l'origine de la salinité des eaux de l'aquifère superficiel. Dans le secteur côtier, elle serait due au biseau salé, donc à une pollution marine. Dans le temps, les teneurs en nitrates ont augmenté atteignant des valeurs qui dépassent les normes de potabilité (50 mg/l fixé par l'OMS) atteignant un maximum de l'ordre de 96,96mg/l. Quant à la variation saisonnière, les teneurs élevées se manifestent en période de basses eaux et se répartissent sur l'ensemble du secteur (Juin 2002).

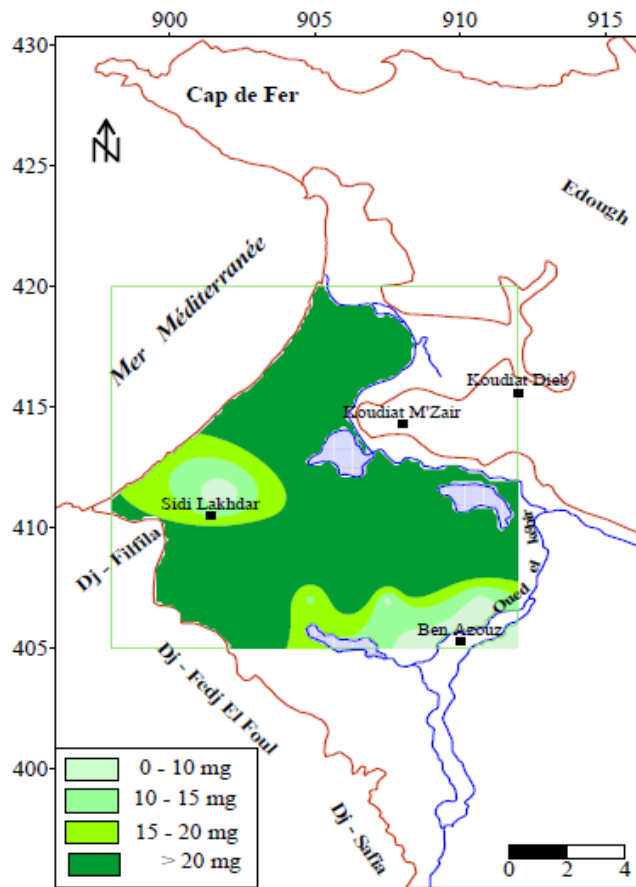


Figure 58. Evolution des teneurs en nitrates (juin 2002), d'après Hadj Said, (2007)

CONCLUSION

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest reçoit, pour une année pluviométrique moyenne, un apport d'eau naturelle qui dépasse les 1176 Hm³, plus de deux tiers absorbée par l'évapotranspiration, et seulement 411 retrouvée dans le bassin partagée entre ruissellement et infiltration.

Les ressources mobilisables en eau de surface sont de l'ordre de 411 Hm³, dont seule 82,15 sont mobilisées, soit 20 % environ, et 59,84 Hm³ réellement prélevées, qui correspondent à 14,54 % des ressources mobilisables et 72,84 % des eaux mobilisées.

9.5 Hm³ sont transférées à partir du barrage de Zit Emba vers le bassin du Saf Saf afin de combler la carence qui affecte le secteur de l'eau potable dans la ville de Skikda.

Quant aux eaux souterraines, 34,52 Hm³ sont mobilisables et exploitées, les prélèvements constituent 51,94 % (17,93 Hm³).

Les principaux usagers de l'eau dans le bassin sont l'agriculture avec 44,95 % et l'AEP avec 50,40%, et l'industrie par 4,65%.

A l'heure actuelle, le bassin versant se trouve dans une situation confortable en matière d'eau, avec un volume disponible annuellement dépassant les 2000 mètres cubes par habitant.

L'indice d'exploitation des ressources naturelles renouvelable, égale à 18.45, indique un stress hydrique faible.

De point de vue qualité, deux problèmes peuvent être cernés, pollution mercurielle dans la région de oued Fendek et invasion marine et pollution par les nitrates dans la zone de Senhaja-Guerbez.

CHAPITRE VI

SIMULATION DE L'IMPACT DES CHANGEMENT GLOBAUX SUR L'EVOLUTION DES RESSOURCES EN EAU ET LEUR UTILISATIONS

INTRODUCTION

La modélisation informatique dans le domaine des ressources en eau a une longue histoire. Beaucoup de modèles sophistiqués ont failli en étant mathématiquement obscure et trop ambitieux dans la tentative d'optimiser les solutions aux problèmes de la vie réelle. L'expérience montre que la meilleure approche consiste à construire un outil simple et flexible pour aider, mais non pour remplacer, l'utilisateur du modèle. WEAP représente une nouvelle génération de logiciels de planification de l'eau qui utilise la puissante capacité des ordinateurs personnels d'aujourd'hui pour donner aux professionnels de l'eau partout l'accès à des outils appropriés.

La conception du programme WEAP est guidée par un certain nombre de considérations méthodologiques : un cadre de planification intégré et complet; L'utilisation d'analyses de scénarios pour comprendre les effets des différents choix de développement; Capacité de gestion de la demande; Capacité d'évaluation environnementale et facilité d'utilisation. Celles-ci sont discutées ci-dessous.

Les politiques nationales de l'eau accordent presque toujours une place prioritaire à la demande en eau de consommation domestique, mais en pratique, on la considère comme négligeable par rapport à la demande des autres secteurs, ce qui est un tort. S'il est vrai qu'en général l'usage domestique ne compte que pour 10 à 20 % de l'utilisation de l'eau dans le pays et que l'agriculture utilise environ 60 à 80 %, il y a plusieurs remarques à faire sur cette constatation.

I. DESCRIPTION DU MODELE

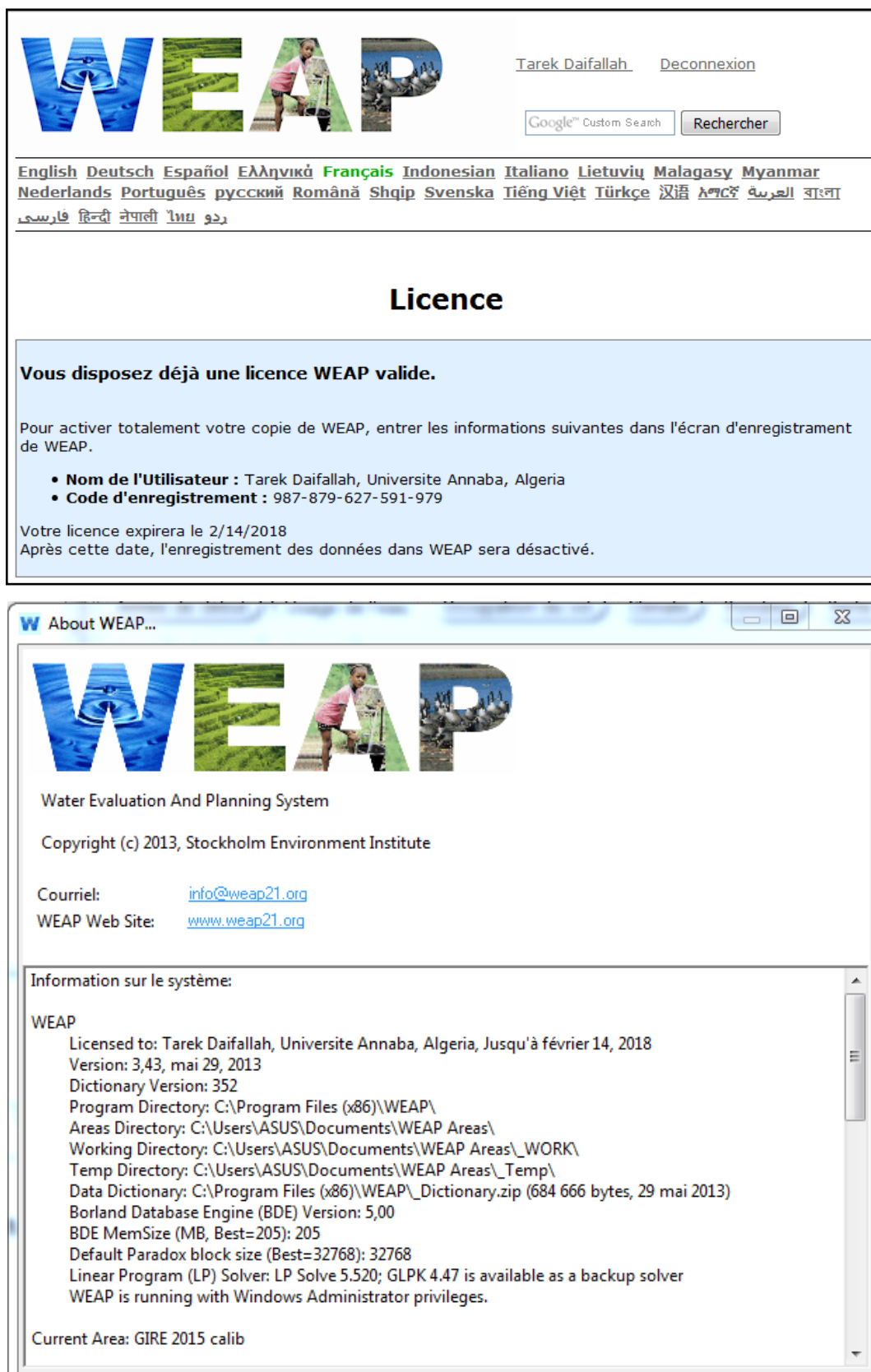
Les défis de la gestion de l'eau sont de plus en plus communs. L'allocation des ressources limitées en eau entre l'agriculture, les utilisations municipale et environnementale, requiert maintenant une intégration de l'offre, de la demande, de la qualité de l'eau et des considérations écologiques. Le système d'Evaluation et de Planification de l'Eau, ou WEAP, vise à intégrer ces éléments dans un outil pratique et robuste pour la planification des ressources en eau. WEAP est développé par Stockholm Environment Institute's U.S. Center.

Tableau 43 Les grands traits du WEAP

Une approche intégrée	Approche unique pour conduire des évaluations de planification intégrée des ressources en eau
Le processus des Parties prenantes	Une structure transparente facilite l'engagement de diverses parties prenantes dans un processus ouvert
L'équilibre de l'eau	Une base de données maintient l'information de l'offre et de la demande pour faire le modèle d'équilibre de masse sur une architecture de link-node
Basé sur la simulation	Calcule la demande, l'offre, le ruissellement, l'infiltration, les conditions de culture, les flux et le stockage et la production de pollution, le traitement, la décharge et la qualité de l'eau écoulant, sous les scénarios hydrologiques et politiques variés
Les scénarios de politique	Evalue une gamme complète d'options de développement et de gestion et tient compte des multiples et compétitives utilisations des systèmes d'eau
Interface conviviale	Une interface graphique basée sur le copier-déplacer de SIG avec un modèle flexible d'affichage comme les cartes, les diagrammes et les tableaux
Intégration de modèles	Liens dynamique vers d'autres modèles et logiciels, comme QUAL2K, MODFLOW, PEST, Excel et GAMS

Acquisition du logiciel WEAP 21

Le logiciel WEAP (Water Evaluation And planning) est téléchargeable gratuitement sur le site web : <http://www.weap21.org>. L'activation du modèle nécessite une licence valide avec un nom d'utilisateur et un code d'enregistrement. Une licence gratuite nous a été octroyé dont les informations sont représenté dans la figure suivante :



WEAP Tarek Daifallah Deconnexion

Google™ Custom Search Rechercher

English Deutsch Español Ελληνικά Français Indonesian Italiano Lietuvių Malagasy Myanmar Nederlands Português русский Română Shqip Svenska Tiếng Việt Türkçe 汉语 العربية বাংলা فارسی हिन्दी नेपाली ไทย ភាសាខ្មែរ

Licence

Vous disposez déjà une licence WEAP valide.

Pour activer totalement votre copie de WEAP, entrer les informations suivantes dans l'écran d'enregistrement de WEAP.

- **Nom de l'utilisateur :** Tarek Daifallah, Universite Annaba, Algeria
- **Code d'enregistrement :** 987-879-627-591-979

Votre licence expirera le 2/14/2018
Après cette date, l'enregistrement des données dans WEAP sera désactivé.

W About WEAP...

WEAP

Water Evaluation And Planning System

Copyright (c) 2013, Stockholm Environment Institute

Courriel: info@weap21.org
WEAP Web Site: www.weap21.org

Information sur le système:

WEAP
Licensed to: Tarek Daifallah, Universite Annaba, Algeria, Jusqu'à février 14, 2018
Version: 3,43, mai 29, 2013
Dictionary Version: 352
Program Directory: C:\Program Files (x86)\WEAP\
Areas Directory: C:\Users\ASUS\Documents\WEAP Areas\
Working Directory: C:\Users\ASUS\Documents\WEAP Areas_WORK\
Temp Directory: C:\Users\ASUS\Documents\WEAP Areas_Temp\
Data Dictionary: C:\Program Files (x86)\WEAP_Dictionary.zip (684 666 bytes, 29 mai 2013)
Borland Database Engine (BDE) Version: 5,00
BDE MemSize (MB, Best=205): 205
Default Paradox block size (Best=32768): 32768
Linear Program (LP) Solver: LP Solve 5.520; GLPK 4.47 is available as a backup solver
WEAP is running with Windows Administrator privileges.

Current Area: GIRE 2015 calib

Figure 59. License WEAP acquise pour la présente étude

II. INTRODUCTION EST TRAITEMENT DES DONNEES

Pour faire tourner le logiciel, un tutorial format PDF est disponible, également plusieurs vidéos démonstratives existent sur le site web : <http://www.weap21.org>

II.1 Phase schématique :

Sur la page d'accueil du WEAP, une interface schématique nous a permis de tracer le réseau hydrographique et de placer :

le site du Barrage Zit El Emba,

les deux aquifères d'eau souterraine,

deux sources de transfert d'eau,

les sites de demandes en eau (Chefs lieu du dix communes existantes dans le bassin,

- un site agricole pour chaque commune et,
- un site de demande industrielle pour les communes possédant des unités industrielles et,
- les liaisons de transmissions et de retour entre sites de demandes et la ressources en eau, ainsi que, la station de mesure hydrométrique de Ain-Charchar est également placée.

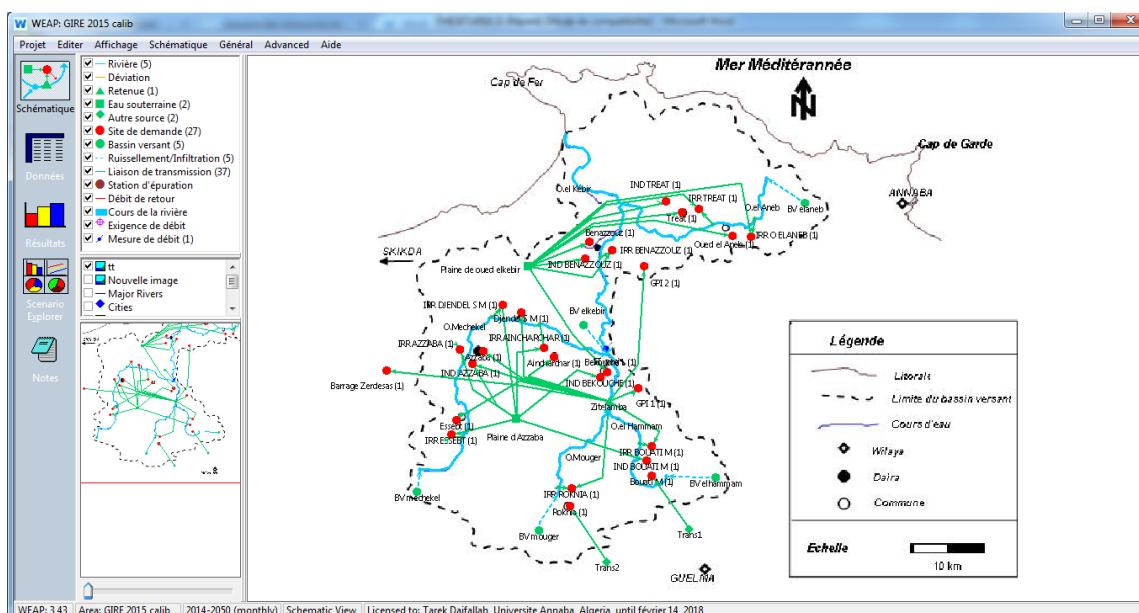


Figure 60. Schématisation des sites de demandes et des ressources en eau

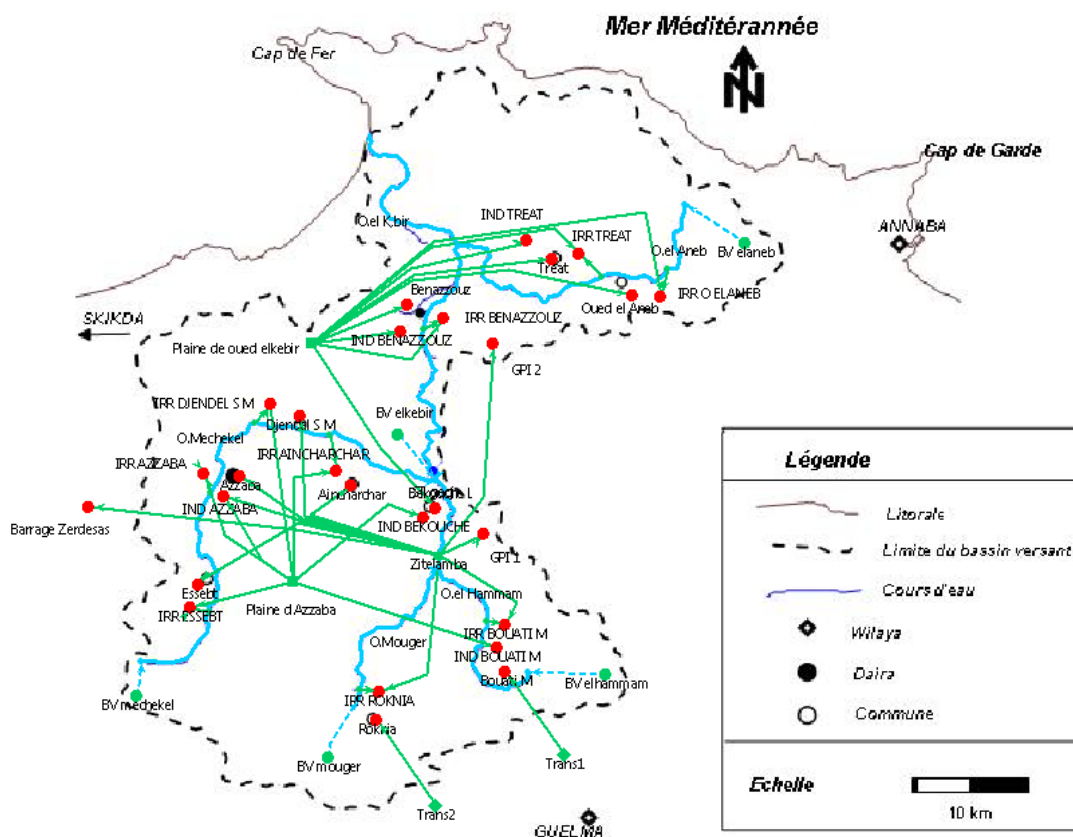


Figure 61. Sites de demande du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

II.2 Rubrique données

Dans cette rubrique, les Outils de modélisation nous aident à créer les variables et les relations, insérer des hypothèses et projections en utilisant des expressions mathématiques, et dynamiquement liées à Excel pour l'importation et l'exportation de données.

II.2.1. Compte actuel

L'année de l'état actuel est choisie pour servir comme année de base du modèle et tout le système d'information (les données de la demande et de la distribution de l'eau) est introduit dans l'état actuel. L'année 2014 va servir comme compte d'état actuel « Current Account », à partir duquel les scénarios sont construits. Les Scénarios explorent les changements possibles du système dans les années futures, après l'année de l'état actuel.

Demandes et bassins versants

La demande annuelle représente la quantité d'eau requise par chaque site de demande. Les pertes, la réutilisation et l'efficacité sont comptabilisées séparément. La

consommation d'eau est calculée en multipliant le niveau global d'activité par un taux d'utilisation de l'eau. Les niveaux d'activité sont utilisés dans l'analyse de la demande de WEAP comme mesure de l'activité économique et sociale.

Demande domestique en eau

Les sites de demande domestique sont représentés par le nombre d'habitant actuel, calculé par le logiciel WEAP en utilisant le nombre d'habitant du recensement national de 2008 et le taux d'accroissement. Les résultats de calcul sont représentés dans la figure suivante :

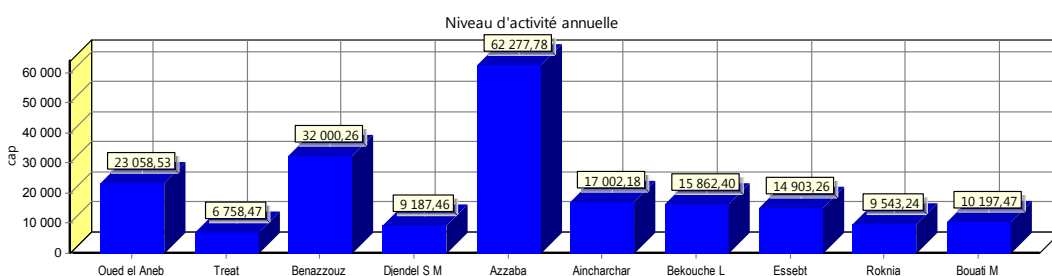


Figure 62. Nombre d'habitants actuel obtenu par WEAP

Pour pouvoir estimer la demande mensuelle en eau domestique, une dotation moyenne de 150 litres par jour et par habitant a été optée.

Demande en eau pour l'irrigation

Comme niveau d'activité annuel, on a introduit les superficies en hectares des terres agricoles irriguées pour chaque commune et la superficie de la première tranche actuellement active du seul périmètre irrigué existant dans le bassin.

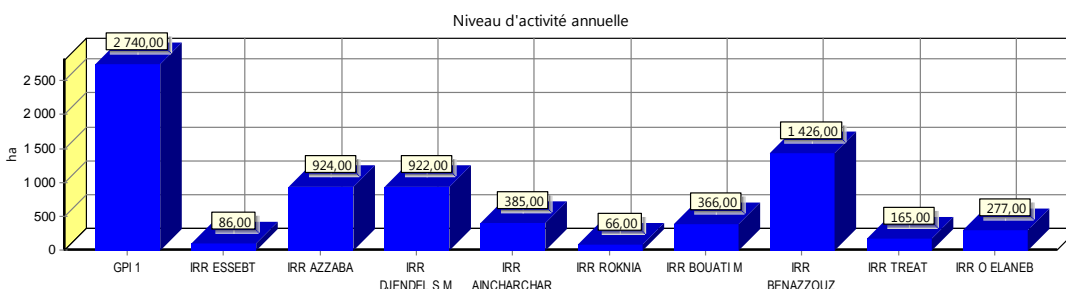


Figure 63. Superficies agricoles actuelles dans le bassin obtenues par WEAP

Pour permettre au logiciel la simulation des demandes en eau agricole, on a opté pour une dotation de 5000 m³ par hectare. Cette dotation ainsi que sa variation mensuelle a été choisie sur la base du déficit agricole estimé à partir du bilan hydrique de Thornthwaite.

Demandes en eau pour l'industrie

Les demandes en eau industrielles sont renseignées directement auprès des unités industrielles existantes dans le bassin. La figure suivante les récapitule :

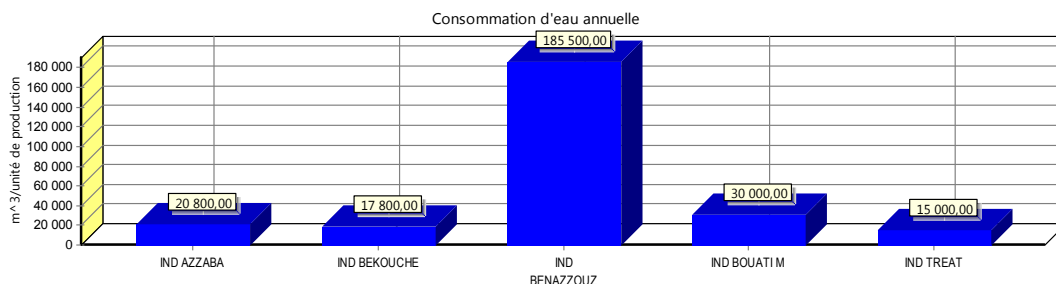


Figure 64. Besoins en eau actuelles des unités industrielles

Distribution des ressources

La section des approvisionnements et des ressources détermine les quantités, la disponibilité et l'affectation des approvisionnements, simule les flux mensuels des cours d'eau, y compris les interactions entre eaux de surface et souterraines, la production hydroélectrique et le stockage des réservoirs et des eaux souterraines.

Méthodes de simulation des ressources en eau

Il existe quatre méthodes, au choix, pour simuler des processus de captage comme l'évapotranspiration, le ruissellement, l'infiltration et les demandes d'irrigation. Ces méthodes comprennent: (1) le ruissellement des précipitations (the Rainfall Runoff), (2) les versions des demandes d'irrigation seulement de l'approche du coefficient simplifié (Simplified Coefficient Approach), (3) la méthode de l'humidité du sol (Soil Moisture Method) et (4) la méthode MABIA (MABIA Method).

Dans la présente étude, la méthode de l'humidité du sol a été adoptée en raison de disponibilité de données. Le diagramme suivant (fig. 65) présente les différentes équations incorporées dans le modèle d'humidité du sol.

Le modèle humidité du sol à deux compartiments (réservoirs) superficiel et profond, est basé sur des fonctions empiriques qui décrivent l'évapotranspiration, le ruissellement superficiel, l'écoulement dans sous-sol (c'est-à-dire le débordement) et la percolation profonde d'une unité de bassin versant. Cette méthode permet de caractériser les impacts de l'utilisation du sol et / ou du type de sol sur ces processus. Avec comme entrée les apports pluviaux et les apports arrivés de l'irrigation, et comme apports sortants l'évaporation, l'écoulement de surface (Surface runoff), l'écoulement hypodermique

(interflows) et l'écoulement souterrain (Base flow), les différents types d'écoulement dépendent du facteur de résistance du sol et du sous sol.

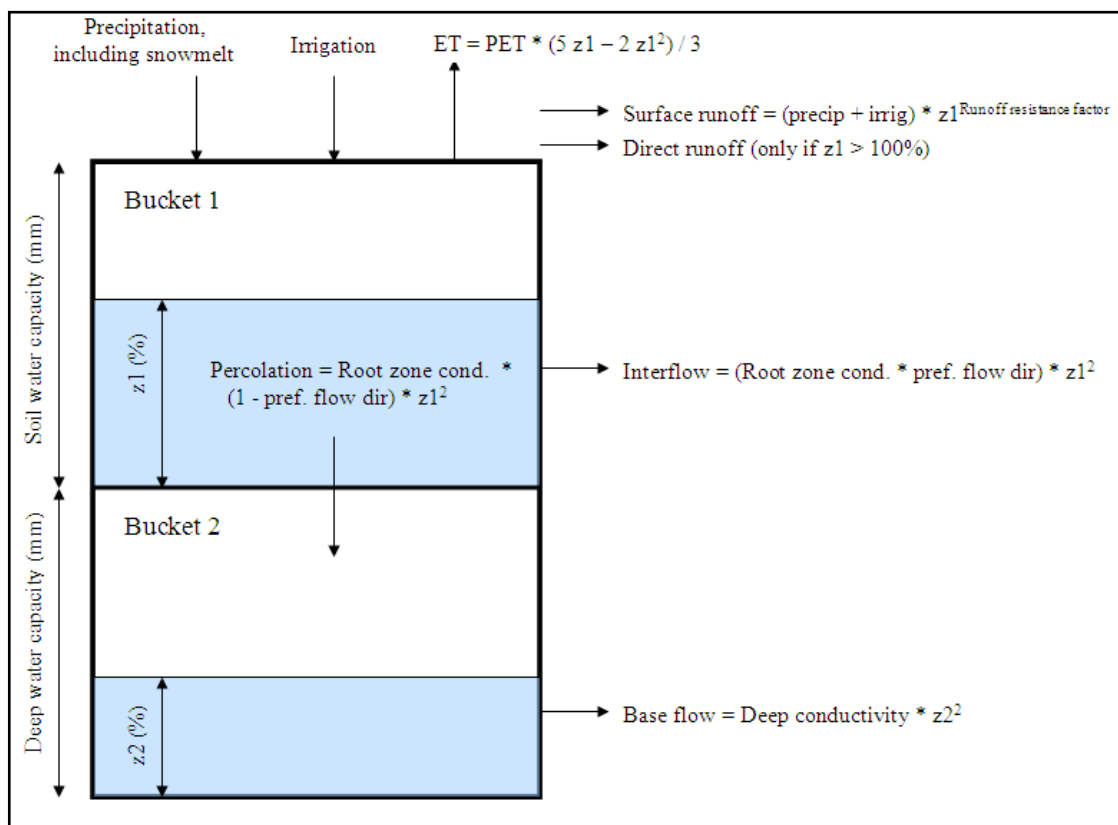


Figure 65. Diagramme conceptuel et équations incorporées dans le modèle d'humidité du sol

Données nécessaires pour la méthode de l'humidité du sol (Soil Moisture Method)

a- Occupation du sol : Des données concernant la superficie drainée par chaque cours d'eau ainsi que les caractéristiques du sol et de sous sol sont indispensables pour que le logiciel puisse simuler le débit de ruissellement et d'infiltration vers les nappes souterraines. A part les superficies des bassins versants, tous les autres paramètres restent par défaut. Le tableau suivant représente les données utilisées dans notre étude.

Tableau 44. Caractéristiques des sous-bassin introduits pour le modèle

Sous bassin versant	Mechekel	Mouger	Hammam	El Kébir	El Aneb
Surface (km ²)	594,29	282,58	253,07	381,77	333,29
Kc	1	1	1	1	1
Conductivité de surface	20	20	20	20	20
Conductivité profonde	20	20	20	20	20

Capacité de la couche superieur	1000	1000	1000	1000	1000
Capacité de la couche profonde	1000	1000	1000	1000	1000
Z1 initiale	30	30	30	30	30
Z2 intiale	30	30	30	30	30
Direction prévéléégé d'écoulement	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Indice foliaire	2	2		2	2

b-Climat : les données climatiques, à savoir les précipitations mensuelles, la température et les vents ont été remplis à partir des quatre stations météorologiques utilisées dans cette étude.

Le logiciel simule l'évapotranspiration, l'écoulement de surface et l'infiltration par la méthode d'humidité, les algorithmes utilisés sont les suivants :

Une unité de bassin versant peut être divisée en N zones fractionnaires représentant différentes utilisations de la terre / types de sols et un bilan hydrique est calculé pour chaque zone fractionnaire, j de N. Le climat est supposé uniforme sur chaque sous-bassin et le bilan hydrique est donné comme

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{s,j}(t)\left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3}\right) - P_e(t)z_{1,j}^{RRF_j} - f_j k_{s,j} z_{1,j}^2 - (1 - f_j)k_{s,j} z_{1,j}^2$$

Rd_j : Stockage efficace de la zone racinaire en (mm)

P_e : précipitation efficace en (mm)

PET : évapotranspiration potentielle (mm)

Où $z_{1,j} = [1,0]$ est le stockage relatif donné en tant que fraction du stockage effectif total de la zone racinaire, (mm) pour la fraction de couvert végétal, j . La précipitation effective, Pe , comprend la fonte des neiges provenant du cumul accumulé dans le sous-bassin versant,

$$RT(t) = \sum_{j=1}^N A_j \left(P_e(t) z_{1,j}^{RRF_j} + f_j k_{s,j} z_{1,j}^2 \right)$$

Où le paramètre $k_{s,j}$ est une estimation de la conductivité saturée de la zone racinaire (mm / temps) et f_j est un coefficient de partage lié au sol, au type de couvert végétal et à la topographie qui divise partiellement l'eau à la fois horizontalement et verticalement.

Ainsi, la surface totale et RT le ruissellement inter-flux de chaque sous-bassin versant à l'instant t .

Ressources en eau de surface

Débit des cours d'eau : les débits des cours d'eau sont calculés par le logiciel, en se basant sur les données climatiques. WEAP peut simuler, à l'aide de la méthode de l'humidité du sol, les quantités de ruissellement, d'humidité du sol et de débit de base (afflux d'eau souterraine).

Station hydrométrique : les valeurs de débit moyen mensuel enregistré dans la station d'Ain-Charchar entre 1985 et 1999 ont été introduites. Ces valeurs sont comparées avec celles calculées par le logiciel (dans la Vue de résultats) afin de le calibrer.

Barrage Zit El Emba : en plus de la capacité de stockage dans le barrage (120 millions de m^3), plusieurs autres données sont nécessaires. Le stockage des réservoirs est divisé en quatre zones ou bassins. Il s'agit, de haut en bas, de la zone de contrôle des inondations, de la zone de conservation, de la zone tampon et de la zone inactive. Les bassins de conservation et de tampons, ensemble, constituent le stockage actif du réservoir. WEAP veillera à ce que la zone de contrôle des inondations soit toujours vide, c'est-à-dire que le volume d'eau dans le réservoir ne peut dépasser le sommet du bassin de conservation.

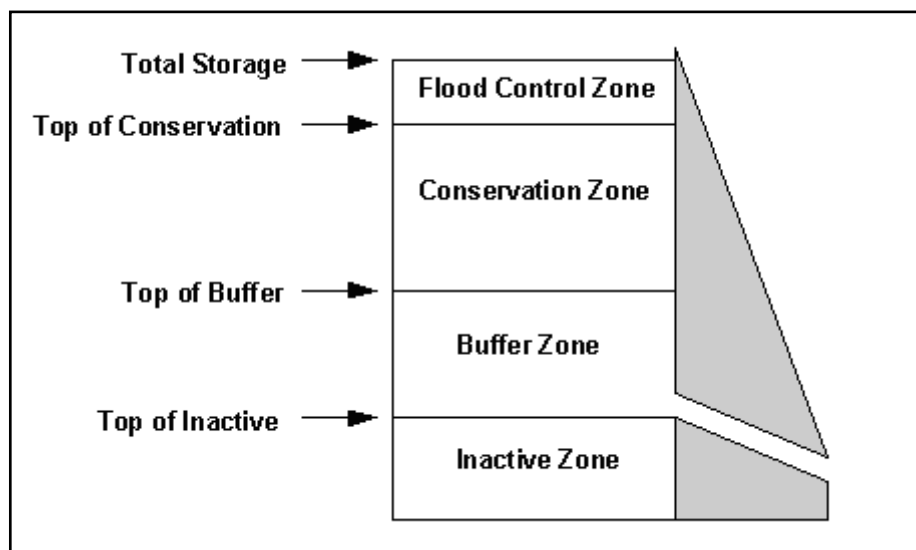


Figure 66. Schéma conceptuel d'un barrage

Ressources en eau souterraine

La capacité de stockage représente la capacité maximum théoriquement accessible de l'aquifère, tandis que le stockage initial est la quantité d'eau initialement stockée au début du premier mois de l'année des comptes courants. Entre autres facteurs, ces données dépendront des profondeurs de la pompe. Laissez la capacité de stockage vide pour modéliser une capacité illimitée. WEAP maintient un bilan massique des entrées et sorties mensuelles afin de suivre le volume mensuel de stockage des eaux souterraines. WEAP n'autorise pas le volume de stockage à dépasser la capacité de stockage (tout excès débordera et sera perdu du système). WEAP ne permet pas que le volume de stockage tombe en dessous de zéro (le pompage sera restreint ou arrêté), à moins que l'on ne lie WEAP à MODFLOW, auquel cas le volume de stockage peut être négatif. Dans le bassin versant du Kébir Ouest, deux principales nappes ont été identifiées, dont les données sont représentées dans le tableau 45.

Tableau 45. Caractéristiques des nappes d'eau souterraines

	<i>Nappe de la plaine d'Azzaba</i>	<i>Nappe de la plaine d'el Kébir Ouest</i>
Capacité de stockage	16,4 Hm ³	11,08 Hm ³
Stockage initial	16,4 Hm ³	11,08 Hm ³
Prélèvement max/mois	10 Hm ³	5 Hm ³

Eau de transfert

Deux transferts d'eau à partir du bassin versant de Bouhamdane (Bassin adjacent) afin d'alimenter les deux communes Roknia et Bouati Mahmoud avec des débits mensuels de 1,65 et 0.16 m³/s successivement.

Calibration du model

Pour étalonner notre logiciel, les débits moyens mensuels observés d'une série de 14 ans (1985-1999) enregistrés dans la station d'Ain-Charchar ont été exploités. La figure ci-dessous présente une comparaison entre le débit observé et le débit simulé par WEAP.

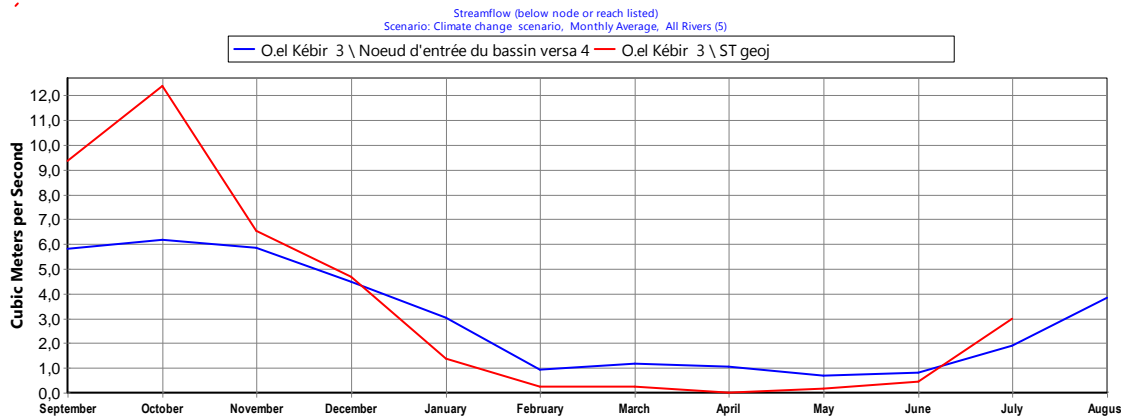


Figure 67. Débit observé / débit simulé

Pour juger la performance de la simulation WEAP, le coefficient de Nash-Sutcliffe (NSE) est utilisé. Il s'agit d'une statistique normalisée qui détermine l'importance relative de la variance résiduelle («bruit») par rapport à la variance des données mesurées («information») (Nash & Sutcliffe, 1970). NSE est calculé comme indiqué dans l'équation suivante:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2}$$

Ou Q_0^t est le débit mensuel mesuré (observé), Q_m^t est le débit moyen mensuel simulé, \bar{Q}_0 est la moyenne des débits mesurés sur la période d'observation. Cette expression tend vers 1 lorsque le débit calculé tend vers le débit mesuré, le calcul abouti à une valeur de 72%, la simulation est significative.

II.2. Elaboration des scénarios futurs

Paramètres générales

La figure suivante montre les paramètres choisis pour l'élaboration des scénarios futurs.

#	Titre	Abbrev.	Longueur	Begins	Ends
1	Septembre	Sept	30	Sept 1	Sept 30
2	Octobre	Oct	31	Oct 1	Oct 31
3	Novembre	Nov	30	Nov 1	Nov 30
4	Décembre	Déc	31	Déc 1	Déc 31
5	Janvier	Jan	31	Jan 1	Jan 31
6	Février	Fév	28	Fév 1	Fév 28
7	Mars	Mars	31	Mars 1	Mars 31
8	Avril	Avr	30	Avr 1	Avr 30
9	Mai	Mai	31	Mai 1	Mai 31
10	Juin	Juin	30	Juin 1	Juin 30
11	Juillet	Juil	31	Juil 1	Juil 31

La période d'étude courra de Septembre, 2013 à Août, 2050.

Figure 68. Paramètres généraux du modèle

Scenario de référence (SR)

La barre d'outils située en haut du Gestionnaire de scénarios nous permet d'ajouter, de copier, de supprimer et de renommer des scénarios.

La situation actuelle (2014) est étendue à l'avenir (2015-2050). Aucun changement majeur n'est imposé dans ce scénario. La croissance de la population estimée entre les deux derniers recensements nationaux effectuée par l'office national de statistiques en 1998 et 2008. Par conséquent, l'augmentation de la demande de terres irriguées et d'eau industrielle a été estimée à 1% pour la simulation de ce scénario.

Pour les données climatiques aucun changement n'est prévu.

Scenario changement climatique (SCC)

Selon les résultats du projet national ALG / 98 / G31 (Elaboration de la stratégie nationale et du plan d'action pour le changement climatique), le nord-est de l'Algérie n'a pas échappé aux conséquences du réchauffement climatique. Selon les deux modèles numériques UKHI et ECHAM 3 TR, nous avons enregistré une augmentation de température comprise entre 0,8 et 1,1 °C et une baisse de la précipitation entre 6,75 et

6,50% avant 2020, respectivement. À 2050, une diminution moyenne des précipitations a atteint 17% et une augmentation de la température d'environ 3% (MATE, 2011).

Scénario pression sur la ressource (SPR)

Dans ce scénario, le taux d'accroissement démographique proposé est de 3%, soit environ le double par rapport au premier. Conjointement, le taux de croissance de trois et de deux pour cent a été opté pour les superficies irriguées et le nombre des unités industrielles successivement.

Scénario changement climatique et pression sur la ressource (SCCPR)

Ce scénario est fondu sur le croisement des deux scénarios précédents.

Scénario gestion de la demande (SGD)

Selon le rapport national sur le secteur de l'eau en Algérie mené par le PNUD (2009), l'amélioration de la gestion de l'eau et l'utilisation des techniques d'irrigation modernes réduiraient ces demandes de 20 à 30%. En outre, pour le secteur de l'eau potable, nous pouvons réduire le taux de fuite de 40 à 30% par le programme de réhabilitation des réseaux d'eau potable perturbant.

Dans une étude de cas, on a choisi une réduction progressive de la demande d'eau de 15% en 2015 à 25% en 2050 pour les eaux municipales et industrielles et à 30% pour l'eau agricole à 2050.

III. RÉSULTATS

III.1. Ressources en eau

Evolution des Précipitations par scénario

Pour les scénarios qui ne tiennent pas compte de l'effet du changement climatique (SR et SPR) les précipitations annuelles sont constantes sur toute la période de simulation, ce qui implique un apport annuel de 1166,6 millions de mètre cube. Entre autre, les conséquences du changement climatiques sont apparus très claires, et ce pour les trois scénarios (SCC, SCCPR et SGD) une diminution progressive des apports pluviaux qui atteignent 922,5 hm³ à l'an 2050.

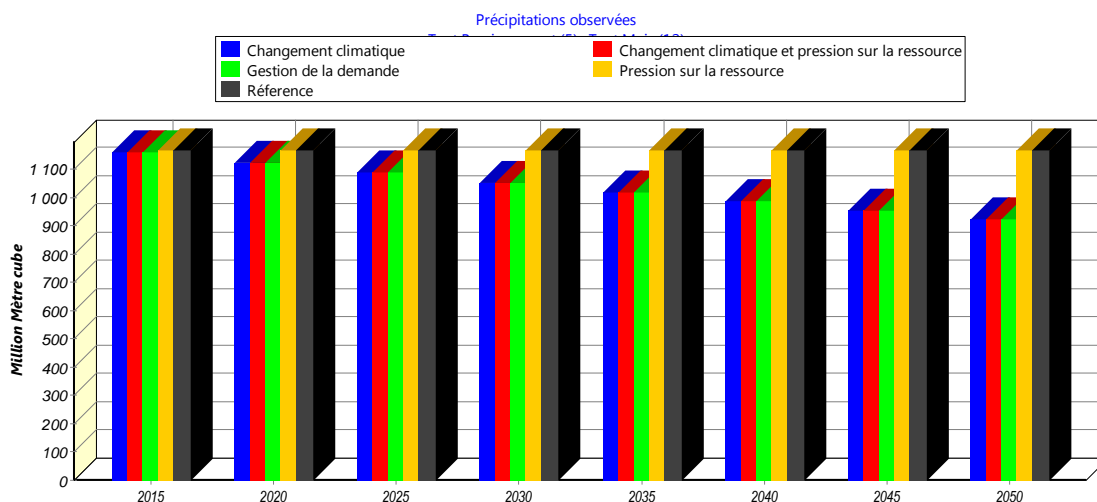


Figure 69. Evolution des Précipitations annuelles par scénario (2015-2050)

Evolution des températures par scénario

L'impact du changement climatique simulé par le modèle dans le cas des trois scénarios (SCC, SCCPR et SGD) peut être observé dans la Figure 70 suivante, les températures maximums et minimums passent de 27,3 °C et 9,3 °C en 2014 à 30,3 et 11,3°C en 2050 respectivement.

Concernant les scénarios (SR et SPR) les températures restent constantes car aucun changement n'est prévu.

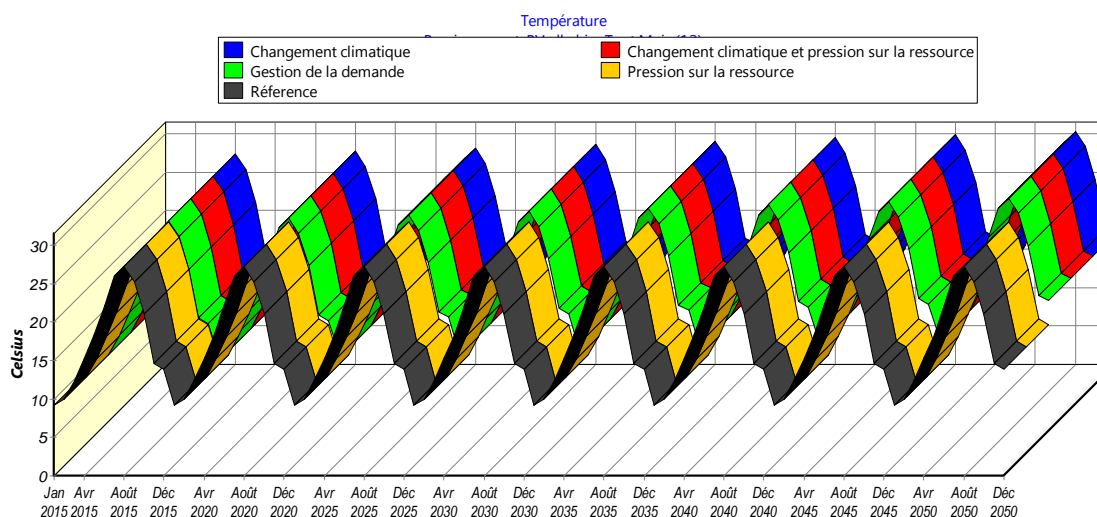


Figure 70. Evolution des températures mensuelles par scénario (2015-2050)

- Evolution des ressources en eau par scénario

Evapotranspiration potentielle simulée par scénario

La figure suivante illustre l'évolution temporelle de l'ETP simulé par le modèle WEAP. Pour un climat sans changement (SR et SPR) l'ETP est constante autour de 973 mm. Cependant, une augmentation progressive est prévue pour les trois autres scénarios, où elle atteindra 1070 mm.

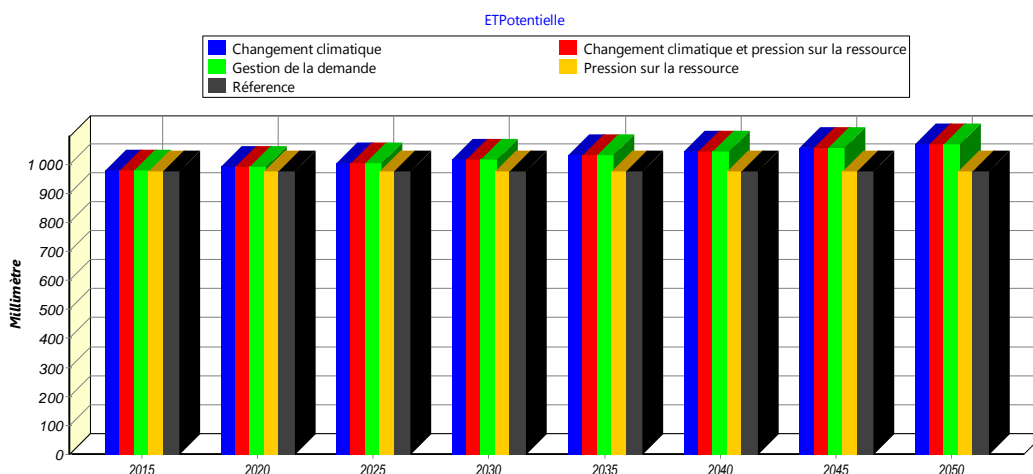


Figure 71. Evapotranspiration potentielle simulée par scénario

Evapotranspiration réelle simulée par scénario

L'ETR diminuera d'environ 473 mm en 2020 à une moyenne de 417 en 2050 soit une différence de 47 mm pour les scénarios (SCC, SCCPR et SGD). Cette diminution due à l'insuffisance de l'eau disponible à cause de la diminution des précipitations.

Pour les autres scénarios, elle reste constante à environ 484,4 mm.

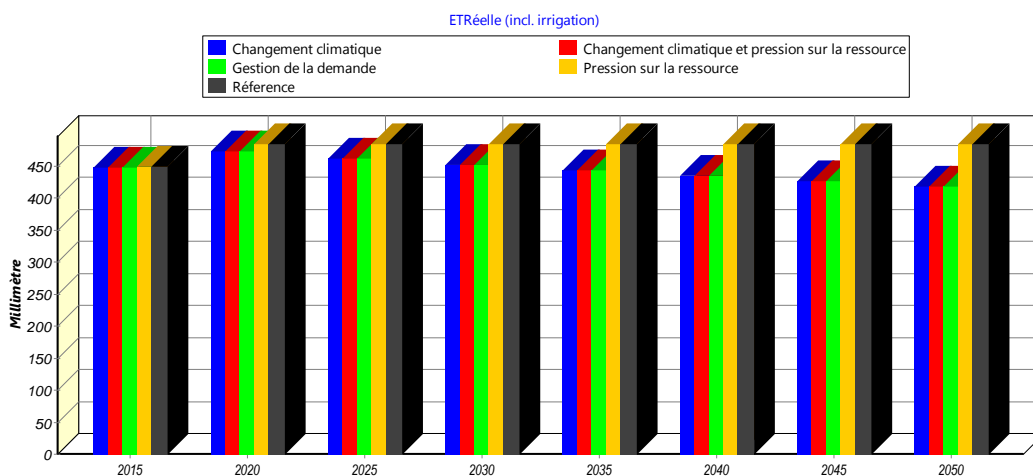


Figure 72. Evapotranspiration réelle simulé par scénario (2015-2050)

Bilan d'eau annuel par scénario

Cinq bilans hydriques ont été simulés par WEAP, cependant, suivant les hypothèses avancés auparavant, les bilans diffèrent selon le changement des conditions climatiques.

	Année	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
SR et SPR	Base Flow	-49,1	-65,8	-67,1	-67,1	-67,1	-67,1	-67,1	-67,1
	Evapotranspiration	-732,4	-732,4	-732,4	-732,4	-732,4	-732,4	-732,4	-732,4
	Interflow	-156,6	-156,6	-156,6	-156,6	-156,6	-156,6	-156,6	-156,6
	Precipitation	955,9	955,9	955,9	955,9	955,9	955,9	955,9	955,9
CC, SGD et CCPR	Base Flow	-48,5	-61,8	-59,1	-55,2	-50,9	-46,7	-42,7	-38,9
	Evapotranspiration	-727,3	-714,6	-698,1	-683	-669,5	-656,9	-644,4	-631,6
	Interflow	-152,7	-144,5	-135,2	-125,7	-115,8	-105,9	-96,5	-87,9
	Precipitation	943,5	919,2	889,7	861,2	833,6	806,8	780,9	755,9

CC, SGD et CCPR

Le bilan d'eau annuel est directement affecté par le changement climatique. L'apport pluvial diminuera de plus de 20%, soit 755,9 millions de mètres cube en 2050. Cette diminution influencera l'évapotranspiration réelle avec un abaissement d'environ 13% entre 2016 et 2050, le volume d'eau évaporé passera de 727,3 à 631,6 Hm³. En fait, l'évaporation qui représente 77% des précipitations en 2016 atteindra 83,5% en 2050. L'écoulement souterrain présente une diminution de 20% environ (similaire aux précipitations) alors que l'écoulement de surface diminué d'une façon très significative (43%).

III.2. Demandes en eau

L'évolution des demandes en eau sont liées directement à l'accroissement du nombre des usagés (désigné par Niveau d'activité annuelle).

*Evolution de nombre d'habitants***Scénarios tendanciels (SR et SCC)**

Dans les deux scénarios, la population dans les dix agglomérations existantes dans le bassin passe de 200 791 en 2014 à 313 669 habitants en 2050.

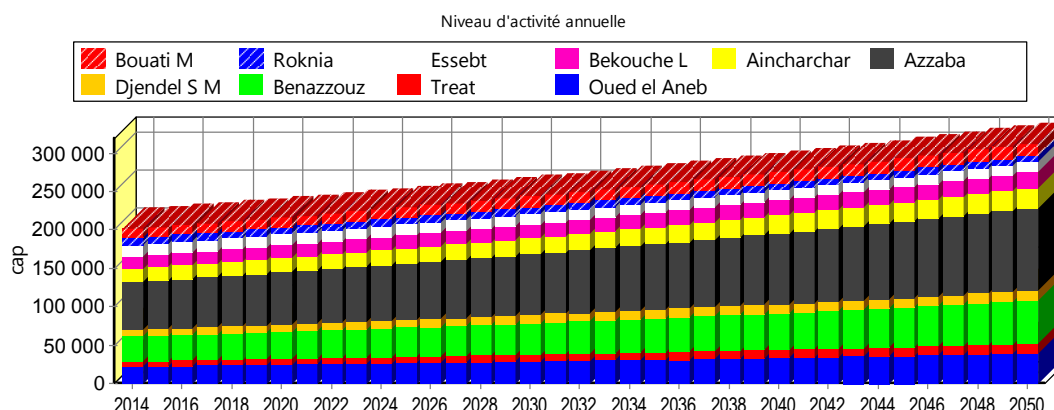


Figure 73. Evolution du nombre d'habitant pour les deux scénarios (SR et SCC) Scénarios de forts accroissements

En augmentant le taux d'accroissement de la population à 3%, dans les trois scénarios (SPR, SCCPR ainsi que SGD), le nombre d'habitant augmente de 200 791 en 2014 à 645 779 habitants en 2050.

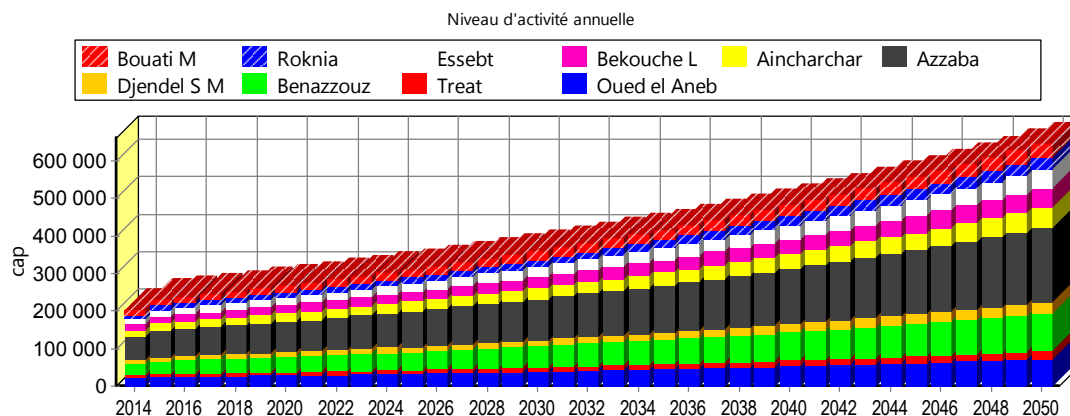


Figure 74. Evolution de nombre d'habitant pour les scénarios (SPR, SCCPR et SGD)

Evolution des superficies agricoles

Dans le cas de ces scénarios (SR et SCC), les superficies irriguées totales restent constantes avec 7 357 ha.

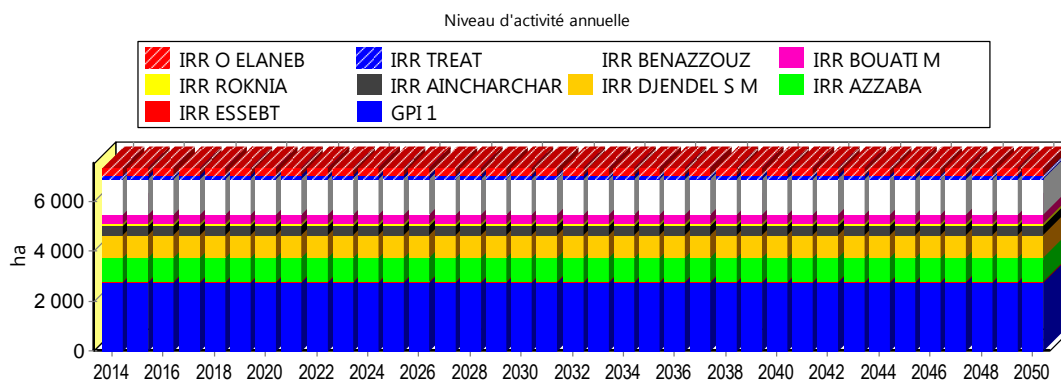


Figure 75. Evolution des superficies irriguées dans le bassin versant (SR, SCC)

Scénarios forts accroissements

Pour une augmentation des superficies agricoles de 2%, dans les trois scénarios (SPR, SCCPR et SGD) et la mise en eau de la deuxième tranche du grand périmètre irrigué (GPI), les terres agricoles atteignent 15 843 ha en 2050.

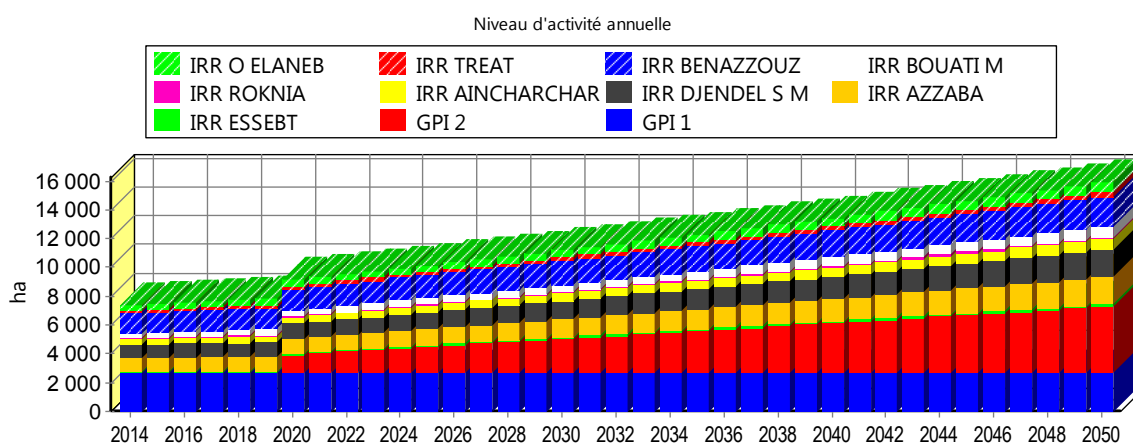


Figure 76. Evolution des superficies agricoles (SPR, SCCPR et SGD)

Evolution des besoins en eau industrielles

Scénario tendanciel : dans les Scénarios tendanciels (SR et SCC), les besoins en eau industrielles sont constants le long de la période de simulation ; elles sont de l'ordre de 0,28 millions de mètre cube (Figure 77).

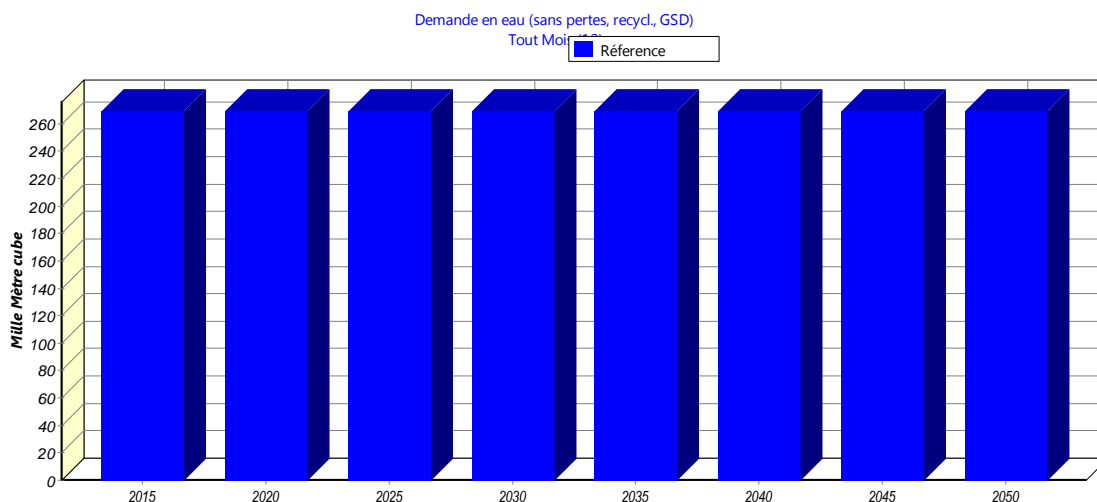


Figure 77. Evolution des besoins en eau industrielles scénarios SR et SCC

Scénarios forts accroissements

Pour les trois scénarios, SPR, SCCPR et SGD, une augmentation de la demande en eau industrielles toutes unités confondues (Figure 78 Evolution des besoins en eau industrielles scénarios SPR, SCCPR et SGD passant de 0,28 hm³ à 0,78 hm³ en 2050.

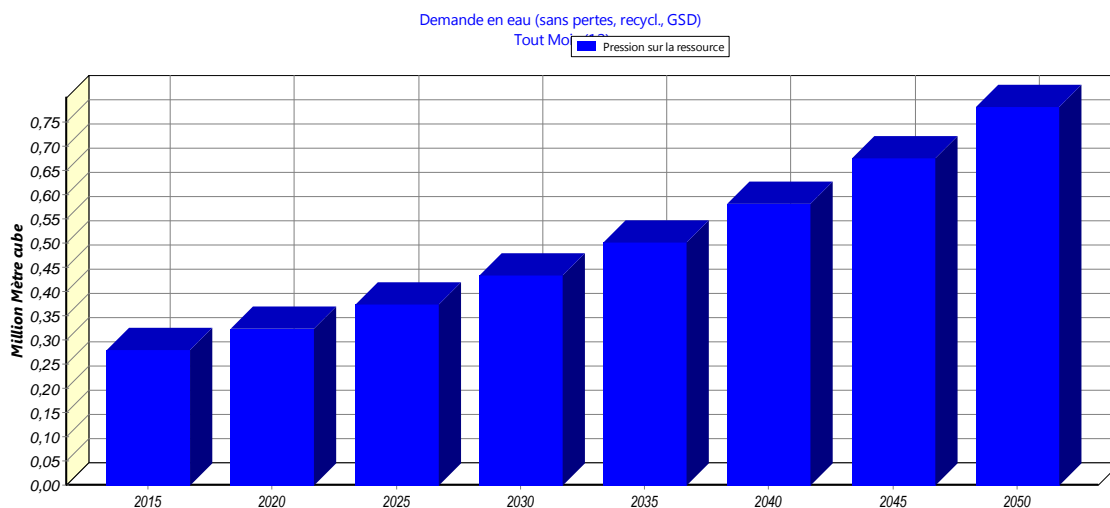


Figure 78. Evolution des besoins en eau industrielles scénarios SPR, SCCPR et SGD

- Evolution des besoins totaux en eau par scénario

La Figure 79 montre clairement la différence entre l'évolution des besoins totaux en eau. Une croissance très remarquable pour les trois scénarios SCCPR, SGD et SPR.

Les besoins totaux passeront de 60 millions de mètre cube à plus de 114 millions,

cette évolution est liée au fort accroissement de la population dans le bassin et à la forte extension des superficies agricoles. Une très faible augmentation des besoins en eau pour le scénario de référence et celui du changement climatique.

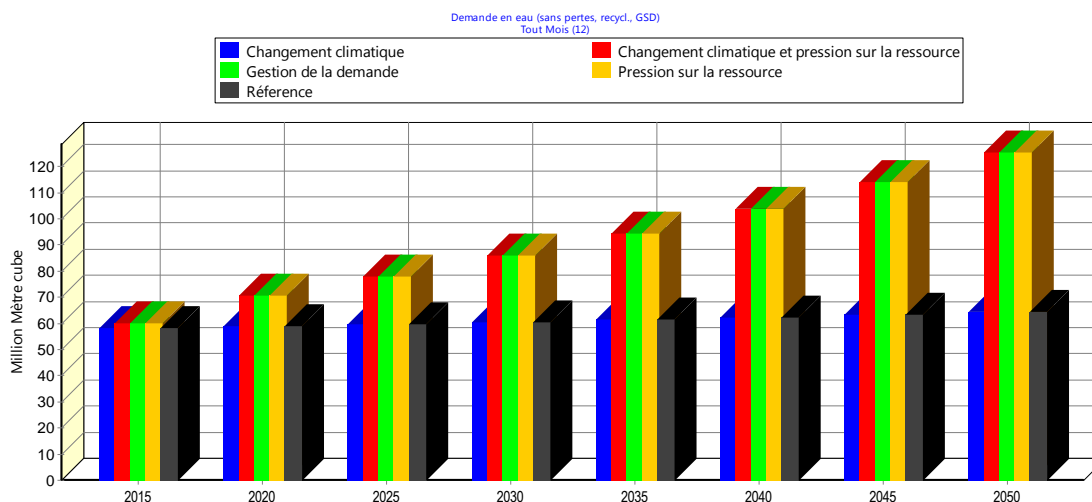


Figure 79. Evolution des besoins totaux en eau par scénario

- Evolution des demandes en eau

L'histogramme dans la figure suivante montre l'évolution de la demande en eau totale dans le bassin. Une augmentation importante de ces demandes dans le cas des deux scénarios tenant compte d'une forte croissance de la population et de ces activités connexes, où le volume d'eau demandé passe de 81 hm^3 en 2015 à plus de 167 hm^3 en 2050 pour les scénarios SCCPR et SPR. Cette forte augmentation sera maîtrisée par la politique de la gestion de la demande qui va réduire la demande à la fin de la simulation de $62,1 \text{ hm}^3$. Pour le scénario de référence et le scénario changement climatique, la demande connaîtra une très faible augmentation de $77,7$ à $85,5 \text{ hm}^3$ en 2050, soit $7,2 \text{ hm}^3$ dans 35 ans.

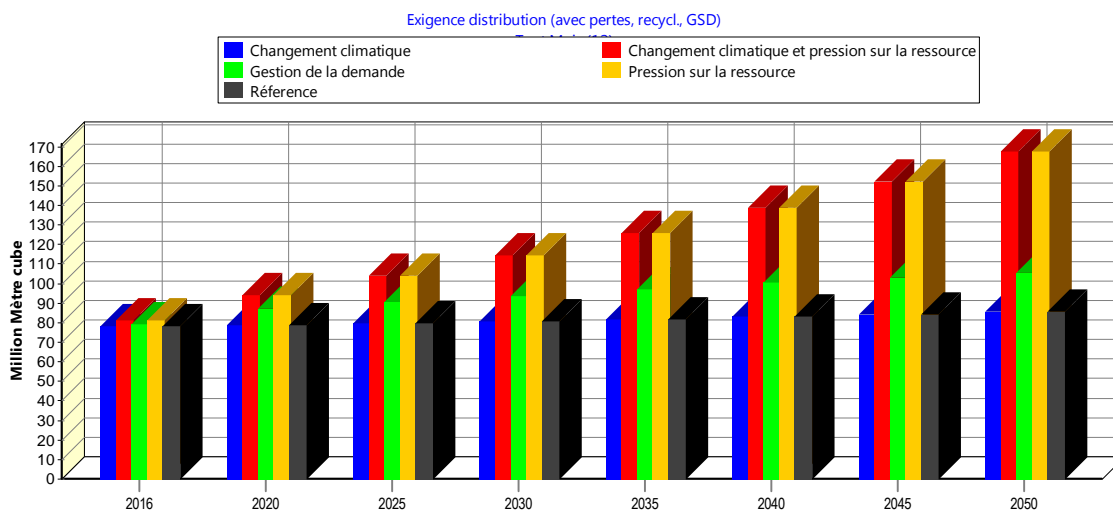


Figure 80. Evolution de demandes totales en eau par scénario (2015-2050)

- Eau distribuée

Les volumes en eau distribuées étaient d'environ 80 Hm³ en 2015 pour les différents scénarios, leurs évolutions diffèrent d'un scénario à autre, pour le scénario de référence une faible augmentation a été enregistrée, la plus forte augmentation de la distribution de l'eau a été signalée dans le cas de la pression sur la ressource ou elle arrive à plus de 150 Hm³ en 2045 due à la forte demande des utilisateurs, l'impact du changement climatique est peut être visible dans les deux scénarios qui le tiennent compte ou les volumes en eaux allouée vont réduis à partir de l'an 2030 à cause de la diminution de l'eau disponibles. La politique de gestion de l'eau va être réduire également les distributions de 95 Hm³ en 2045 à environ 85 Hm³ en 2050.

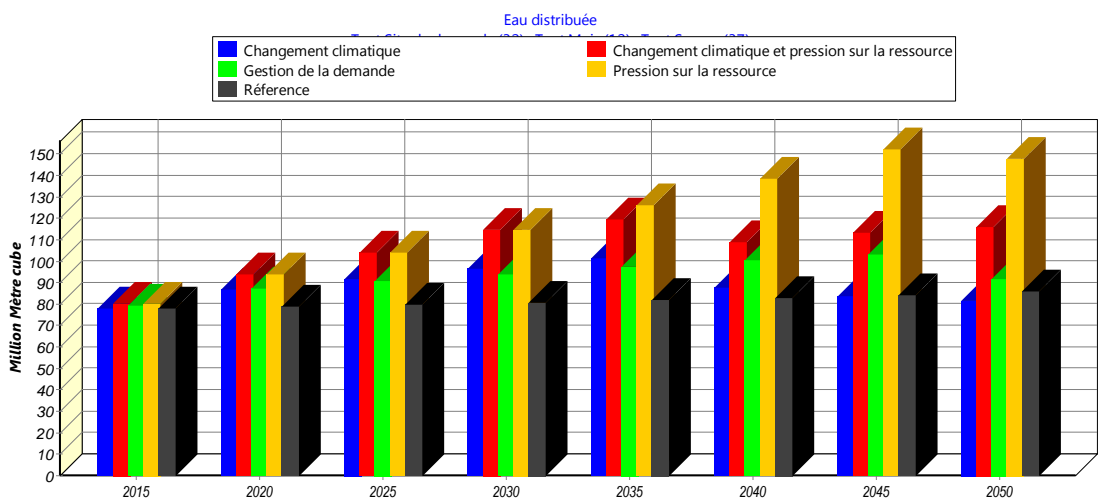


Figure 81. Volume en eau distribué pour tous les usagers par scénario

Evolution du stockage en eau par scénario

Le graphique de la figure suivante montre le volume d'eau stocké dans le barrage à la fin du mois pour les différents scénarios proposés. Les fluctuations mensuelles du volume restent stables entre 96 hm³ et 120 hm³ pour le scénario de référence, une très forte diminution du stockage va être enregistré sous l'effet du changement climatique et accélérée par la forte augmentation de nombre d'habitant et des superficies irriguées. Cette pénurie touchera le bassin vers les années 2030 et peut être allégée par la mise en place d'une politique de gestion de la demande représenté par la couleur verte dans le graphe, sans compter l'impact du changement climatique. Le stockage dans le barrage de Zit El Emba peut être affecté par la pression des usagers à long terme.

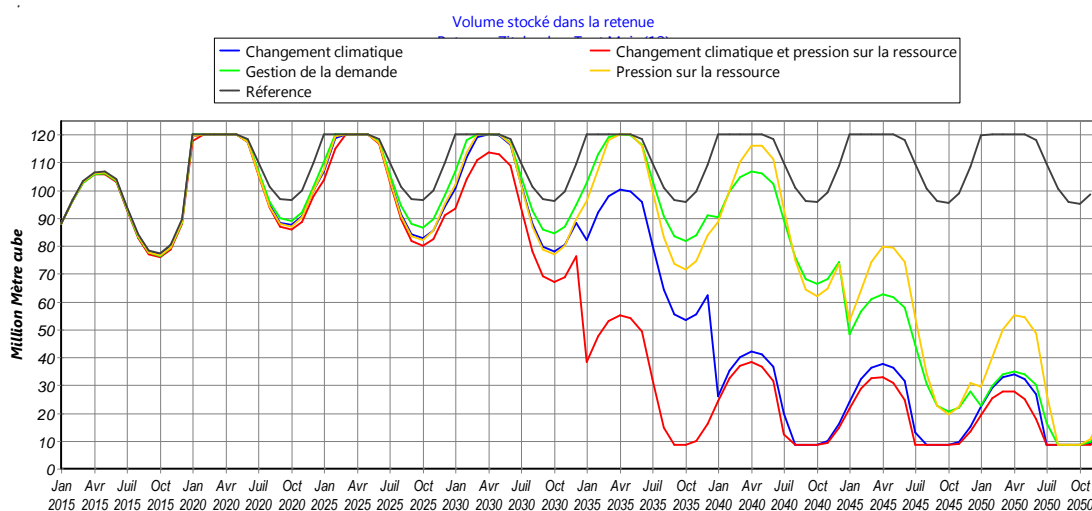


Figure 82. Evolution du volume stocké dans le barrage Zit El Emba simulé par le WEAP pour différents scénarios

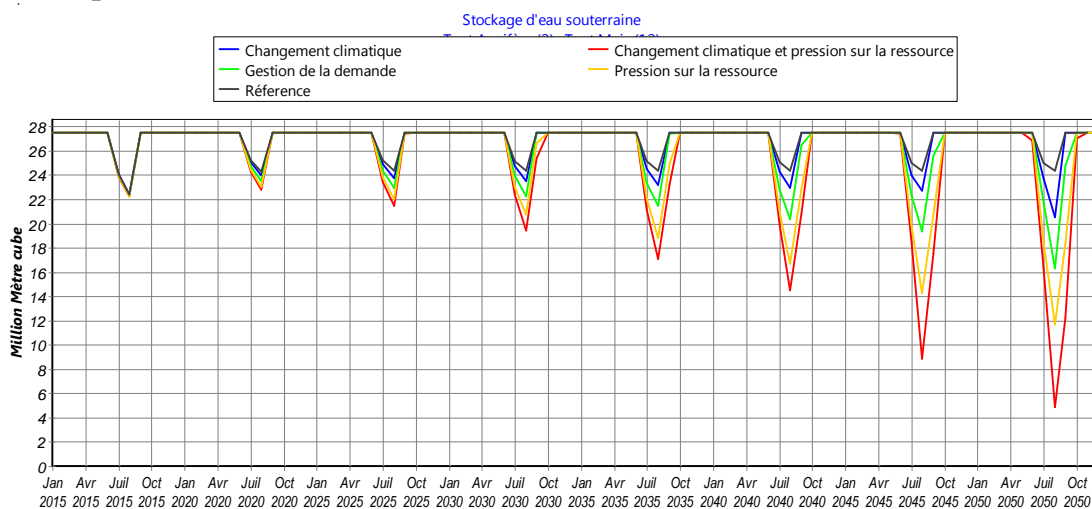


Figure 83. Volume d'eau de stockage dans les nappes d'eau souterraines

- Demandes non satisfaites par scénario

Étant donné que l'eau non satisfaite est la différence entre la quantité d'eau demandée et la quantité d'eau distribuée, ce rapport est utile pour comprendre l'ampleur de la pénurie.

A partir de la figure suivante, toutes les demandes en eau (tout usages confondus) seront satisfaites à 100% et ce pour tous les scénarios. Cette situation continuera jusqu'à la fin de la période de simulation pour le scénario de référence. Le scénario le plus pessimiste et celui qui rassemble l'impact du changement climatique et la forte croissance de la population et ces activités, où le taux de satisfaction commence à diminuer à partir de l'an 2030. Ce déficit atteindra 51,5 millions de mètres cube en 2050. Le deuxième scénario critique sera le scénario changement climatique, la dernière année de satisfaction sera l'an 2035 et la demande non satisfaite sera de l'ordre 35 millions de mètres cube en 2050. En appliquant les mesures de gestion de la demande, les ressources en eau dans le bassin recouvreront les demandes à 100% jusqu'à 2045. Il est à noter également que l'effet de la forte croissance des usagers est non significatif comparée avec l'effet changement climatique.

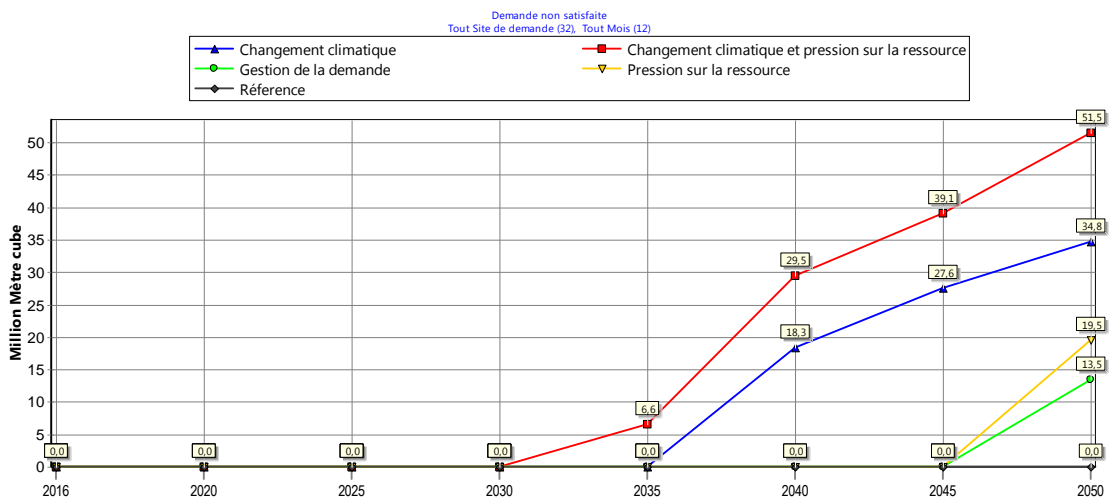


Figure 84. Volume en eau non satisfaite par scénario

IV. CONFRONTATION OFFRE/DEMANDE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED KEBIR OUEST

La confrontation entre les demandes en eau projetées et les ressources exploitables sert en principe à constater l'adéquation des ressources (elles sont significativement

supérieures aux demandes, en quantité et qualité), ou à révéler les problèmes posés par l'éventualité d'une pénurie d'eau à plus ou moins long terme.

IV.1. L'indice de pénurie

C'est la disponibilité en eau par mètre cube et par habitant dans l'ensemble du bassin versant.

Les seuils proposés par Falkenmark et Widstrand (1995), fournissent des ordres de grandeur utiles pour apprécier le problème d'eau douce dans le bassin. Ce problème dépendra beaucoup de la croissance de la population jusqu'en 2050 et de la disponibilité en eau projetée pour différents scénarios.

Tableau 46. Seuils de l'indice de pénurie (Falkenmark et Widstrand, 1995)

Seuil	Indication
Moins de 500 m ³	seuil de pénurie
De 500 à 1000 m ³	seuil de tension
De 1000 à 3000 m ³	ressources suffisantes à l'heure actuelle
Au dessus de 3000 m ³	ressources abondantes

Le calcul de l'indice de pénurie dans le bassin versant a abouti aux résultats illustrés dans le tableau suivant.

On a désigné par « impact de la population » le cas de l'accroissement de celle-ci avec un taux de 3%, et « impact du changement climatique » le cas du scénario changement climatique et son effet sur la ressource en eau. Le quatrième cas « impact deux facteurs » indique l'effet du changement climatique sur les ressources en eau et l'effet de l'accroissement excessif de la population simultanément.

D'après le tableau, pour le scénario tendanciel (sans aucun impact), les ressources resteront suffisantes jusqu'à l'horizon 2035/2040 où il y aura une tension sur la ressource, une augmentation intensive de la population engendrera une pression sur la ressource à partir de l'horizon 2025, au-delà de 2040 la zone subira une pénurie d'eau, dans le cas le l'impact du changement climatique avec croissance tendancielle de la population. Le bassin entrera *en tension* après l'an 2025 et *en pénurie* après l'an 2045. L'association de l'impact des deux facteurs du changement global va anticiper le phénomène de pénurie vers l'horizon 2030-2035.

Tableau 47. Evolution de l'indice de pénurie d'eau dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Sans impact	1671,26	1266,67	1193,70	1123,95	1057,39	993,99	933,69	876,44
Impact de la population	1480,09	1025,85	884,91	763,33	658,45	567,99	489,95	422,64
Impact du changement climatique	1646,22	1159,60	1023,48	896,59	776,55	667,27	570,83	487,75
Impact 2 facteurs	1457,91	939,14	758,72	608,92	483,57	381,30	299,54	235,20

CONCLUSION

Le modèle WEAP a été utilisé dans cette recherche pour la simulation de l'évolution des ressources en eau et leurs usages dans le bassin versant du Kébir Ouest jusqu'à l'horizon 2050. La calibration du modèle est faite en se basant sur les données des mesures hydrométriques de la station d'Ain Charchar. Cinq scénarios ont été élaborés ; scénario de référence, scénario pression sur la ressource, scénario changement climatique, scénario changement climatique et pression sur la ressource et enfin scénario gestion de la demande.

Les résultats montrent une parfaite satisfaction des demandeurs d'eau dans le bassin jusqu'à 2030, où la non satisfaction commencera pour le scénario le plus pessimiste (changement climatique et pression sur la ressource) pour lequel le déficit en eau atteindra 51,5 millions de mètre cube en 2050. Suivi par le scénario changement climatique avec une insuffisance en eau qui touchera la zone à partir de l'an 2035, à l'horizon 2050, le déficit sera de l'ordre de 35 millions de mètre cube. L'application de la politique de gestion de la demande retardera cette pénurie jusqu'à 2045. L'application de l'indice de pénurie indique une éventuelle pénurie qui touchera le bassin versant à partir de l'an 2030 dans le cas de la combinaison des deux facteurs de changement globale, changement climatique et fort accroissement de la population.

CHAPITRE VII

NOTION DE GESTION INTEGREE ET STRATEGIE DE GESTION DE L'EAU EN ALGERIE

INTRODUCTION

La gestion communautaire des ressources naturelles, et plus précisément la gestion de l'eau, doit faire partie intégrante des vastes approches adoptées pour résoudre les problèmes de pénurie. Gérer localement permet de démocratiser et de décentraliser la prise de décision et l'obligation de rendre compte. Bien orchestrée, la gestion locale donne aux gens (surtout aux pauvres et aux défavorisés) la possibilité de prendre part à des décisions qui façonnent leur avenir. De plus, elle encourage l'intégration du savoir traditionnel aux avancées scientifiques afin de favoriser une gestion efficace et équitable des ressources. Ces moyens devraient permettre que la pénurie d'eau et la dégradation de cette ressource puissent se transformer en approvisionnements durables.

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 du 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.

I. NOUVELLE STRATEGIE DE LA GESTION DES EAUX EN ALGERIE

Le Ministère algérien de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire (Chargé de l'Hydraulique) a commencé à élaborer, dès 1993, les bases de ce qu'il a été convenu d'appeler la Nouvelle Politique de l'Eau. Cette politique s'articule autour de trois grands principes :

I.1.L'eau est un bien économique

On doit donc au moins s'attacher à déterminer le coût réel de l'eau distribuée. Le prix auquel on la fait ensuite payer à l'utilisateur relève d'un autre niveau de décision politique, lié à des contraintes économiques et sociales. Ceci étant, le prix du mètre cube d'eau a connu, ces dernières années, des augmentations substantielles et la taxe d'assainissement, symbolique jusqu'en 1993, a été d'abord portée à 10 % puis à 20 % de la facture d'eau potable. Cette notion de l'eau, bien économique ne peut exister sans des entreprises de gestion de l'eau, soumises aux principes de la vraie gestion commerciale et de la concurrence, dans le cadre de contrats passés avec les maîtres d'ouvrages et les collectivités locales.

I.2.L'eau est rare et vulnérable

À ce titre, elle doit faire l'objet d'une protection quantitative et qualitative. La gestion de l'eau doit être assurée de façon intégrée, à l'échelle d'une unité naturelle qu'est le bassin hydrographique. On doit donc à la fois mettre en place les instruments de cette gestion par bassin, mais aussi l'ensemble des outils réglementaires, nécessaires pour assurer la protection quantitative et qualitative des ressources en protégeant au mieux les écosystèmes.

I.3.L'eau est l'affaire de tous

Il faut donc apprendre à développer la concertation, pour que les décisions prises ne soient plus le fait d'un décideur autoritaire et unique, mais plutôt celui d'un consensus autour d'objectifs discutés puis arrêtés d'un commun accord.

II. DESCRIPTION DES INSTITUTIONS DE GESTION DE L'EAU EN ALGERIE

II.1.Conseil supérieur de l'eau (CSE)

Organe de coordination intersectoriel institué en 1996 par le décret 96-472 du 18 décembre 1996, le CSE est présidé par le ministre chargé de l'hydraulique. Il regroupe tous les secteurs concernés par l'eau.

II.2. Ministère des ressources en eau (MRE)

Principal département ministériel chargé de la mise en œuvre de la politique de l'eau en Algérie. Localement, le MRE intervient par le biais de 48 directions de l'hydraulique.

II.3. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)

La mission principale de l'ANRH est d'établir et de gérer l'inventaire des ressources en eau (et en sols irrigables). L'agence assume un rôle important dans le secteur de l'eau. Aussi, la modernisation du secteur de l'eau doit nécessairement inclure la mise à niveau de cette agence. De là, la recherche de sa modernisation et de son renforcement.

Les résultats à atteindre sont orientés principalement vers l'introduction et la maîtrise d'outils techniques et managériaux modernes.

Cet objectif sera atteint à travers les activités qui seront menées et qui ont été définies comme suit :

CHAPITRE VII *Notion de Gestion Intégrée et Stratégie de Gestion de l'Eau en Algérie*

1. Organiser et moderniser les moyens de l'ANRH au niveau central et régional.
2. Concevoir et mettre en œuvre un système de gestion intégrée de l'information.
3. Introduire et utiliser des outils modernes pour l'inventaire des ressources en eau.
- 4 Adapter la gestion des ressources humaines aux exigences du travail.
- 5 Etablir un système d'évaluation régulière des performances de l'ANRH.

II.4.-L'algérienne des eaux (ADE)

Qui a assumé le rôle de coordination et de planification au niveau de toute l'Algérie doit, à travers les Directions Régionales existantes, assurer une gestion rationnelle de la ressource par une restructuration de l'ensemble de ses structures et une réorganisation de sa gestion en introduisant de nouveaux concepts managériaux.

Les activités qui ont été définies et qui devaient être menées, sont les suivantes :

1. Améliorer la communication avec l'abonné par l'introduction de mécanismes permettant le rapprochement des deux partenaires
2. Améliorer la situation financière par le biais des activités pilotes
3. Concevoir et mettre en œuvre de nouvelles procédures et de nouveaux modèles de gestion.
4. Améliorer les performances du personnel par la conception et la mise en œuvre de mécanismes et de systèmes d'évaluation et motivation du personnel.
5. Concevoir et mettre en œuvre de nouvelles procédures de gestion des réseaux pour une économie de l'eau et une augmentation des ressources à distribuer.
6. Améliorer le contrôle de la qualité par le développement et a mise en œuvre de nouvelles procédures utilisant des moyens simples et efficaces pour le suivi de la qualité.

II.5. Office National de l'Assainissement (ONA)

Dont la mission est d'assurer un service public efficace en matière d'assainissement lui permettant en même temps, une valorisation des produits provenant de l'épuration des eaux et une protection et préservation de la ressource hydraulique et de son environnement.

Les activités inscrites, visaient à:

1. concevoir un plan guide dynamique du système d'assainissement et son utilisation nationale.
2. concevoir et mettre en œuvre un système pilote d'assainissement en milieu urbain
3. concevoir et mettre en œuvre un système pilote d'assainissement en milieu rural

Le plan guide du système d'assainissement sera amélioré et perfectionné sur la base des résultats qui seront obtenus au niveau des systèmes pilotes en milieux rural et urbain

II.6. Agence des Bassins Hydrographiques (ABH)

Etablissement chargé de la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin versant hydrographique en s'appuyant sur des comités de bassins constitués des représentants de l'Etat, des collectivités locales et des usagers.

Selon le décret 96-100 du 6 mars 1996, les agences ont essentiellement pour mission d'assurer un lien entre l'utilisateur, le gestionnaire de la ressource et le décideur en matière de planification pour l'utilisation de cette ressource à l'échelle du Bassin Hydrographique. A cet effet, elle doit disposer d'outils puissants et performants permettant une vision en temps réel de la situation et de l'état de la ressource au niveau d'une zone définie.

II.7. Direction des Etudes d'Aménagement Hydraulique (DEAH)

Dont la mission est de fournir aux décideurs les outils nécessaires à une prise de décision rationnelle dans le cadre d'une gestion intégrée des ressources en eau permettant d'assurer une distribution équitable de la ressource entre les différents utilisateurs et une préservation et protection du milieu hydrique et de son environnement.

CHAPITRE VII *Notion de Gestion Intégrée et Stratégie de Gestion de l'Eau en Algérie*

1. Définir les modalités d'élaboration d'un plan directeur par la mise en place d'une cellule de travail à même de définir les responsabilités et de relancer l'intérêt auprès des décideurs
2. Analyser la situation actuelle en matière d'information à travers des études sur la situation organisationnelle, les circuits d'informations, les besoins d'information ainsi qu'une évaluation des moyens disponibles (ressources humaines, moyens matériels et financiers)
3. Concevoir un système de gestion intégrée de l'information par la définition d'une architecture et des éléments clé du nouveau système (structure des banques de données, méthodologie de mise en œuvre des systèmes d'information, normes et standard du système etc.)
4. Elaborer un planning coûts - délais pour la mise en œuvre
5. Déterminer les modalités de réalisation du Plan Directeur de Gestion Intégrée de l'Information (PDGII).

La mise en œuvre, pour la réalisation du Système de Gestion Intégrée de l'Information sera subordonnée à l'approbation par les autorités de tutelle du plan Directeur de Gestion.

II.8. Agence Nationale des Barrages et des Transferts (ANBT)

Etablissement public chargé d'assurer à travers tout le territoire national la maîtrise d'ouvrages délégués des infrastructures de mobilisation et de transfert.

II.9. Office National de l'irrigation et du Drainage (ONID)

Etablissement public chargé d'assurer à travers tout le territoire national la maîtrise d'ouvrages délégués des infrastructures d'irrigation et de drainage, de prendre en charge le service public de l'eau agricole.

II.10. Offices des Périmètres Irrigués (OPI)

Etablissements publics chargés de la gestion des grands périmètres irrigués. Il existe 4 OPI (Tarf, Mitidja, Chelef, Habra) dont les missions sont définies dans un cahier de la charges type relatif à la concession de gestion, d'exploitation et d'entretien des périmètres irrigués. En contrepartie de ces prestations, les offices perçoivent le produit de la redevance d'eau selon la tarification en vigueur. Des subventions sont également prévues pour compenser les différences entre les charges réelles d'exploitation fixées par le cahier des charges et le produit des ventes d'eau.

II.11. Offices des Périmètres Irrigués de Wilaya (OPI W)

Etablissements publics chargés de la gestion des grands périmètres irrigués localisés dans certaines wilayas. Il existe sept offices de Wilaya dont les missions sont définies dans un cahier des charges-type relatif à la concession de gestion, d'exploitation et d'entretien des périmètres irrigués. En contrepartie de ces prestations, les offices perçoivent le produit de la redevance d'eau selon la tarification en vigueur. Des subventions sont également prévues pour compenser les différences entre les charges réelles d'exploitation fixées par le cahier des charges et le produit des ventes d'eau.

II.12. Agence Nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (AGIRE)

En Décembre 2014, l'Agence de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (AGIRE) est officiellement installée pour développer cette approche dans la gestion de l'eau en assurant des missions d'orientation, d'animation, de coordination et d'évaluation des ABH. Chargée de réaliser, au niveau national, toutes actions relatives à la gestion intégrée des ressources en eau, l'AGIRE, créée par décret exécutif n°11-262 du 30 Juillet 2011 et placée sous la tutelle du Ministère des Ressources en eau et de l'Environnement (MREE, 2014).

IV. PASSER DE LA GESTION DE L'OFFRE A LA GESTION PAR LA DEMANDE

Le concept de " gestion de la demande " a émergé par opposition à la gestion par l'offre. En réalité ce concept est encore mal cerné, et la frontière exacte entre gestion par l'offre et gestion par la demande reste floue (Burger, Giry, Kikudji, & Touache, 2002).

- **La préoccupation de gestion** concerne l'identification des moyens et outils susceptibles d'être mis en œuvre pour intervenir sur les demandes en eau de la production à la consommation. Prétendre gérer c'est avoir la capacité d'infléchir la consommation et les usages dans un sens ou l'autre. Ceci en tenant compte non seulement de critères économiques, financiers ou techniques, mais aussi de la rareté de la ressource, de l'aspect vital du besoin d'eau pour toute vie, d'une nécessaire équité d'accès. En ce sens le concept de gestion lui-même est questionné au-delà de son acception économique restrictive habituelle. Il s'agit plus ici d'une gestion telle que qualifiée dans certains textes juridiques de « *bon père de famille* » à savoir intégrant la notion de patrimoine, de justice et d'équité dans la partage.

• **La demande** est caractérisée par un ensemble variable dans le temps et dans l'espace de comportements, habitudes, besoins, mécanismes, intérêts, qui déterminent des usages de l'eau.

Plusieurs options sont envisageables en matière de gestion de la demande (Treyer, 2001). D'une part, il existe une gestion "au sens faible", centrée sur la réduction des pertes et la modification du comportement des usagers que l'on cherche à influencer par diverses mesures : tarification, subvention, vulgarisation, organisation du système de production. D'autre part, on peut parler d'une gestion de la demande "au sens fort" qui s'intéresse aux problèmes de l'efficacité de l'allocation et de la redistribution de l'eau entre usages (Treyer, 2011). L'État doit alors passer d'une position de garant de l'approvisionnement en eau à une position, plus délicate, d'arbitre ou de décideur de cette allocation entre les différents secteurs économiques.

IV.1. Principaux axes d'intervention et principes d'une approche de gestion des demandes en eau : le principe CROIRRE ? (Burger, Giry, Kikudji, & Touache, 2002)

- **Conserver** : agir sur la préservation des ressources en eau rares
- **Réutiliser** : favoriser les réutilisations possibles
- **Optimiser** : maîtriser les emplois de l'eau dans le meilleur rapport quantité/utilité/coût
- **Innover** : dans les outils comme dans les approches
- **Réduire** ou supprimer les fuites et les pertes
- **Réorienter** : aller dans le sens d'une réallocation des flux et la réduction des conflits d'usage
- **Eduquer** les usagers

Ceci pour corriger les principaux défauts connus et agir ainsi sur le gisement potentiel d'économies possibles sur les pertes, fuites, manque d'efficacité et d'efficience dans les usages agricoles et industriels, surconsommations inutiles, pollutions, non réutilisation, utilisation non appropriée d'eau de qualité pour des besoins qui ne le nécessitent pas, tarification non appropriée.

IV.2. Quelles économies peut-on attendre de la mise en œuvre d'une politique de gestion de la demande en eau ?

1/ Perspective d'une politique de lutte contre les fuites

Cet essai de gestion est basé sur l'adaptation des données du projet « Soutien au MREE pour l'Établissement des Plans Directeurs de l'Aménagement des Ressources en Eau (PDARE) »

Le programme « Gestion Intégrée des Ressources en Eau » de la coopération algéro-allemande réalisée par le Ministère Algérien des Ressources en Eau (MRE) et la GTZ comprend, dans sa composante 1, le projet « Soutien au MRE pour l'Établissement des Plans Directeurs de l'Aménagement des Ressources en Eau (PDARE) ». Ce projet prévoit une assistance technique aux Agences de Bassin Hydrographique (ABH) en introduisant et en appliquant les méthodes et les outils nécessaires pour la préparation des PDARE.

Les hypothèses retenues dans ce programme sont les suivantes :

L'alimentation en eau potable

Vu le niveau actuel élevé de pertes dans les réseaux de distribution d'eau potable en Algérie (40% de la demande en moyen, estimé de 25% dans le bassin), la réduction des pertes représente actuellement une tâche prioritaire qui ne peut être prise en charge par les opérateurs des systèmes AEP, par leurs propres moyens. Un rôle particulier est donc accordé aux mesures et programmes d'investissement permettant une remise en état des réseaux, dans les meilleurs délais.

La Figure 85 illustre l'évolution de la réduction des pertes attendue, selon les différentes mesures proposées.

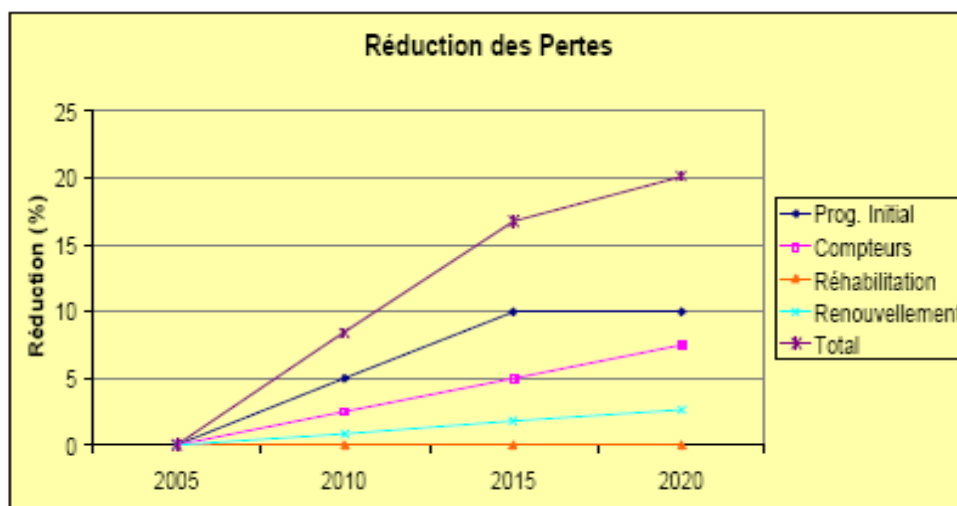


Figure 85. Evolution des Réductions des pertes selon les mesures proposées

L'irrigation

Comme il est esquissé dans le chapitre précédent, l'agriculture dans le bassin présente à la fois l'activité principale des habitants et leur source de vie, est un gros consommateur d'une source qui deviendra rare dans le moyen terme.

La croissance de la demande peut être réduite par l'introduction d'équipements permettant d'économiser l'eau dans l'irrigation agricole. A cet effet, et pour rendre l'irrigation plus performante, deux techniques peuvent être considérées :

1. L'aspersion : distribution de l'eau avec des équipements mobiles d'irrigation (rampes et asperseurs ; arrosage en pluie).
2. L'irrigation localisée : distribution de l'eau avec des équipements fixes et parfois partiellement enterrés (station de tête, système de fertilisation et réseau d'irrigation au « goutte-à-goutte »).

Tandis que les taux d'efficacité estimés de différentes techniques d'irrigation sont de :

1. ~ 70% pour l'irrigation gravitaire ;
2. ~ 75% pour l'aspersion ;
3. ~ 90% pour l'irrigation au goutte-à-goutte.

Perspective d'une politique de lutte contre le gaspillage :

◆ Tarification de l'eau :

La tarification de l'eau change lentement. En 1989, le m³ d'eau coûtait un dinar algérien (DA.) pour la consommation domestique et trois dinars pour l'industrie et le commerce. En 1990, la tarification se faisait selon un barème progressif. Trois tranches étaient déterminées pour la consommation domestique. La première va de 0 à 220 m³ par an et coûte un dinar le m³. La seconde va de 221 à 330 m³ par an et le m³ coûte 1,75 dinars. La troisième, concerne ceux qui consomment plus de 330 m³ par an, le m³ a été fixé à 2,50 DA. Les industriels, les artisans et les commerçants payent 2,50 DA le m³ d'eau quelle que soit la consommation. Actuellement le système de tarification obéit au décret 05-13 du 9 janvier 2005 détermine les règles de tarification des services publics d'alimentation en eau potable et d'assainissement ainsi que les tarifs y afférents. Le tableau suivant détaille le système de tarification de la loi en vigueur.

Actuellement, l'eau domestique et industrielle est tarifée selon quatre catégories d'usage différentes, abonné ménager, administration, commerçant et industrie.

Tableau 60. Tarification de l'eau par catégorie d'usage (ADE)

Catégories d'usagers	Tranches de consommation	Coefficients multiplicateurs	Tarifs applicables (unité: tarif de base DA/m ³)
Catégorie I: les ménages			
1ère tranche	jusqu'à 25 m ³ /trim	1.0	1.0 unité
2ème tranche	de 26 à 55 m ³ /trim	3.25	3.25 unités
3ème tranche	de 56 à 82 m ³ /trim	5.5	5.5 unités
4ème tranche	supérieur à 82m ³ /trim	6.5	6.5 unités
Catégorie II			
Les administrations	uniforme	5.5	5.5 unités
Les artisans et les services du secteur tertiaire	uniforme	5.5	5.5 unités
Catégorie III			
les unités industrielles et touristiques	uniforme	6.5	6.5

Le tarif de base est de 6,30 pour la zone tarifaire d'Alger, Oran, Constantine, de 6,10 pour la zone de Chlef et de 5,80 pour celle d'Ouergla. Donc pour la consommation domestique, quatre tranches ont été déterminé, allant de 6,30 DA/m³ pour la première tranche (1-25 m³) à un prix de 40,95 DA pour une quatrième tranche au-delà de 82 m³.

Malheureusement cette tarification, n'est applicable dans l'ensemble du bassin qu'à la ville d'AZZABA, avec un nombre qui dépasse les 4000 abonnés payeurs. Il est à noter que la redevance due au titre de l'assainissement est une composante de la facture d'eau établie par l'Algérienne des Eaux. Outre, La tarification des eaux d'irrigation est forfaitaire et n'est appliquée dans le bassin que pour le périmètre irrigué de Zit el Amba.

Pour rendre cette politique plus efficace, la présence de l'ADE, l'établissement chargé de l'installation des compteurs et la facturation, doit être généralisé sur l'ensemble des communes à travers le bassin versant le plus tôt possible.

♦ **Sensibilisation à l'économie de l'eau :**

Le but de la sensibilisation est d'aiguiser la conscience du public à l'égard des problématiques liées à l'eau et d'amener les groupes cibles comme les agriculteurs dans

le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest à collaborer au succès de l'économie et de la protection de l'eau, en utilisant les techniques d'irrigation les plus performantes, susceptibles à augmenter la production et diminuer la quantité de l'eau à apporter, et d'utiliser moins de pesticides et de fertilisants, et par conséquent préserver cette ressource rare.

CONCLUSION

La nouvelle politique de l'eau en Algérie considère, depuis 1993, que l'eau est un bien économique qu'on doit lui donner sa valeur (coût) réelle, et que cette ressource est rare et vulnérable et doit faire l'objet d'une protection quantitative et qualitative. La gestion de l'eau doit passer par la prise de décisions et d'accords communs entre les différents acteurs et usagers. En effet, plusieurs organismes ont été créés ces dernières années pour renforcer cette politique.

L'ampleur des demandes croissantes fait penser à la transition vers l'approche de la gestion la plus adéquate qui est l'approche de la gestion de la demande qui forme l'opposé de la gestion par l'offre. Il convient toutefois de réfléchir sur la gestion de la demande, cette dernière agit sur les économies possibles de l'eau et peut infléchir les demandes aux besoins réels des usagers en eau.

CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest est l'un des sous bassins du Constantinois centre au Nord-est algérien.

Cette situation géographique a donné au bassin son comportement structural de la petite Kabylie, présenté sous les huit grandes unités suivantes : le socle kabyle (paléozoïque), la dorsale kabyle (chaîne calcaire), le Néritique (Jurassique, crétacé supérieur), les séries de flyschs (Barrémien, Lutétien supérieur), les séries telliennes (Néocomien Lutétien), l'Oligo-Miocène Kabyle, la Nappe Numidienne (Oligo- Moyen- Burdigalien inférieur) et les terrains Post-Miocènes.

En ce qui concerne l'hydrogéologie, on a pu identifier deux horizons aquifères au niveau de la plaine alluviale de l'oued Kébir Ouest, l'une est superficielle et alluviale et l'autre est captive. Au niveau de la vallée de l'oued El Hammam, également, deux nappes, la première est superficielle, la deuxième est temporaire, elle se forme en saison pluviale. Les deux horizons situés dans la plaine d'Azzaba présente un volume de stockage total de l'ordre de 27,5 Hm³.

L'analyse des caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest nous a permis de dégager les principaux paramètres qui ont une influence certaine sur le dynamisme des eaux surtout superficielles, qui y circulent.

La forme rectangulaire (allongée) du bassin, la dominance des classes altimétriques inférieures à 180 m et l'altitude moyenne est de 224,78 m. Le relief du bassin est assez faible à faible.

Le temps de concentration est long (supérieur à 13 heures) pour la concentration des eaux et des crues, et la densité de drainage moyenne est de l'ordre de 0,425 km/km².

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest est soumis à un climat Méditerranéen, caractérisé par une période humide qui s'étale du mois d'octobre au mois de mai et une période sèche qui s'étend du mois de mai jusqu'au mois de septembre. Les moyennes annuelles des précipitations sont de 636 mm, sous une température moyenne annuelle de l'ordre de 18 °C.

Conclusions Générales

Le bilan hydrique de la zone d'étude montre les caractéristiques suivantes : une évapotranspiration réelle représentant 65 % des pluies, un ruissellement de 16,13 %, et une infiltration de 18,87 % des hauteurs de précipitations.

L'établissement du bilan hydrologique a fait ressortir un écoulement assez considérable qui se traduit par un coefficient d'écoulement variant entre 30 et 37% pour les quatre stations pluviométriques et d'un important déficit d'écoulement due principalement à une évaporation élevée. Caractérisé par deux périodes nettement opposées, une période des hautes eaux allant de décembre jusqu'au mois de Mars - Avril, avec un écoulement mensuel maximum enregistré durant le mois de Janvier, contre une période de basses eaux sur le reste de l'année avec un déficit qui atteint son maximum en Août. Le débit moyen mensuel durant la période d'observation 1985-1999 est de l'ordre de $3.791 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest reçoit, pour une année pluviométrique moyenne, un apport d'eau naturelle qui dépasse les 1176 Hm^3 , plus de deux tiers absorbée par l'évapotranspiration, et seulement 411 retrouvés dans le bassin partagée entre ruissellement et infiltration.

Les ressources mobilisables en eau de surface sont de l'ordre de 411 Hm^3 , dont seule 82,15 sont mobilisées, soit 20 % environ, et $59,84 \text{ Hm}^3$ réellement prélevées, qui correspondent à 14,54 % des ressources mobilisables et 72,84 % des eaux mobilisées.

9.5 Hm^3 sont transférées à partir du barrage de Zit Emba vers le bassin du Saf Saf afin de combler les carences qui affectent le secteur de l'eau potable dans la ville de Skikda.

Quant aux eaux souterraines, $34,52 \text{ Hm}^3$ sont mobilisables et exploitées, les prélèvements constituent 51,94 % ($17,93 \text{ Hm}^3$).

Les principaux usagers de l'eau dans le bassin sont l'agriculture avec 44,95 %, l'AEP avec 50,40% et l'industrie avec 4,65%.

A l'heure actuelle, le bassin versant se trouve dans une situation confortable en matière d'eau, avec un volume disponible annuellement qui dépasse 2 000 mètres cubes par habitant.

L'indice d'exploitation des ressources naturelles renouvelable, égale à 18.45, indique un stress hydrique faible.

Le modèle WEAP a été utilisé dans cette étude pour la simulation de l'évolution des ressources en eau et leurs usages dans le bassin versant d'El Kébir Ouest

Conclusions Générales

jusqu'à l'horizon 2050. La calibration du modèle est réalisée en se basant sur les données des mesures hydrométriques de la station d'Ain Charchar. Cinq scénarios ont été élaborés ; scénario de référence, scénario pression sur la ressource, scénario changement climatique, scénario changement climatique et pression sur la ressource et enfin, scénario gestion de la demande.

Les résultats montre une parfaite satisfaction des demandes en eau dans le bassin jusqu'à 2030, où la non satisfaction commencera pour le scénario le plus pessimiste (changement climatique et pression sur la ressource). Pour ce scénario le déficit en eau atteindra 51,5 millions de mètre cube en 2050, suivi par le scénario changement climatique avec une insuffisance en eau qui touchera la zone à partir de l'an 2035. A l'horizon 2050 le déficit sera de l'ordre de 35 millions de mètre cube. L'application de la politique de gestion de la demande retardera cette pénurie jusqu'en 2045. L'application de l'indice de pénurie indique une éventuelle pénurie qui touchera le bassin versant à partir de l'an 2030 dans le cas de la combinaison des deux facteurs de changement globale (changement climatique et fort accroissement de la population).

Face à la croissance soutenue de la demande en eau, la stratégie doit être engagée peut donc se résumer en quatre points.

- 1) À court terme, on recherche une maîtrise technique maximale de l'ensemble de la ressource en eau, par la mobilisation et la régularisation de la plupart des écoulements, mais aussi par la mise en place d'un réseau d'interconnexion permettant de mutualiser les problèmes d'approvisionnement et de qualité.
- 2) On reconnaît cependant que cette stratégie de mobilisation fait déjà face ou fera face à une saturation prochaine (à l'horizon 2020-2030) des flux d'eau conventionnelle mobilisables par rapport aux besoins. Cela se traduit concrètement par un programme d'économies d'eau (en particulier pour l'agriculture irriguée), de réduction des pertes dans chaque secteur d'usage et de maîtrise des besoins. La gestion de la demande est donc reconnue comme nécessaire, imposée par des raisons environnementales (limitation de la ressource) et financières.
- 3) Les stratégies de gestion de l'eau recherchent la valorisation optimale de chaque mètre cube disponible, notamment par le biais de la tarification. Elles reconnaissent donc l'importance d'une décision d'allocation de la ressource entre usages. Cet impératif de rentabilisation d'une eau dont la mobilisation coûte de

Conclusions Générales

plus en plus chère renforce la priorité qui est donnée à l'alimentation en eau potable des populations.

4) Enfin, on met l'accent sur l'importance de la protection du milieu naturel (zones humides à l'aval du bassin) et de la qualité des ressources. De plus, un vaste programme de stations d'épuration doit être lancé qui vise surtout à diminuer les rejets urbains. L'assainissement en zones rurales soulève des problèmes particuliers et reste pour le moment à un stade très rudimentaire, largement déphasé des efforts réalisés en matière d'alimentation en eau potable dans ces zones.

En général, il est possible d'économiser d'importantes quantités d'eau en agissant sur la demande en eau par

- La mise en œuvre d'un ensemble de moyens et mesures micro- et macro-économiques (politiques de marché de l'eau, commercialisation, tarification de l'eau) ;
- L'introduction d'un système de quotas ou de rationnement ;
- Le développement de programmes éducatifs et de campagnes d'information et de sensibilisation à l'économie de l'eau.

Dans le cadre d'une gestion intégrée des ressources en eau, et selon une définition de l'Organisation Mondiale de Santé (OMS, 2001), la gestion de la demande en eau comprend :

- Une allocation efficiente de l'eau parmi les différents groupes d'utilisateurs en compétition ;
- Une amélioration de l'usage de l'eau, afin de minimiser le gaspillage et de réduire la consommation globale en maintenant les bénéfices sociaux de l'eau, en :
 - créant des systèmes (plus) performants de transfert et d'approvisionnement;
 - utilisant d'une façon efficace l'eau dans tous les groupes d'utilisateurs ;
 - introduisant des outils pour rationaliser l'usage d'eau aux niveaux municipaux, agricoles et industriels ;
 - Une allocation de l'eau aux usages les plus performants en termes de rendements économiques et sociaux

SITE INTERNET CONSULTES :

www.abh.org.net

www.hydrogeologie.com

www.legalis.net

www.inra.fr

www.mre.gov.dz

www.ineris.fr

www.oiseau.fr

www.riob.org

www.semide.org

www.univ-montp2.fr

www.u-picardie.fr

LES CARTES :

- ◆ Carte géologique de l'extrême Nord-est algérien (d'après J.M VILLA.1978).
- ◆ Carte topographique de Azzaba (1/50 000)
- ◆ Carte topographique de Bugeaud (1/50 000)
- ◆ Carte topographique de Cap de Fer (1/50 000)
- ◆ Carte topographique de Djebel Fil Fila (1/50 000)
- ◆ Carte topographique de Guelma (1/50 000)
- ◆ Carte topographique de Hammam Maskhoutine (1/50 000)
- ◆ Carte topographique de Penthievre (1/50 000)
- ◆ Carte topographique de Philippeville (1/50 000)

Bibliographie

ADE. (2017). *Algérienne des eaux*. Consulté 2016,2017, sur <https://www.ade.dz/index.php/tarification>

ANRH. (2010). *Carte des nappes d'eau souterraines dans le bassin versant Cotier Constantinois*.

Belhadj, M. Z. (2006). Etude de la pollution du barrage de Zit el Amba. *Mémoire de Magistère* . Université El Hadj Lakhdar , Batna.107p.

Benhamza, M. (2015). Contamination par les micropolluants métalliques des eaux souterraines de la région d'Azzaba, Nord est algérien. *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°21* , 159-167.

Benhamza, M. (2007). Contribution de la géophysique a l' etude hydrogéologique de la zone mercurielle nord numidique (azzaba) – détermination du degré de pollution. *Thèse de Doctorat* . Algérie: Département de Géologie, Université Badji Mokhtar. Annaba.162p.

Benrabah, S., Bousnoubra, H., Kherici, N., & Cote, M. (2013). Caractérisation de la qualité des eaux de l' oued Kebir Ouest (Nord Est algérien). *Revue de Sciences et Technologies, Synthèse* , 30-39.

BOLFA, J., HILLY, J., & ROUBAULT, M. (1952). Massifs cristallins du Nord-Constantinois. *XIXème Congrès Géologique, 1ère série : Algérie, n° 23*. Algérie.

Bouilin, J. P., & Glacon, G. (1973). Découverte de Crétacé et d'Eocène de type telliencharriés sur le socle de Petite Kabylie aux environs d'El Milia (Constantinois,Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* , 1517-1519.

Burger, P., Giry, E., Kikudji, E., & Touache, N. (2002). Gestion de la demande en Eau en Méditerranée : réflexions sur la dimension communication. *Forum PNUE/PAM/Plan Bleu* (pp. 1-64). Fiuggi / Rome: Antenne Méditerranée du programme Solidarité Eau.

Casenave, A., Guiguen, N., & Simon, J.-M. (1982). Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique tropicale, Cahiers Orstom, Série hydrologie. *Cahiers Orstom, Série hydrologie, vol. 19 (4)* , 229-252.

Castany, G. (1998). *HYDROGÉOLOGIE. Principes et méthodes*. DUNOD.

- Debieche, T.** (2002). Evolution de la qualité des eaux (Salinité, Azote et Métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle (application à la basse de la plaine Seybouse –Nord –Est Algérien). *Thès de doctorat* . Université de Franche-Comté , France, 199 p.
- Deleau, P.** (1938). *Etude géologique des régions de Jemmapes et Hammam Meskoutine et du*. Alger: Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, 2e sér., 14.
- DSA.** (2014). Direction de service agricole, Annaba, Guelma et Skikda., Algérie.
- Durand-Delga, M.** (1955). *Etude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique. Bulletin du Service de la carte géologique de l'Algérie; Alger* . Alger: Alger : [s.n.].
- Erhard Cassegrain, A., & Margat, J.** (1979). *Introduction à l'économie générale de l'eau. BRGM*. Orléans: France.
- Falkenmark, M.** (1989). The massive water scarcity threatening Africa-why isn't it being addressed. *Ambio 18, no. 2* , 112-118.
- FAO.** (2016). *Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture*. Consulté le 2016, sur <http://www.fao.org>
- HADJ-SAID, S.** (2007). Contribution a l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone cotière:cas de la nappe de Guerbes. *Thèse de doctorat* . Université BADJI MOKHTAR - ANNABA, Algérie.215p.
- Hamlat, A., Errih, M., & Guidoum, A.** (2013). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geoscience* , 2225–2236.
- Harrat, N., & Achour, S.** (2011). Qualité et réactive des eaux du barrage de Zit el Emba alimentant la station de traitement des eaux d'Azzaba. *Courrier du savoir n°11* , 113-117.
- Hilly, J.** (1962). Etude géologique du Massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est-constantinois). *Publications du Service de la carte géologique de l'Algérie, nouv. sér. Bulletin ; no. 19* , 37-51.
- Hoff, H., Döll, P., Fader, M., Gerten, F., Hauser, S., & Siebert, S.** (2014). Water footprints of cities – indicators for sustainable consumption and production. *Hydrology and Earth System Sciences* , 213–226.
- Jemmali, H.** (2013). Mesures de la pauvreté en eau : analyse comparative et développement de l'indice de pauvreté en eau. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* .

- Khammar, C.** (1981). Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Kebir Ouest : Wilaya de Skikda (Algérie). *Thèse de doctorat* . Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France.110p.
- Khanchoul, K.** (2006). Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants de l'extrême Nord-Est algérien [ressource textuelle, sauf manuscrits]. *Thèse de doctorat* . Université Badji Mokhtar Annab, Algérie .296 p.
- Laborde, J. P.** (2000). *Eléments d'hydrologie de surface*. Nice: Edition 2000, 204 pages.
- Lamari, S., & Younsi, C.** (1988). *Geology and mineralization of Hg (Pb,Zn) Mrasma deposit and Pb – Hg of graye in north Numidian chain (Azzaba, Algeria)*. Algiers: Department of Geology. University of science and technology Houari Boumediene.
- Marre, A.** (1992). *Le Telle oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne. Etude géomorphologique* . Alger: Office de publication universitaire.
- MATE.** (2011, Mars). Projet national ALG/98/G31. *Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques* . Minisrtère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement , Algérie.
- Milano, M.** (2002). Changements globaux en méditerranée : impact sur le stress hydrique et la capacité à satisfaire les demandes en eau. *Thèse de doctorat* . Université Montpellier 2, France.258p.
- MREE.** (2014). *Ministère de ressources en eau et de l'environnement*. Consulté le 2014, sur Site web du Ministère de ressources en eau et de l'environnement: <http://www.mree.gov.dz>
- Musy, A., & Higy, C.** (2004). *Hydrologie: Une science de la nature*. PPUR presses polytechniques.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V.** (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology* , 282-290.
- Oliver, J. E.** (2006). *Encyclopedia of World Climatology*. Springer.
- OMS.** (2014.). *Organisation mondiale de la santé* . Consulté le 2016, sur <http://www.who.int/fr/>
- ONS.** (2014). *Institution Centrale des Statistiques de l'Algérie*. Consulté le Janvier 1, 2016, sur Site Web Office national de statistique: <http://www.ons.dz>

Planbleu. (2006). *Fiches méthodologiques des 34 indicateurs prioritaires pour le suivi de la Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable*. Sophia Antipolis.

Raoult, J.-F. (1974). *Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, France)*. Mémoire de la société géologique de France n°121.

Treyer, S. (2011). A 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. *Thèse de doctorat* . Humanities and Social Sciences. ENGREF (AgroParisTech), Paris.671 p.

Tricart, J. (1957). L'évolution des versants. *L'information géographique* , 108-116.

Vila, J.-M. (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. *Thèse de doctorat* . Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), France .665p.

Annexes

Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C.W.Thornthwaite

Station d'Azzaba (1980/1981-2010/2011)

Valeurs de I et			1,8
de a :	I =	86,5	a =
			8

La correction pour la latitude K peut être calculée en utilisant la formule et le tableau ci-dessus

Bilan évaporométrique de Thornthwaite

(mm)

Station de : Azzaba	Latit de:	RFU max: 100 100 mm
---------------------	-----------	---------------------

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _c (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	25,20	11,6	1,04	124,3	30,40	-93,9	-0,8	0,0	0,0	30,4	93,9	0,0
O	21,00	8,8	0,98	83,7	56,33	-27,3	-0,3	0,0	0,0	56,3	27,3	0,0
N	14,60	5,1	0,85	36,5	94,91	58,5	1,6	58,5	58,5	36,5	0,0	0,0
D	13,90	4,7	0,84	32,8	125,95	93,2	2,8	41,5	100,0	32,8	0,0	51,6
J	9,20	2,5	0,86	15,5	100,2	84,7	5,5	0,0	100,0	15,5	0,0	84,7
F	9,90	2,8	0,85	17,6	86,32	68,7	3,9	0,0	100,0	17,6	0,0	68,7
M	12,40	4,0	1,03	32,5	63,11	30,6	0,9	0,0	100,0	32,5	0,0	30,6
A	15,30	5,4	1,09	50,9	42,06	-8,8	-0,2	-8,8	91,2	50,9	0,0	0,0
M	18,30	7,1	1,21	79,7	24,61	-55,1	-0,7	-55,1	36,1	79,7	0,0	0,0
J	22,10	9,5	1,21	113,7	6,82	-106,9	-0,9	-36,1	0,0	42,9	70,7	0,0
J	25,90	12,1	1,23	155,8	0,47	-155,3	-1,0	0,0	0,0	0,5	155,3	0,0
A	27,20	13,0	1,16	161,2	8,32	-152,9	-0,9	0,0	0,0	8,3	152,9	0,0
Année	17,9	86,5		904,0	639,5	-264,5				403,9	500,1	235,7

Vérification des résultats:

A l'échelle annuelle:	ETP - ETR = DA =	500,1	mm
	P - ETR = EXC =	235,7	mm

Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C.W.Thornthwaite
Station de Skikda (1980/1981-2010/2011)

Valeurs de I et

de a : I = 89,4 a = 1,93

La correction pour la latitude K peut être calculée en utilisant la formule et le tableau ci-dessus

Bilan évaporométrique de Thornthwaite
(mm)

Station de : Skikda Latitu de: RFU max: 100 mm
100

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _C (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	23,89	10,7	1,04	110,5	42,51	-68,0	-0,6	0,0	0,0	42,5	68,0	0,0
O	20,86	8,7	0,98	80,8	72,53	-8,3	-0,1	0,0	0,0	72,5	8,3	0,0
N	16,73	6,2	0,85	45,6	100,01	54,4	1,2	54,4	54,4	45,6	0,0	0,0
D	13,78	4,6	0,84	31,0	129,44	98,5	3,2	45,6	100,0	31,0	0,0	52,9
J	12,51	4,0	0,86	26,4	110,17	83,7	3,2	0,0	100,0	26,4	0,0	83,7
F	12,57	4,0	0,85	26,3	94,98	68,6	2,6	0,0	100,0	26,3	0,0	68,6
M	14,07	4,8	1,03	39,6	72,31	32,7	0,8	0,0	100,0	39,6	0,0	32,7
A	16,03	5,8	1,09	53,7	65,32	11,7	0,2	0,0	100,0	53,7	0,0	11,7
M	18,68	7,4	1,21	80,5	37,99	-42,5	-0,5	-42,5	57,5	80,5	0,0	0,0
J	22,19	9,5	1,21	112,3	14,37	-98,0	-0,9	-57,5	0,0	71,8	40,5	0,0
J	25,19	11,6	1,23	145,7	2,74	-143,0	-1,0	0,0	0,0	2,7	143,0	0,0
A	25,86	12,0	1,16	144,7	9,60	-135,1	-0,9	0,0	0,0	9,6	135,1	0,0
Année	18,5	89,4		897,1	752,0	-145,1				502,3	394,8	249,7

Vérification des résultats:

A l'échelle annuelle: ETP - ETR = DA = 394,8 mm
P - ETR = EXC = 249,7 mm

Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C.W.Thornthwaite
Station de Berrahal (1980/1981-2010/2011)

Valeurs de I et a : I = 86,5 a = 8

La correction pour la latitude K peut être calculée en utilisant la formule et le tableau ci-dessus

Bilan évaporométrique de Thornthwaite (mm)

Station de : Berrahal Latitud e: RFU max: 100 mm 100

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _c (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	25,20	11,6	1,04	124,3	32,01	-92,3	-0,7	0,0	0,0	32,0	92,3	0,0
O	21,00	8,8	0,98	83,7	60,83	-22,8	-0,3	0,0	0,0	60,8	22,8	0,0
N	14,60	5,1	0,85	36,5	93,34	56,9	1,6	56,9	56,9	36,5	0,0	0,0
D	13,90	4,7	0,84	32,8	131,36	98,6	3,0	43,1	100,0	32,8	0,0	55,5
J	9,20	2,5	0,86	15,5	105,27	89,8	5,8	0,0	100,0	15,5	0,0	89,8
F	9,90	2,8	0,85	17,6	79,35	61,8	3,5	0,0	100,0	17,6	0,0	61,8
M	12,40	4,0	1,03	32,5	69,14	36,7	1,1	0,0	100,0	32,5	0,0	36,7
A	15,30	5,4	1,09	50,9	57,64	6,8	0,1	0,0	100,0	50,9	0,0	6,8
M	18,30	7,1	1,21	79,7	40,66	-39,0	-0,5	-39,0	61,0	79,7	0,0	0,0
J	22,10	9,5	1,21	113,7	11,32	-102,4	-0,9	-61,0	0,0	72,3	41,4	0,0
J	25,90	12,1	1,23	155,8	3,13	-152,6	-1,0	0,0	0,0	3,1	152,6	0,0
A	27,20	13,0	1,16	161,2	5,99	-155,2	-1,0	0,0	0,0	6,0	155,2	0,0
Année	17,9	86,5		904,0	690,0	-213,9				439,7	464,3	250,4

Vérification des résultats:

A l'échelle annuelle: ETP - ETR = DA = 464,3 mm
P - ETR = EXC = 250,4 mm

Valeurs de I et **1,8**
 de a : I = **86,5** a = **8**

La correction pour la latitude K peut être calculée en utilisant la formule et le tableau ci-dessus

Bilan évaporométrique de
 Thornthwaite (mm)

Station de : **BEKOUCHE L** Latitu de: **100** RFU max: **100** mm

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _c (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	25,20	11,6	1,04	124,3	33,50	-90,8	-0,7	0,0	0,0	33,5	90,8	0,0
O	21,00	8,8	0,98	83,7	44,75	-38,9	-0,5	0,0	0,0	44,8	38,9	0,0
N	14,60	5,1	0,85	36,5	73,82	37,4	1,0	37,4	37,4	36,5	0,0	0,0
D	13,90	4,7	0,84	32,8	111,00	78,2	2,4	62,6	100,0	32,8	0,0	15,6
J	9,20	2,5	0,86	15,5	85,96	70,4	4,5	0,0	100,0	15,5	0,0	70,4
F	9,90	2,8	0,85	17,6	69,20	51,6	2,9	0,0	100,0	17,6	0,0	51,6
M	12,40	4,0	1,03	32,5	70,16	37,7	1,2	0,0	100,0	32,5	0,0	37,7
A	15,30	5,4	1,09	50,9	48,91	-2,0	0,0	-2,0	98,0	50,9	0,0	0,0
M	18,30	7,1	1,21	79,7	23,93	-55,7	-0,7	-55,7	42,3	79,7	0,0	0,0
J	22,10	9,5	1,21	113,7	8,80	-104,9	-0,9	-42,3	0,0	51,1	62,6	0,0
J	25,90	12,1	1,23	155,8	1,18	-154,6	-1,0	0,0	0,0	1,2	154,6	0,0
A	27,20	13,0	1,16	161,2	4,42	-156,8	-1,0	0,0	0,0	4,4	156,8	0,0
Année	17,9	86,5		904,0	575,6	-328,3				400,3	503,7	175,3

Vérification des résultats:

A l'échelle annuelle: ETP - ETR = DA = **503,7** mm
 P - ETR = EXC = **175,3** mm