

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة- الحراش - الجزائر

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE

EL-HARRACH –ALGER

MEMOIRE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER

DEPARTMENT: GENIE RURAL

**SPECIALITE : SYSTEMES D'IRRIGATIONS INNOVANTES ET MEILLEURES
PRATIQUES AGRICOLES POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE**

THEME

LA RECHARGE ARTIFICIELLE DE LA NAPPE ALLUVIALE D'OUED BISKRA

(WILAYA DE BISKRA).

Présenté par : **M. KHOMRI Zine-eddine**

Soutenu le : 29/10/2014

Membres du Jury :

Président : M. AIDAOUI Abdellah..... Professeur, ENSA Alger

Promoteur: M. HARTANI TarikProfesseur, ENSA Alger

Examineurs : M. SEMAR Ahcene Maître de conférences, ENSA Alger

M. CHABACA Mohamed Nacer.....Maître de conférences, ENSA Alger

Promotion : 2011 /2012

المخلص

تعتبر الموارد المائية في المنطقة الزيبان محدودة. عاصمتها، بسكرة، والتي يجتازها نهر منشؤها في جبال الأوراس. في مواجهة تحديات تأمين السكان بالماء الصالح للشرب، تعتبر فكرة تغذية المياه الجوفية عن طريق المياه السطحية من أهم التحديات حاليا من قبل السلطات.

وقد حاولنا من خلال هذا باختصار، لقياس حجم المياه التي تضخ في إعادة شحن المياه الجوفية الغرينية من تقنية تعتمد على السدود وأحواض في منطقة بسكرة.

يستند نهجنا على افتراض أن تتم تغذية المياه الجوفية من مياه الفيضانات وتسلل المباشر من قبل هطول الأمطار. قمنا باستخدام لأول مرة نهج المائية المناخية والهيدرولوجية (صيغة لويديز) لقياس كمية مرور سطحي في مواقع التغذية.

الحسابات التي تم الحصول عليها تشير إلى متوسط الحجم السنوي 1.9 هم³ تسللوا الى مستجمعات المياه بسكرة. قمنا بتطبيق نهج الهيدروديناميكية (المعادلة Hantush) لتقدير تأثير إعادة شحن مستويات المياه الجوفية في اثنين من المواقع المحتملة مع طريقتين للشحن. النتائج تعطي متوسط الارتفاعات الشهرية لمستوى المياه الجوفية بين 10.42 متر و5.14 متر في موسم ارتفاعات المياه لاستخدام السدود، واستخدام الأحواض التسلسل يعطي قيمة 20.26 متر.

جميع الاستنتاجات تحتوي على مساهمة في انعكاسات الإجمالية للمشروع الأوروبي (وادييس- مار) لتطوير تقنيات شحن في المناطق القاحلة.

RESUME

Les ressources hydriques dans la région des Ziban sont limitées. Sa capitale, Biskra, est traversée par un oued prenant naissance dans les montagnes des Aurès. Face aux défis de sécuriser la population en eau potable, l'idée de recharger artificiellement la nappe alluviale par les eaux de surface est actuellement prise en considération par les pouvoirs publics. Nous avons tenté, à travers ce mémoire, de quantifier le volume d'eau injecté dans la nappe alluviale à partir d'une technique de recharge basée sur l'infiltration par des diguettes et des bassins d'infiltration dans la région de Biskra.

Notre approche est basée sur l'hypothèse que la recharge de la nappe se fait par les eaux de crues occasionnelles et que l'infiltration directe par les pluies est faible. Nous avons utilisé tout d'abord une approche hydro-climatique puis hydrologique (formule de de Lloyd) pour quantifier l'apport superficiel écoulé dans l'oued Biskra situé en amont des sites de recharge.

Les calculs obtenus indiquent un volume infiltré annuel moyen de $1,9 \text{ Hm}^3$ dans sous bassin versant de Biskra. Nous avons ensuite appliqué une approche hydrodynamique (équation de Hantush) pour estimer l'effet de la recharge sur les niveaux d'eaux souterraines dans deux sites potentiels de recharge et de deux dispositifs de recharge. Les résultats donnent des élévations mensuelles moyennes du niveau de la nappe compris entre 10,42 m et 5,14 m en saison froide pour l'utilisation des diguettes, et pour l'utilisation des bassins d'infiltration donne une valeur de 20,26 m. L'ensemble de nos conclusions constituent une contribution à la réflexion globale menée par le projet européen Wadis-Mar concernant le développement des techniques de recharge en zones arides.

Mots-clé: Recharge artificielle; Infiltration; diguette; bassin infiltration ; Ressources Hydriques; Oued Biskra; équation de Hantush.

ABSTRACT

The water resources in the area of Ziban are limited. Its capital, Biskra, is crossed by a fascinating wadi birth in the mountains of Aurès. Vis-a-vis the challenges making safe the drinking water population, the idea artificially to reload the alluvial tablecloth by surface water east currently taken into account by the public authorities.

We tried, through this memory, to quantify the volume of water injected into the alluvial tablecloth starting from a technique of refill based on the infiltration by small bund; and infiltration pond, in the area of Biskra. Our approach is based on the assumption that the refill of the tablecloth is made by water of occasional risings and that the direct infiltration by the rains is weak.

We first of all used a hydro-climatic approach then hydrological (formula of Lloyd) to quantify the surface contribution past in the Biskra wadi located upstream of the sites of refill. Calculations obtained indicate a volume infiltrated annual means of 1.9 Hm^3 under catchment area of Biskra. We then applied a hydrodynamic approach (equation of Hantush) to estimate the effect of the refill on the water level underground in two potential sites of refill and two devices of refill.

The results give average monthly rises in the level of the tablecloth ranging between 10.42 m and 5.14 m in cold season for the use of the small floodbanks, and for the use of the basins of infiltration a value of 20.26 m. gives the whole of our conclusions constitute a contribution to the total reflection carried out by the Wadis-Mar European project concerning the development of the techniques of refill in arid regions.

Keywords: Artificial Recharge; Infiltration; Bund; infiltration pond; Water Resources; Biskra River; Hantush equation.

Remerciements

Au nom d'Allah le Clément et le Miséricordieux Je remercie DIEU tout puissant, de m'avoir donné la santé, la volonté, la patience et les moyens afin que je puisse accomplir ce modeste travail : « Dieu merci ».

Je remercie Mr HARTANI T. pour avoir dirigé ce travail, pour ces conseils et pour la confiance qu'il m'a accordée pour la réalisation de ce travail.

Je remercie également Mr AIDAOUI A. pour avoir accepté de présider le jury et pour tous ses encouragements, son aide et son soutien et sa généreuse contribution.

Mes remerciements vont aussi à Mr SEMAR A. pour m'avoir fait l'honneur d'examiner mon travail, et pour sa riche et inestimable contribution tout au long de ma formation.

Mes remerciements s'adressent aussi à Mr CHABACA M. pour avoir bien voulu de juger mon travail et fait partie du jury.

Mes vifs remerciements vont à l'égard de l'équipe du ANRH Biskra de m'avoir épaulé et orienté pendant la réalisation du travail du terrain, en particulier Mr EL-HADJ M.

Je remercie le personnel de la direction des ressources en eau, en particulier Mr Hamel A.

Mes remerciements les plus sincères vont également à ma famille pour leur soutien moral et leur patience pendant les moments difficiles dans la réalisation de ce travail. Grâce à eux, les moments de découragement furent rares et brefs. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Je remercie tous mes amis et camarades d'ENSA qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

- Introduction générale	01
-------------------------	----

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUES

I. Définition et composantes du cycle de l'eau dans la nature	04
I.1. Définition	04
I.2. Composantes du cycle hydrologique	05
- I.2.1. Précipitations	05
- I.2.2. Ecoulements ou ruissèlement	05
- I.2.3. Infiltration et les précipitations efficaces	06
I.3. Bilan hydrologique d'un bassin versant	07
I.4. Nappes et les aquifères	07
- I.4.1. Perméabilité, ou coefficient de filtration (K)	07
- I.4.2. Quelques Concepts Sur La Piézométrie	09
1. Niveau, et surface piézométrique	09
2. Gradient hydraulique	09
3. Débit d'une nappe	10
4. Concept de tarissement des nappes	11
5. Exploitation des nappes	11
I.5. Cartographie de la piézométrie	11
- I.5.1. Carte piézométrique	12
- I.5.2. Ecoulement de l'eau de la nappe	12
- I.5.3. Variation piézométrique	13
I.6. Recharge des nappes	13
- I.6.1 Facteurs de Recharge	15
-Facteurs Hydrologiques	15
Facteurs Pédologiques	16
Facteurs Géologiques	16

Facteurs Hydrogéologiques	17
I.6.2 Recharge directe par précipitations	17
I.6.3 Echange rivière-nappe	18
I.6.4 Recharge localisée	18
I.7. Recharge artificielle des nappes	19
- I.7.1. Dispositifs de recharge artificielle des nappes d'eau souterraine	19
- I.7.2. Bassins d'infiltration	19
- I.7.3. Filtre à sable, Tertre d'infiltration	20
- I.7.4. Épandage	21
- I.7.5. Barrage et diguette – infiltration dans le lit d'un cours d'eau	21
- I.7.6. Tranchées d'infiltration	22
I.8. Détermination de la recharge	23
- I.8.1. Méthodes de Mesures au Niveau du Sol	23
- A. Méthode du PFN (Plan de Flux Nul) ou La méthode de Tensiomètres	23
- B. Méthode du bilan de Thornthwaite	24
- C. Méthode du Lysimètre	24
- I.8.2. Méthodes de Mesures au Niveau de la Nappe	25
- A. Calage à partir des fluctuations de nappe	25
- B. Isotope et le corps dissous profilent des techniques	25
I.9. Caractéristiques de la nappe alluviale	27
- I.9.1. Alimentation des nappes alluviales	27
- I.9.2. Relation nappe alluviale et cours d'eau	27
I.10. Historique des recharges artificielles dans le monde	30
I.11. Conclusion	34

PREMIERE PARTIE

PRESENTATION DU MILIEU NATUREL

Présentation du milieu naturel	35
CHAPITRE I : CADRE D'ETUDE	
I.1. Présentation de la zone d'étude	36
I.1.1. Situation géographique	36
I.1.2. Nappe des alluvions d'oued Biskra	37
Description de l'aquifère alluvionnaire	38
I.2. Ressources en eau superficielles	40
- a Barrage de Foum El Gherza,	40
- b Barrage de Fontaine des Gazelles	40
I.2.1. Réseau hydrographique	40
I.3. Pédologie	40
I.3.1. Types de sols rencontrés	41
a. Sols peu évolués	41
b. Classe des sols calcimagnésiques	42
c. Classe des sols halomorphes	42
I.3.2 Taux d'infiltration	44
I.4. Cadre géomorphologique	45
- I.4.1. Cadre montagneux	47
- 1. Monts des Zab	47
- 2. Massif de l'Aurès	47
- I.4.2. Piémont	48
- I.4.3. Plaine	48
I.5. Cadre géologique	49
I.5.1. Géologie de la cuvette d'oued Biskra	50
I.6. Dispositifs de recharge	52
A. Diguette	52
B. Bassin d'infiltration	53

CHAPITRE II

BASSIN VERSANT D'OUED BISKRA

II -1 Introduction	55
II-2 Grands ensembles physiques	55
	55
	56
A. Montagnes	56
B. Piedmonts	56
C. Plaines	56
Bassin supérieur	56
Bassin moyen	56
Bassin inférieur	57
II-3 Caractéristiques morphométriques du bassin	57
II-3.1 Superficie du bassin	57
II-3.2 Orographie	58
II.3.3 Forme des bassins	
II.3.4 Système des pentes	64
II-4 Réseau hydrographique	65
A. Présentation	68
B. Tracé en plan	68
C. Type et densité de drainage	69
D. Temps de concentration	71
E. Profils en long	73
II-5 Conclusion	74
	80

CHAPITRE III

CARECTERISTIQUES GEOLOGIQUES, LITHOLOGIQUES, VEGETATIFS DU BASSIN VERSANT

III. Caractéristiques géologiques, lithologiques du bassin versant	81
III-1 Structure du bassin	81
III-2 Stratigraphie et aperçu lithologique global	81
III-2-1 Crétacé	81
III-2-2 Tertiaire	81
III-2-3 Quaternaire	83
III-3 Caractéristiques lithologiques et la perméabilité des roches des sous bassins versants	83
1. Formations imperméables	84
2. Formations à perméabilité moyenne	84
3. Formations à forte perméabilité	85
IV. Couvert végétal	87
IV-1 Rôle du couvert végétal	87
IV-2 Méthodes d'approches et classification de la végétation	87
A. L'approche numérique	88
B. Approche cartographique	89
IV- 3 Impact de cette végétation sur les crues	92
IV. 4 Conclusion	93

CHAPITRE IV

CARECTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

IV.1. Hydrogéologie de la nappe	94
IV .1.1 Nappe phréatique	94
IV.1.2 Complexe terminal	94
Nappe des sables	94
Nappe des calcaires	94
Continental intercalcaires	94
VI. 1.3 Volumes d'eau soutirée	96

IV. 2. Description de l'aquifère alluvionnaire	98
Nappe des alluvions d'oued Biskra	98
Description de l'aquifère alluvionnaire	98
IV.2.1. Piézométrie de la nappe	100
Inventaire des points	100
Localisation des points d'eau	100
Matériels utilisé	101
Mesures sur terrain	101
IV.3. Interprétation des lignes de courant	64
IV.4. Hydrodynamique et hausse de la nappe	106
Impact des fluctuations pluviométrique	108
Impact du couvert végétal	109
Modification des états de surface des sols	109
IV.5. Transmissivité et Coefficient d'emmagasinement	109
IV.6 CONCLUSION	111

CHAPITRE V : ETUDE CLIMATIQUE

V-1 Introduction	112
V-2 Etude de la pluviométrie	112
V-2.1 Réseau pluviométrique et les séries d'observations	114
V-2.2 Réseau pluviométrique et les séries d'observations	115
V-2.3 Comblement des lacunes d'observations	117
V-2.4 Variations spatiales et temporelles sur le bassin	121
A. Evaluation de la pluie moyenne annuelle précipitée sur le bassin	121
a. Moyenne arithmétique	121
b. Utilisation des graphiques (les trois lois de l'Algérie)	122
c. Méthode de Thiessen	123
B . Répartition pluviométrique interannuelle	124

C . Distribution statistique des pluies annuelles	128
V-2.5 Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers	134
A. Variabilité intermensuelle des précipitations	134
B. Régime pluviométrique saisonnier de l'oued Biskra	134
V-2.6 Précipitations extrêmes et les averses, facteur générateur des crues	139
V-3 Températures	147
V- 4 Evaporation annuelle des précipitations et des températures et le régime climatique du bassin	149
V-5 Evapotranspiration	152
V-5-1 Formule dite ANRH (1997)	152
V-6. Conclusion	156
Conclusion de la première partie	157

SECONDE PARTIE

CARECTERISTIQUE L'ECOULEMENT ET FAISABILITE DE LA RECHARGE

Caractéristiques de l'écoulement et faisabilité de la recharge	159
--	-----

CHAPITRE I

ECOULEMENT ANNUELS ET VARIATION TEMPORELLE

I - Ecoulements annuels et leurs variations temporelles	160
I-1 Equipement hydrométrique du bassin	160
I-1.2 Critique des données et homogénéisation	160
I-2 Ecoulement moyen annuel et ses nuances	161
I-2.1 Evaluation de l'écoulement avec les formules empiriques	161
I-2.2 Evaluation de l'écoulement avec les données de mesure	164
I-3 Bilan hydrologique et le déficit d'écoulement	165
I-4 Hydraulicité et la variabilité interannuelle de l'écoulement	166

I-5 Analyse statistique des apports liquides	170
I-6 Régime d'écoulement : les variations mensuelles des débits	172
I-7 Approche classique du régime : méthode des CMD	176
I-8 Conclusion	178

CHAPITRE II

ETUDE DES CRUES EXTREME D'OUED BISKRA

II. INTRODUCTION	179
II.1 Maximums annuels : les crues	179
II-1.1 Genèse des crues et leur extension dans le temps et l'espace	180
1- Crues de la saison froide	180
A. Leur genèse	180
B. Leur répartition temporelle	180
C. Leur répartition dans l'espace	181
D. Exemple de la crue de la saison froide du mois de décembre 1981	181
2- Crues de la saison chaude	183
2-a. Exemple de la crue de la saison chaude	183
Crue du mois d'octobre 1982	183
II-1.2 Crues de l'oued Biskra et ses affluents	186
Crue de septembre 1989	186
Crues d'Août 1984	186
Crues de Juin 1981	187
II-1.3 Apports de crues	190
II-2 Différentes méthodes d'estimation des débits des crues	191
II-2.1 Formule empirique régionale	192
II-2.2 Etude des crues maximales annuelles par analyse statistique	194
Ajustement à la loi de Gumbel	194
II.2.3 Méthode faisant intervenir la connaissance des pluies	198
Méthode du Gradex	198

Application de la méthode du Gradex au bassin versant de l'oued Biskra et ses petits sous bassins	199
II-2.4 Comparaison entre les méthodes	202
II-3 Puissance des crues	204
II.4. Conclusion	206

CHAPITRE III

ETUDE DES TRANSPORTS SOLIDES DANS LE BASSIN VERSANT D'OUED BISKRA

III.1 Introduction	207
III.2 Evaluation du transport solide	208
III.2.1 Evaluation du transport solide par les formules empiriques	208
Formule de Tixeront (1960)	208
Formule de Sogreah (1969)	208
III-2.2 Avec les données de mesures	209
III-2-2.1 Recherche de relations entre débits solides en suspension et débits liquides	209
III-2.3 Valeurs annuelles moyennes et leur variation spatiale	213
III-2.4 Variations interannuelles de l'apport solide en suspension	215
III-2.5 Variations saisonnières et mensuelles du T.S. en suspension	215
III-2.6 Variations journalières de la turbidité et ses liens avec l'écoulement des crues	218
	219
III.3 Conclusion	

CHAPITRE IV

APPROCHE D'ESTIMATION DE LA RECHARGE

IV.1. Présentation des approches d'estimation de la recharge sur la zone d'étude	220
IV.1.1. Approche hydrologique	220
IV.1.2. Approche hydrodynamique	222

IV.2. Détermination des paramètres du calcul	224
Paramètres d'entrée	224
Volume infiltré	224
Taux de recharge	225
IV .3. Niveau d'eau souterraine de la nappa alluviale d'oued Biskra	226
IV.3.1 Diguette	226
A. Dans le site N° 1	226
B. Dans le site N° 2	226
IV.3.2 Bassin d'infiltration	227
IV.4. Comparaison de l'élévation du niveau d'eau souterraine dans les trois sites	227
IV.5. Conclusion	229
Conclusion de la Seconde partie	230
Conclusion générale	232
Références bibliographiques	234
Annexe	240

ABBREVIATIONS

ABSH : Agence de Bassin Hydrographique Sahara

A.E.P : Alimentation en Eau Potable

ANAT : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

AQTESOLV: AQuifère TEst SOlver

BV: Bassin Versant

CI : Continental Intercalaire

CRSTRA : Centre de Recherche Scientifique et Technique des Régions Arides.

CT : Complexe Terminal

D.R.E : Direction des Ressources en Eau.

D.S.A : Direction des Services Agricoles.

ETP : Evapotranspiration Potentielle

GPS : Global Positioning System

IRR : Irrigation

SUP : Superficie

PFN : Plan de Flux Nul.

UTM: Universal Transverse Mercator

WADIS-MAR: Water harvesting and Agricultural techniques in Dry lands: an Integrated and Sustainable model in MAghreb Regions

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Pages
Tableau n°01:	Porosité efficace et perméabilité moyenne pour les principaux réservoirs (J.Beauchamp, 1999)	09
Tableau n°02:	Localisation et caractérisation des sites de recharge de la nappe dans le monde (2011).	32
Tableau n°03 :	Superficie du bassin versant de l'oued Biskra.	58
Tableau n°04 :	La répartition altimétrique du bassin de l'oued Biskra et ces bassins élémentaires.	61
Tableau n°05 :	Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires de l'oued Biskra.	62
Tableau n°06 :	Indices de compacité pour les sous bassins de la région d'étude.	64
Tableau n°07 :	Indices des pentes pour les différents sous bassins.	65
Tableau n°08 :	Classification, longueur et nombre des cours d'eau du bassin versant de l'oued Biskra et ses bassins élémentaires.	71
Tableau n°09 :	Densité de drainage pour le bassin de l'oued Biskra et ces bassins élémentaires.	72
Tableau n°10 :	Répartition des affluents principaux du sous bassin de l'oued El Hai d'après la pente de leur lit (ANRH Biskra, 2008)	78
Tableau n°11 :	Répartition des affluents principaux du sous bassin de l'oued Djemoura d'après la pente de leur lit (ANRH Biskra, 2008).	78
Tableau n°12 :	Tableau récapitulatif des résultats	79
Tableau n°13 :	Répartition des types de végétation (DSA. Biskra, 2008)	88
Tableau n°14 :	Répartition en % des types d'occupation du sol (DSA. Biskra 2001).	89
Tableau n° 15:	Caractéristiques par Daïras, des nappes captées à travers la wilaya (ANRH, 2008).	95
Tableau n° 16 :	Répartition des volumes d'eau prélevés en Hm ³ /an par daïra, par nappe et par usage (ANRH, 2008).	96
Tableau n°17 :	Caractéristiques des forages d'eau potable captant l'aquifère alluvial de Biskra.	99
Tableau n° 18 :	Nombre de forage visité par utilisation.	102
Tableau n° 19:	Niveaux statiques pendant les hautes eaux (mai 2012).	103
Tableau n° 19-a :	Niveaux statiques pendant les basses eaux (ANRH Biskra, 2008).	105
Tableau n°20:	Coordonnées des stations pluviométriques et leurs codes (ANRH Biskra, 2008).	114
Tableau n°21 :	Régression basée sur l'analyse des composantes principales (ACP)	120

Tableau n°22 : Application de la méthode de moyenne arithmétique au calcul de la pluie moyenne Annuelle.	121
Tableau n°23 : Application de la méthode de Thiessen au calcul de la pluie moyenne annuelle.	123
Tableau n°24 : Moyenne, écart type et coefficient de variation de la série pluviométrique (1971-2010)	125
Tableau n°25 : Ecart à la moyenne des précipitations annuelles extrêmes (1971-2004)	127
Tableau n°26 : Intervalle de confiance pour les différentes stations du bassin et teste	131
Tableau n°27 : Précipitations annuelles fréquentielles (mm)	132
Tableau n°28 : Fréquence théorique des pluies moyennes annuelles et extrêmes pour les différentes stations de l'oued Biskra.	133
Tableau n°29 : Répartition saisonnière des pluies dans les stations du bassin de l'oued Biskra	135
Tableau n°30 : Précipitations mensuelles fréquentielles pour les trois stations caractéristiques	139
Tableau n°31: Pluie maximale journalière fréquentielle pour les quatre stations pluviométriques du bassin (1971-1993)	143
Tableau n°32 : Valeurs de l'exposant climatique pour les quatre stations pluviométrique de l'oued Biskra.	144
Tableau n°33 : Températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Biskra (1977-2002)	147
Tableau n°34 : Températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Batna (1973-1998).	147
Tableau n°35 : Températures moyennes mensuelles et précipitations moyennes mensuelles pour les deux stations pluviométriques.	150
Tableau n°36 : Coefficient correctif "kr".	153
Tableau n°37: Evolution du coefficient correctif mensuel "km".	153
Tableau n°38 : Coefficient d'évaluation des durées théoriques d'insolation.	154
Tableau n°39 : Valeurs moyennes de km (H-187).	154

Tableau n°40 : Résultats de la méthode dite ANRH Penman en mm durant la période (1971-2010)	155
Tableau n°41 : Lamme moyenne annuelle écoulée et l'apport moyen annuel (Estimation d'après les formules empiriques)	162
Tableau n°42 : Calcul du débit moyen annuel par les différentes formules empiriques.	163
Tableau n°43 : Débit moyen annuel observé, débit moyen annuel selon la formule de Sami pour le bassin de l'oued Djemoura.	163
Tableau n°44 : Débit moyen annuel observé, débit moyen annuel selon la formule de Deri II pour le bassin de l'oued El Hai.	163
Tableau n°45 : Débits absolus, débits spécifiques et la lame d'eau écoulée dans les deux stations hydrométriques.	165
Tableau n°46 : Bilan hydrologique moyen annuel de l'écoulement	166
Tableau n°47 : Débits moyens annuels, coefficient de l'hydraulicité et coefficient de variation (CV)	169
Tableau n°48 : Débits moyens annuels et durés de récurrence pour les deux stations hydrométriques.	172
Tableau n°49 : Débits journalier des crues de l'oued El Hai et Djemoura.	185
Tableau n°50 : Caractéristiques des principales crues de l'oued Biskra et ses principaux affluents.	190
Tableau n°51 : Apports, les débits absolus et spécifiques des principales crues.	191
Tableau n°52 : Calcul des débits des crues par les formules empiriques issues des lois Gilbert-Galton-Gauss.	193
Tableau n°53 : Durée de récurrence des débits journaliers maximaux annuels.	194
Tableau n°54 : Débits des crues pour l'oued Biskra et son ensemble.	196
Tableau n°55 : Application de la méthode du Gradex sur le bassin de l'oued Biskra et son ensemble.	200
Tableau n°56 : Puissance des crues.	204
Tableau n°57 : Recherche de la relation saisonnière : Débit liquide-débit solide au pas de temps journalier	210
Tableau n°58 : Valeurs mensuelles de la turbidité des eaux de l'oued El Hai et Djemoura en	215

g/l.

Tableau n°59 : Dégradation spécifique des bassins d'El Hai et Djemoura en tonne/km ² /an.	216
Tableau n° 60 : Volume infiltré annuelle pour chaque station (m ³).	221
Tableau n°61 : Volume infiltré mensuel (m ³).	224
Tableau n° 62 : Calcul de taux de recharge dans chaque emplacement de diguette	225
Tableau n° 63 : Calcul de l'élévation mensuelle de la nappe d'oued Biskra dans le site N° 1	226
Tableau n° 64 : Calcul de l'élévation mensuelle de la nappe d'oued Biskra dans le site N° 2.	226
Tableau n° 65 : Elévation mensuelle de la nappe alluviale d'oued Biskra (Bassin d'infiltration).	227
Tableau n° 66 : Comparaison de l'élévation entre les trois dispositifs de recharge	228
Tableau n° 67 : Comparaison de l'élévation d'eau moyenne saisonnier entre les dispositifs de recharge.	228

LISTES DES FIGURES

N°	Titre	Pages
Figure n°1:	Différents composants du cycle hydrologique	04
Figure n°2:	Humidité au cours de l'infiltration dans le cas où la surface est saturée d'eau (Hillel, 1984)	06
Figure n°3:	Lignes de flux et isopièzes d'une nappe libre	10
Figure n°4:	Différents mécanismes de recharge des nappes souterraines (tiré de de Vries & Simmers, 2002)	14
Figure n°5:	Echange entre eaux de surface et souterraines (Banton et Bangoy, 1999)	28
Figure n°6:	Courbe isopièze incurvée vers l'amont, la rivière alimente la nappe	29
Figure n°7 :	Courbe isopièze incurvée vers l'aval, la nappe alimente la rivière	29
Figure n°8 :	Localisation des sites de recharge dans le monde (eaux usées traitées, 2011)	33
Figure n°9:	Localisation de la zone d'étude	37
Figure n°10:	Carte représentatif de la limite géologique de l'aquifère d'oued Biskra	39
Figure n°11:	Coupe technique d'un forage de reconnaissance à Oued Biskra (ANRH, 2013).	43
Figure n°12 :	Carte de recharge potentielle dans la plaine d'Outaya (2010)	45
Figure n°13:	Image satellite de relief de la zone de Biskra (Google Earth, 2012)	46
Figure n°14:	Topographie de la région de Biskra (ANRH-Biskra, 2008).	46
Figure n°15:	Esquisse géologique de la wilaya de Biskra (Busson, 1972).	49
Figure n°16:	Carte géologique schématique de la région de Biskra (ANRH, 2008)	51
Figure n°17-a:	Sites de l'emplacement des diguettes (Google Earth, 2012)	52
Figure n°17-b:	Conception proposé de l'emplacement des bassins de recharge dans l'oued Biskra	54
Figure n°18-a:	Carte hypsométrique du bassin versant de l'oued Biskra (ANRH, Biskra, 2008)	60
Figure n°18-b:	Courbe hypsométrique des fréquences altimétriques du bassin versant de l'oued Biskra	63
Figure n°19:	Esquisse des pentes du bassin de l'oued Biskra (ANRH, Biskra, 2008)	67
Figure n°20:	Réseau hydrographique du bassin de l'oued Biskra (ANRH, Biskra, 2008)	70
Figure n°21- a:	Profils en long de l'oued Biskra et de ses principaux affluents (ANRH, Biskra,2008)	76
Figure n°21 -b :	Profils en long de l'oued Djemoura et ses affluents (ANRH, Biskra, 2008)	76
Figure n°22:	Carte de perméabilité du bassin versant de l'oued Biskra (ANRH, Biskra, 2008)	86
Figure n°23:	Carte de la végétation du bassin de l'oued Biskra (DSA, Biskra, 2008)	91
Figure n°24:	Variation du nombre de forages par daïras et par nappe (ANRH, Biskra 2008)	97
Figure n°25:	Coupe hydrogéologique schématique de la région de Biskra (DMERH, 1980)	97
Figure n°26:	Localisation des points de la mesure dans l'oued Biskra	100

	104
Figure n°27: Présentation des lignes de courant à partir des observations piézométriques du champ captant d'oued Biskra	
Figure n°28-a : Carte piézométrique pendant les hautes eaux (Mai 2012).	104
Figure n°28-b: Carte piézométrique pendant les basses eaux (ANRH, 2008)	106
Figure n°29: Evolution piézométrique du champ captant de la nappe alluviale	107
Figure n°30: Equipement hydro-pluviométrique du bassin versant de l'oued Biskra	113
Figure n°31: Critique des données pluviométriques par la méthode des doubles cumuls	116
Figure n°32 : Régression à l'échelle mensuelle des précipitations	119
Figure n°33 : Graphique de Seltzer "Les trois lois d'Algérie (ANRH, Biskra 2008)	122
Figure n°34 : Découpage de la surface du bassin de l'oued Biskra Selon la méthode de Thiessen (Boumessenegh. A, 2007)	124
Figure n°35 : Evolution annuelle des précipitations (1971-2010)	126
Figure n°36 : Ajustement des précipitations annuelles à une loi de Gauss	129
Figure n°37 : Variation mensuelle et saisonnière de la distribution des précipitations	136
Figure n°38 : Ajustement des précipitations mensuelles à une loi de Gauss après une anamorphose en racine carrée pour la série (1971-2010)	138
Figure n°39 : Ajustement des précipitations journalières max. à la loi de Gumbel station Tkout et Menea (1971/1993)	141
Figure n°40 : Ajustement des précipitations journalières max. à la loi de Gumbel station Batna et Biskra (1971/1993)	142
Figure n°41-a : Courbes intensités –durées- fréquences Station Biskra et Batna	145
Figure n°41-b : Courbes intensités –durées- fréquences Station T-kout et Menea.	146
Figure n°41-c : Répartition des températures moyennes mensuelles max. et min. à la station de Biskra période (1977/2002).	148
Figure n°41-d : Répartition des températures moyennes mensuelles max. et min. à la station de Batna période (1973/1998)	148
Figure n°42-a : Diagrammes ombrothermique de la station Biskra (1979 – 2002)	151
Figure n°42-b : Diagrammes ombrothermique de la station Batna (1973 – 1998)	151
Figure n°43 : Evaluation du coefficient d'hydraulicité	168
Figure n°44 : Ajustement graphique des débits moyens annuels pour la station de Djemoura et El-kantara	171
Figure n°45 Les variations mensuelles des débits moyens de l'oued El Hai et Djemoura	174

Figure n°46 Hydrogramme de quelques années caractéristiques de l'écoulement à la station de Djemoura et El Kantara	175
Figure n°47 : Courbes des coefficients mensuelles des débits	177
Figure n°48-a : Hydrogramme de la crue de la saison froide décembre 1981 (ANRH, Biskra 2008)	182
Figure n°48-a : Hydrogramme de la crue de la saison chaude octobre 1982 (ANRH, Biskra 2008)	182
Figure n°49 : Hydrogramme de la crue de septembre 1989 (ANRH, Biskra 2008)	187
Figure n°50 : Hydrogramme de la crue d'août 1984 (ANRH, Biskra 2008)	188
Figure n°51 : Hydrogramme de la crue de juin 1981 (ANRH, Biskra 2008)	189
Figure n°52 :Ajustement des débits journalières max. à une loi de Gumbel (1970/1998)	195
Figure n°53-a : Recherche de relation saisonnière : débit liquide-débit solide au pas de temps journalier station Djemoura	211

Figure n°50-b : Recherche de relation saisonnière : débit liquide débit-solide au pas de temps journalier station d'El Kantara (1969-1993)	212
Figure n°54 : Variation annuelle de la turbidité aux stations d'El Kantara et Djemoura	214
Figure n°55 : Variation mensuelle de la turbidité aux stations d'El Kantara et Djemoura	217
Figure n°56 : Géométrie et symboles pour le système de recharge et le monticule d'eaux souterraines (Brower, 1990).	223

INTRODUCTION GENERALE

I. INTRODUCTION

Le développement économique et social dans les régions semi-arides et arides est directement lié à la disponibilité et à l'utilisation des ressources en eau, et notamment les eaux souterraines, qui sont souvent les seules disponibles tout au long de l'année (e.g. Genxu & Guodong, 1999 ; Hamdy & Mugnozza, 2003 ; Braune & Xu, 2010). Cependant, une partie de ces ressources est "fossile" et son exploitation n'est pas durable (e.g. Scanlon et al, 2006). Ceci est d'autant plus problématique que les volumes d'eau prélevés ont considérablement augmenté au cours des deux dernières décennies pour satisfaire le besoin croissant en eau potable de la population et celui des activités industrielles et agricoles, accroissant encore la sensibilité et la fragilité de ces ressources vitales face au changement global (Custodio, 2002 ; Petit, 2004). La connaissance de l'origine des eaux souterraines et de leurs modes de renouvellement est donc indispensable à leur gestion raisonnée. La solution à ce problème est d'éviter toute déperdition de cet élément vital, de mobiliser le maximum d'eau de surface et de recharger les nappes.

Dans la wilaya de Biskra, les principales activités économiques sont liées à l'agriculture (culture des palmiers et la culture sous serres) et à l'élevage, l'importance de cette activité repose sur l'importance des ressources en eau de la wilaya et notamment souterraines.

Cette wilaya connaît depuis longtemps une surexploitation des ressources en eau souterraines et cela en raison de la prolifération des forages qui mobilisent cette ressource (ANRH, 2008). Il est donc évident que cet accroissement rentre dans le cadre du développement agricole de la région.

Les besoins en eau croissent souvent au point de devoir doubler au bout de la décennie. Le problème de leur satisfaction revêt une acuité et une urgence tout aussi vraie en zone tempérée qu'en zones arides ou semi-arides. Pour y faire face, une gestion intégrée des ressources en eaux de surface et souterraine, comprenant notamment des opérations d'alimentation – ou recharge artificielle, s'avère une initiative particulièrement recommandée. En effet, pourquoi ne pas, par exemple, tirer parti des débits des oueds souvent perdus lors des hautes eaux en les injectant dans ces réservoirs naturels que constituent les aquifères en vue d'une utilisation le moment venu?

En zones arides, la recharge de la nappe alluviale se fait essentiellement par des eaux de crues occasionnelles. C'est une nappe libre et peu profonde qui est en contact permanent avec un cours d'eau non permanent. Cela permet des échanges entre les deux.

Le présent travail est une contribution à l'étude de la recharge de la nappe alluviale de l'oued Biskra, il entre dans le cadre d'un projet de développement (WADIS-MAR), qui s'intéresse à l'amélioration du niveau de vie de la population rurale dans les zones arides et semi-arides de la région du Maghreb.

Notre étude repose sur l'analyse des données géologiques d'Oued Biskra, de l'hydrogéologie de la nappe à recharger (nappe de Biskra) , à partir de l'hydrologie : Volume d'eau écoulé dans les sous bassins versant de oued Abdi et El-Hai. Pour quantifier ce volume qui circule dans l'oued pendant les précipitations fortes et les périodes de crues, une étude hydro-climatologique de bassin versant d'oued Biskra a été réalisée.

Ce travail se concentre sur l'étude de processus de recharge de la nappe alluviale d'oued Biskra. Cette nappe alluviale est située en amont de la ville dans le sud-est algérien. Cette nappe a vu son exploitation augmentée depuis une cinquantaine d'années (ANRH, 2008). Jusqu'à présent la seule étude réalisée concerne les possibilités d'exploitation optimum du réservoir alluvionnaire. Celle-ci a été prise en charge par la Société d'Exploitation urbaine et rurale des eaux du Sahara. Le travail a été confié au département hydrologie de la Société Centrale pour l'Équipement du Territoire.

Pour atteindre notre objectif, les données ont été collectées sur une campagne de terrain réalisé en Mai 2012 en utilisant simultanément les informations hydrodynamiques. L'approche vise à étudier l'impact des crues (approche hydrologique), du bassin versant de Biskra et ses affluents, sur l'alimentation de la nappe alluviale d'oued Biskra. En second, les effets de cette alimentation sur les fluctuations dynamiques de la nappe alluviale (Approche hydrodynamique) soit analysés.

Le présent manuscrit s'organise de la manière suivante :

Première partie : La présentation du milieu naturel

Concerne une présentation du milieu naturel, le comportement du bassin est étudié. Dans le but de préciser comment les différents facteurs naturels interfèrent dans la genèse des inondations et leurs impacts :

- Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.
- Chapitre II : Bassin versant d'oued Biskra.
- Chapitre III : Caractéristiques géologiques, lithologiques et le couvert végétal, son état et leurs impacts sur les crues.
- Chapitre IV : Caractéristiques hydrogéologiques.
- Chapitre V : Etude climatique.

Seconde partie : Caractérisation de l'écoulement et la faisabilité de la recharge

Concerne l'étude hydrologique proprement dite, qui est fondée sur le traitement statistique des données hydrométriques. Elle met en lumière les aspects fondamentaux de l'écoulement annuel, mensuel, extrême et une étude des transports solides. Cette partie repose aussi sur l'application des approches hydrologique et hydrodynamique. Elle se base sur l'utilisation d'un modèle analytique (Equation de Hantush), puis une présentation des résultats et leur interprétation, en tenant compte de la variabilité spatiale.

- Chapitre I : Ecoulements annuels et leurs variations temporelles.
- Chapitre II : Etudes des crues extrêmes d'oued Biskra.
- Chapitre III : Etude des transports solides dans le bassin versant de l'oued Biskra.
- Chapitre IV : Approches d'estimation de la recharge.

Etude Bibliographique

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Etude Bibliographique

CHAPITRE I
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Définition et composantes du cycle de l'eau dans la nature

I.1. Définition

En ce qui concerne le mouvement de l'eau, on peut considérer la terre comme un système à circuit fermé dans sa représentation la plus simple, ce circuit implique des transferts d'eau des masses océaniques vers l'atmosphère, de l'atmosphère vers les masses continentales, puis des masses continentales vers les océans. C'est de cette nature cyclique qu'est venu le terme général attribué à ces transferts d'eau, soit le cycle de l'eau (Ancil et al., 2005).

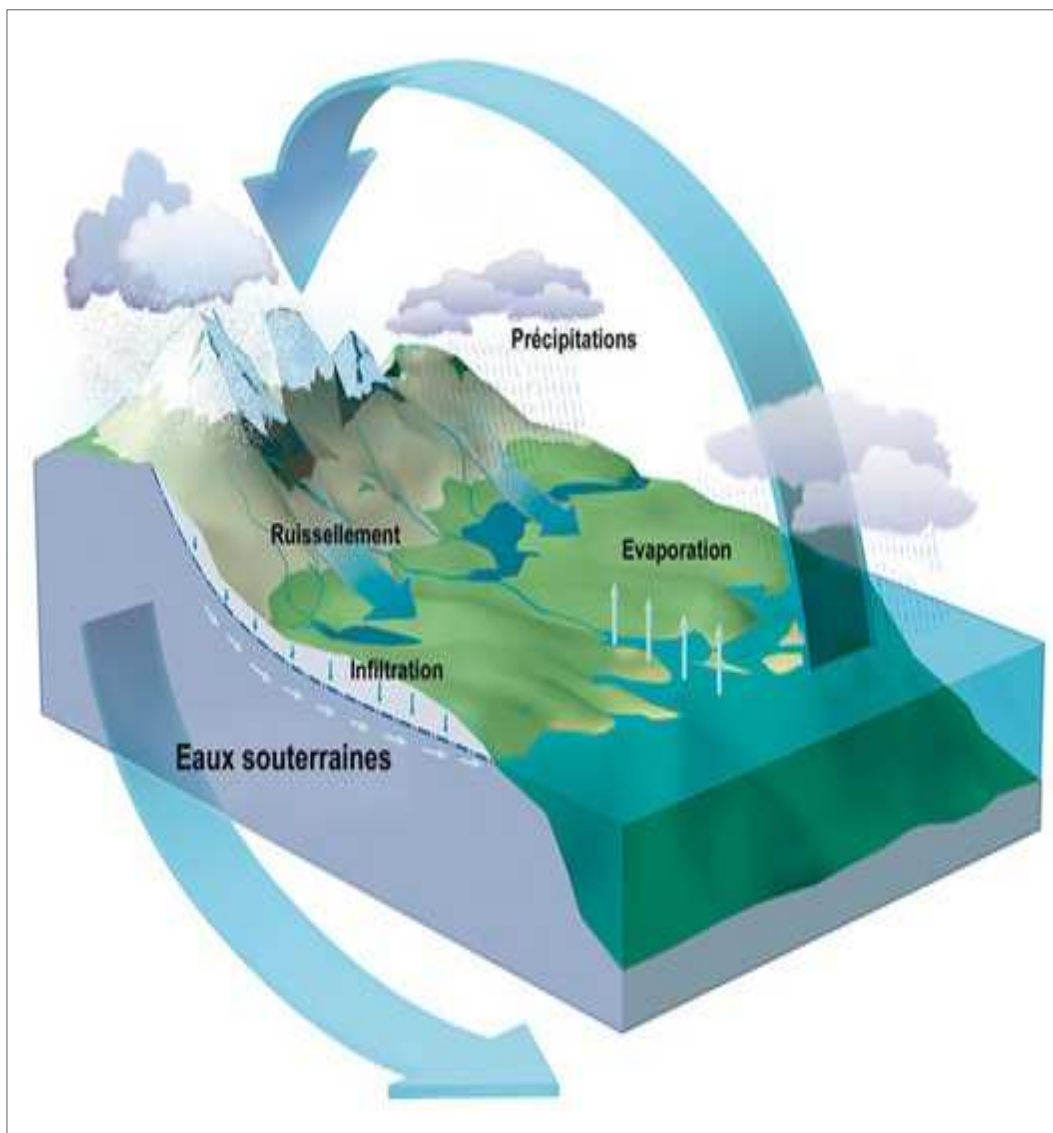


Figure n°01 : Différents composants du cycle hydrologique

I.2. Composantes du cycle hydrologique

Lorsque une pluie tombe à la surface d'un bassin, une partie est rapidement utilisée par la végétation (arbres, herbes), une partie ruissèle et gagne rapidement l'exutoire, une partie s'infiltré dans le sous sol puis dans les nappes plus profondes ; cette fraction rejoint lentement les collecteurs à l'aval. Au cours des processus complexe de l'infiltration, une partie de l'eau du sol reprise par évaporation, ou par évapotranspiration (Tardy, 1986).

I.2.1. Précipitations

Sont dénommées précipitations toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. La vapeur d'eau de l'atmosphère se transforme en liquide lorsqu'elle atteint le point de rosée par refroidissement ou augmentation de pression (Lyl Marck, 2013).

I.2.2. Ecoulements de surface ou ruissellement

L'eau qui s'écoule par l'exutoire d'un bassin versant provient d'une combinaison de trois types d'écoulement qui se produisent simultanément, ou l'un après l'autre. Il s'agit des écoulements de surface, hypodermique et souterrains, l'écoulement de surface englobe le ruissèlement en surface des sols et l'écoulement à surface libre en rivière (Anctil et al. 2005). D'après Rodier (1965), qui a travaillé sur plusieurs régions en Afrique, "les bassins versant sont caractérisés par des coefficients de ruissèlement très variable, et qui dépend de l'intensité, au fond, de la brutalité de l'averse".

I.2.3 Infiltration et les précipitations efficaces

Le processus d'infiltration d'eau dans le sol peut être perçu comme la propagation vers la profondeur d'une perturbation drastique et quasi instantanée des conditions de pression, et de teneur en eau régnant en surface (Tiercelain, 2006).

L'estimation de l'importance du processus d'infiltration permet de déterminer quelle fraction de la pluie va participer à l'écoulement de surface, et quelle fraction va alimenter les écoulements souterrains, et donc aussi participer à la recharge des nappes souterraines

Les précipitations efficaces représentent la quantité d'eau fournie par les précipitations qui reste disponible, à la surface du sol, après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle (Castany, 1982).

Et on défini "l'infiltration efficace" par la Quantité d'eau infiltrée depuis la surface du sol qui traverse la zone non saturé et parvient effectivement à la zone saturée, exprimé surtout en lame d'eau rapportée à une durée donnée, c'est le flux d'infiltration qui traverse la surface libre d'une nappe. L'infiltration de l'eau dépend de plusieurs facteurs, dont :

- Le type de sol,
- La compaction de la surface du sol,
- La couverture du sol,
- La topographie et la morphologie,
- Le débit d'alimentation, et La teneur en eau initiale du sol.

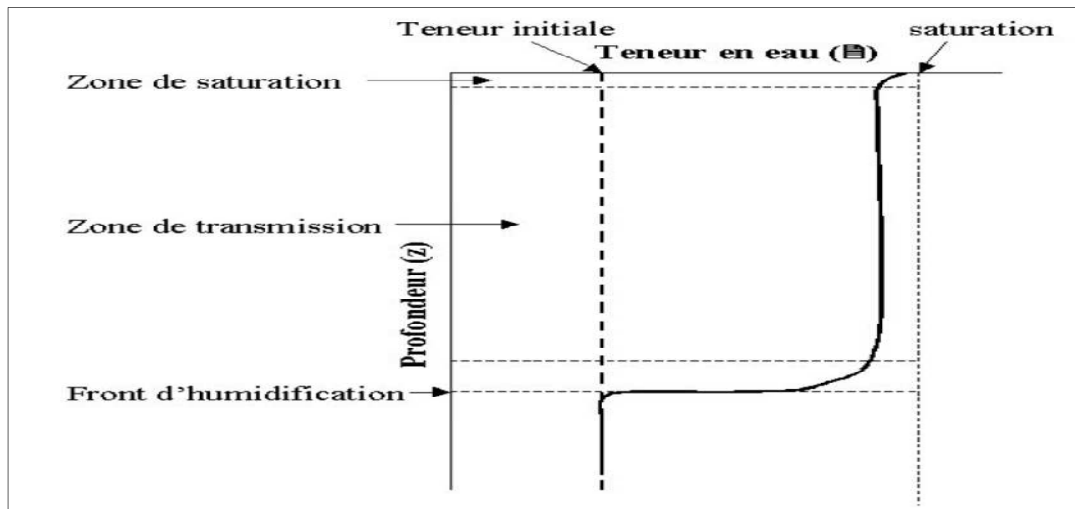


Figure n°2 : Profil d'humidité au cours de l'infiltration dans le cas où la surface est saturée (Hillel, 1984)

I.3 Bilan hydrologique d'un bassin versant

L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique (les précipitations **P**, le ruissellement de surface **R**, l'évapotranspiration **ET**), peut se faire à l'aide d'une équation appelée "équation du bilan hydrologique", qui est le bilan des quantités d'eau entrante, et sortante d'un système défini dans l'espace (à l'échelle d'un bassin versant), et dans le temps (la notion de l'année hydrologique).

Le calcul du bilan hydrologique est bien connu et souvent utilisé pour estimer toutes les composantes du bilan. (Glendon et Hillel., 1988). La recharge (**Rg**) est :

$$R_g = P - (R + ETR + \Delta S) \quad (1)$$

Où :

- **P** : Précipitations
- **R** : Ruissellement (exprimé en lame d'eau écoulée)
- **ETR** : Evapotranspiration
- ΔS : variation des réserves en eau, positive ou négative, qui cumule les variations de stockage de l'eau dans la tranche superficielle du sol.

Dans le cas d'un bassin versant à vocation agricole, on ajoute les irrigations (**Ir**) dans la deuxième partie de l'équation du bilan hydrologique.

Etude Bibliographique

I.4. Nappes et les aquifères

Les eaux d'infiltration passent d'abord dans le sol puis le sous-sol. L'eau de gravitation s'écoule vers le sous-sol et va constituer les eaux souterraines (eau gravitaire ou encore eau de gravité). Elle est inutilisable par la végétation car elle s'écoule rapidement à travers un sol qui est poreux (on parle de macropores par lesquels passe "l'eau de macroporosité"). Dans le cas d'un sol peu poreux mais avec des pores de petit diamètre (on parle de micropores qui retiennent "l'eau de microporosité"), c'est l'eau de rétention, qui est utilisable par les plantes.

I.4.1. Perméabilité, ou coefficient de filtration

D'après la loi de Darcy, le coefficient de perméabilité K peut être défini comme le volume d'eau qui s'écoule pendant l'unité de temps à travers l'unité de surface d'une section de terrain sous un gradient hydraulique égal à l'unité. Il a la dimension d'une vitesse LT^{-1} et peut être différent suivant la direction d'écoulement envisagée.

On peut aussi définir la conductivité hydraulique comme la capacité d'un sol à laisser s'écouler un volume d'eau dans un certain temps (Bélanger, 1993). D'une façon plus générale la loi de Darcy établie expérimentalement en 1856 par Henri Darcy, lors d'un écoulement d'un fluide dans un milieu poreux, la moyenne spatiale des vitesses dans les pores est proportionnelle au gradient de la pression motrice du fluide ;

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{dh}{L} \quad (2)$$

Où :

Q : Débit d'écoulement (m^3/s).

A : Section totale traversée (m^2).

K : Perméabilité du milieu (m/s).

dh : Différence de hauteur (m).

L : Longueur (m).

$\frac{dh}{L}$: Perte de charge par unité de longueur, appelée encore gradient hydraulique(i).

D'après Metreveli (1990) le coefficient de filtration K dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- Genre du liquide
- Température du liquide
- Diamètre moyen des grains
- Composition granulométrique
- Forme des grains
- Présence des corps étrangers

A son arrivé sur un substratum argileux l'eau s'infiltré à faible profondeur à travers les sols altérés et circule à la limite des argiles saines (ruissèlement hypodermique). (Gilli.E et al., 2008)

Etude Bibliographique

Types de réservoirs	Porosité efficace (%)	Perméabilité K (m/s)
Graviers	25	$3 \cdot 10^{-1}$
Sables	15	$6 \cdot 10^{-4}$
Limons	2	$3 \cdot 10^{-8}$
Vase argileuse	0.1	$5 \cdot 10^{-10}$

Tableau n°1 : Porosité efficace et perméabilité moyenne pour les principaux réservoirs
(Source: beaucham/cours.qge/du-7.htm).

I.4.2. Quelques concepts sur la piézométrie

1. Niveau et surface piézométrique

Les puits et sondages du premier aquifère rencontrés sous la surface du sol, présentent un niveau d'eau dont l'altitude (par rapport au niveau de la mer) est appelée le niveau piézométrique noté H. Souvent, ce niveau est mesuré dans les ouvrages de petits diamètres, appelés piézomètres, l'ensemble des niveaux piézométriques mesurés en différents points à une date donnée détermine la surface piézométrique.

La mesure du niveau piézométrique est l'opération de base en hydrogéologie. On utilise généralement des sondes qui enregistrent les fluctuations du niveau de la nappe au cours de l'année. Pour les nappes captives (artésiennes), on mesure l'altitude du jet d'eau au dessus du sol, ou dans les forages et les piézomètres. La forme de la surface piézométrique permet d'étudier les caractéristiques de l'écoulement des eaux souterraines et le réserve de la nappe.

Lors d'un prélèvement d'eau, la surface piézométrique s'abaisse autour du point de pompage, c'est le rabattement de la nappe. Cette surface fluctue bien sûr dans le sens vertical en fonction de l'alimentation et de la vidange (débit de pompage).

2. Gradient hydraulique

On le calcule en plaçant 2 piézomètres distants de L mètres. Le gradient est le rapport entre la différence de niveau Δh des piézomètres, et la distance L. On utilise également les cartes piézométriques en mesurant la distance entre 2 courbes isopiézométriques (hydroisohypses) consécutives.

3. Débit d'une nappe

Dans la nappe l'eau circule vers les exutoires, qui sont les points les plus bas de la topographie (sources, rivières,...) (DeMarsily, 1981).

Le débit d'une nappe Q, est le volume d'eau en m^3 traversant par unité de temps (s) une section transversale en m^2 d'aquifère, sous un gradient hydraulique déterminé. La section perpendiculaire à la direction d'écoulement, passe par une ligne équipotentielle, matérialisé par une courbe hydroisohypse. (Castany, 1982).

Le débit d'une nappe peut être calculé par interprétation de la carte piézométrique, et par application des expressions de la loi de Darcy :

Etude Bibliographique

$$Q = K \cdot A \cdot i \quad (3)$$

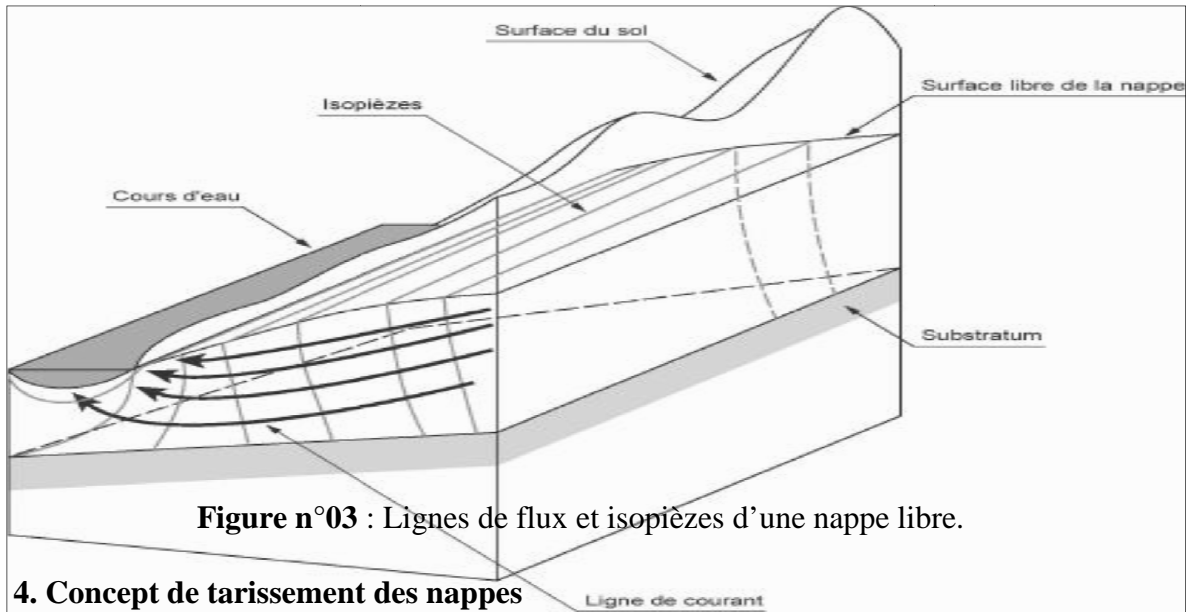
Où :

Q : débit d'une nappe souterraine (m³/s).

A : section de sol. (m²).

K : conductivité hydraulique. (m/s).

i : gradient de charge hydraulique.



Le concept de tarissement désigne la vidange des nappes. En absence de pluies, l'évapotranspiration, et la consommation des ouvrages hydraulique (puits, forages), épuisent progressivement les réserves en eau souterraine du bassin versant.

On appelle "tarissement simple" tout tarissement de nappe, de source, de cours d'eau qui se déroule en conditions semblables à la décharge, en régime non influencé (dû à l'apport de pluie par exemple, pendant la période de tarissement), d'une nappe captive ou d'une nappe libre, profonde ou phréatique.

5. Exploitation des nappes

La productivité d'une couche aquifère est fonction des paramètres hydrodynamiques (perméabilité [K], coefficient d'emmagasinement[S], porosité efficace) mais aussi de son épaisseur, H (pour une nappe libre), ou e (pour une nappe captive).

Le produit $T = KH$ ou $T = Ke$ (en m². s-1) est appelé *transmissivité*. Le paramètre pratique utilisé lors de l'exploitation est la *diffusivité* qui caractérise la vitesse de réaction d'un aquifère lors d'une perturbation (variation de niveau), et elle est égale au quotient de la transmissivité par le coefficient d'emmagasinement : T/S

Etude Bibliographique

I. 5. Cartographie de la piézométrie

L'étude de l'aquifère définit les lignes de flux ou de courant et les lignes équipotentielles. La schématisation de l'écoulement de l'eau dans un aquifère est nécessaire pour dresser des coupes et des cartes hydrogéologiques (représentations bidimensionnelles). Une ligne de courant est une ligne idéale qui représente la trajectoire d'une particule d'eau en mouvement dans un aquifère. Le réseau d'écoulement est l'ensemble des lignes équipotentielles et des lignes de courant décrivant un système d'écoulement bidimensionnel, dans un milieu aquifère continu. Dans un milieu isotrope et en régime permanent, ces lignes deviennent orthogonales (Castany et Margat, 1977).

I. 5.1. Carte piézométrique

Une carte piézométrique est tracée par interpolation entre les cotes relevées sur la base de courbes hydroisohypses, dont la qualité et l'équidistance dépendront de la densité des points de mesure, et de l'échelle d'étude adoptée. La carte piézométrique permet une vision instantanée de son état à un moment précis. La surface piézométrique s'interprète de la même façon qu'une surface topographique par sa morphologie, sa pente, ses variations et ses anomalies. Ces cartes permettent de déterminer les dimensions et le volume de l'aquifère. L'interpolation spatiale des données ponctuelles est schématisée par 3 types de cartes en courbes d'isovaleurs :

- Cartes en courbes isohypses ou d'égale altitude, montrant la morphologie de la surface considérée, au même titre que les cartes topographiques en courbes de niveau, représentant la surface du sol ;
 - Cartes en courbes isobathes ou d'égale profondeur, par référence à la surface du sol,
- Cartes en courbes isopaches ou d'égale épaisseur de l'aquifère, bases du calcul du volume du réservoir.

I. 5.2. Ecoulement de l'eau de la nappe

Dans un aquifère l'écoulement de l'eau s'effectue des zones de recharge vers les zones de décharge (Hubbert, 1996). Les zones de recharge ou aires d'alimentation sont constituées par les reliefs véritables châteaux d'eau. Les eaux souterraines y sont alimentées par l'infiltration des précipitations efficaces. Les zones de décharges ou de drainage se localisent dans les vallées occupées par les cours d'eau et les surfaces d'eau libre.

Le moteur de l'écoulement est la différence de d'altitude (différence de charge) qui engendre des gradients hydrauliques, (Gilli. et al., 2008). Deux grands types de systèmes de flux sont identifiés :

- flux latéral des zones de recharge (alimentation) vers celle de décharges (drainage et exutoires). Celui ci permet de reconnaître les zones d'alimentation et exutoires et les grands axes d'écoulement
- flux de drainance de direction subverticale et de sens ascendant ou descendant.

Le tracé des courbes hydroisohypses permet de matérialiser par des droites orthogonales orientées suivant la pente les lignes de courant de la surface piézométrique qui indiquent la direction et le sens d'écoulement de la nappe.

I. 5.3. Variation piézométrique

Etude Bibliographique

Les variations de la nappe phréatique dépendent de l'influence des apports et des pertes qui ont lieu dans l'aquifère. Par exemple, au printemps dans un aquifère à nappe libre, les niveaux piézométriques montent à cause des apports provenant des dégels et des pluies. L'hiver par contre, ils vont descendre à cause de la diminution des précipitations. (Nelson acevedo, 1996).

Rosenberry et Winter (1997) montrent que les écoulements à la surface de la nappe se modifient, voire s'inversent fréquemment, en réponse aux arrivées hétérogènes et locales dans l'espace et dans le temps des eaux d'infiltration Il est donc souvent nécessaire pour juger des variations inter saisonnières de sa surface d'établir plusieurs cartes piézométriques à des époques différentes et en particulier lors des périodes extrêmes (crue ou hautes et étiage ou basses eaux). Les piézogrammes visualisent les fluctuations de la nappe dans le temps et peuvent être corrélés avec la pluviométrie ou avec le débit d'un cours d'eau. Les variations piézométriques fournissent une bonne estimation de l'alimentation naturelle (la recharge) et de la décharge de la nappe.

I.6. Recharge des nappes

Le terme de recharge désigne le processus par lequel un aquifère reçoit un apport d'eau, soit d'un autre aquifère saturé, soit de sa partie non saturée. Depuis les années 1980, une explosion relative des études de recharge de nappes a été notée dans la.

Les motivations de ces études sont soit d'ordre quantitatif pour les zones où l'eau souterraine est la seule ressource en eau, soit d'ordre qualitatif dans les zones où les risques de contamination des nappes sont prépondérants. L'estimation de la recharge peut être effectuée à partir de suivis hydriques qui sont généralement basées sur le calcul de bilans de masses d'eau en relation avec les propriétés hydriques du sol (Cédric L, 2005). L'augmentation du taux de recharge peut être expliquée par une diminution de la perte d'eau dans les couches supérieures du sol ou d'une augmentation de flux vertical par la surface ou dans la zone non saturée (Cédric, 2005).

Dans les environnements semi-arides ou arides, les processus de la recharge sont hétérogènes et variables dans l'espace et dans le temps (Cook et al, 1989 ; Le Gal La Salle et al, 2001 ; Scanlon et al, 2006). Cette hétérogénéité est liée à la forte variabilité des paramètres hydrologiques (pluviométrie, ruissellement et infiltration) qui augmente avec l'aridité (Leduc, 2003). En effet, dans ces régions, l'évapotranspiration potentielle est largement supérieure aux précipitations et la recharge est sporadique et restreinte à la saison des pluies. A ceci s'ajoutent les variabilités locales liées à la topographie, aux types de sol, à la végétation, à la géologie et à l'occupation du sol (Allison, 1988 ; de Vries et Simmers, 2002). Les diverses sources de recharge des eaux souterraines sont connues et peuvent être résumées par la figure i.1 : i) recharge directe par les précipitations, ii) recharge par le réseau hydrographique, à écoulement rarement permanent et le plus souvent très sporadique, iii) recharge locale concentrée après accumulation des écoulements dans des mares temporaires de bas-fonds.

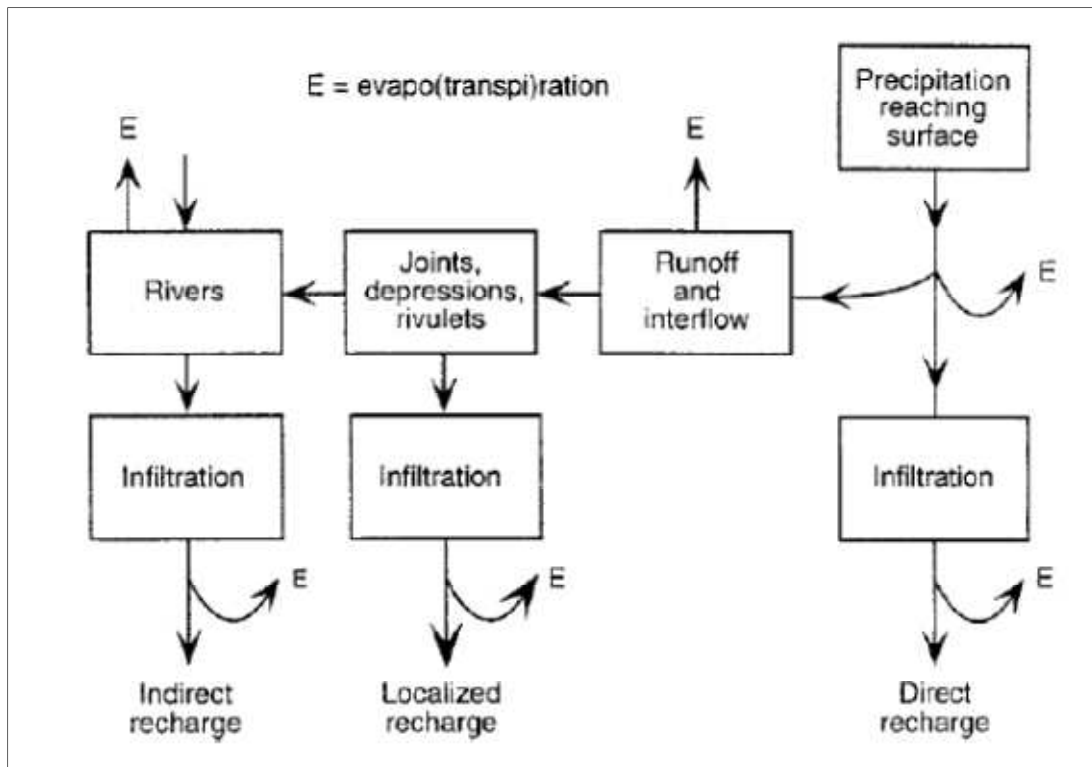


Figure. 4 : Différents mécanismes de recharge des nappes souterraines (*In de Vries & Simmers, 2002*).

I.6.1. Facteurs de Recharge

Pour sélectionner un site de recharge et obtenir les résultats cités jusqu'à maintenant, il est deux paramètres qui jouent un rôle fondamental: les caractéristiques des eaux à injecter d'une Part et celles du milieu récepteur - l'aquifère d'autre part. Dans tout projet de recharge, il y aura donc lieu de considérer les conditions hydrologiques, topographiques, pédologiques, géologiques, hydrogéologiques et hydrodynamiques qui conditionnent cette réalimentation. Bien entendu, les aspects économiques et juridiques de l'opération ne peuvent non plus être ignorés.

E. Facteurs Hydrologiques

Il s'agit tout d'abord d'analyser toutes les sources en eau possibles pour la recharge et de définir leur répartition en débit dans le temps et dans l'espace ainsi que le meilleur moyen de les diriger efficacement sur le site. Par conséquent, s'assurer de disponibilités adéquates en quantité et qualité au moment voulu. Un projet de recharge comprendra donc une étude des ressources en eau de surface locales et appréciera les possibilités d'importation. En effet, s'il est souhaitable que les eaux à injecter proviennent de cours d'eau proches du site, il n'est pas à exclure d'utiliser les ressources d'un bassin excédentaire. L'Israël National Water Carrier et le Métropolitain Water District qui achemine et vend l'eau du Colorado en Californie en sont deux exemples typiques.

Mais le problème de la quantité n'est pas le seul, celui de la qualité est tout aussi – voire davantage important. L'eau à injecter devra être compatible autant que possible avec celle de l'aquifère - mais on pourra, dans certains cas, imaginer de créer une zone tampon entre cette dernière et celle de recharge. Quoiqu'il en soit, deux paramètres seront particulièrement importants à examiner: Le résidu sec et Le taux de matières en suspension. Certains tels que la

Etude Bibliographique

température les eaux froides filtrent moins bien que celles plus chaudes en raison d'une viscosité moindre - et, parfois, la bactériologie le seront moins - l'aquifère se comporte précisément en agent épurateur et des traitements pourront être prévus pour lutter contre le développement de micro-organismes qui obstruent les crépines, par exemple. Les eaux trop chargées en matières en suspension, un des obstacles majeur a la recharge, seront décantées jusqu'à une limite de 100 à 200 ppm par exemple dans le cas de bassins, et bien au-dessous dans le cas de forages. Cette limite peut-être calculée à partir de la formule de Muravev qui tient compte de la perméabilité de l'aquifère et de la surface crépinée du forage. Pour faciliter la décantation, on pourra procéder à une floculation mais si cela est rentable dans le cas d'eaux domestiques c'est en général trop cher dans celui d'eaux d'irrigation.

Le problème de la teneur en matières en suspension est donc souvent la pierre d'achoppement des projets de recharge. On dispose en effet rarement d'eaux claires, excepté dans les régions à sous-sol calcaire ou cristallin par exemple, mais plutôt d'eaux de crue très chargées notamment en zones semi-arides. Et c'est justement ces eaux-la qu'il est intéressant de récupérer.

F. Facteurs Pédologiques

Les caractéristiques des dépôts de surface sont loin d'être négligeables. Par exemple, plus la texture du sol sera grossière plus le taux d'infiltration sera élevé. Outre la texture, interviendront des paramètres tels que: perméabilité, profil et variations avec la profondeur, degré de compactage, présence ou absence de croûte calcaire ou de cuirasse ferrugineuse, de matière organique etc.

Le pédologue aura donc son mot à dire dans les projets de recharge, notamment lors de la préparation de cartes de types de sols auxquels on affectera des caractéristiques chiffrées des taux d'infiltration. Des études sur l'origine et la structure des sols, leur stratification, leur degré de cartographie seront à sa charge. Il aura également à définir la manière la plus parlante de synthétiser ses résultats compte-tenu de l'objectif de recharge.

G. Facteurs Géologiques

Outre une étude géologique générale, une analyse détaillée sera nécessaire afin de reconnaître et délimiter les réservoirs les plus adaptés à l'opération; géophysique et sondages en seront l'un des moyens. Évidemment ces réservoirs sont rarement simples et s'ils ne sont pas très répandus en zones tempérées ou les sédiments sont souvent saturés en eau, ils le sont beaucoup plus en zone aride où les assises non saturées et épaisses sont monnaie courante.

L'analyse aura pour but de déterminer l'origine, la nature et l'extension des sédiments ainsi que leur aptitude à la recharge. Ainsi, il y aura lieu de définir le réservoir, ses profondeurs, structure, lithologie, limites horizontales et verticales et profondeur jusqu'au niveau de l'eau.

H. Facteurs Hydrogéologiques

On touche déjà à l'étude hydrogéologique qui devra établir la piézométrie, chiffrer le gradient hydraulique, apprécier le sens d'écoulement des eaux, définir les limites alimentaires et les exutoires, le réseau d'exploitation, la chimie de l'eau, le bilan hydrologique et chimique.

Etude Bibliographique

Il faudra également évaluer quelle sera l'influence de la recharge sur ce réservoir, quelles seront les zones qui en profiteront et quand.

Tous ces points n'ont pas la même importance et, par exemple, la transmissivité T , le coefficient d'emmagasinement S et surtout leur rapport la diffusivité - joueront un rôle très notable. En effet, il sera nécessaire que la recharge se traduise par une élévation du niveau de l'eau, ce qui est peut-être plus capital que la conservation du volume injecté. Voici pourquoi. Ce volume peut-être conserve tout en donnant lieu à une propagation de différences de pression - cas des nappes captives ou S est très petit qui aura pour conséquence une augmentation des débits aux exutoires, c.-à-d. une vidange. Ainsi la recharge aurait été «inopérante». Il faudra donc tenir compte du rapport T/S qui, s'il est trop élevé, se traduira par un effet sur les exutoires trop rapide. Corollairement, la connaissance des conditions aux limites et notamment de ces mêmes exutoires sera fondamentale et la nappe devra être assez étendue pour ne pas se vidanger au fur et à mesure du remplissage. C'est ce qui se produit souvent en milieu karstique, excepté lorsqu'il s'agit de massifs de très grande étendue ou des stockages suffisamment longs sont possibles.

I.6.2 Recharge directe par précipitations

Les précipitations sont souvent très mal connues, tant leur variabilité spatiale et temporelle est grande (Ali et al., 2008 ; Lézine et al., 2011) et les réseaux d'observation insuffisamment denses. De plus, en zone aride et semi-aride, la recharge ne peut jamais être exprimée comme une fonction simple des précipitations. La recharge directe peut être approchée par plusieurs méthodes : mesures directes, géochimiques et bilan hydrique. Les méthodes géochimiques basées sur l'utilisation du bilan des chlorures et les isotopes de la molécule d'eau sont les plus utilisées par la simplicité de leur mise en œuvre (Allison & Hughes, 1978 ; Edmunds & Wright, 1979 ; Flint et al., 2002 ; Leduc, 2003). De nombreux travaux scientifiques ont été consacrés à l'évaluation de la recharge directe des eaux souterraines par les méthodes géochimiques (Filippi et al., 1990 ; Leduc et al., 2000 ; Edmunds, 2009 ; MacDonald et al., 2009 ; Liu et al., 2009 ; Lihe et al., 2010). L'infiltration directe des précipitations dans les zones semi-arides est très variable dans l'espace et dans le temps et considérée souvent négligeable face à une pluviométrie faible et une reprise évaporatoire élevée. L'infiltration est plus importante dans les régions désertiques dunaires grâce à la forte porosité et la présence réduite du couvert végétal (Dincer et al., 1974 ; Li et al., 2004).

I.6.3 Echange rivière-nappe

Les interactions nappe-fleuve sont complexes et se développent de manières très diverses selon les lieux et les moments. Selon l'échelle d'observation, les hétérogénéités fonctionnelles peuvent varier du centimètre au mètre (Woessner, 2000) mais l'hétérogénéité vient d'abord des conditions morphologiques des tronçons du cours d'eau, de son régime hydraulique, des cotes respectives de la nappe et de la rivière, des caractéristiques physiques de la couche de sédiments tapissant le fond du cours d'eau, etc. Comme pour les autres termes du bilan hydrologique, la quantification des flux échangés gagne beaucoup à une approche pluridisciplinaire (Sophocleous, 2002 ; Winter, 1999 ; Woessner, 2000) et multi-échelle (Scanlon et al., 2002). Les méthodes d'estimation des échanges rivière-nappe peuvent être classées en deux catégories :

- les méthodes hydrologiques, par exemple les jaugeages différentiels en surface mais aussi, Pour le souterrain, les quantifications basées sur la loi de Darcy. Dans le second cas, il faut estimer les caractéristiques hydrodynamiques locales (Girard et al., 1981 ; Landon et al.,

Etude Bibliographique

2001), ce qui est souvent difficile et pose la question de la représentativité de la mesure, sur le terrain ou au laboratoire, pour les autres tronçons non instrumentés.

- les méthodes géochimiques : le décalage des compositions chimiques entre surface et souterrain peut fournir des indications sur leur connexion (Westhoff et al., 2011).

I.6.4 Recharge localisée

En zone aride, les rivières temporaires et les bas-fonds représentent un point essentiel du cycle hydrologique : concentrant les eaux de surface, ils sont souvent les seuls lieux où peut se produire une infiltration jusqu'à la nappe, du fait d'une évapotranspiration importante (e.g. Martin-Rosales & Leduc, 2003).

La recharge localisée est relativement facile à identifier (Leduc, 2003) : l'accumulation des eaux de surface est limitée dans le temps et l'espace, donc visible ou au moins repérable par ses traces ; son impact localisé, dans le temps et l'espace, est lui aussi souvent visible sur la piézométrie et parfois la géochimie de la nappe.

Gee et Hillel (1988) ont proposé de différencier la recharge localisée à trois échelles : i) à petite échelle (centimétrique), le long des racines, des fentes de dessiccation, ii) à l'échelle de plusieurs mètres ou dizaines de mètres, grâce à des variations topographiques ou lithologiques locales et iii) à l'échelle de centaines de mètres, correspondant aux grandes caractéristiques du paysage. Des exemples typiques de la petite échelle (cas des bassins sédimentaires) sont présentés par Winter (1999), Martin-Rosales et Leduc (2003). La recharge localisée est évidemment totalement discontinue dans l'espace.

I.7. Recharge artificielle des nappes

La recharge artificielle des nappes consiste à introduire de l'eau dans une formation perméable par l'intermédiaire d'un dispositif aménagé à cet effet.

I.7.1. Dispositifs de recharge artificielle des nappes d'eau souterraine :

Le choix du dispositif mis en œuvre dépend de l'adéquation des quatre facteurs :

- ressource en eau disponible pour la recharge ;
- contexte hydrogéologique ;
- surface disponible ;
- objectif.

Schématiquement, il existe cinq grands types de dispositifs de recharge artificielle à faible profondeur.

I.7.1. Bassins d'infiltration

Les bassins sont souvent réalisés en déblai-remblai ; l'eau est préalablement traitée ou non en fonction de son origine et de sa qualité et dirigée dans le bassin. Elle s'infiltré préférentiellement par le fond, l'infiltration a également lieu, mais dans une moindre mesure, par les parois.

Cette technique est sujette au colmatage, il est donc nécessaire de s'assurer de la qualité des eaux à infiltrer et de prévoir les opérations d'entretien nécessaires, d'évaluer leur fréquence et d'estimer leur coût, (critère de faisabilité économique importante).

Ils peuvent aussi bien être utilisés pour l'infiltration d'eau en provenance de cours d'eau que d'effluents préalablement traités. Pour des raisons d'entretien et d'optimisation de l'infiltration, il est souvent nécessaire de réaliser plusieurs bassins fonctionnant en alternance.

Leur dimension et leur disposition sur le site dépendent de la perméabilité naturelle des terrains, du pouvoir colmatant de l'eau à infiltrer et des besoins. L'intégration dans le paysage peut conduire à une géométrie et à une disposition particulière des bassins. La plantation d'arbres à feuilles caduques est à proscrire à proximité de ces bassins.

Lorsque le pouvoir épurateur du terrain situé au fond du bassin n'est pas suffisant pour permettre une épuration des eaux infiltrées, il peut être nécessaire de rapporter en fond des matériaux graveleux plus sableux.

Etude Bibliographique

I.7.2. Filtre à sable, Tertre d'infiltration :

Ces techniques sont utilisées en général lorsque l'un des objectifs est le traitement d'eau (eau usée, eau superficielle pour utilisation en eau potable...).

Les eaux à infiltrer sont épandues à la surface d'un massif sableux (en place ou reconstitué) par l'intermédiaire de drains, ou par écoulement direct. Lorsque la surface piézométrique de la nappe phréatique est trop proche du sol, un tertre d'infiltration en matériaux sableux peut être mis en œuvre ; les dispositifs (terrassement important, approvisionnement de matériaux sableux lorsqu'ils n'existent pas sur place) ne peuvent pas à priori intéresser de grands volumes d'eau à infiltrer et seront donc utilisés plutôt dans un contexte local (assainissement autonome par exemple).

La faisabilité économique du projet dépend de l'investissement mais également beaucoup des coûts de fonctionnement. Afin de favoriser l'aération du massif d'infiltration, il est nécessaire de pratiquer une alimentation alternée, ce qui implique de multiplier les surfaces d'infiltration en fonction de la durée des cycles (alternance alimentation et mise au repos des bassins).

I.7.3. Épandage

L'eau à infiltrer est épandue en général sur des terres agricoles, par l'intermédiaire de rainures (sillon de labour), son écoulement peut être freiné par la réalisation de diguettes de faible hauteur. La ressource en eau est constituée par des eaux de cours d'eau en période excédentaire, hors période culturale. Ces dispositifs rustiques présentent l'avantage d'être peu coûteux et de ne pas geler les surfaces d'épandage qui hors période d'infiltration peuvent être utilisées par les cultures. L'alliance épandage, culture (donc labour) évite les phénomènes de colmatage. Les coûts de fonctionnement sont donc exclusivement dus à la réalisation périodique de rainures et de diguettes. Ces techniques sont bien adaptées aux pays en voie de développement à main d'œuvre bon marché. On peut rapprocher ces techniques de celles utilisées dans certains pays froids (Islande, USA, Canada, Danemark) : accumulation par l'homme de neige sur des aires propices à la réalimentation. Au redoux, l'eau issue de la fonte des neiges percolera lentement vers la nappe et contribuera ainsi à sa recharge.

La réalisation de dispositif de rétention des sols et des eaux pour lutter contre l'érosion des sols, en créant des zones humides artificielles de façon temporaire, a pour effet secondaire une recharge renforcée des eaux souterraines. Le danger de cette pratique réside dans l'éventualité d'un lessivage excessif des terres agricoles ce qui peut entraîner une pollution par les engrais et les pesticides ou une salinisation des eaux souterraines. Il est donc nécessaire d'optimiser les surfaces d'épandage en fonction des besoins de recharge et des flux d'éléments indésirables pouvant transiter jusqu'à la nappe.

I.7.4. Barrage et diguette – infiltration dans le lit d'un cours d'eau

L'objectif est d'accroître le rendement de l'infiltration naturelle en cherchant à gagner sur :

- la surface de la plage d'infiltration ;
- la charge hydraulique ;
- la durée de l'infiltration.

Le gain de surface d'infiltration peut être obtenu par dérivation d'une partie du débit d'un lit mineur actif vers un ou plusieurs bras morts. Une autre possibilité est l'aménagement de levées qui vont allonger le trajet des eaux de ruissellement dans le lit (digues en chicane in Markus, Buswer, 1990). La charge hydraulique, la durée d'infiltration mais également la surface d'infiltration peuvent être augmentées par création d'un ou plusieurs barrages sur un cours d'eau dans les zones propices à l'infiltration (terrain perméable, cours d'eau perché par rapport à la nappe). Ces dispositifs ont tous comme caractéristique commune de piéger et/ou

Etude Bibliographique

de ralentir les eaux de cours d'eau en crue charriant une masse importante de matière en suspension. Il existe plusieurs techniques pour limiter le dépôt de matière solide et donc le colmatage et le comblement progressif du réservoir.

- entretien : nettoyage et évacuation des dépôts ;
- digue construite en matériaux meubles dimensionnée pour être emportée par une crue de fréquence donnée et donc permettre le nettoyage de l'amont. Une variante de ce dispositif consiste à réaliser une digue semi-destructive : seule une partie de la digue sera emportée par la crue ;
- mise en place de barrage mobile ou gonflable que l'on abaisse lors du passage d'une crue pour permettre le nettoyage de l'amont où que l'on ne lève qu'une fois le pic de crue passé afin d'éviter la sédimentation des M.E.S présentes dans ses eaux ayant la plus forte charge solide ;
- réalisation de barrages en cascade, les barrages se remplissant progressivement de l'amont vers l'aval, les premiers jouant le rôle de « barrière de décantation ».

Ces techniques sont essentiellement utilisées dans les pays à climat aride ou semi-aride (Maroc-Tunisie-Arabie Saoudite, sud des États-Unis, Australie...).

I.7.5. Tranchées d'infiltration

Des tranchées dont la profondeur dépend du contexte hydrogéologique (profondeur des terrains perméables et profondeur de la surface de la nappe) sont creusées puis remplies de matériaux sablo-graveleux pour en assurer la stabilité. L'injection de l'eau se fait soit par l'intermédiaire d'un drain placé dans la tranchée, soit en surface. Dans une tranchée d'infiltration, de par sa géométrie (surface des parois supérieures à la surface du fond), la plus grande part de l'infiltration s'effectue à travers les parois latérales, le dépôt des matières en suspension sur le fond de la tranchée n'engendre le colmatage que d'une partie de la surface d'infiltration. La diminution des lames d'eau infiltrées au cours du temps est donc moins importante que dans le cas de bassins. Cette infiltration par les parois peut également être favorisée par la perméabilité horizontale souvent supérieure à la perméabilité verticale. Lorsqu'il est possible de creuser des tranchées relativement profondes (Hantke, 1983), cette technique peut s'avérer économique du fait de son emprise au sol moindre et d'un coût d'entretien minime. L'eau est généralement dirigée au sommet de la tranchée remplie de matériaux inertes grossiers. Elle percole au travers de ce matériau, une couche colmatante peut se mettre en place au sommet, un raclage périodique peut donc être nécessaire, avec remplacement éventuel du matériau de remplissage. Ce matériau peut se colmater totalement dans certains cas extrêmes. Il est alors nécessaire de le remplacer totalement. Afin d'éviter un développement algair important et leur colmatage par des apports éoliens, les tranchées sont souvent couvertes.

I.8. Détermination de la recharge

I.8.1. Méthodes de Mesures au Niveau du Sol

A. Méthode du PFN (Plan de Flux Nul) ou méthode de Tensiomètres

Dans la méthode du PFN, on suit l'évolution des teneurs en eau, et des pressions entre deux épisodes pluvieux relativement éloignés. Après quelques jours de pluie, une partie du sol est soumise à l'évaporation par remontées capillaires. Une autre partie du sol, en profondeur, est soumise au drainage, et l'écoulement est descendant. Ces deux zones sont séparées par un niveau de profondeur (Z_0) pour lequel le flux est nul (plan de flux nul), correspondant, d'après

la loi de Darcy à la profondeur Z_0 qui varie dans le temps et $\frac{\Delta H}{\Delta Z} = 0$

Etude Bibliographique

La comparaison des valeurs de charge entre deux tensiomètres installés à des profondeurs différentes permet de déterminer si le flux q d'eau dans le sol est ascendant ou descendant.

En effet, la variation de stock entre la surface du sol ($Z=0$) et le PFN moyen (Z_0) pendant le pas de temps Δt représente l'évaporation (1), alors que la variation de stock entre le PFN moyen (Z_0) et le plan de cote Z ($Z>Z_0$) correspond au flux de drainage qui nous intéresse (2) Equation correspondant à l'évaporation de l'eau :

$$\frac{\Delta S_0^z}{\Delta t} = -ETR(t) \quad (4)$$

Equation correspondant à la percolation de l'eau :

$$\frac{\Delta S_0^z}{\Delta t} = -q_z(t) \quad (5)$$

L'inconvénient de cette méthode est qu'elle n'est applicable que dans le cas où le PFN existe, ce qui n'est pas systématique, et qui doit de plus être positionné au delà de la profondeur maximale d'enracinement si une culture est en place (Nemeth, 2001). Ainsi que l'utilisation de cette méthode ne reste possible que lorsque le toit de la nappe est peu profond

B. Méthode du bilan de Thornthwaite

Il s'agit de la méthode la plus utilisée. La recharge est calculée à partir de l'équation du bilan hydrologique (John, 1991) soit :

$$P = ETR + R + I \quad (6)$$

Le schéma conceptuel du bilan de Thornthwaite suppose que la zone non saturée est divisée en deux parties :

- une zone d'échange (sol-plantes-atmosphère), d'épaisseur relativement faible (Généralement moins d'un mètre) et d'humidité très variable;
- une zone de transfert, d'humidité peu variable et au moins égale à celle correspondante à la capacité au champ.

Dans le fonctionnement de ce système, la pluie P satisfait préférentiellement les besoins suivants :

- évapotranspiration ETR
- infiltration I qui traverse la zone de transfert pour atteindre la nappe
- ruissellement R de surface.

Lorsqu'il existe des mesures de ruissellement, l'infiltration peut se déterminer directement. Sinon, la pluie efficace ($Pe = 1+R$) est prise comme étant un indicateur significatif de la recharge, Elle est alors égale à un pourcentage de la pluie efficace.

C. Méthode du lysimètre :

La case lysimétrique permet de mesurer une multitude de données avec précision. Elle permet d'estimer la répartition entre précipitations (irrigation) drainées et ruisselées. Elle permet également de déterminer les variations du stock d'eau présent dans le sol par le système de pesée en continu du sol.

La part des apports d'eau infiltrés par rapport aux apports ruisselés est donc déterminée pour un type de sol et un type de culture particuliers. La régionalisation de ce ratio à l'échelle du périmètre est très délicate et souvent peu fiable. Les valeurs déterminées sont le plus

Etude Bibliographique

souvent extrapolées à tout le périmètre, ce qui ne confère pas de réelle précision à ces mesures, mais seulement un ordre de grandeur. Cette méthode reste donc largement imprécise, et son application doit être pensée au cas par cas.

I.8.2. Méthodes de mesure du niveau de la nappe

A. Calage à partir des fluctuations de nappe

C'est une méthode indirecte de déduire la recharge de la fluctuation de la nappe phréatique, et l'utilisation des piézomètres permet une mesure directe du niveau de la nappe. Un réseau de piézomètres permet un suivi du niveau de la nappe au cours d'une année hydrologique. Pour déduire les variations du stock d'eau présent dans la nappe, il faut que le réseau de piézomètres soit le plus spatialement étendu possible pour être représentatif de la variation spatiale du toit de la nappe. Lorsque les paramètres hydrodynamiques de la nappe, en particulier le coefficient d'emmagasinement, sont bien connus, la valeur la plus vraisemblable de la recharge est celle qui permet de restituer avec une bonne fiabilité les variations consécutives du niveau de la nappe. Cette restitution se fait avec des modèles simples : pluie- infiltration niveau piézométrique.

B. Isotope et le corps dissous profilent des techniques :

Les isotopes ^2H , ^3H , ^{18}O et C^{14} sont utilisés généralement dans des études de recharge, dont les trois premiers simulent le plus exactement le mouvement de l'eau, parce qu'ils font partie de la molécule d'eau. Un traceur radio actif fournit des moyens de tracer le mouvement de l'eau par la zone non saturée. En principe, toutes les traces avec l'adsorption négligeable peuvent être employées, mais d'après nos recherches bibliographiques le tritium est le traceur le plus employé.

Cependant, le tritium a plusieurs inconvénients :

- Le tritium n'est pas conservateur et il est perdu du système par évapotranspiration.
- La contamination pendant le prélèvement et le traitement
- L'analyse est hautement spécialisée et coûteuse.
- Il est difficile à réaliser des études quantitatives, puisqu'il est difficile de déterminer un bilan de matière de tritium.
- Un traceur approprié à déterminer le mouvement de l'eau doit être fortement soluble, conservateur et pas sensiblement pris par la végétation.

D'après Amitha. (2000) l'ion de chlorure satisfait la plupart de ces critères et il est donc considéré un traceur approprié, en particulier dans des régions côtières. Dans ce cas ci la recharge d'eaux souterraines est donnée par :

$$R_i = C/D \quad (\text{mm/an}) \quad (7)$$

Où

D : dépôt sec-et-humide de chlorure ($\text{mg/m}^2/\text{an}$)

C : concentration en Cl dans les eaux souterraines

Etude Bibliographique

Cette méthode est commode, et rapide. L'inconvénient en chef est l'incertitude dans la détermination du dépôt sec-et-humide. La source de principe du chlorure en eaux souterraines est de l'atmosphère. Dans ce cas-ci la recharge peut être exprimée comme suit (Amitha, 2000) :

$$R_i = P \cdot \left(\frac{Cl_p}{Cl_g} \right) \quad (8)$$

Où

P : précipitations

Cl_p : concentration en Cl des précipitations

Cl_g : concentration en Cl des eaux souterraines

I.9. Caractéristiques de la nappe alluviale

Elle est caractérisée par la porosité du milieu qui détermine l'espace disponible pour l'eau, ses dimensions, sa hauteur, la vitesse et sens d'écoulement. Cette nappe est délimitée par des alluvions secs en haut (perméables) et un substratum imperméable en bas qui est généralement l'argile (Lenoble, 1995).

I.9.1. Alimentation des nappes alluviales

L'alimentation des nappes alluviale dans les zones arides se fait par les eaux de précipitation, en périodes de crue ; la submersion des alluvions par les eaux de crue permet la pénétration de l'eau dans les couches géologiques de la terre, en assurant une recharge des nappes alluviales.

En effet, l'alimentation en eau des nappes alluviales dans les régions arides est intermittente et résulte des pertes de transmission des eaux de crues dans les lits dessellés des Oueds. Le volume d'eau alimentant la nappe dépend principalement de la largeur du périmètre humidifié et la durée de submersion. On note aussi, qu'une partie importante des eaux de crues est perdue suite aux variations de débit en amont (Sorman et Abdulrazzek, 1993).

Néanmoins, en milieu aride et semi-aride, la zone non saturée joue un rôle considérable dans les échanges nappe-cours d'eau (Dages et al, 2008).

La recharge des nappes alluviales se fait par les eaux de crues occasionnelles et ne concerne qu'une partie du réservoir potentiel. L'amplitude du renouvellement de la nappe par rapport aux pertes de transmission des lits dépend du volume de la crue et de la durée pendant laquelle le sol reste humide, ainsi que des caractéristiques physiques du sol (Sorman et Abdulrazzek, 1993).

D'après les mêmes auteurs, il y'a toujours une perte d'une partie des eaux de la nappe, soit par les fuites, ou bien par le pompage exagéré. Cependant, une recharge artificielle de la nappe est possible par la confection de barrages d'écêtement, permettent un contact de l'eau avec les alluvions, suffisamment important pour l'infiltration d'un volume d'eau dans les alluvions en aval.

I.9.2. Relation nappe alluviale et cours d'eau

Il existe toujours une relation entre nappe alluviale et cours d'eau (rivière, oued ...), de sorte que : soit la nappe soutien le cours d'eau ou inversement c'est la rivière qui alimente la nappe. Cette relation peut être identifiée par l'observation de la variation de charges près de la rivière ; s'il y'a une décroissance des charges vers le cours d'eau, cela signifie qu'on est en situation d'un écoulement de la nappe vers la rivière. Si par

Etude Bibliographique

contre, les charges sont croissantes, on parle d'un écoulement rivière – nappe (Banton et Bangoy, 1999). Le mouvement des eaux d'alimentation est lié à certaines propriétés du sol et de l'eau à savoir ; le coefficient de conductivité hydraulique, la pression et la structure du sol. L'infiltration des eaux de rivières et de lacs peut aussi contribuer de façon significative à la recharge de la nappe. Latéralement, d'autres aquifères peuvent alimenter la nappe. De même, les écoulements de la nappe en aval peuvent alimenter les courants d'eau et les sources (Banton et Bangoy, 1999). Les échanges entre nappe et cours d'eau constituent des conditions aux limites dont la quantification est nécessaire et permet la compréhension de la dynamique du système hydrogéologique. Les gradients de charge hydraulique entre les eaux de surface et les eaux souterraines, conditionnent ces échanges, car la différence de charge hydraulique indique le sens des échanges entre nappe et cours d'eau (Banton et Bangoy, 1999). Ainsi, si le plan d'eau de la rivière est supérieur à la surface de la nappe libre, la rivière alimente la nappe (saison sèche), et dans le cas inverse, elle draine la nappe (saison humide). Ce phénomène d'échange entre eaux superficielles et eaux souterraines est illustré par la figure I.5.

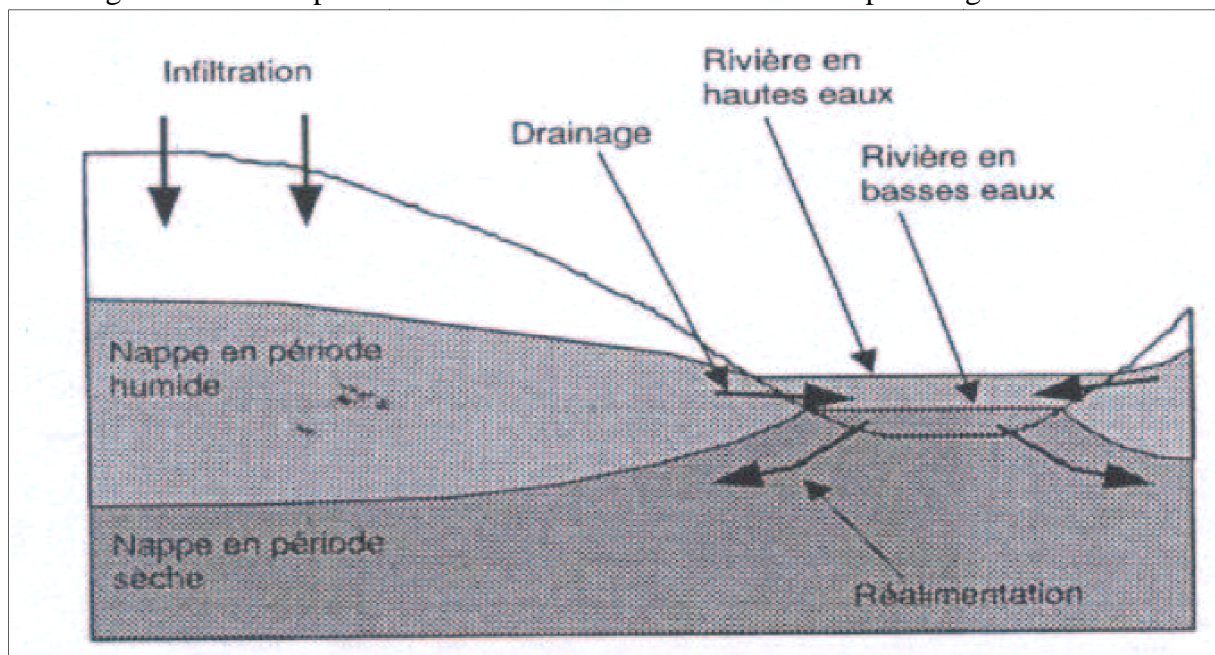
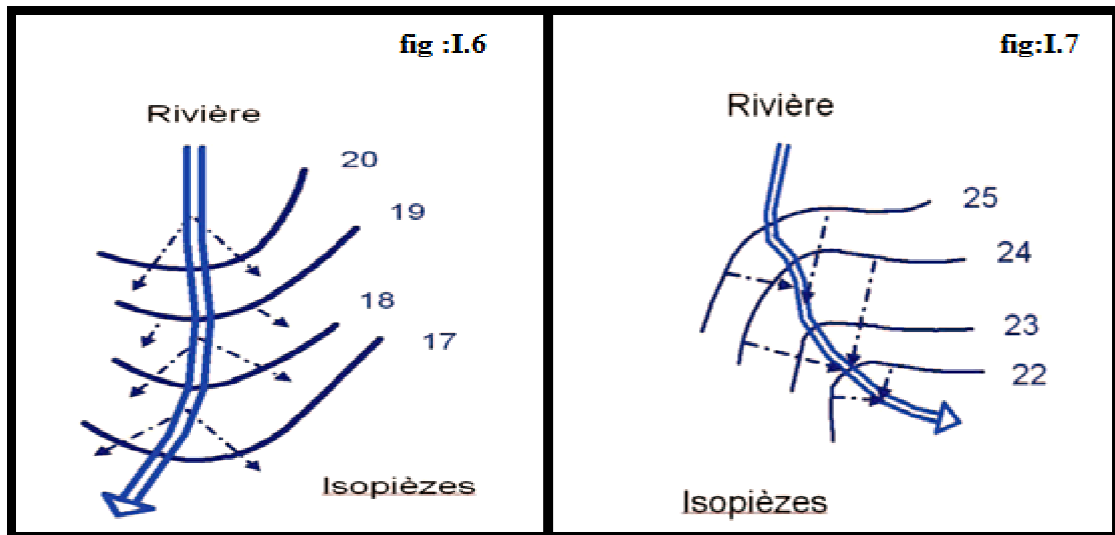


Figure.5: Echange entre eaux de surface et souterraine (*in* Banton et Bangoy, 1999).

Les relations entre un cours d'eau et sa nappe alluviale sont identifiées par les cartes de la surface de la nappe (cartes isopièzes ou courbes d'égale altitude de la surface de la nappe), qui sont tracées à partir de mesures du niveau de la nappe dans les puits et forages.

Figures 6 et 7 : Courbes isopièzes incurvées vers l'amont, la rivière alimente la nappe. et vers l'aval, la nappe alimente la rivière (Lenbole, 1995).

Etude Bibliographique



Etude Bibliographique

I.10. Historique des recharges artificielles dans le monde

Notre recherche bibliographique montre que la recharge artificielle des nappes souterraines donné des résultats très encourageants dans les plusieurs pays.

Comme l'on pourrait s'en douter une telle méthode n'est évidemment pas nouvelle. On en retrouve des traces en Tunisie où les Romains préparaient des terrasses en vue de retenir les eaux et faciliter leur infiltration. Mais si elle existe depuis fort longtemps, notamment en Europe et aux USA, elle reste malgré tout à encore étudié et développer.

Le cas de la galerie drainante destinée à accroître les infiltrations en provenance de la Clyde et réalisée en 1810 pour alimenter Glasgow est peut-être un premier exemple de recharge indirecte. Il s'agissait déjà de la technique fort adroite qui consiste à placer un ouvrage près d'une limite alimentée afin de majorer son débit et qui, sous le nom de recharge induite, devait plus tard connaître de nombreux et brillants développements.

En 1821, la ville de Toulouse en France fut peut-être le premier organisme à pratiquer la technique du barrage de suralimentation dont une excellente application a été faite ces années-ci au Sénégal avec pour résultats réalimentation et arrêt d'intrusion salée. A Toulouse, le problème a consisté à créer un barrage afin d'augmenter la charge vis-à-vis d'un bassin filtrant creuse près des berges du fleuve.

En 1888, toujours en Europe, l'illustre Thiem proposa un projet de recharge à la ville de Stralsund et en réalisa un pour celle d'Essen. Quelques années plus tard, Richter réalisa pour la ville de Göteborg des bassins qui fonctionnent toujours. Quels que soient les mérites de l'Europe ... et des Romains dans les recherches et l'application de la technique, il faut tout de même admettre que c'est aux USA qu'elle a connu bien des pratiques et des progrès, notamment en Californie - en 1958, une cinquantaine d'agences avaient réalisé environ 300 projets et injectaient un milliard de m³ /an .

Déjà en 1896, de l'épandage d'eau fut pratiqué en Californie par l'Irvine Ranch Company. En 1898, Grunsky cite pour le Comte de Fresno, Californie des infiltrations à partir de canaux d'irrigation de l'ordre de 20 à 250 lis et même jusqu'à 1500 lis par mile de canal vers la nappe phréatique. Les travaux, divers et originaux, ne manquent pas. Pour n'en mentionner que quelques-uns, citons les réalisations de F.E. TRASK en Californie (1903), le drainage par injection dans des couches profondes (Crider, 1906), la recharge induite en West Virginia (Hall, 1917), dans l'Iowa (Burdick, 1924); les nombreuses réalisations du Los Angeles County Flood Control District des 1926, le recyclage des eaux d'égout (Goudey, 1930), les travaux de Oscar Meinzer, la récupération des eaux de crues (Babcock, 1942), l'injection des eaux de conditionnement d'air (Brashears, 1941 à New York), l'injection d'eaux salées (Cederstrom, 1947 en Virginie); les réalisations de Harvey O. Banks et Finley B. Laverty, les travaux de DE WIEST Glover, Guyton, HANTUSH, JACOB Kazmann, Rorabaugh et Theis à propos de la recharge induite, enfin l'activité de Baumann, Bianchi, Mitchelson, Muckel, Richter, Schiff, Sniegocki et Todd. Pour clore ce rapide et incomplet aperçu sur les Etats-Unis, mentionnons Max Suter et les fameuses gravières de Peoria, Illinois où des infiltrations de 20 à 30 et même plus de 60 mètres par jour furent réalisées.

En Allemagne, trois types de recharges d'aquifères se conjuguent:

- la recharge naturelle, qui compte pour environ 30 % des volumes ;

Etude Bibliographique

- la recharge indirecte par filtration le long des berges des rivières et des lacs : elle représente environ 55 % des volumes ; la recharge artificielle achève de réalimenter les nappes et de les maintenir à leur niveau : elle se fait à partir de nombreux bassins d'infiltration. Ce dernier type de recharge concerne 15 % des volumes, soit près de 64 500 m³ par jour (23,5 millions de mètres cubes par an), ([La gestion du service d'eau potable et d'assainissement de Berlin. www.veoliaeau.com](http://www.veoliaeau.com)).

En Espagne à Barcelone la question de la recharge s'est posée afin de répondre à 4 paramètres que sont :

- Accroître les ressources en eau.
- Utiliser l'aquifère comme infrastructure de transport de l'eau.
- Améliorer la qualité de l'eau.
- Produire un effet de barrière en élevant le niveau phréatique.

La recharge artificielle se fait de 2 manières par scarifiage du lit et par injection directe à travers 12 puits. La capacité totale de la recharge est de 75 000 m³/j.

Dans les pays maghrébins. Par exemple, en Tunisie, cette technique a commencé au début des années 1980. Ils ont tenté même de réutiliser des eaux usées épurées à la recharge des nappes superficielles. Au Maroc, elle est largement expérimentée depuis plus de 30 ans avec des résultats très excellents. En Algérie. Dans le nord par des lâchers des eaux du barrage, cette technique est très peu pratiquée ; la seule application a eu lieu le 27 avril 1998 par des compagnes de lâchers des eaux du barrage de Boukourdane (Ouest d'Alger) pour recharger la nappe alluviale de Oued El Hachem dont le volume totale infiltré est 52,3m³, soit une infiltration de 10,87 % du volume lâché (Remini, 2005). Dans le sud ; par des barrages infiro-flux, nous citons quelques exemples en exploitation:

- Tadjmount (Laghouat): 12 Hm³ nappe alluvionnaire de Oued M'Zi.
- Timiaouine (Adrar): 10 Hm³, nappe de Timiaouine (eaux continentales).
- Oued Aguenard (Tamanrasset): 01 Hm³, nappe de Hoggar.
- Djanet (Illizi): 02,2 Hm³ nappe alluvionnaire de Djanet.

Enfin, remarquons qu'aux Etats-Unis, comme ailleurs, la recharge induite a eu une grande place dans la première moitié du siècle. Il s'agissait alors d'exploiter les nappes le plus adroitement possibles et non, comme maintenant, de faire face à des surexploitations c.-à-d. de créer des ouvrages destinés à injecter de l'eau dans le sous-sol.

Par ailleurs, soulignons le grand nombre d'applications et de progrès réalisés dans l'Est des Etats-Unis trop souvent oubliés au profit de la Californie en matière de recharge.

Ainsi donc, si des Romains à cette date le passe de la recharge est fort consistant, son présent l'est tout autant et son avenir probablement davantage. En Allemagne, plus de 30 % des eaux domestiques proviennent de cette technique - les eaux souterraines en fournissant 61 % - aux Pays-Bas, les chiffres respectifs sont de 15 % et 65 %. En France, dans la seule vallée du Rhône, 8,5 m³/s font l'objet de recharge. En Israël, 130 millions de m³ sont injectés chaque année, essentiellement en vue d'alimentation en eau. Aux USA, il s'agit de 2,5

Etude Bibliographique

milliards et le California Water Plan tient compte d'une capacité de stockage souterrain de 35 milliards de m³ contre 25 milliards pour le stockage en surface.

Pays	Localisation du site	Type de réalimentation
Allemagne	Berlin	Percolation pour 15% Injection directe
Australie	Adelaïde	
Espagne	Barcelone	Injection directe
Etats-Unis	County Sanitation Districts of Los Angeles County, California, Montebello Forebay	Percolation.
Etats-Unis	Orange County Water District, California	Injection directe
Etats-Unis	West Basin, California	
Etats-Unis	Tucson, Arizona	Percolation
Etats-Unis	Ville de Mesa, Arizona	Percolation
France	Pecq-Croissy	Percolation
France	Moulle	Percolation
Israël	Dan Region Project, Tel-Aviv	Percolation
Mexique	Mexico	
Tunisie	Korba	Percolation

Tableau 2 : Localisation et caractérisation des sites de recharge de la nappe dans le monde (2011).

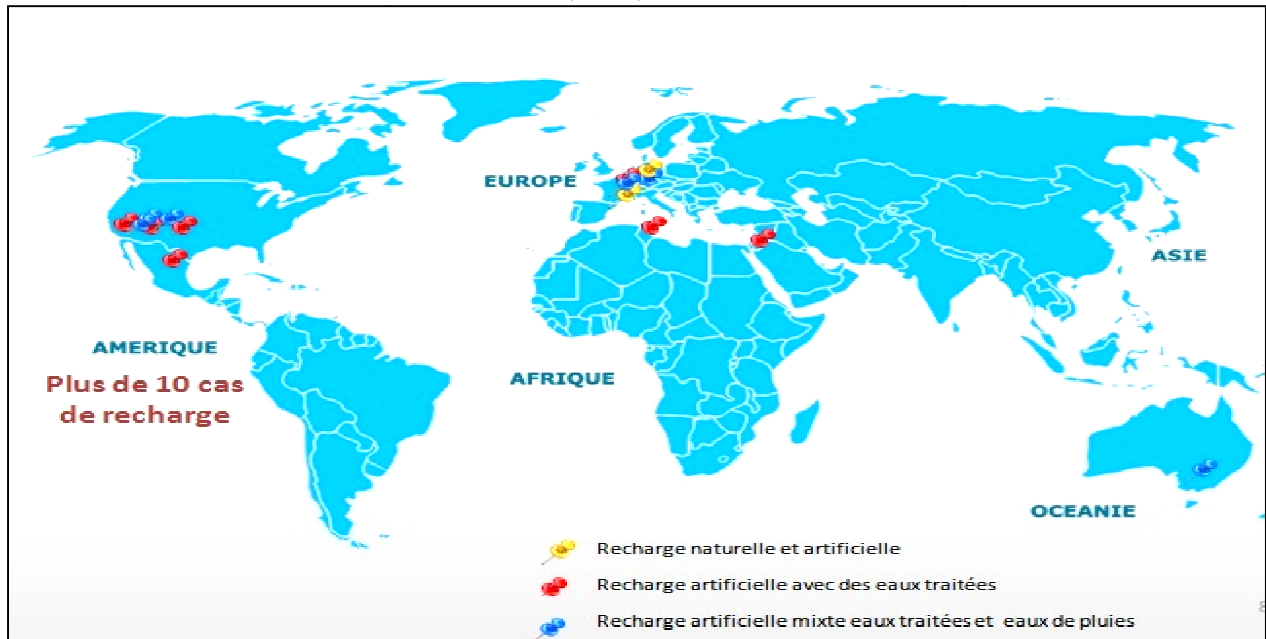


Figure 8 : Localisation des sites de recharge dans le monde (eaux conventionnelles, eaux usées traitées) (2011).

Etude Bibliographique

I.11. CONCLUSION

Pour une gestion optimale des ressources en eau souterraine, il est nécessaire d'agir à la fois sur l'offre (la recharge artificielle – recharge naturelle accélérée) et sur la demande.

Après l'étude bibliographique de sujet a montrer l'importance de la recharge artificielle des eaux souterraines dans les zones à climat sec, grâce à l'optimisation de l'eau de surface et injecté dans l'aquifère.

L'alimentation artificielle a donné de bons résultats dans le monde entier et avec des techniques différentes, et dans de nombreuses zones, soit dans les zones à climat humide ou sec.

Il nous a aussi permis de comprendre de la méthode de calcul le volume d'eau injecté dans l'aquifère. Il existe donc des techniques Isotopiques, Hydrologiques, et Hydrodynamiques.

En zones arides, les barrages inféro-flux sont essentiellement utilisés dans ces pays à climat aride ou semi-aride (Maroc-Tunisie-Arabie Saoudite, sud des États-Unis, Australie...).

Dans les zones arides, la recharge de la nappe alluviale se fait essentiellement par des eaux de crues occasionnelles. C'est une nappe libre et peu profonde qui est en contact permanent avec un cours d'eau non permanent. Cela permet des échanges entre les deux

PREMIERE PARTIE
PRESENTATION DU MILIEU NATUREL

Etude Bibliographique

PREMIERE PARTIE

PRESENTATION DU MILIEU NATUREL

L'écoulement d'un cours d'eau résulte de la combinaison entre les facteurs climatiques orographiques, lithologiques et géologiques.

La quantité d'eau écoulée représente la différence entre les précipitations tombées sur le bassin versant et les pertes par évaporation qui dépendent de la température et la végétation.

L'altitude accroît en général le total des précipitations et abaisse la température, ce qui réduit l'évaporation. L'écoulement tend à être plus abondant lorsque la pente est faible, ce qui accélère la vitesse de ruissellement et engendre des crues violentes.

Les principaux facteurs analysés dans cette partie ; une présentation du cadre d'étude, et de définir les raisons de ces fortes crues sont les suivants :

- Présentation de la zone d'étude, leur analyse nous permettra de définir la situation géographique de la région du Biskra et de leur nappe alluviale.
- Le cadre orographique du bassin et les caractéristiques du réseau hydrographique, leur analyse nous permettra de situer le contexte topographique; dans lequel s'exerce l'écoulement, l'impact de ce cadre sur l'inscription, l'organisation du réseau de drainage et du type d'écoulement.
- L'étude géologique et lithologique nous permettra la disposition des différentes unités et leur influence non seulement sur le ruissellement superficiel, mais également les causes des inondations qui menacent la région.
- Ajoutant à ces facteurs ; le couvert végétal et son rôle mécanique dans la protection du sol contre l'érosion et précisément l'amortissement des crues et leur étalement.
- L'étude des facteurs climatiques sera perçue à travers l'analyse des éléments les plus déterminants de l'écoulement, en l'occurrence les précipitations et les températures qui sont la base de l'établissement des bilans hydrologiques.

CHAPITRE I
CADRE D'ETUDE

I.1.Présentation de la zone d'étude

I.1.1. Situation géographique

La région de Biskra couvre une superficie de près de 30 000 km² et s'étend dans la partie Sud de l'Atlas Saharien entre les méridiens 5° et 7°. Elle est encadrée au Nord par la terminaison Sud de la chaîne des Aurès et au Sud par la bordure Nord de la plate-forme saharienne. La wilaya de Biskra se situe, au Nord-est du Sahara septentrional, distante de 446 Km de la capitale. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Batna, au Nord Est par la wilaya de Khenchela, au Nord Ouest par la wilaya de M'sila, à l'Est par la wilaya de Tébessa, à l'Ouest par la wilaya de Djelfa, au Sud par les Wilayas d'El Oued et de Ouargla.

La région des Ziban, l'une des grandes oasis du Sahara algérien est composée de deux entités distinctes. Celle située à l'ouest de Biskra est appelée le Zab Gherbi regroupant administrativement les communes de Tolga, El Ghrous, Bordj ben azouz, Lichana, Bouchegroune, Foughala et El Hadjeb formant un premier groupement constituant l'axe nord de l'oasis. Alors que l'axe sud est formé par l'ensemble des communes suivantes : Oumeche, Mili, Ourelal, Mekhadema et Lioua.

Par contre, l'oasis du Zab Est se situe à l'est de Biskra regroupant administrativement les communes de Sidi Okba et Chetma avec les palmeraies de Thouda, Seriana et Garta. Cette région fait partie de la wilaya de Biskra qui constitue l'une des grandes régions du Sud-Est algérien. Elle est située à l'ouest du chef lieu de la wilaya, limitée au Nord par les communes d'El Outaya, Branis et Mechounech, à l'Est par les communes d'Ain Naga, El Haouch et au Sud par la commune de Still qui fait partie de la wilaya d'El Oued et à l'Ouest par les communes de Zerzour, et Ouled Slimane faisant partie de la wilaya de M'sila ainsi que de la commune de Chaiba . (Figure 9).

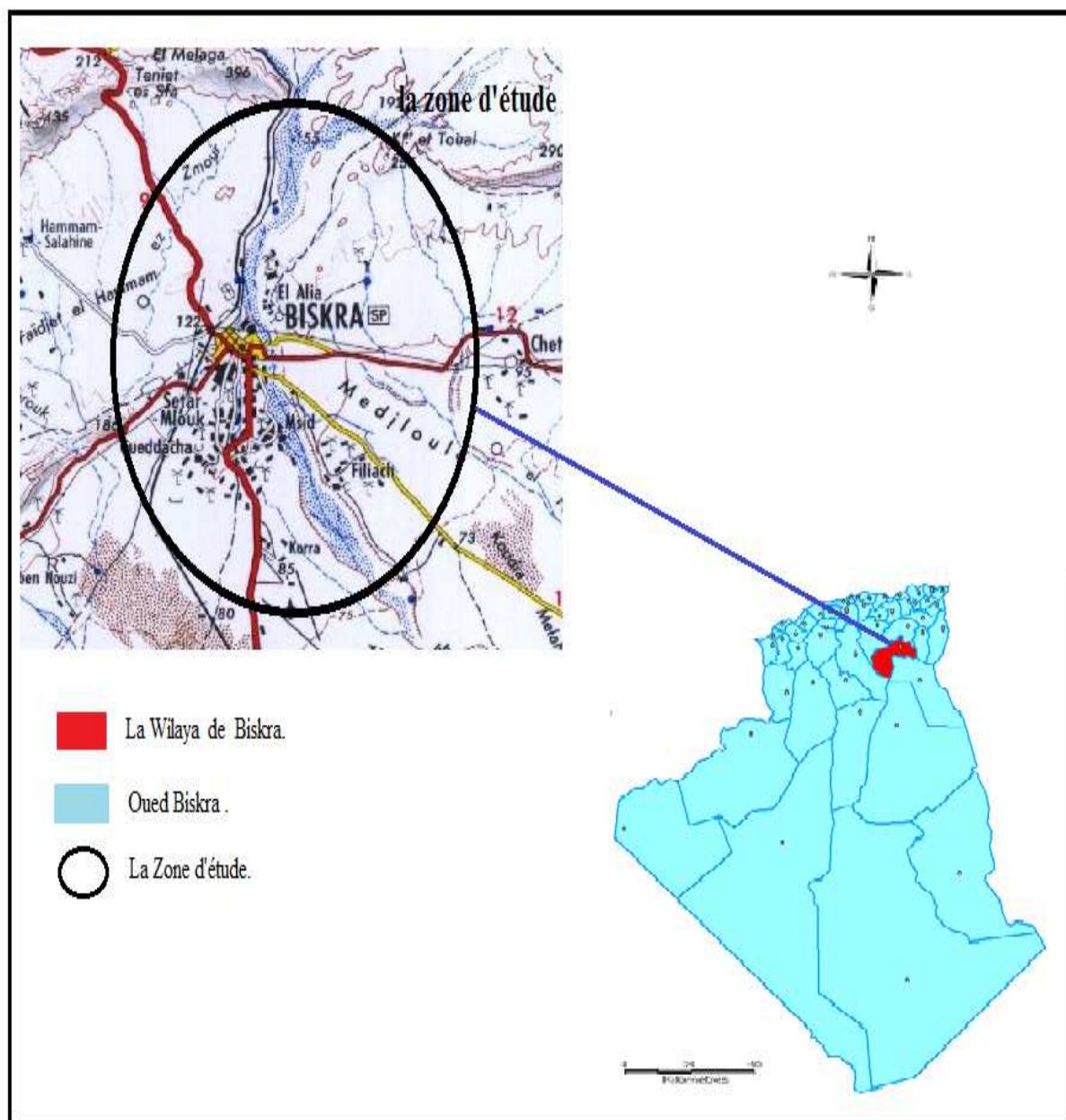


Figure n° 9 : Localisation de la zone d'étude.

I.1.2. Nappe des alluvions d'oued Biskra

Il est bien dommage de constater, suite à notre recherche bibliographique, que les études hydrogéologiques concernant l'aquifère alluvionnaire d'oued Biskra sont extrêmement rares.

Il faut dire que la seule étude a été faite en 1967 et concerne les possibilités d'exploitation optimum du réservoir alluvionnaire. Celle-ci a été prise en charge par la Société d'Exploitation Urbaine et Rurale des eaux du Sahara.

Depuis cette date, aucune étude sérieuse n'a été entreprise. Pour cette raison, la partie qui va suivre est en grande partie tirée du document final de la Société Centrale pour l'Équipement du Territoire.

Cadre d'étude

➤ Description de l'aquifère alluvionnaire

L'aquifère est connu depuis les travaux de Vailloux d'Aout 1963 et novembre 1965 reprenant et complétant les rapports antérieurs de MM. Gousskov et Duquesnov, ainsi que le rapport L.T.S de Novembre 1965.

La nappe d'oued Biskra et d'âge Quaternaire, la nature lithologique est graveleuse (Sédiments d'origine détritique), on trouve des galets, graviers avec passages sableux à argileux. La puissance de cette couche aquifère est de 40 à 60 m, alimentée par inféro-flux d'oued. Elle s'étend sur une superficie de 5 Km² avec une épaisseur moyenne de 20 m, le volume d'alluvions étant de 100 Hm³, déduit par la géophysique.

Une étude géophysique en 1967 a complété ces connaissances vers l'amont par l'exécution d'une série de sondage électriques. Ce qui a permis d'estimer l'épaisseur des alluvions obtenus montrent la variation des épaisseurs d'alluvions saturées sur substratum marneux imperméable du Miocène. Les cluses amont citées ci-dessus et la courbe d'épaisseur nulle des alluvions saturées limitent le réservoir. La limite aval a été prise arbitrairement au droit de la barre de poudingue pliocène qui joue le rôle de seuil de contrôle aval.

L'aquifère est de forme allongée et de direction générale Nord Sud. Cette forme a été façonnée par l'écoulement de l'oued Biskra creusé dans les marnes imperméables du miocène et remblayé par des dépôts alluvionnaires.

Les limites géographiques de l'aquifère se rapportent au remblaiement actuel des terrasses des oueds. La cuvette d'oued Biskra est limitée au nord par la barre calcaire turonienne, au sud par la barre des poudingues pliocènes, à l'Est et l'Ouest par les argiles miocènes.

La granulométrie est variable. Elle devient plus fine vers le sud ; où les dépôts deviennent plus argileux. A l'amont, les dépôts sont décimétriques et forment une vaste zone d'épandage, à haute perméabilité. Les matériaux les plus grossiers sont concentrés au milieu de l'oued selon l'axe de la cuvette. Vers les berges, ils deviennent plus fins (voir la figure n° 10).

L'extension verticale de la nappe peut atteindre parfois 40 mètres où on rencontre des grandes lentilles d'argiles quaternaires marquant le substratum local de la nappe. Mais la notion de substratum est discutable du fait qu'on passe par endroit directement à des niveaux de calcaires compacts.

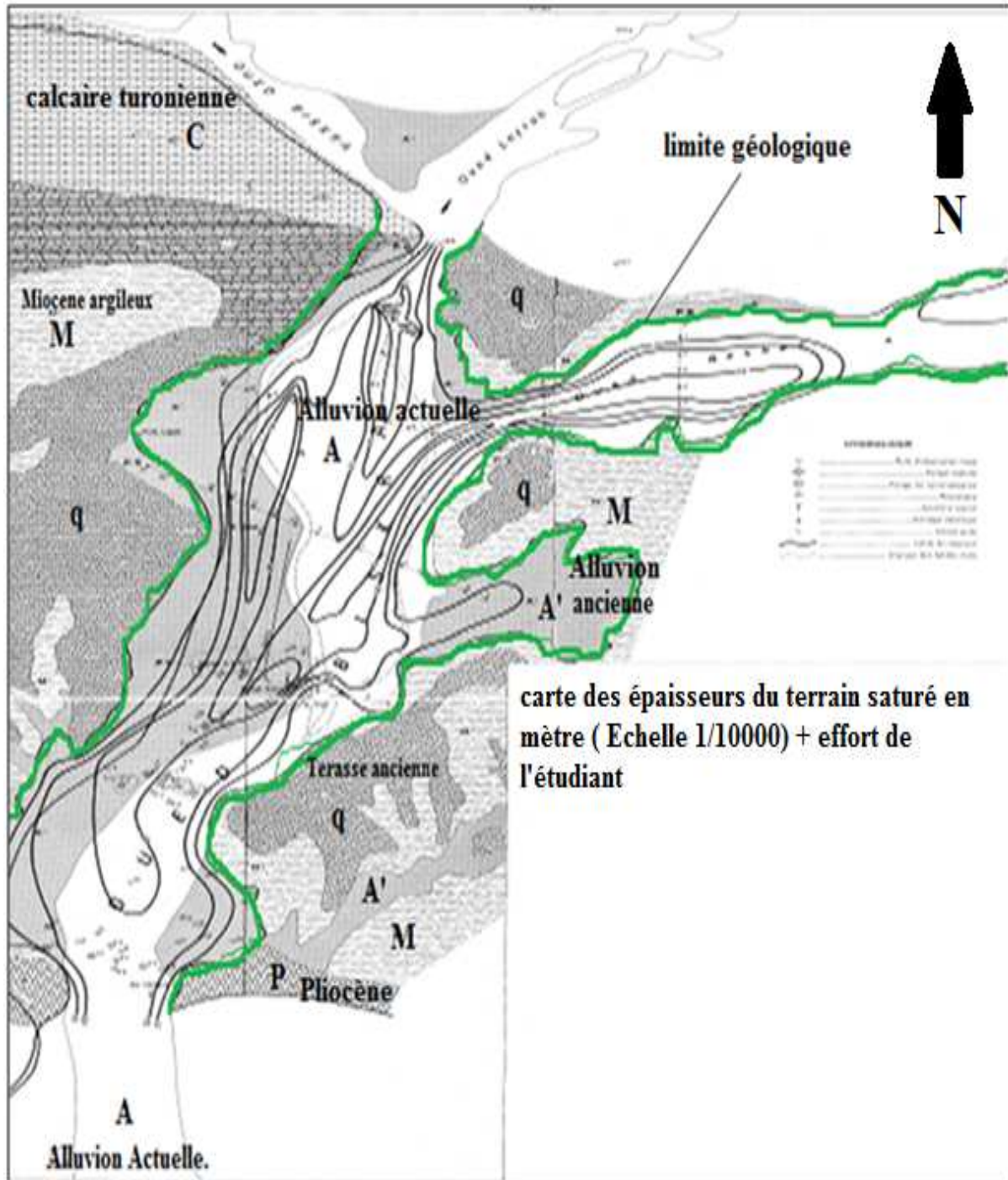


Figure n° 10 : Carte représentatif de la limite géologique de l'aquifère d'oued Biskra.

I.2. Ressources en eau superficielles

Les ressources en eau de surface sont omniprésentes dans la région et sont alimentées essentiellement par les principaux oueds : Djeddi, Biskra, El Arab. Lors des crues, tous ces oueds se jettent dans le Chott Melghir.

Cadre d'étude

La wilaya de Biskra possède d'appréciables potentialités en eau de surface, malgré sa position dans une zone aride et à la porte du Sud. Deux grands barrages sont en exploitation, en l'occurrence celui de Foug El Gherza (Sidi Okba) et Fontaine des Gazelles (El Outaya), dont la mise en eau a été faite en l'an 2000.

a) Le barrage de Foug El Gherza,

Réalisé en 1952 avec une capacité 47 Hm³, il régularise 13 Mm³ par an des apports du bassin de Oued El Abiod (1300 Km²). Il reçoit en moyenne un volume de 22 Mm³ par an. Le taux d'envasement, assez fort, 450 000 m³ par an, a réduit la capacité à près de 17 Mm³ en 2003, tandis que l'évaporation (2 482 mm) fait perdre chaque année près de 5 Mm³ par an (CRSTRA, 2010).

b) Le barrage de Fontaine des Gazelles,

Avec une capacité de 55 Mm³, il régularise les apports d'un bassin de 1 660 Km² sur Oued El Hai. Les apports solides charriés lors des crues s'élèvent à près de 360 000 m³/an. Compte tenu du climat, on enregistre de grandes pertes par évaporation, qui dépassent les 6 Mm³ par an. Les volumes régularisés sont à peine de 14 Mm³ utilisés pour les besoins d'irrigation (CRSTRA, 2010).

I.2.1 Le réseau hydrographique

Les différences de relief de l'Atlas saharien ont pour conséquences des tracés hydrographiques tout à fait différents accentués par le climat.

Les Zibans ont un réseau hydrographique, qui fait partie d'un grand bassin saharien (Chott Melghir). Ce dernier a une superficie totale de 26 000 Km² (Aidaoui 1994).

Parmi les oueds importants : Oued Biskra et Djeddi.

I.3. Pédologie

Les sols que nous rencontrons dans le Sud Algérien, présentent un certain nombre de caractères communs à ceux d'autres régions arides. Le milieu est en effet, caractérisé par des pluies très faibles, très irrégulières et une évaporation très forte.

Placés dans des conditions aussi sévères, les sols ont une évolution faible, leur structure est généralement définie ainsi : les éléments minéraux assez altérés ; les éléments solubles sont concentrés en surface et accumulés à un niveau ou à un autre du profil jusqu'à donner naissance à des nodules ou à des croutes calcaires gypseuses dite « deb-deb » (Aidaoui, 1994).

Cadre d'étude

La plupart des études montre que les sols du Sahara sont étroitement liés à la géomorphologie et la géologie du substratum de chaque région.

Exception faite pour la région d'El Outaya et de Sidi Okba où les sols sont relativement profonds, les sols qui constituent le territoire de la Wilaya de Biskra sont en général pauvres et peu profonds, ce sont des sols éoliens d'ablation et des sols basiques. Il existe cependant en région Nord des zones où le sol est absent, c'est une zone d'affleurements de la roche mère. Au Sud-Est de la Wilaya dans la région des chotts, c'est la zone des sols halomorphes.

D'après l'étude qu'a été faite par l'Agence Nationale de l'Aménagement du territoire en 2003, sur la pédologie de la région des Ziban, on a trouvé 3 classes principales des sols.

I.3.1. Types de sols rencontrés

- Classe des sols peu évolués ;
- Classe des sols calcimagnésiques ;
- Classe des sols halomorphes.

a. Sols peu évolués

Les sols peu évolués sont de profil de type AC contenant plus de traces de matières organiques dans les vingt premiers centimètres supérieurs. Une partie de cette matière organique peut être bien humifiée, le matériel est fragmenté même s'il est originalement dur et massif. La matière minérale n'a pas subi d'altération sensible, par contre, elle a pu être désagrégée et fragmentée par des phénomènes physiques. Les sels minéraux y compris les carbonates et les sulfates, ainsi que les cations peuvent avoir subi des redistributions et des migrations.

Ces sols fréquents en bordure de certains grands oueds, tels que : Oued Salsou, Oued En Naam (Bled El Madher et Mazouchia au Nord de Tolga), au Sud de Oued Djeddi (entre Ouled Djellal et Lioua), Bled Selga Sâadoune et Oglat Siouf (plaine d'El-Outaya), Oued Mellah (entre Biskra et Oumache), Oued Fellag (Zone Nord-Ouest d'El Ghrous), sont constitués de sable mobile, constamment repris par l'érosion éolienne. Le sable est généralement grossier, très faiblement calcaire avec des traces de matières organiques.

Cadre d'étude

b. Classe des sols calcimagnésiques

Ces sols sont caractérisés par la présence dans l'ensemble du profil par l'influence dominante du carbonate de calcium, de calcium de magnésium ou de sulfate de calcium. Ces sols sont de type AR ou AC ou A(B) R ou A(B) C. Dans ces sols la structure est généralement bien développée.

Ces sols sont les plus répandus dans la wilaya, en effet les carbonates et les sulfates constituent un trait commun aux sols du domaine aride, auquel appartient la région de Biskra.

Les sols à différenciation de carbonates occupent surtout les formations quaternaires longeant la chaîne atlasique. Dans la partie centrale de la wilaya, ils s'associent avec les accumulations gypseuses qui prennent de l'ampleur en allant vers le Sud.

c. Classe des sols halomorphes

Les sols de cette classe pédologique sont dominés par l'évolution, soit par la présence de sels solubles, dont la teneur élevée provoque une importante modification de la végétation.

La conductivité électrique de leur extrait de patte saturée est supérieure à 7 mmhos/cm à 25°C, mais dans le cas des sols du Sahara, la région de Biskra comprise, la salinité des sols est supérieure à cette norme. Cette modification de la classification des sols (française de 1976) se justifie surtout par la texture des sols, qui est généralement grossière et permet un bon lessivage des sels par les eaux d'irrigation.

Ces sols se rencontrent dans les dépressions qui sont en forme de cuvettes évasées, dont les bords bien définis formant des zones d'accumulation, localisées, surtout dans la région Est dans leur majorité à proximité du Chott Melghir, la zone au Nord des palmeraies d'Oumache, dans la zone de Selga et dans la plaine d'El- Outaya. Au moment des périodes humides ces zones s'engorgent d'eau par les écoulements issus des reliefs (ANAT, 2003).

Dans notre zone d'étude, deux différents coupe technique de sondage de reconnaissance à oued Biskra a été faite, un en 1967 et l'autre est récemment, pour comprendre et mis en lumière la lithologie de l'oued Biskra (Voir la figure n°11)

Cadre d'étude

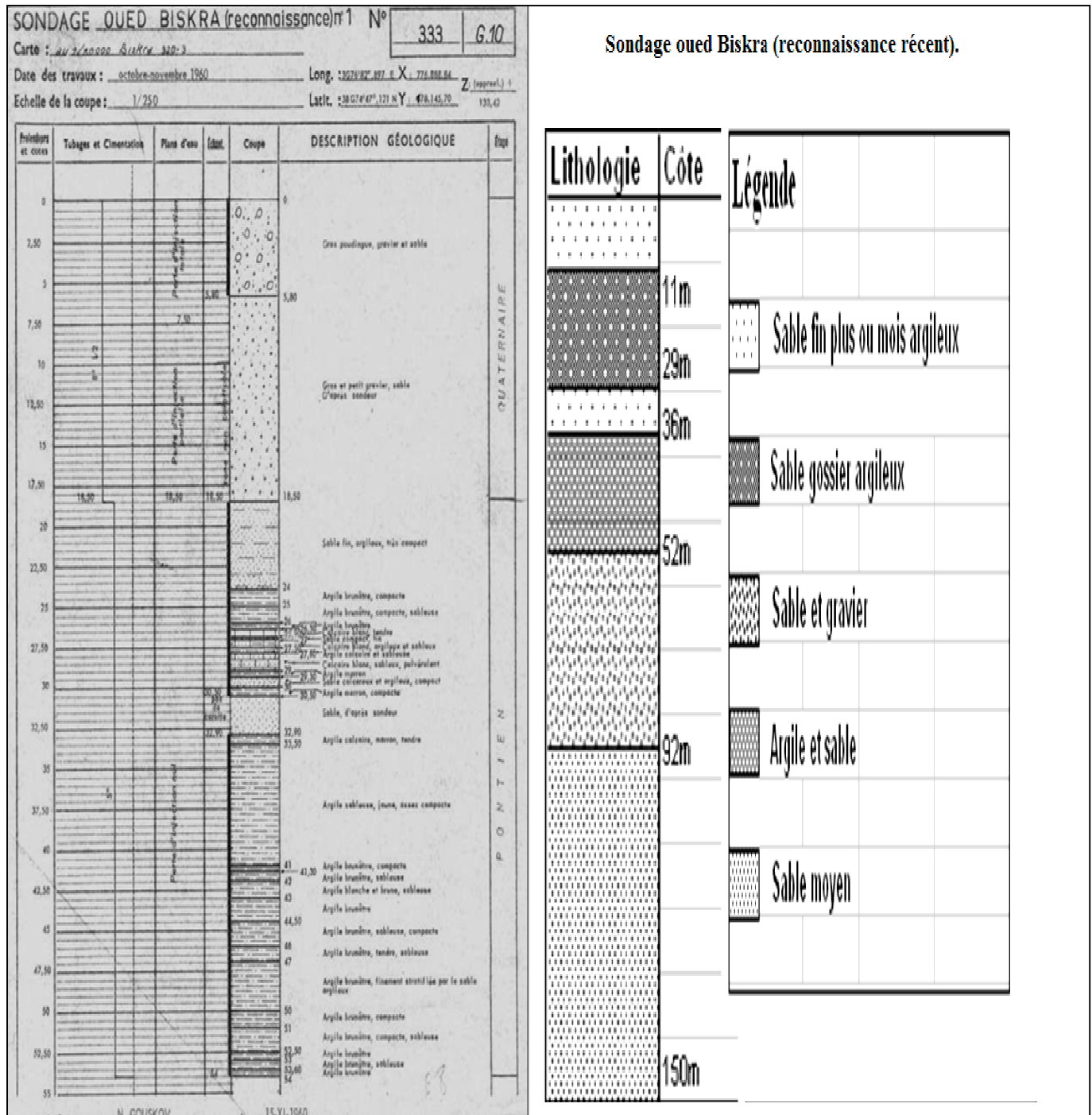


Figure n°11 : Coupe technique d'un forage de reconnaissance à Oued Biskra (ANRH, 2013).

I.3.2. Taux d'infiltration

La carte ci-dessous est une carte de synthèse de recharge potentielle dans la plaine d'Outaya, élaboré par un groupe des chercheurs dans un laboratoire de recherche « Géo-Environnement » (Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene -département de géologie.). L'établissement de cette carte a été rendu possible grâce à

Cadre d'étude

l'agrégation de l'ensemble des cartes paramétriques élaborées et stockées sous forme de couches dessin et données dans le Système d'Informations Géographiques utilisé.

Une étude faite par Sodexuer du système aquifère d'oued Biskra, les taux infiltration varient de 17 % à 65 % pour des débits de crues 10^5 à 6.10^5 m³/j, donc le coefficient d'infiltration a une relation avec le volume écoulé dans Oued, c.-à-d. chaque volume a un coefficient d'infiltration dans l'oued, dans notre étude l'apport superficielle maximale enregistrée en septembre égale de 66667 m³/j donc le taux d'infiltration égale presque 17 % de ce volume, ce pourcentage a été confirmée, si nous revenons à la carte de potentielle de recharge (le taux d'infiltration dans notre zone d'étude est varient entre 10 – 20%).

Cadre d'étude

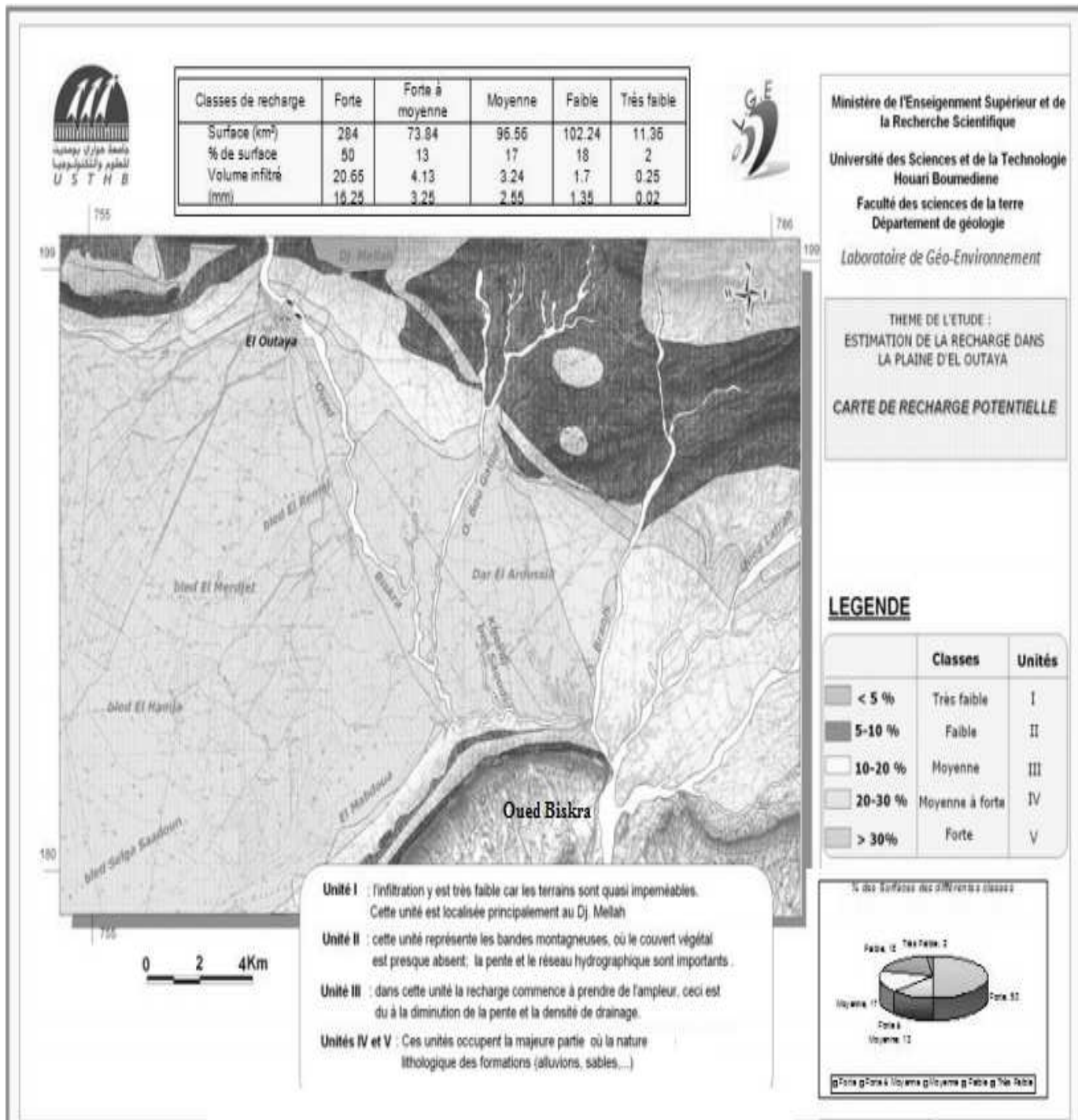


Figure n° 12 : Carte de recharge potentielle dans la plaine d'Outaya (2010).

Cadre d'étude

I.4. Cadre géomorphologique

La région de Biskra dans sa majeure partie est constituée par la grande dépression septentrionale saharienne. Celle-ci est entourée au Nord, Nord-Est et au Nord-Ouest par les derniers versants de l'Atlas saharien, dont les monts du ZAB dominant la région, d'orientation Sud-Ouest et Nord-Est (ANAT 2002).

La morphologie de cette région est cependant marquée par trois unités morphologiques : la montagne, le piémont et la plaine.

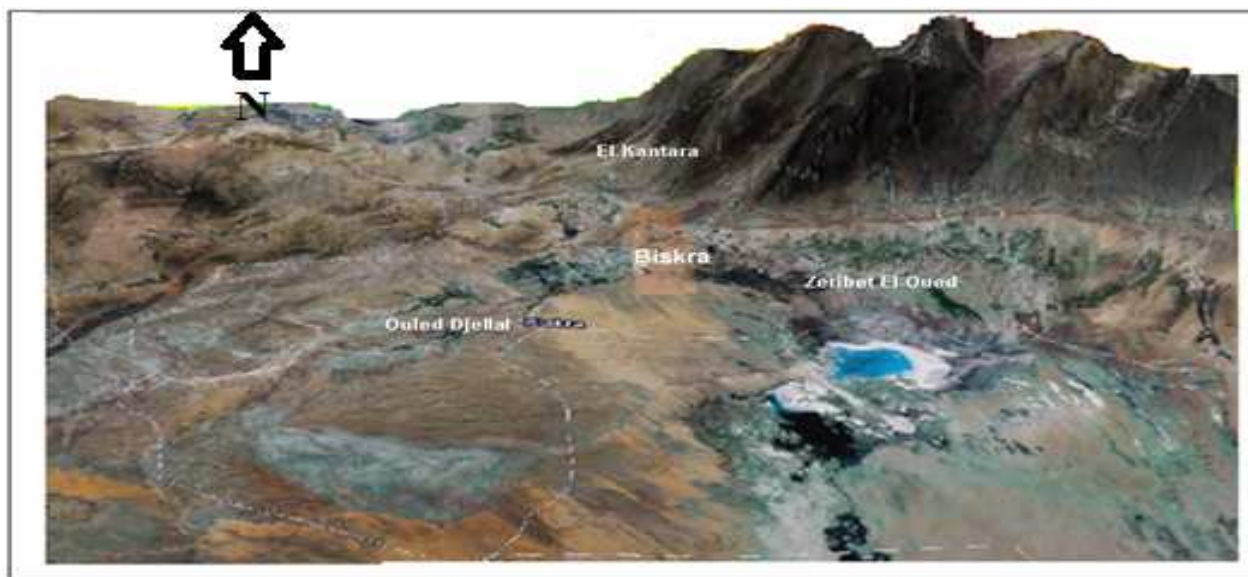


Figure n° 13 : Image satellite de relief de la zone de Biskra (Google Earth, 2012).

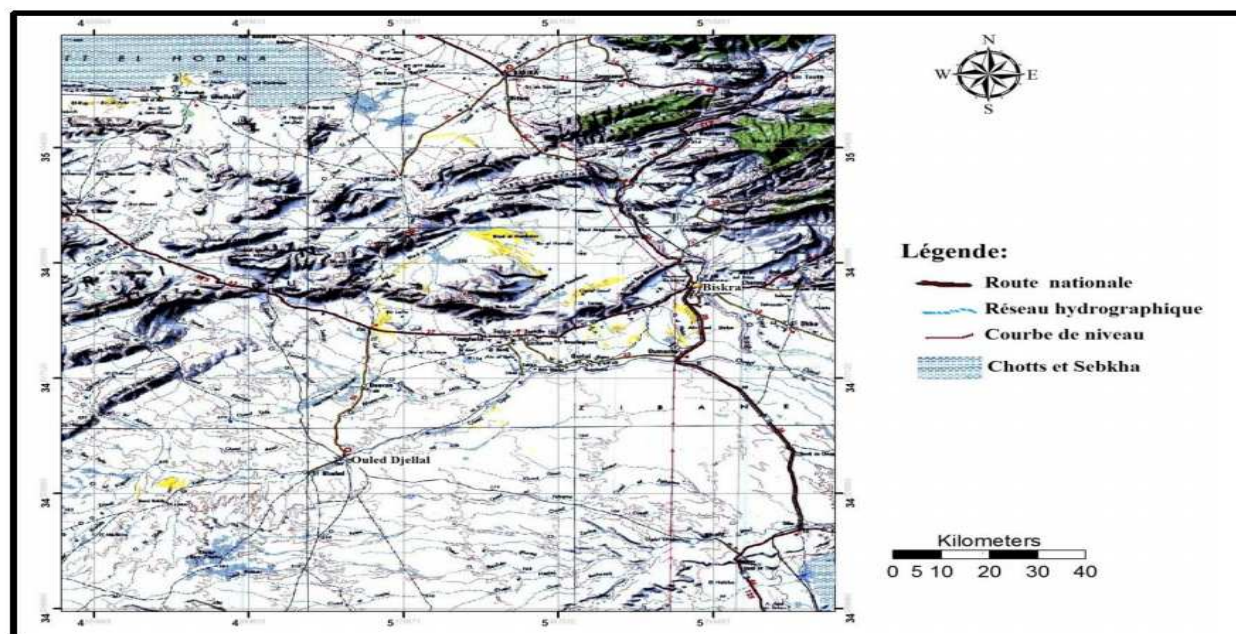


Figure n° 14 : Topographie de la région de Biskra (ANRH-Biskra, 2008).

Cadre d'étude

I.4.1. Cadre montagneux :

La région est bordée au Nord par les monts du Zab et au Nord-Est par le massif de l'Aurès. Le caractère montagneux des monts du Zab est, en effet, peu exprimé avec leurs collines étroites où leurs chapelets de montagnes, dont les reliefs peu élevés (400 à 900 m), alternant avec des bassins déprimés (Bled El-Mazouchia : 250 m, plaine d'ElOutaya : 150 m). Ces collines ne forment cependant qu'une esquisse de chaînons à l'Ouest et au Nord-Ouest de Tolga (crstra, 2010).

1. Monts des Zab

Les monts du Zab relient très incomplètement les monts des Ouled Nail à l'Aurès par des collines qui correspondent à des restes d'anticlinaux et synclinaux et la vaste plaine synclinale d'El Outaya. Au Nord-Ouest de Tolga, les anticlinaux s'allongent en bordure des Zibans. Ils ont une forme en arc, comme le long de l'anticlinal faillé du Chaiba et l'anticlinal du Dj.Khalia(852 m). L'anticlinal du Chaiba, parcouru par la route de Biskra – Bousaada, est l'un des grands éléments structuraux qui sépare les monts de Ouled Nail du Zab. Le massif du Dj.El-Ksoum point culminant des Zibans (1078 m), est un anticlinal dont le sommet est constitué par les calcaires turoniens. Ce massif se termine par un col : le Teniet-en-Nam (424 m). Ce dernier met en communication la partie occidentale de la plaine d'El Outaya avec la dépression des Zibans.

A l'Est de Teniet-en-Nam, le Dj Guouara (714m) domine la dépression du Bled-Selga (230m), qui le sépare du Dj.Bou-Rhezal. Il est entièrement constitué par les calcaires du Sénonien supérieur. Le Dj.Bou-Rhezal (519m) est un anticlinal orienté Nord-Est et Sud-Ouest très étroit. Cet anticlinal constitue une véritable barrière, que la route de Biskra-Batna doit franchir avec quelques difficultés au col de Teniet-es-Sfa (212m) (CRSTRA, 2010).

2. Massif de l'Aurès

Ce massif se soulève au Nord-Est au-dessus de Biskra et du Zab oriental, il est bien limité au Sud par des reliefs d'orientation Ouest-Est, comportant deux éléments :

- Les Gueheb : il s'agit d'une série de collines orientées Est-Ouest, ayant une altitude peu élevée qui varie de 400 à 600m;
- Les Guerguitt : c'est une chaîne de collines continue de Biskra à l'Ouest, à Ouled Rharhar à l'Est, son altitude dépasse rarement les 400m ;

Cadre d'étude

I.4.2. Piémont

Le piémont Sud atlasique est bien individualisé, par des dépôts étalés par les ruissellements. Ces derniers constituent au pied de l'atlas saharien un glacis continu d'Ouest en Est Piémont du Dj Bou-Rhezal : il se forme par une série de longs glacis descendant en pente douce de 3 à 4 sur 5km, dans la combe de Dj Bou Rhezal. Cinq niveaux de glacis de front, descendent depuis la crête principale sous forme d'une dalle calcaro-gypseuse blanche très résistante et de galets calcaires (Turonien-Cenomanien).

Sur le flanc Sud du Dj Bou Rhezal, les sables recouvrent un glacis d'ablations, il s'agit d'un glacis taillé dans une roche meuble très particulière constituée par une ancienne dune (CRSTRA, 2010).

I.4.3. Plaine

Au Nord du bas Sahara, les Zibans sont donc des oasis de piémont, au pied des montagnes (monts du Zab et d'Aurès) ; c'est une région de plaine et de cône-glacis. Les glacis plongent doucement sous une plaine alluviale, qui résulte de la conjugaison des cônes comme ceux des oueds de l'Aurès.

Les Zibans sont divisés en deux groupes de palmeraies séparés par l'oued Biskra : le Zab Chergui, situé à l'Est de Biskra et le Zab Gherbi, qui se trouve à l'Ouest de Biskra.

La vaste plaine du Zab Chergui représente la plaine comblée la plus vaste du bassin (qui s'étend du bas Sahara, jusqu'au massif de l'Aurès). Il est dispersé dans la plaine de Sidi Okba avec une altitude de 200m au Nord-Ouest.

Sur les cônes-terrasses en bordure de l'Aurès, se situent : Garta à 80m d'altitude, Seriana à 100m d'altitude, enfin, plus loin vers le Sud Sidi Okba à 60m d'altitude. Cette plaine est découpée par les lits des oueds issus des Aurès.

En aval, la plaine s'étend au Sud du précédent, comprenant les palmeraies situées sur la rive droite de l'oued Djeddi ; les altitudes de ces palmeraies, varient entre 95 et 180m, l'altitude du lit de l'oued est de 100 à 25m de l'Ouest à l'Est.

La plaine du Zab Gherbi est caractérisée par une formation calcaro-gypseuse « deb-deb », atteignant un ou deux mètres d'épaisseur.

I.5. Cadre géologique

Du point de vue géologique, la région de Biskra représente un pays de transition structurale et sédimentaire, au Nord c'est un pays montagneux, tandis qu'au Sud, c'est un pays effondré, qui fait partie du Sahara Septentrional. Le passage entre ces deux domaines distincts se fait par l'intermédiaire d'un ensemble de flexures, de plis-failles et de failles

Cadre d'étude

d'orientation Est Ouest appelé "accident sud atlasique"(voir la Figure n°15) (DEMRH, 1980).

L'accident sud atlasique s'est développé lors de la phase paroxysmale pliocène et post-pliocène de la surrection de l'Aurès. Cette phase orogénique responsable de toutes les déformations majeures de l'ensemble du continental Néogène (Mio-Pliocène) (DEMRH, 1980).

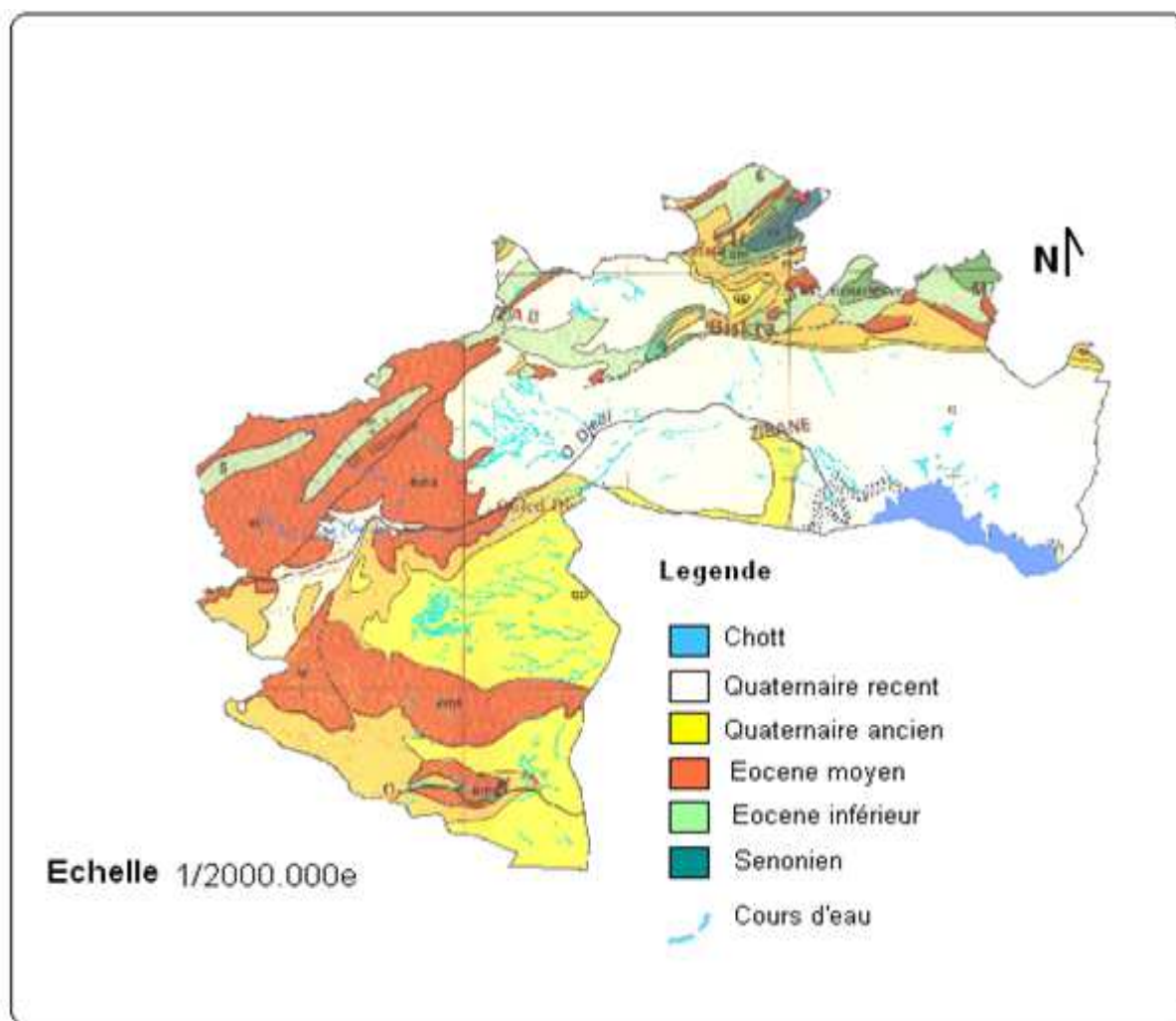


Figure n°15 : Esquisse géologique de la wilaya de Biskra (Busson, 1971).

I.5.1. Géologie de la cuvette d'oued Biskra

Pour la région de Oued Biskra, on remarque la majorité des formations à travers le lit de l'oued sont des alluvions du Quaternaire composés principalement de sables, graviers, en revanche les formations qui caractérisent les rives de l'oued, sont de quaternaires Anciens ; des poudingues, graviers et sables de l'ancienne terrasse. La cuvette d'oued Biskra est limitée

Cadre d'étude

au nord par la barre calcaire turonienne, au sud par la barre des poudingues pliocènes, à l'Est et l'Ouest par les argiles miocènes.

Les formations alluvionnaires de l'oued Biskra reposent sur les formations d'argiles miocènes pratiquement imperméables. Ce sont les produit de l'érosion des reliefs amont qui ont subi un transport conséquent a partir du nord. Leur nature est généralement calcaire et argileuse.

La granulométrie est variable. Elle devient plus fine vers le sud ; où les dépôts deviennent plus argileux. A l'amont, les dépôt sont décimétriques et forment une vaste zone d'épandage, à haute perméabilité. Les matériaux les plus grossiers sont concentrés au milieu de l'oued selon l'axe de la cuvette. Vers les berges, ils deviennent plus fins. Les argiles miocènes imperméables, couvert les limites latérales à l'Est et l'Ouest de la cuvette de l'oued Biskra, et forment un substratum pour les formations alluvionnaires. Ce qui favorise l'accumulation des eaux souterraines.

Dans les coupes des forages exécutés dans l'oued Biskra, la lithologie est dominée par des couches de galets, de graviers et sables avec quelques passées argileuses. On y décèle en quelques endroits la présence de gypse. Ce sont donc des dépôts assez perméables favorisant l'accumulation des eaux les chenaux et interstices aménagés dans les sédiments.

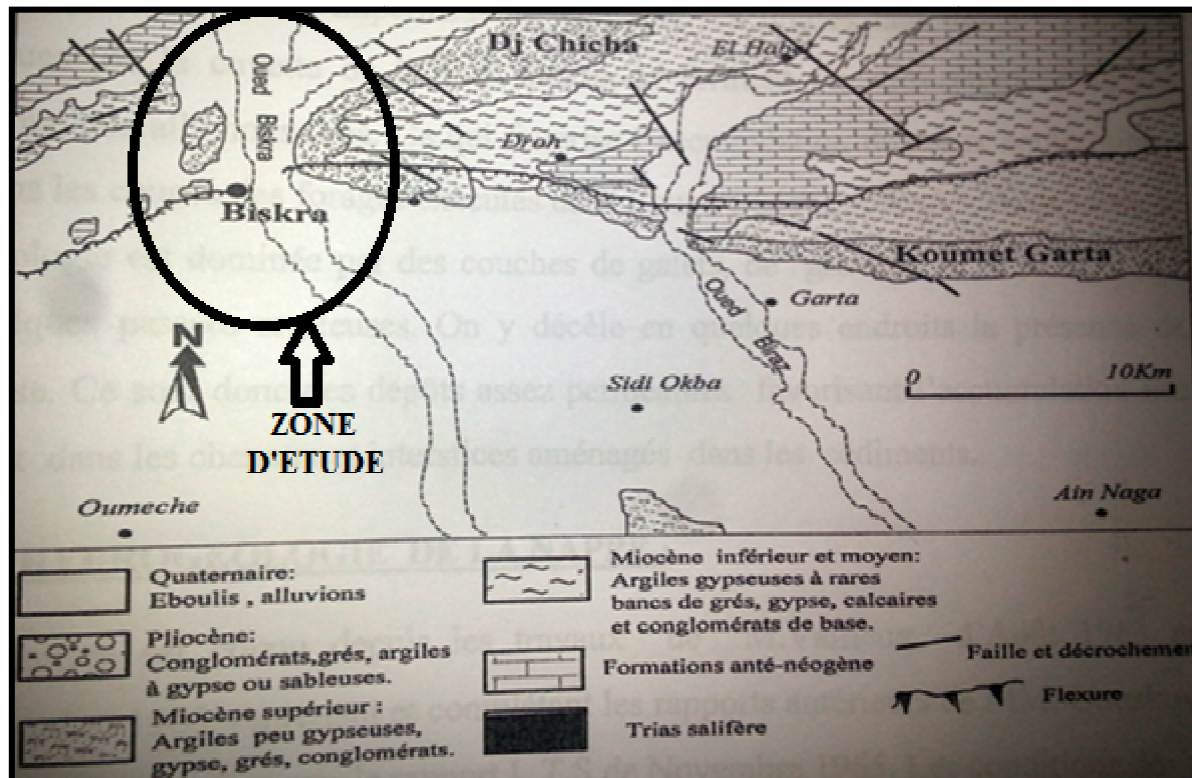


Figure n° 16 : Carte géologique schématique de la région de Biskra (ANRH, 2008).

I.6. Dispositifs de recharge

A. Diguette

Une nappe alluviale est normalement alimentée à partir de l'infiltration d'une fraction des oueds. Dans le cas de recharge artificielle de la nappe alluviale d'Oued Biskra, elle se fait par des diguettes de recharge à des raisons suivantes :

- Augmenter l'infiltration efficace vers la nappe et la durée de l'apport dans l'Oued.
- Leur coût est moins cher par rapport aux autres dispositifs.
- Les caractéristiques climatiques de la région.

La réalisation et l'emplacement de la diguette dans l'oued ne sont pas fait jusqu'à maintenant, mais il est proposé 2 sites d'emplacements, c'est pour ça nous avons étudié l'effet de l'apport liquide sur le niveau d'eau de la nappe dans les 3 sites proposés, les caractéristiques de ces diguettes respectivement sont : 150 m, 70 m, de Nord vers le Sud (figure n° 17-a) avec des différentes surfaces infiltrant :

1. Sup 1= 2200 x150 m.
2. Sup 2= 5830 x 70 m.



Figure n°17-a : Sites de l'implantation des diguettes (Google Earth 2012).

B. Bassin d'infiltration

Cadre d'étude

Bassins d'infiltration. Ils sont très répandus à telle enseigne qu'en Californie, par exemple, plus de la moitié des projets y font appel. En Allemagne également où l'eau est infiltrée de cette manière puis pompée par forages en vue de l'alimentation domestique. Cette méthode convient particulièrement lorsque la terre est peu chère, l'eau chargée en silt et pour son coût.

L'eau à recharger est contenue dans un ou, en général, plusieurs bassins dont les premiers servent à la décantation. Ils sont formés par des levées peu importantes, quelques mètres au maximum, et l'excès d'eau se déverse de l'un dans l'autre des ouvrages. Leur superficie peut être très variée, certains ont quelques milliers de m², d'autres 30000, 40000 et davantage. Ces structures, le plus souvent construites avec des matériaux locaux, peuvent être permanentes ou temporaires, fonctionner continuellement ou par intermittence, être placées dans le lit d'un cours d'eau (pays semi-arides et arides) ou à côté. On peut les concevoir avec un débit supérieur à leur capacité ou, au contraire, plus ou moins égal à cette dernière "matched flow" des américains. Elles sont munies d'ouvrages de diversion et de dispositifs de mesure et de court-circuitage ainsi que de déversement au cours d'eau en fin de chaîne.

Un point important est celui de la pente de leurs parois. Il s'agit en effet d'obtenir le maximum de surface mouillée et par conséquent des pentes de 1/3 sont souvent préférées à celles de 1/2 par exemple. Leurs capacités sont variables, 0,3 à 3 à 5 mètre/jour, et même davantage, d'eau infiltrée mais le plus souvent 1 mètre environ.

Pour la conception des bassins d'infiltration nous allons proposer une digue de contrôle avant de diriger le volume d'eau vers les bassins de recharge, pour garder la totalité de transport solide de la crue, et pour mieux gérer et contrôler ce volume d'eau qui participe à la recharge vers les bassins de recharge à l'aide des conduites d'alimentation.

Généralement la dimension des bassins d'infiltration se fait par des équations empiriques, l'équation la plus fréquente qui est en fonction de la perméabilité et le débit décennal des crues qui traversent l'oued Biskra:

$$S_{\text{bassin}} = \frac{Q_{10}}{K}. \quad (9)$$

Avec :

S_{bassin} : Surface du Bassin d'infiltration (m²).

Q_{10} : Débit décennal de la crue d'Oued Biskra (m³/s).

K : Perméabilité de lit de terrain (m/s).

Cadre d'étude

Après les calculs de la surface totale des bassins de recharge (3 bassins, voir la figure n°17-b) est égale près de 390000 m² , Donc la dimension de chaque bassin de recharge est égale de : 500 m x 260 m.

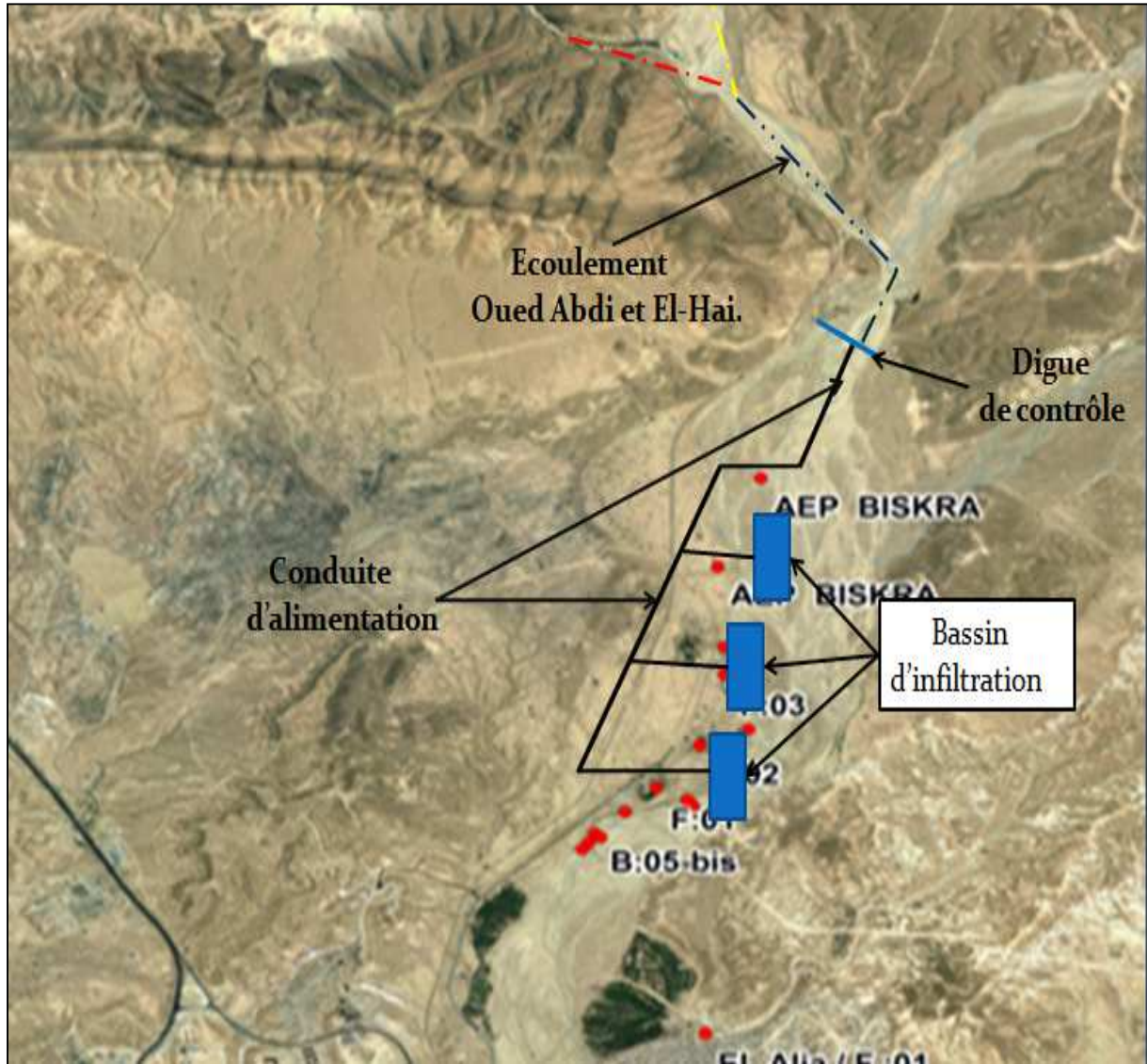


Figure n° 17-b : Conception proposé de l'emplacement des bassins de recharge dans l'oued Biskra

CHAPITRE II
BASSIN VERSANT
D'OUED BISKRA

II-1 INTRODUCTION

Le bassin hydrographique, ou bassin versant est l'unité ou le cadre de toute étude hydrologique. Les limites d'un bassin sont formées par les lignes de partage des eaux ; qui le séparent des bassins adjacents. Elles sont facilement réparables dans les régions où le relief est bien marqué, il n'en est pas de même dans les régions très plates, où les eaux divaguent dans celles où les écoulements temporaires se perdent dans les sables ou dans les cuvettes désertiques.

Dans un bassin hydrographique, la topographie ou le système de pentes commande la trajectoire des écoulements et l'organisation du drainage ou réseau hydrographique, celui-ci dépend de l'alimentation en eau. Le terme de bassin hydrographique est parfois remplacé par celui du bassin versant ; qui désigne la surface d'interception des précipitations alimentant un cours d'eau.

Ainsi défini et limiter, le bassin versant de l'oued Biskra fait parti du bassin Chott Melghir, il couvre une superficie de 2787 km², limité au Nord par djebel Metlili (1496m) et la chaîne montagneuse de Bellezma (2091m), au Sud par les montagnes des Aurès et Djebel Azeg (1937m) à l'Est par Djebel El Mahmel (2321m), Djebel Asker (1679m) et Djebel Ich Ali (1815m).

II-2 Grands ensembles physiques

Le bassin versant de l'oued Biskra présente des ensembles naturels fortement variés qui agissent sur le comportement hydrologique du bassin. Il est subdivisé en trois milieux naturels :

A. Montagnes

Elles sont composées essentiellement de massifs montagneux des Aurès dans la partie Sud du bassin. Elles sont constituées par les monts de Asker (1833m), Ras Er Rih (1916 m) et djebel Azeg (1937m), au Nord on rencontre la chaîne montagneuse de Bellezma (2091m) caractérisée par de forts reliefs en plusieurs chaînons orientés sensiblement ENE-OSO ; leurs altitudes s'élèvent progressivement de l'Ouest en Est et atteignant leur point culminant au Djebel Rfaa (2178m), ainsi que Djebel Metlili (1496m), plus à l'Est on trouve Djebel El Mahmel dont l'altitude s'élève jusqu'à (2321m) et Djebel Ich Ali (1815m).

Ces reliefs forment une barrière naturelle, qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Les différents paramètres climatiques sont fortement influencés par ces reliefs.

Bassin versant d'oued Biskra

B. Piedmonts

C'est une zone de transition entre la montagne et la plaine : elle s'allonge de l'Est à l'Ouest on trouve également le piedmont méridional avec ses collines et ses étendues planes, étagées et en pente douce ; son altitude varie entre 1200 et 1600m.

C. Plaines

C'est la zone plate du bassin la plus exposée aux crues, elle se situe au Nord-Est des piedmonts, elle est circonscrite par les courbes de niveau 800 à 1200m, les dépôts accumulés dans cette plaine sont composés de sable, gravier et de limon résultant de la charge solide des oueds. Ce terrain est utilisé pour les activités agricoles saisonnières.

De ces ensembles physiques ci-dessus décrits, il est possible de délimiter trois grandes unités hydrologiques du bassin :

❖ Bassin supérieur

C'est une région entourée de chaînes montagneuses peu élevées (jusqu'à 2091 m monts de Bellzema), les flancs Nord sont couverts de forêts, tandis que les flancs Sud sont rocaillieux et dénudés, les uns et les autres sont abrupts aux pieds des talus ; on trouve beaucoup d'éboulis. Ce secteur constitue la partie la plus arrosée, elle est drainée par l'oued El Hai ; oued Tilatou descend des flancs des monts de Bellezma et après le confluent avec oued Fedhala, il s'appelle " oued El Hai"

❖ Bassin moyen

Ce bassin englobe la zone du piedmont et une partie de la plaine, il est encadré par un certain nombre de montagnes : au Nord-Ouest par le haut relief de Ain Zaatout, au Nord par Djebel Mahmel (2321m), au Sud-Est par Djebel Lazreg (1937m), au Sud la vallée est ouverte sur la dépression saharienne d'El Outaya est caractérisée par des reliefs moins abrupts que ceux du bassin supérieur, avec une altitude variante entre 300m et 1600m. La plus grande partie de ce secteur est drainée, par l'oued Djemoura ; qui descend du Djebel Boutlarmine (2178m), il est formé de l'oued Abdi et l'oued Bouzina, qui par ses nombreuses ramifications prend source dans Djebel El Mahmel et Boutelarmine.

❖ Bassin inférieur

C'est la partie qui se situe au Sud du bassin de l'oued Biskra, limitée au Nord par Djemoura à l'Est par Djebel Ras Chicha, à l'Ouest par la plaine d'El Outaya et au Sud par Biskra, avec un relief accidenté, les altitudes se varient entre 200m et 1200m.

Bassin versant d'oued Biskra

Ce bassin est drainé essentiellement par l'oued Lafrah qui prend sa source de Djebel Ich Oumared (1270m) et autres petits cours d'eau sur sa rive droite.

En conclusion le bassin versant de l'oued Biskra présente un relief compartimenté reflète de la nette opposition topographique montagne-plaine qui le caractérise. Il est réparti en bassins d'ensemble bien limités, les massifs montagneux se terminent brusquement par des collines qui jalonnent la ligne de contact entre la montagne et la plaine.

II-3 Caractéristiques morphométriques du bassin

Les différents paramètres morphométriques du bassin notamment, la forme, l'altitude caractéristique, la pente et le relief interviennent et souvent de façon combinée dans les modalités de l'écoulement, donc il convient de les préciser dès le début de toute étude.

II-3.1 Superficie du bassin

La surface du bassin d'un cours d'eau donné en un point de ceci est l'aire limitée par le contour, à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point.

La superficie d'un bassin versant est une dimension importante à connaître, car elle est la base de tous les calculs hydrologiques (bilan, module, débit spécifique ...etc).

La mesure de cette surface suppose d'abord la délimitation du bassin par la ligne de partage des eaux qui est matérialisée par les lignes de crêtes.

Les limites du bassin de l'oued Biskra sont très nettes en zones montagneuses où les reliefs sont très apparents, ils ne sont pas de même pour les plaines à topographie plane et aux formations superficielles perméables. C'est le cas de la partie Sud du bassin avec le versant de l'oued Biskra complémentaire, elle est localement imprécise, car les petits affluents qui ne coulent que lors des fortes averses peuvent changer de direction à chaque obstacle alluvionnaire formé entre deux épisodes pluvieux.

De ce fait, le calcul de la superficie du bassin diffère d'un opérateur à l'autre selon leur délimitation, leur planimétrie, l'instrument utilisé et l'échelle de la carte (tableau n°03).

Bassin	Superficie (Km ²)		
	(1)	(2)	(3)
El-Hai	1788	2056	1660
Djemoura	906	696	586
Biskra comp	93	-	-
Biskra	2787	2752	2246

Tableau n°03 : Superficie du bassin versant de l'oued Biskra.

Bassin versant d'oued Biskra

(1) : par planimétrie sur des cartes à l'échelle 1/200.000.

(2) : d'après l'agence nationale des ressources hydriques.

(3) : selon les mémoires d'ingénieur ; Djebabra. S promotion 1992 université de Batna thème : régularisation des débits de l'oued El Hai au site du barrage Fontaines des gazelles. Et étude hydrologique du bassin versant de l'oued Abdi présenté par : Meziani .A, université de Batna, promotion 1991.

Le bassin versant à la station de Biskra s'étend sur 2787 km² ; on distingue trois sous bassins : le sous bassin de l'oued El Hai et l'oued Djemoura ; contrôlés par des stations hydrométriques présentent à leurs stations respectives (El Hai et Djemoura) des superficies de 1788 km² et 906 km² alors que le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire qui n'est contrôlé par aucune station présente une surface de 93 km².

II-3.2 Orographie

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont en fonction de l'altitude car c'est de la pente du relief dont dépend le gradient pluviométrique et thermique, ainsi que la vitesse d'écoulement qui sera en principe plus importante en montagne qu'en plaine.

La répartition du bassin versant (en km² et en % de la superficie totale) par tranches d'altitudes est consignée dans le tableau n°04 et reportée sur la Figure n°18-a ; qui nous renseigne sur les altitudes caractéristiques du bassin.

Le bassin de l'oued Biskra atteint 2321 m à son point culminant au sommet de Djebel El Mahmel, tandis que le point le plus bas correspond à la station de Biskra située à l'altitude de 150 m donc une dénivelée totale de 2171 m. L'altitude moyenne ⁽¹⁾ sur l'ensemble du bassin de l'oued Biskra est de 950 m, déduite de la courbe hypsométrique, elle est plus forte dans le sous bassin de l'oued Djemoura (998m) et n'est que de 956 m sur le bassin de l'oued El Hai et plus faible dans le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire (410 m).

La dénivelée ⁽²⁾ dont dépend la pente hydraulique des vallées et des lits des oueds est plus forte dans les sous bassins de l'oued El Hai et l'oued Djemoura respectivement ; 1891 m et 2121 m mais plus faible dans le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire (1120 m).

$$(1) : H_{moy} = \frac{\sum S_i \cdot h_i}{S}$$

S_i : Surface cumulée entre deux courbes de niveaux (Km²).

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux (m).

S : surface du bassin versant (Km²).

$$(2) : D = H_{max} - H_{min}$$

H_{max} : Côte du point le plus haut du bassin.

H_{min} : Côte du point le plus bas du bassin.

Bassin versant d'oued Biskra

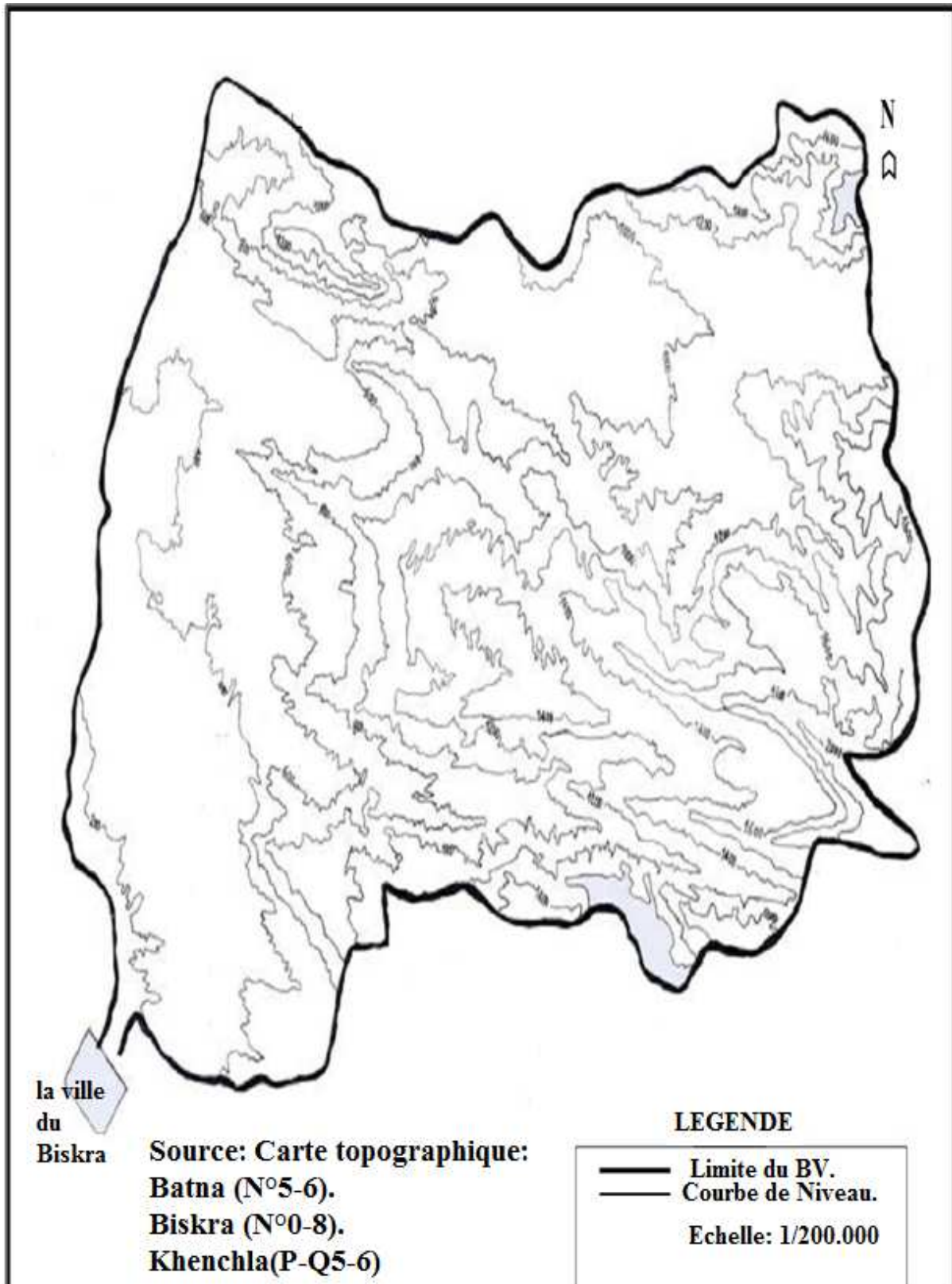


Figure n°18-a : carte hypsométrique du bassin versant de l'oued Biskra (ANRH Biskra).

Bassin versant d'oued Biskra

Tableau n°04 : Répartition altimétrique du bassin de l'oued Biskra et ces bassins élémentaires.

Altitude (m)	El Hai				Djemoura				Biskra complémentaire				Biskra			
	S. part		S. cum		S. part		S. cum		S. part		S. cum		S. part		S. cum	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
2000-2321	1.6	0.09	1.60	0.09	14.06	1.55	14.06	1.55					15.6	0.56	15.6	0.56
1800-2000	29.2	1.63	30.8	1.72	7.11	0.78	21.17	2.35					36.3	1.3	51.9	1.86
1600-1800	122	6.82	152.8	8.54	7.78	0.86	28.95	3.19					129	4.67	181.7	2.52
1400-1600	1.66.4	9.31	319.2	17.85	140.2	15.48	169.184	18.67					306.6	11	488.8	17.5
1200-1400	136.4	7.63	455.6	25.48	210.4	23.23	379.64	41.9					346.8	12.4	835.2	29.9
1000-1200	320.8	17.9	776.4	43.42	157.1	17.34	536.81	59.25	1.23	1.33	1.23	1.33	479.2	17.1	1314	47.1
800-1000	386.80	21.63	1163.2	65.05	69.22	7.64	606.03	66.89	5.76	6.19	7	7.52	461.7	16.57	1776.2	63.7
600-800	199.18	11.14	1362.39	76.19	38.79	4.28	644.83	71.17	12.8	13.8	19.89	21.38	250.8	9	2027.1	72.7
400-600	240.03	13.42	1602.42	89.615	121.03	13.35	765.86	84.53	11.5	12.4	31.4	33.8	372.6	13.37	2399.7	86.1
200-400	178.52	9.88	1780.95	99.59	124.98	13.79	890.85	98.32	47.6	51.2	79	85.07	351.18	12.6	2750.9	98.7
150-200	7.14	0.39	1788	100	15.14	1.62	906	100	13.8	14.9	93	100	36.13	1.29	2787.1	100

Ces valeurs moyennes et extrêmes n'ont qu'une valeur indicative, dont le rôle se limite à comparer les sous bassins entre eux, alors que la répartition hypsométrique de chaque secteur est plus significative. Ces courbes montrent l'importance et la distribution de chaque tranche d'altitude dans les sous bassins et appellent les constatations suivantes :

Les secteurs de haute altitude (supérieur à 1800m) sont très peu étendus dans le bassin, ils correspondent à des massifs montagneux de Bellezma, les monts du Zeb et celles des Aurès ; taillés ou tronqués par l'oued Biskra, qui traverse le bassin du Nord au Sud-Ouest. Dans le sous bassin de l'oued El Hai, cette tranche est d'environ 2.5% de sa surface totale et englobe les sommets de Bellezma, Ich Ali et Metlili.

Dans le sous bassin de l'oued Djemoura, cette tranche représente 3% de la surface du sousbassin, elle est constituée par les sommets de Djebel El Mahmel, Azeg, Boutlarminie et Djebel Asker. Alors que le secteur d'altitude inférieur à 1000m, correspond exclusivement aux vallées drainées par l'oued Biskra soit 11.5% de la surface totale de la région d'étude. La tranche d'altitude dominante, diffère d'un bassin à un autre : dans le bassin de l'oued Biskra c'est la tranche 400-1000m qui représente 65% de la surface totale du bassin.

Bassin versant d'oued Biskra

Dans le sous bassin de l'oued El Hai c'est la tranche 500-1000m, qui s'étend sur plus de 50% de la surface. Alors que dans le sous bassin de l'oued Djemoura à caractère montagneux c'est la tranche (1300m-1700m), qui s'étend sur plus de 56% de sa surface, ce qui implique une plus forte abondance des précipitations et de l'écoulement dans ce sous bassin.

Comparativement aux autres, le petit sous bassin de l'oued Biskra complémentaire situé entre 200 et 1200m ; 77% de sa surface, c'est la zone qui présente un risque majeur des inondations.

Tableau n°05 : Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires de l'oued Biskra.

Bassin	Altitudes caractéristiques en (m)						
	Hmax	Hmin	D=Hmax-Hmin	Hmoy	H _{50%}	H _{5%}	H _{95%}
El-Hai	2091	200	1891	956	1060	1800	400
Djemoura	2321	200	2121	998	1200	1680	340
Biskra comp	1270	150	1120	410	400	960	160
Biskra	2321	150	2171	950	1080	1660	370

Bassin versant d'oued Biskra

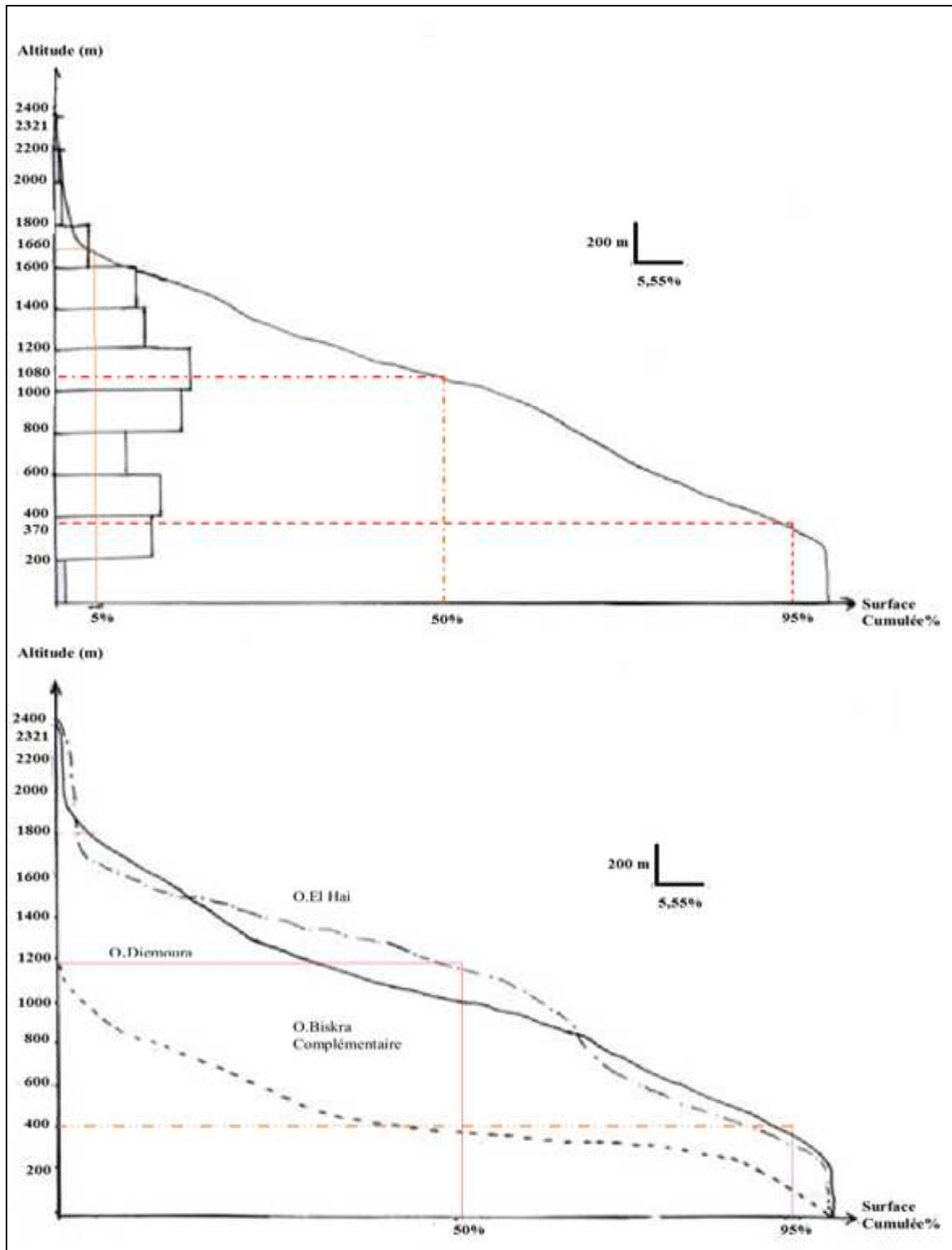


Figure n°18-b : Courbes hypsométrique des fréquences altimétriques du bassin versant l'oued Biskra.

Bassin versant d'oued Biskra

II.3.3 Forme des bassins :

La forme d'un bassin versant à une influence sur l'écoulement et surtout sur l'allure de l'hydrogramme de crue, ainsi un bassin très allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassée, si les autres conditions sont par ailleurs égales.

On exprime cette caractéristique par les différents indices, dont l'indice de compacité de Gravelluis qui est défini comme le rapport du périmètre stylisé du bassin au périmètre d'un cercle ayant la même surface, plus cet indice se rapproche de l'unité plus le bassin aura une surface ramassée et plus le temps de concentration de l'eau sera court.

Tableau n°06 : Indices de compacité pour les sous bassins de la région d'étude.

Bassin	Superficie (Km²)	Périmètre	Indice de compacité
El-Hai	1788	229	1,52
Djemoura	906	184	1,71
Biskra comp	93	99	2,87
Biskra	2787	250	1,33

Les résultats de calcul (tableau n°06) permettent de montrer que le bassin le plus compacté est celui de l'oued Biskra à la station de Biskra ($K_c=1,33$), cette compacité diminue avec l'augmentation de la surface, elle est de 2,87 dans le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire, qui a une forme très allongée ; donc un temps de concentration très élevé.

C'est la même chose avec le sous bassin de l'oued El Hai et l'oued Djemoura, qui représentent une compacité de 1,52 et 1,71 respectivement. Donc le bassin de l'oued Biskra dans son ensemble présente une forme allongée, qui favorise les faibles débits de pointes de crues ; ceci en raison de temps d'acheminement de l'eau important à l'exutoire.

Cet indice est basé sur des caractères purement géométriques, qui assimilent le bassin versant à un plan horizontal. Donc il ne peut pas prédire de la forme des hydrogrammes des crues, même si ces derniers sont dépendants de la forme du bassin, ceci ne concerne que les bassins de grandes tailles, où l'effet de la surface limite en quelque sorte l'effet des autres facteurs physicogéographiques qui influencent l'écoulement et dont le plus prédominant n'est pas la forme du bassin mais son système de pente.

Donc cet indice de compacité permet de faire des comparaisons, notamment pour les bassins d'un même domaine géographique, mais il est nécessaire de soulever des réserves sur sa fiabilité car il est lié aux mesures de périmètre stylisé, qui dépend directement de la façon de stylisation.

Bassin versant d'oued Biskra

II-3.4 Système des pentes

La pente topographique est un élément capital dans le comportement hydrologique du bassin elle détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement et conditionne la vitesse d'écoulement des eaux de surface par l'effet de la pesanteur.

L'approche de ce paramètre est abordée avec des indices fréquemment utilisés par les hydrologues statisticiens, leurs buts est de caractériser les pentes d'un bassin, de permettre des comparaisons et des classifications, mais les résultats et leur traduction sont d'une précision douteuse d'autant plus qu'ils considèrent le bassin versant homogène et négligent les nuances topographiques qui existent à l'intérieur du bassin, où le comportement hydrologique de ce dernier n'est pas identique sur toute son étendu (voir tableau n°07).

Tableau n°07 : Indices des pentes pour les différents sous bassins.

Bassin	S (Km²)	L (Km)	Ip⁽¹⁾	Ig (m\km)⁽²⁾	Ds(m)⁽³⁾	Classe de relief
El-Hai	1788	95,17	0,315	14,71	622	Très fort
Djemoura	906	79,92	0,146	16,78	505,07	Très fort
Biskra comp	93	47,10	0,13	16,985	163,80	Assez fort
Biskra	2787	95,22	0,14	14,49	764,96	Très fort

Les résultats consignés dans le tableau n°07 montrent que : une pente globale légèrement faible ($15 < I_g < 17$) ; en faveur d'un amortissement pour la remontée plus au moins forte des crues éventuelles.

(1) : I_p : indice de pente de Roche ; $I_p = \frac{\sum_i^n \sqrt{S_i \times H_i}}{\sqrt{L}}$

S_i : la fraction en % de la surface comprise entre deux courbes de niveaux.

L : Longueur du rectangle équivalent en m.

(2) : I_g : Indice de pente globale ; $I_g = H_u/L$ en (m/km).

$$H_u = H_{5\%} - H_{95\%}$$

(3) : D_s : Dénivelée spécifique ;

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

Bassin versant d'oued Biskra

En ce qui concerne l'indice de pente de roche, il est compris entre 0,13 et 0,14 quant à la dénivelée spécifique elle varie de 163,8 jusqu'à 765m. Si les valeurs de ces indices pour les sous bassins de l'oued El Hai, Djemoura ainsi que le bassin versant de l'oued Biskra sont plus au moins représentatives et traduisent bien l'importance du volume montagneux, qui se situe sur le contour de la zone d'étude caractérisée par un relief très accidenté, et s'étale sur environ 30% de la surface totale de bassin. Elles sont loin de la réalité pour le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire, qui est prédominé par un milieu relativement plat. L'approche cartographique donc s'impose pour faire ressortir les nuances internes à l'intérieur du bassin versant.

A partir des travaux effectués sur les cartes topographiques au 1/200.000 nous avons élaboré une carte des pentes pour le bassin de l'oued Biskra, qui nous permet de faire ressortir les principales classes de pentes et leur importance dans le bassin (figure n° 19).

La plus grande pente est orientée du Nord vers le Sud. En analysant le paramètre pente du versant l'oued Biskra on distingue quatre zones ou classes des pentes (figure n°19) :

La classe des pentes (< 5%) est la plus prédominante, soit 50% de la surface du bassin elle s'étend dans la partie Sud du bassin versant l'oued Biskra et une partie au Nord-Est de celui-ci ; c'est un secteur de plaine, où les conditions sont favorables à l'écoulement superficiel.

La classe des pentes fortes (> 20%) occupe une faible surface, soit environ 11% de la surface totale du bassin et concerne surtout les sommets des monts de Bellezma, Djebel El Mahmel (2321m) et Djebel Boutlarmin au Nord-Est. Cette zone considérée comme une zone de ruissellement.

La zone des pentes comprises entre 10% et 20% qui représente 10 % de la surface du bassin elle caractérise les versants des Aurès et Djebel Metlili, l'absence du sol et un couvert moyennement dégradé surtout dans le Sud- Est du bassin ; favorisent la genèse des inondations dans ce secteur.

Alors que la zone des pentes comprises entre 5% et 10%, qui présente 25% de la surface du bassin de l'oued Biskra concerne la zone des piedmonts où l'absence de la couverture végétale favorise l'accélération du ruissellement superficiel. Cette zone est considérée comme zone d'inondations.

Bassin versant d'oued Biskra

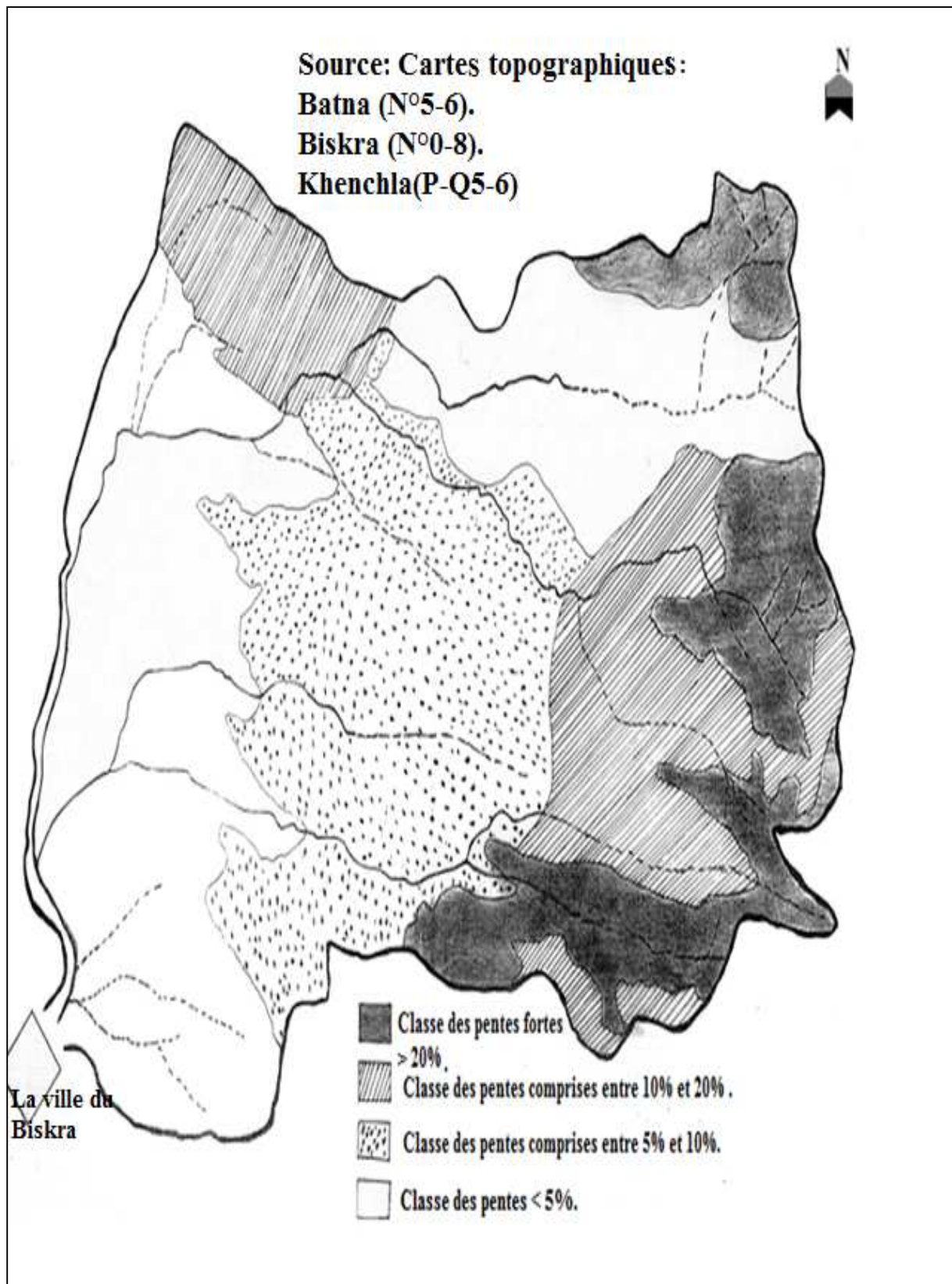


Figure n°19 : Esquisse des pentes du bassin versant de L'oued Biskra (ANRH Biskra, 2008).

II-4 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire).

A. Présentation

L'oued Biskra ; c'est le principal dans la région, son réseau hydrographique est constitué par un grand nombre d'affluents et sous affluents, qui collectent les eaux de ruissellement du Sud-Ouest de l'Aurès, au Nord de la ville de Biskra, qu'ils traversent avant de se déverser dans le Chott Melghir.

L'oued Biskra résulte de la jonction de deux affluents : oued El Hai et oued Djemoura, qui drainent respectivement une superficie de 1788 et 906 km², dont la confluence donne naissance à l'oued Biskra à une altitude de 200m (Figure n°20).

L'oued El Hai prend son origine sur les flancs d'Atlas Saharien, qui à son tour prend sa naissance du confluent des deux oueds : oued Fedhala issue du djebel Ich Ali (1815m) et l'oued Tilatou qui descend des monts de Bellezma (2091m) et coule dans la direction SE-NO. C'est la source de l'oued Bouaoun, qui après le confluent avec l'oued Doufana forme l'oued Fedhala qui coule du NO-SO.

Les cours d'eau alimentant l'oued El Hai en un caractère d'écoulement périodique : seul l'oued El Hai demeure relativement permanent, mais lui aussi se perd par endroit dans les dépôts de sable et de gravier de son lit pendant les périodes d'étiages, en aval de la station d'El Kantara il draine les massifs de Metlili, Mekrizane et Haouidja.

L'oued Djemoura résulte aussi de la jonction de deux oueds : oued Abdi qui prend sa source du Djebel Lazreg (1937m) et Djebel Boutlarmine (2178m), il coule vers le Sud-Ouest. L'oued Bouzina coule dans le synclinal de Bouzina depuis sa source (Djebel El Mahmal 2321m) en contre bas de la plaine de Nardi jusqu'au Khanguet El Anseur où il traverse le flanc Sud- Est du synclinal pour rejoindre l'oued Abdi à Menaâ, formant l'oued Djemoura ; qui reçoit sur sa rive gauche l'oued Bouguatou.

L'oued Laftah prend son origine de Djebel Ich Oumared (1270m), mais en réalité c'est un petit ravin saisonnier, qui menace en période de crue ; il reçoit sur sa rive droite l'oued Besbes, qui est un petit cours d'eau de moindre importance.

B. Tracé en plan

Le tracé de chevelu hydrographique d'un bassin est déterminé à partir des cartes topographiques. Pour la classification des talwegs nous avons opté celle de Schum ; toute

Bassin versant d'oued Biskra

tronçon de rivière formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre xi, un tronçon d'ordre xi+1 garde le même ordre de la rencontre d'un autre d'ordre xi (voir tableau n° 08)

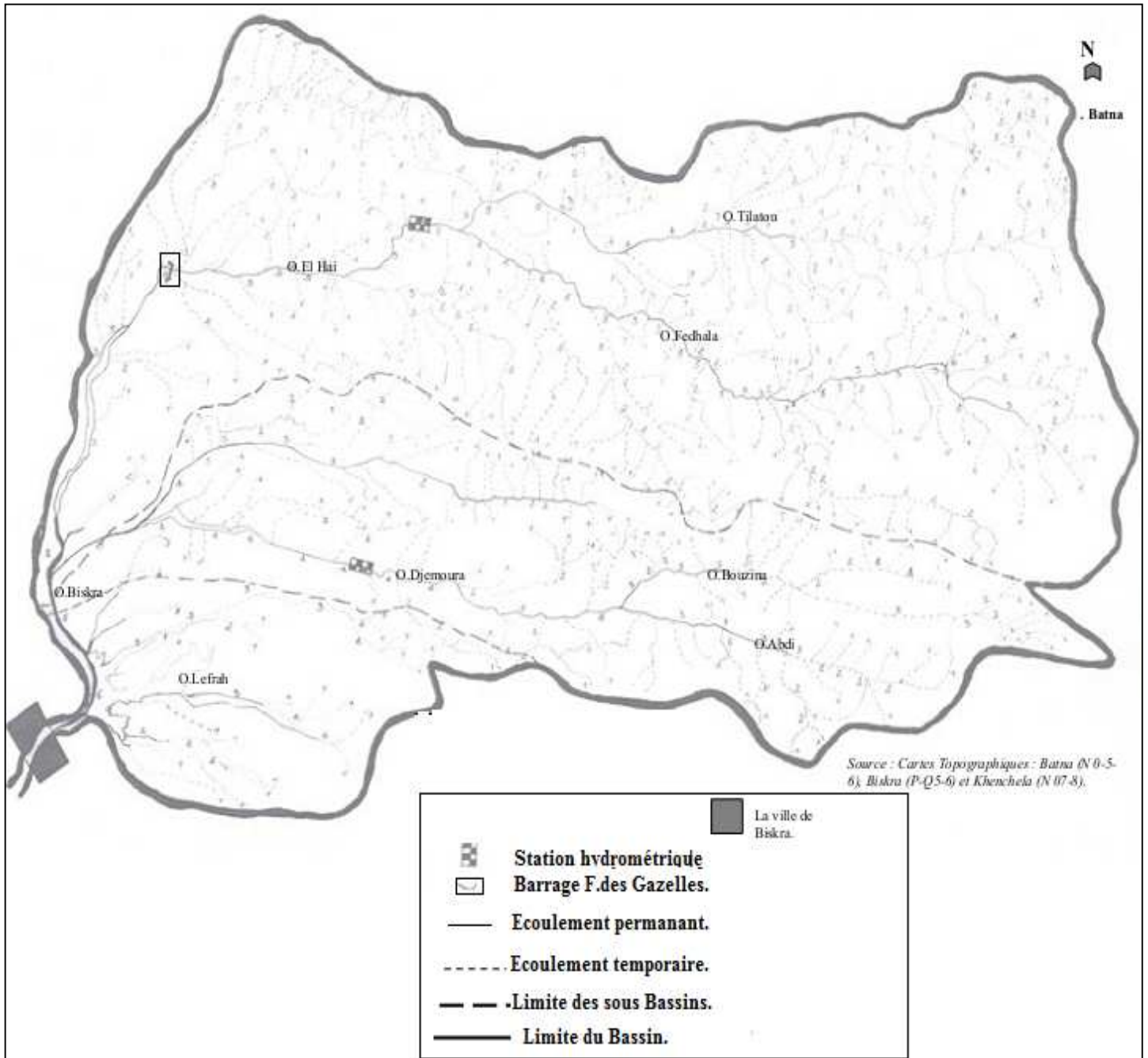


Figure n° 20 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Biskra (ANRH Biskra).

Bassin versant d'oued Biskra

Tableau n°08 : Classification, longueur et nombre des cours d'eau du bassin versant de l'oued Biskra et ses bassins élémentaires.

X	S-BV EL-Hai		S-BV Djemoura		S-BV Biskra Comp		BV Biskra	
	N_x	L_x (Km)	N_x	L_x (Km)	N_x	L_x (Km)	N_x	L_x (Km)
1	216	515,9	107	433,5	27	70,6	350	1020
2	73	203	51	106,2	17	46,8	141	365
3	41	81,2	19	54	07	38	67	173,2
4	14	40,5	16	42,5	01	03	31	87
5	13	51,6	01	11	-	-	14	62,6
6	-	-	-	-	01	13	01	13
Total	357	892,2	194	647,2	53	147,4	604	1710,8

C. Type et densité de drainage

La densité de drainage est étroitement liée à deux facteurs principaux : la lithologie et l'abondance des précipitations, elle nous permet d'apprécier le réseau hydrographique dans le bassin versant.

Elle est exprimée par le rapport de la longueur totale des cours d'eau contenues dans un bassin versant (L) à la surface de ce dernier (S) ⁽¹⁾. La mesure de ce paramètre suppose la reproduction de tous les affluents du bassin quel que soit leur ordre.

Nous avons effectué des calculs de la densité de drainage totale, permanente et temporaire sur le bassin de l'oued Biskra et ses sous bassins élémentaires (tableau n°08)

(1) : la densité de drainage : $Dd = L/A$ en (km/km²)

L : Longueur totale des cours d'eau en km.

A : Surface du bassin versant en km².

Bassin versant d'oued Biskra

Tableau n°09 : Densité de drainage pour le bassin de l'oued Biskra et ces bassins élémentaires.

Bassin	S (Km²)	Lp(Km)	Lt(Km)	Dd (km/km²)	Dd_p(km/km²)	Dd_t (km/km²)
El-Hai	1788	146	746.2	0.5	0.082	0.42
Djemoura	906	88.4	558.8	0.71	0.098	0.62
Biskra comp	93	32	139.4	1.84	0.34	1.5
Biskra	2787	266.4	1444.4	0.61	0.096	0.52

Lp : Longueur des cours d'eau à écoulement permanent.

Dd_p : Densité de drainage permanente.

Lt : Longueur des cours d'eau à écoulement temporaire.

Dd_t : Densité de drainage temporaire.

Dp : Densité de drainage totale.

La densité de drainage qui exprime la dissection générale du relief est variable à l'échelle des sous bassins (entre 0,082 et 1,84 km/km²) où la superficie et la répartition des chevelus hydrographiques jouent un rôle déterminant dans la compensation de la densité de drainage.

Cette dernière est généralement élevée (0,61 km/km²) pour l'ensemble du bassin de l'oued Biskra ce qui est la caractéristique des régions semi-arides ; elle résulte à l'échelle zonale de l'intensité des précipitations et leur répartition saisonnière, de l'état du couvert végétal et par l'absence des sols.

La valeur très faible de la densité de drainage permanente (0,082 km/km²), pour l'ensemble du bassin traduit bien le caractère temporaire de tous les affluents, seuls les oueds principaux (O. Biskra O. El Hai et O. Djemoura) sont pérennes, mais ils peuvent tarir pendant la période estivale.

Le sous bassin de l'oued EL Hai, dans sa partie Sud-Est présente un réseau hydrographique très dense, avec un nombre élevé des confluences associées souvent à des fortes pentes ; qui favorisent des crues rapides et puissantes. Alors que l'oued Laftah et ses

Bassin versant d'oued Biskra

affluents forment un réseau de drainage moins dense (0,34 km/km²) quant à la densité de drainage temporaire est de 1,50 km/km² ; ce qui explique la dominance des petits cours d'eau à écoulement temporaire souvent à sec, mais ils menacent en période de crues la ville de Biskra et ses périphériques.

Le sous bassin de l'oued Djemoura présente un réseau hydrographique important, avec une densité de drainage temporaire de 0,62 km/km² et une densité de drainage permanente très faible (0,098 km/km²) surtout dans la partie Nord-Ouest, alors que dans le reste du sous bassin à pente douce le réseau de drainage est moins dense, avec une répartition homogène sur toute la surface.

En conclusion, le bassin versant de l'oued Biskra, avec sa faible densité de drainage permanente peut être expliqué par une perméabilité importante due à la nature lithologique, qui l'emporte sur l'écoulement.

La densité de drainage temporaire est élevée par rapport à la densité de drainage permanente cette situation s'explique par un terrain accidenté et la fréquence élevée des confluences, cette forte densité jointe le plus souvent à la forte pente, favorisant les crues rapides et puissantes avec un transport solide très élevé.

D. Temps de concentration

C'est le temps mis par une particule d'eau tombée sur le point le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire. Bien que, ce paramètre intervient pour l'étude des crues, le temps de concentration déterminé par la formule de Giandotti ⁽¹⁾ est largement utilisé, comme paramètre hydrologique de grande importance qui sert aussi à la comparaison des bassins différents. Les deux sous bassins de l'oued El Hai et Djemoura situés au Nord où l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief présentent des temps de concentration longs : 15 heures pour El Hai et 11,47 heures pour Djemoura, le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire présente un temps de concentration court par rapport à l'ensemble du bassin ; 9,62 heures en raison de sa faible extension.

$Tc = \frac{4(S)^{0,5} + 1,5 Lp}{0,8(H)^{0,5}}$ Tc : Temps de concentration en heure. Lp : Longueur du talweg principal (km).
S : Superficie du bassin (km²). H : Hmoy-Hmin en (m). Hmoy : Altitude moyenne du bassin en (m).
Hmin : Altitude minimale du bassin (m).

Bassin versant d'oued Biskra

D'une manière générale, le bassin versant de l'oued Biskra présente un temps de concentration plus long : 17 heures ; en raison de la prédominance de la plaine en allant vers le Sud, avec l'augmentation de la surface du bassin de l'oued Biskra et sa forme allongée.

E. Profils en long

Avant de parler du profil en long, il semble aisé de définir le talweg principal. Cette notion semble être facile à voir sur terrain, mais sur carte on confond toujours la notion du talweg principal, avec le talweg le plus long, le plus large,...etc.

Un talweg est dit principal, lorsqu'il s'agit d'un talweg collecteur de toutes les eaux de ruissellement sur le bassin versant. Deux affluents principaux (l'oued El Hai et l'oued Djemoura) qui forment l'oued principal (l'oued Biskra) diffèrent considérablement par leurs longueurs et leurs pentes.

Le profil en long relatif au cours d'eau principal du l'oued Biskra et ses principaux affluents permettent d'apporter des éléments complémentaires à la densité de drainage, au vu du rôle déterminant des pentes des talwegs sur le ruissellement superficiel et surtout sur les vitesses d'écoulement lors des crues (figure n°21-a).

L'oued El Hai prend naissance dans la limite montagneuse Nord du sous bassin versant possède une longueur supérieure à 100 km et un profil longitudinal nettement concavé, avec une pente forte de 4 à 20% dans la partie amont et de 0,3 à 1,1% dans la partie aval (figure n°21-b).

L'oued Djemoura tire son origine de la limite montagneuse et des sources souterraines situées dans la partie Nord-Est du sous bassin, sa longueur est plus de 80 km, la pente est forte dans la partie amont 5 à 10% et 0,6 à 1,6 dans la partie aval (figure n°21-b).

La forme du profil longitudinal est faiblement concavé, le rôle morphogénique est peu marqué les deux affluents principaux n'ont pas équilibré leur profil longitudinal ; ils se trouvent au stade de jeunesse de leur développement, possèdent une grande potentialité d'érosion latérale de fond et un grand risque de crues torrentielles le long de ce profil.

Les affluents secondaires de l'oued Bouzina et l'oued Abdi prennent naissance à des altitudes relativement modestes (166 à 2000 m), ils ont une longueur de (35 à 45 km) et possèdent un profil concavé : les pentes fortes (5 à 20%) se trouvent seulement dans les premiers kilomètres (4 à 6 km) ensuite la pente diminue rapidement jusqu'à (1,8-3%) dans la partie aval. Ces affluents ont gardés leur activité érosive, surtout la partie amont, tandis que la

Bassin versant d'oued Biskra

partie aval ; se caractérise par le transport d'accumulation des débris charriés et suspendus, on peut supposer que ces oueds ont atteint le stade de la maturité de leur activité morphologique.

Un autre affluent (Bouguatou) 45 km de longueur se prene naissance à une altitude de 1400m il présente un profil longitudinal faiblement concavé, exprimant sa jeunesse géologique et son potentiel morphologique élevé 2 à 8,5% à l'amont et 0,71 à 4,6% à l'aval. Ces pentes sont à l'origine de crues rapides ; qui ont une influence directe sur le renforcement des crues de l'oued Biskra.

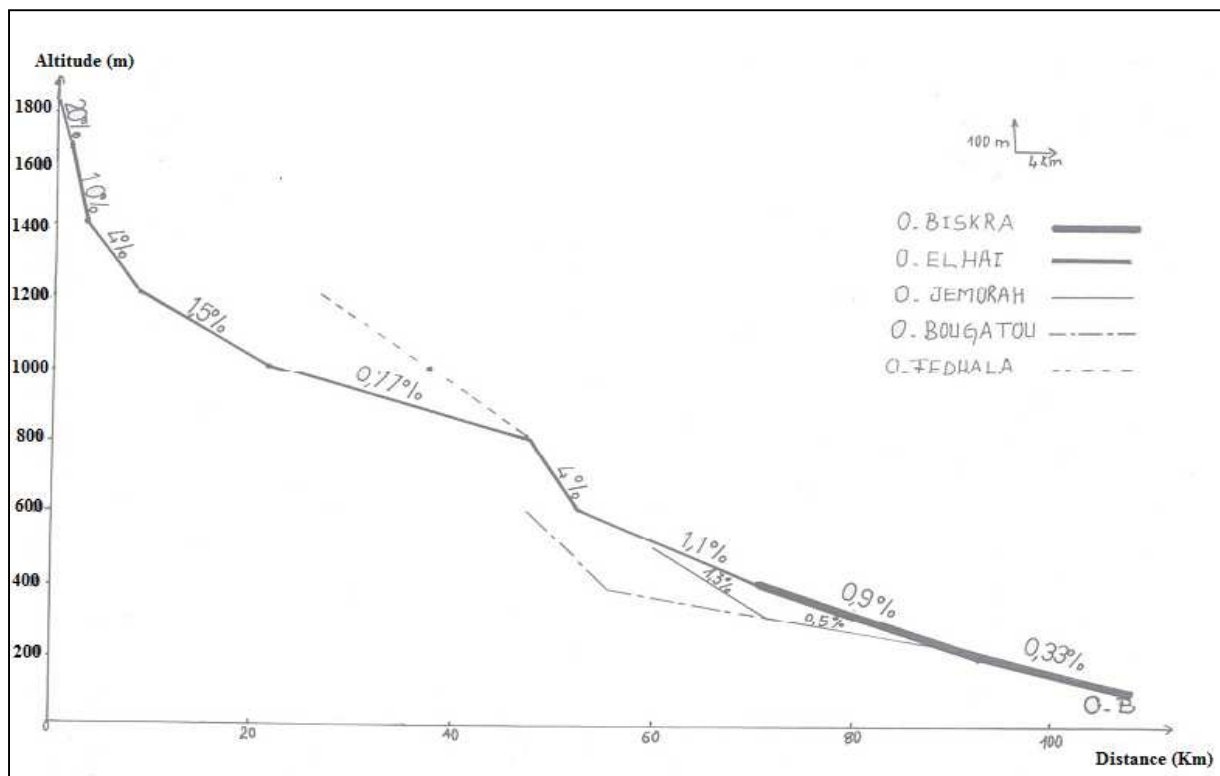


Figure n°21-a : Profils en long de l'oued Biskra et de ses principaux affluents (ANRH Biskra, 2008).

Bassin versant d'oued Biskra

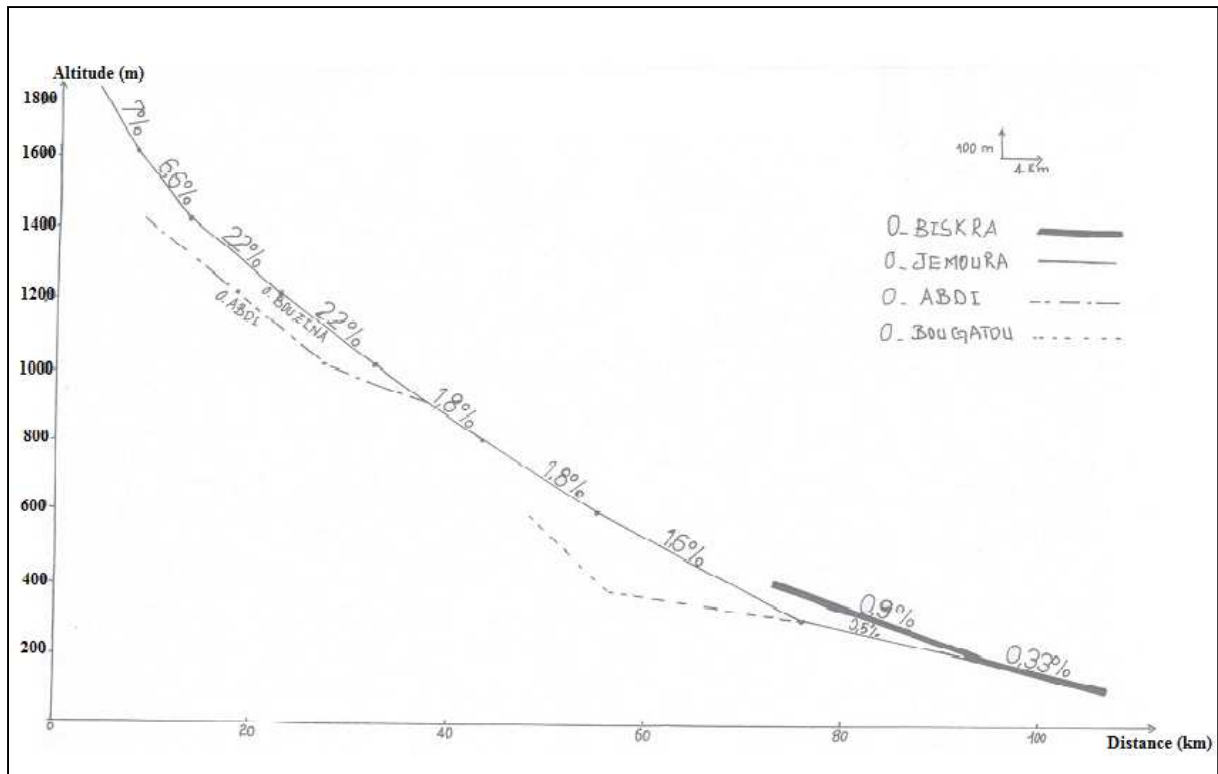


Figure n°21-b : Profils en long de l'oued Djemoura et ses affluents (ANRH Biskra, 2008).

L'influence de l'oued Fedhala (100km) diffère des autres oueds par son profil longitudinal nettement concavé et bien équilibré (la pente est égale à 5-10% à l'amont, 1-2% dans la partie moyenne et 0,8-1% à l'aval) exprimant le stade de maturité de son développement géologique.

L'activité morphologique de chaque partie du cours d'eau est différente ; l'amont se caractérise par la prédominance de l'érosion, la partie moyenne par le transport des débris, l'aval par la prédominance des inondations et l'accumulation des dépôts. On a un autre affluent ; celui de l'oued Tilatou, qui prend son origine de Djebel Bellezma au Nord-Ouest du sous bassin versant, avec une longueur de 50 km et un profil moyennement concavé avec une forte pente de 4-20% dans la partie amont et 0,7-1,8% dans la partie aval.

En générale, le talweg principal de l'oued Biskra avec une longueur totale de 108km peut être divisé en trois tronçons bien distincts : l'amont 50km de longueur, avec une pente relativement élevée dans le sens d'une accentuation de la vitesse de propagation des crues, le tronçon moyen (environ 30km) avec une faible pente et l'aval (28km) avec une pente encore plus faible ; d'où un encaissement du lit et absence du champ d'inondation.

D'autres ressauts le long de l'oued Biskra, certes beaucoup moins marqués mais également liés à des seuils rocheux, n'apparaissent pas nettement sur le profil en long.

Bassin versant d'oued Biskra

Les accentuations de pentes correspondantes peuvent également engendrer surtout à l'échelle de petits bassins un accroissement rapide des vitesses d'écoulement.

En somme, le bassin de l'oued Djemoura a un degré moindre, le sous bassin de l'oued El Hai présente les conditions les plus favorables au déclenchement des crues rapides ; concentration relativement poussée du chevelu hydrographique, pente des talwegs les plus fortes et bien sur le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire avec sa forte densité de drainage permanente (0,34 km/km²).

Tableau n°10 : Répartition des affluents principaux du sous bassin de l'oued El Hai d'après la pente de leur lit (ANRH Biskra, 2008)

Tranche d'altitude	Valeur de pente %	Distance parti (Km)	Distance cum (km)
150-200	0.33	15	15
200-400	0.9	22	37
400-600	1.1	18	55
600-800	4	9	60
800-1000	0.77	26	86
1000-1200	1.5	13	99
1200-1400	4	6	105
1400-1600	20	1	106
1600-1800	10	2.2	108

Bassin versant d'oued Biskra

Tableau n°11 : Répartition des affluents principaux du sous bassin de l'oued Djemoura d'après la pente de leur lit (ANRH Biskra, 2008).

Tranche d'altitude	Valeur de pente %	Distance parti (Km)	Distance cum (km)
150-200	0.6	8	8
200-400	1.33	15	23
400-600	1.6	12	35
600-800	1.8	11	46
800-1000	1.8	11	57
1000-1200	2.2	9	66
1200-1400	2.2	9	75
1400-1600	6.6	3	78
1600-1800	5	4	82
1800-2000	10	2	84

Tableau n°12 : Tableau récapitulatif des résultats (ANRH Biskra, 2008).

Paramètre	Unités	Djemoura	El Hai	Biskra.comp	Biskra
Longueur du Thalweg principal	Km	93	107	57	108
Superficie du B-V	Km ²	906	1788	93	2787
Périmètre du B-V	Km	184	229	99	250
Altitude max	m	2321	2091	1270	2321
Altitude moy	m	200	200	150	150
Altitude min	m	998	956	410	950
Indice de compacité de Gravillius		1.71	1.52	2,87	1,33
Longueur rectangle équivalent	Km	79.92	95,17	47,1	95,22
Indice de pente globale	%	16.78	14.71	16,98	14,49
Indice de pente de roche		0.146	0.315	1,3	0,14
Dénivelée spécifique	m	505,07	622	163,79	764,95
Densité de drainage globale	Km ⁻¹	0,71	0,5	1,84	0,61
Densité de drainage permanente	Km ⁻¹	0,098	0,082	0,34	0,098
Densité de drainage temporaire	Km ⁻¹	0,62	0,42	1,5	0,52
Temps de concentration	heurs	11,47	15	9,62	17

II-5 CONCLUSION

Le calcul numérique des caractéristiques topographiques et morphologiques pour un bassin versant n'ont pas de sens précis, elles servent comme moyen de comparaison entre les sous bassins de même type.

Le calcul est nécessaire pour l'exploitation des causes de variation du régime hydrologique alors que l'approche cartographique reflète avec fidélité la réalité du terrain mais la qualité de l'information reste toujours relative.

Nous pouvons conclure qu'il y a une dissymétrie dans la répartition altimétrique et hydrographique, qui entraîne des conséquences sur la stabilité du régime d'écoulement explique les nuances spatiales des potentialités des eaux de surface, et pose en clair le problème d'inondation. On distingue : Les secteurs montagneux qui présentent des caractéristiques morphométriques favorables à la genèse et à la propagation des crues, les secteurs de piémonts ont un degré moindre alors que les secteurs de plaines sont le siège d'une accumulation des dépôts détritiques ; où les conditions d'écoulement sont défavorables au ruissellement superficiel et également freinent la propagation des crue

CHAPITRE III
CARECTERISTIQUES GEOLOGIQUES,
LITHOLOGIQUES, VEGETATIFS DU
BASSIN VERSANT

III. Caractéristiques géologiques, lithologiques du Bassin versant

La géologie des terrains influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine mais également sur le ruissellement des surfaces. Dans ce dernier cas, l'étude géologique d'un bassin versant dans le cadre d'un projet hydrologique a surtout pour objet de déterminer la perméabilité des formations lithologiques. Celle-ci intervient sur la vitesse de montée des crues, sur leur volume, ainsi que sur l'aggravation du phénomène d'inondation.

La définition du contexte lithologique donne aussi des indications sur l'érodabilité du terrain indication indispensable à l'évaluation des transports solides et l'envasement des ouvrages hydrauliques.

Les caractères géologiques principaux à considérer sont la lithologie et la structure tectonique :

III-1 Structure du bassin

La diversité des milieux topographiques du bassin de l'oued Biskra relevée dans le début de cette partie, trouve son origine dans la constitution géologique et structurale de cette région. Les différents mouvements tectoniques qu'a connus cette dernière ont engendré le soulèvement des reliefs et l'affaissement des dépressions.

Le bassin de l'oued Biskra a été le siège d'un tectonique assez complexe, qui est relativement souple, ayant aboutie à la formation des anticlinaux et synclinaux de direction générale NE-SO, ces structures font de la région une zone très tectonisée (R. Laffitte 1939).

III-2 Stratigraphie et aperçu lithologique global

Les terrains les plus anciens qui affleurent dans cette région sont attribués au crétacé le plus récent et au quaternaire le plus ancien (R. Laffitte 1939).

III-2-1 Crétacé

Il constitue les principaux affleurements des monts de Bellezma et Djebel Metlili, la série de crétacé inférieur est caractérisée par des roches gréseuses dures et des marnes

Caractéristiques géologiques, lithologiques, végétatifs du bassin versant

tendres contenant par endroit des cristaux de gypse ; elle affleure sur les sommets des monts de Bellezma, au Nord-Est de Thniet El Abed, au Sud-Ouest de Menaâ, cette série est bien liée et attribuée au jurassique.

Alors que le crétacé supérieur qui s'étend du cénomanien au turonien est constitué essentiellement de marno-calcaire, il apparaît approximer de dechra Tilatou (extrémité Nord du Djebel Metlili) et dans la vallée de l'oued Fedhala.

Le sénonien complet s'observe à El Kantara, où il fait suite au cénomanien-turonien étudiés précédemment, mais d'une épaisseur de 2200 à 2300m, dont 350m de mæstrichtien calcaire au lieu de 2900m.

En s'éloignant vers l'Ouest, le sénonien s'amincit fortement au Djebel Bourhzel, il n'a plus que 300m de puissance d'Ouest en Est, d'une extrémité à l'autre du Djebel Azreg, le sénonien passe de 700 à 1400m d'épaisseur.

III-2-2 Tertiaire

Les terrains attribués au miocène non différencié affleurent largement dans le secteur d'étude, il s'agit d'une formation marneuse très puissante, se caractérise par deux assises d'épaisseurs très différentes et largement discordantes, l'une par rapport à l'autre :

1. La première appartient au miocène inférieur, elle occupe les reliefs de Maafa, Djebel Mahmal et Kef Ed Darsa (au Sud d'El Kantara).
2. La deuxième partie représente le miocène moyen et supérieur, sa puissance d'environ 1800m dans le bassin du Djemoura, les marnes deviennent très gypseuses annonçant ainsi les faciès évaporitiques du miocène terminal de Branis au Nord d'El Outaya au voisinage de Djebel El Felleg.
3. L'éocène inférieur, d'une épaisseur varie entre 150 à 200m, il est représenté par des marno-calcaire, marnes, calcaires blancs riches en silices et souvent fissurés, il affleure à l'Est -Sud-Est de Djebel El Melah, où il est représenté par quelques dizaines de mètres de marnes jaunes, verdaître légèrement gypseuses et des calcaires argileux. Cette formation affleure également à l'Est d'El Outaya les reliefs de Bouzina et le Nord d'El Kantara.

Caractéristiques géologiques, lithologiques, végétatifs du bassin versant

4. L'Éocène moyen est surmonté par une assise rouge grés-marneuse à la base conglomératique au sommet, dont l'épaisseur atteint au maximum 300m, les séries détritiques rouges d'El Kantara pourraient alors représenter l'Éocène moyen et pourraient être la base de l'Éocène supérieur. Quant au Pliocène, il se présente sous forme de vaste affleurement de grés et d'argiles-sableux, on le trouve le long de la rive de Biskra et Ras Chich.
5. La pliocène repose sur le miocène marneux, avec une légère discordance constituée par des grés, sables, argiles, marnes brunes et gypses, avec quelques poudingues, l'épaisseur de ces formations peut atteindre les 400m. Dans le bassin de l'oued El Hai, il est caractérisé par une formation gréseuse épaisse de plusieurs dizaines de mètres, elle débute par quelques bancs de grés relativement tendres bruns rosâtres à petits galets, qui alternent avec des marnes gréseuses rosâtres.

III-2-3 Quaternaire

Les terrains quaternaires sont très répandus dans cette partie, ces formations sont caractérisées par des conglomérats épais, des graviers-sableux et éventuellement des limons sableux contenant des galets de gravier, des alluvions sableuses et caillouteuses des lits des oueds (elle atteint 25m en bordure de l'oued Biskra) et Djebel Melah.

Le quaternaire moyen est représenté par des alluvions sableuses et argileuses dans toutes les grandes plaines, vers l'oued Biskra. La terrasse du quaternaire ancien est bien développée elle est formée exclusivement par des poudingues aux alentours des montagnes.

III-3 Caractéristiques lithologiques et la perméabilité des roches des sous bassins versants

Les caractéristiques hydrologiques des sous bassins sont dans une large mesure influencées par l'imperméabilité des roches et les sols qui ont dérivé d'absorber l'eau et de la retenir de manière temporaire.

Les descriptions lithologiques qu'on abordera ci-après, sont inspirées en grande partie des notices des cartes géologiques à 1/50.000 de Batna, El Kantara et Biskra.

Dans le sous bassin de l'oued Djemoura : la distribution spatiale du matériel rocheux dans la vallée de l'oued Djemoura, n'est pas très différente de ce qu'elle est de l'ensemble

Caractéristiques géologiques, lithologiques, végétatifs du bassin versant

de la région ; les versants de la vallée à partir de Guerza jusqu'aux environs de Menaâ sont constitués essentiellement de marnes vertes ou grises, avec des intercalations de bancs de calcaires, avec des épaisseurs qui varient de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. En amont de Menaâ la lithologie devient assez variée on trouve à côtés des faciès marneux et calcaireux les faciès argilo-calcaires, en fait toute la localité de Menaâ jusqu'aux environs d'Amentane est constituée des faciès diapiriques très érodables.

On trouve par ailleurs de vastes affleurements de dépôts miocène constitués surtout de conglomérates et des argiles rouges, qui occupent toute la rive droite de l'oued Abdi à partir de Chir ainsi que le fond de la vallée de Bouzina en amont de Menaâ, toutes les zones cultivées en terrasses au fond des oueds sont occupées par un matériel quaternaire constitué d'alluvions, qui ont évalué pédagogiquement en sols cultivables.

Dans le sous bassin de l'oued El Hai : on trouve les formations calcaires du cénomanien supérieur et des formations marno-calcaires du turonien ; ces formations apparaissent approximer de dechra Tilatou et la vallée de l'oued Fedhala, des marno-calcaires gréseux du miocène affleurent au Sud d'El Outaya, Ain Touta et le Nord des tamarins, ainsi que les pieds des montagnes.

Les autres formations ont une extension très réduites : les masses de marnes associées aux conglomérates et calcaires sont représentées au Nord d'El Kantara.

En général, dans le bassin de l'oued Biskra on constat trois types de roches ou trois grands ensembles (voir Figure n°22).

1. **formations imperméables**

Constituées des marnes, marno-calcaires et sols argileux de telles assises rencontrent dans la formation marno-calcaire turonienne et la formation marneuse miocène, ainsi que sous forme de divers recouvrements quaternaire (sols forestiers). Sur les zones de cette nature, l'infiltration doit être inférieure à 10% des précipitations, s'élève à 23% et 12% pour les sols à texture moyenne et lourde or ces derniers, plus hétérogènes que les terrains considérés et plus perméables qu'eux.

Ainsi ces assises sont pratiquement imperméables, cependant de par leur nature argileuse, elles peuvent emmagasiner par imbibition une importante quantité d'eau. Ces

Caractéristiques géologiques, lithologiques, végétatifs du bassin versant

formations occupent 38% de la surface totale soit 1059 km², s'étend sur la plaine d'El Outaya, El Kantara et Djebel Mahmel.

Quant aux formations argileuses occupent 3% de la surface totale du bassin soit 83 km² et affleurent principalement en amont de Menaâ, les argiles rouges occupent toute la rive droite de l'oued Abdi et Biskra.

2. Formations à perméabilité moyenne

Ces formations sont formées de calcaires du cénomanien supérieur et les formations dolomitiques, ainsi que les marnes du miocène. Elles appartiennent approximativement de Dechra Tilatou (extrémité Nord du Djebel Metlili), la vallée de l'oued Fedhala, sa puissance de 200 à 400m au Aurès, Maafa et Kef Ed Dersa.

Il s'agit des calcaires biodétritiques et sublithographiques du crétacé, ou des calcaires d'algues du miocène, ou encore de la dolomie grenue, ces roches sont très compactes ; la formation dolomitique retenue cependant de rares poches de minéralisation ferrugineuse plus au moins cavernueuse, seules susceptibles d'accroître localement sa perméabilité.

Ainsi du point de vue purement lithologique, les assises calcaires et dolomitiques sont donc très peu perméables, cette zone occupe 864 km² de la surface du bassin soit 31%.

3. Formations à forte perméabilité

Ces niveaux se rencontrent dans la formation marno-calcaire du turonien, dans la formation détritique inférieure et l'assise du miocène, ainsi que dans le quaternaire. Par ordre de perméabilité croissante, ces terrains se classent de la manière suivante :

- Les marno-calcaires indurés et souvent biodétritiques du turonien et les marno-calcaires gréseux de l'assise de miocène.

Ces terrains affleurent au Sud d'El Outaya, Ain Touta et le Nord des tamarins, ainsi que les pieds des montagnes ; leurs puissances peuvent atteindre 400m.

- Les conglomérats et les brèches du miocène marin, dont les éléments généralement très grossiers sont soudés entre eux par un ciment calcaire biodétritique fin, laissant subsister autour d'eux des rives importantes ; ces formations occupent le Nord d'El Kantara, le Nord de Djebel El Mahmel et le Nord de Djemoura.

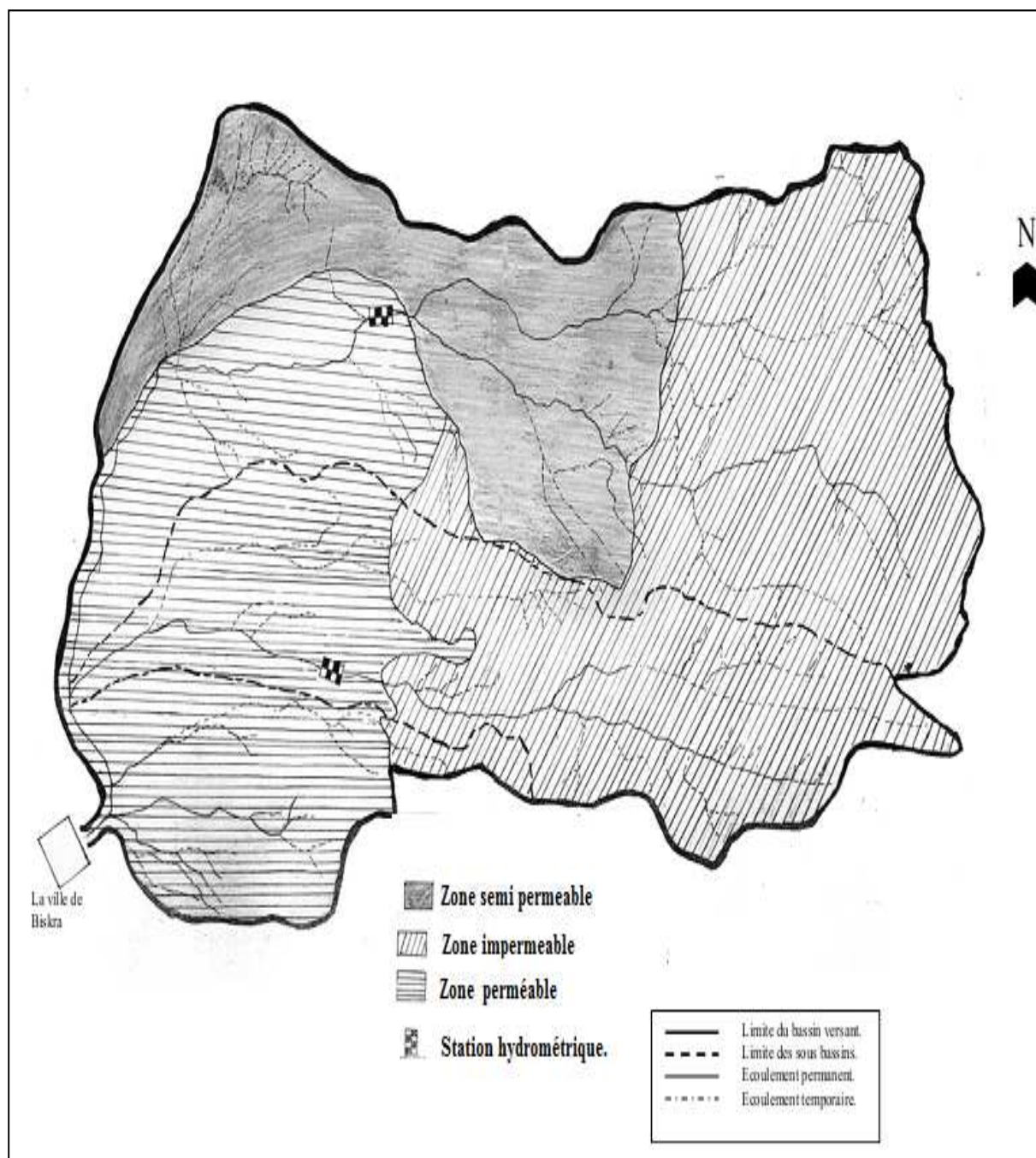


Figure n°22 : Carte de perméabilité du bassin versant de l'oued Biskra (ANRH Biskra).

IV. Couvert végétal

D'une manière générale la couverture végétale conditionne et influence la rapidité du ruissellement superficiel, le taux d'évaporation et la capacité de rétention du bassin versant. L'intérêt de cette couverture végétale est double : elle permet d'une part un amortissement notable des crues, leur étalement dans le temps, d'autre part elle augmente l'infiltration et limite le transport solide.

Nous ne prétendons pas à faire une étude de la végétation, ce n'est pas le but de notre recherche, mais nous essayons de donner quelques éléments descriptifs sur les principaux types de la couverture végétale et surtout sur l'état de dégradation de cette couverture.

Mais avant de parler de tout ça, il sera utile de parler du rôle de la végétation sur l'écoulement.

IV-1 Rôle du couvert végétal

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluvial, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration ; cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense.

Enfin, elle donne de l'ombre, ce qui conserve l'humidité et l'activité biologique nécessaire à l'équilibre du sol, l'infiltration en profondeur est facilitée par les fissurations préparées au sein du sol les eaux qui ruissellent rencontrent des obstacles, qui les obligent à ralentir leurs vitesses.

IV-2 Méthodes d'approches et classification de la végétation

Plusieurs classifications plus ou moins complexes ont été proposées, mais la classification des types de couverture par ordre de densité de J, Tricart est plus apte à montrer l'impact du couvert végétal sur les conditions d'écoulement à notre contexte.

Caractéristiques géologiques, lithologiques, végétatifs du bassin versant

Nous reprendrons les trois grandes catégories de type de couverture végétale distinguées :

- Les surfaces bien protégées : Ce sont les surfaces qui bénéficient de couverture végétale plus ou moins dense, permanente et plus spécialement les forêts, ces dernières protègent contre l'érosion et la concentration rapide des eaux.

- Les surfaces incomplètement protégées : Ce sont les surfaces partiellement nues en permanence et les surfaces saisonnièrement protégées, dont les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives et des crues inondantes.

Il s'agit généralement des terres de culture destinées soit pour la céréaliculture, qui occupe densément le sol pendant une période de l'année et de l'arboriculture qui laisse le sol nu en permanence entre les arbres. Ainsi la pratique de la jachère nue est dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection.

- Les surfaces mal protégées ou nues : Elles englobent les terrains dénudés, les terrains de parcours taillis et broussailles à faible densité de recouvrement, où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisées, surtout dans les terrains dénudés imperméables et sur les terrains de parcours fortement pâturés.

A. Approche numérique

L'analyse de la couverture végétale a été établie sur la base des données des statistiques agricoles relatives aux communes, ou parties de communes inclus dans le bassin obtenues auprès de la direction des services agricoles (recensement 2008), ces données sont réparties sur 10 types d'occupation du sol que l'on a regroupé selon les grandes catégories de végétation indiquées ci-dessus (tableau n°13).

Type de végétation	Surface (ha)	Surface (%)
Forêt et maquis	75443,63	27,07
Céréales maraîchages et arboricultures	16393	5.882
Prairies naturelles	273.13	0.098
Steppe d'alfas	186606	66.95

Tableau n°13 : Répartition des types de végétation (DSA. Biskra, 2008)

Caractéristiques géologiques, lithologiques, végétatifs du bassin versant

D'après ces statistiques, la caractéristique essentielle est la prédominance des surfaces dénudées (nues), qui représentent la part majoritaire dans le bassin, dont la proportion est d'environ 67% de la surface totale du bassin. Ainsi que les terrains favorisant le ruissellement des eaux de surface durant toute l'année, les terrains boisés occupent une surface importante (27,07%), quant aux terrains occupés par les céréales et les cultures maraîchères occupent seulement une proportion de 5,882% \approx 6% du bassin, on peut dire que c'est une extension très faible. Tandis que les prairies naturelles occupent une surface

Surfaces bien protégées		Surfaces incomplètement protégées	Surfaces mal protégées ou nues
Forêts et Maquis	Prairies naturelles	Terres labourées (céréales, cultures et maraîchères,...)	Terrains dénudés, steppes d'alfas et broussailles.
27,07	0,098	5,882	66,95

négligeable par rapport à la surface totale du bassin de l'oued Biskra (0,098 \approx 0,1).

Tableau n°14 : Répartition en % des types d'occupation du sol (DSA. Biskra 2001).

A. Approche cartographique

Le travail cartographique est basé directement sur le plan de l'environnement forêts (plan établi par la conservation des forêts de la wilaya de Batna et Biskra en 2001), ainsi que le plan de mobilisation agricole et forestière au 1/50.000.(voir la figure n°23).

Ces plans nous permettent de distinguer dans le secteur correspondant, la répartition des différents types de végétations indiqués précédemment. Le paysage végétal du bassin de l'oued Biskra a été largement dégradé et défriché en montagne, le taux de boisement est estimé à 27%. L'effet dévastateur dû aux conséquences de la guerre d'indépendance est à signaler ; les belles forêts sont localisées sur le versant Nord-Est entre 1400 et 1600 mètres également les montagnes des Aurès, les monts de Bellezma, la région de Manaa et la partie Ouest de Bouzina. Ces forêts sont composées de cèdre, chêne vert et pin d'alpe, ces dernières (chêne vert et pin d'alpe) se trouvent dans un état de dégradation avancé, elles occupent le versant Sud de Djebel El Mahmel, Asker, El Zeg et Djebel Matlili.

Caractéristiques géologiques, lithologiques, végétatifs du bassin versant

Par ailleurs, le couvert forestier assure une protection optimale contre l'érosion hydrique et les inondations.

Les prairies qui sont classées avec la couverture forestière, du fait de leur rôle protecteur du sol en permanence, suivent les vallées alluviales de Bouzina-Menaa.

Les surfaces occupées par des plantes pendant seulement une période de l'année (couverture végétale saisonnière) et le jardinage des oasis assurent une protection faible du sol contre la remontée rapide des crues, la céréaliculture occupe la partie Est de Thniet El Abed, Bouzina, Beni Fedhala et Maafa.

Les terrains dénudés occupent les piedmonts, les vallons et les massifs montagneux, où on trouve aussi des formations rocheuses, la disparition des forêts a laissé place aux terrains nus relativement importants, qui n'assurent aucune protection du sol bien au contraire ; c'est un terrain favorable aux inondations.

En conclusion, La majorité des terres du bassin de l'oued Biskra est considérées comme mal protégées ou nues, car ces terres sont couvertes de steppes et de broussailles. Ces formations végétatives se trouvent dans un état de dégradation très avancé, qui se traduit par des taux de recouvrement très faibles, on trouve ce type de végétation surtout dans la plaine d'El Outaya, où la végétation devient rare, laisse place à des vastes nappes sableuses qui n'offrent plus d'obstacle ou frein à la remontée des eaux et les crues désastreuses se produisent, se sont des terrains imperméables favorables aux transports solides et à la coulée des boues.

Les surfaces bien protégées sont celles représentées par une couverture forestière (végétation dense), elles constituent une excellente protection pour le sol, qui se trouve fixé par les racines des arbres et des végétaux. C'est un obstacle naturel à l'écoulement, elles freinent le ruissellement et favorisent l'infiltration vu leur très fortes perméabilités ; ce qui protège le sol contre les phénomènes naturels : l'érosion, les inondations, l'envasement des barrages et des retenues,...etc.

Malheureusement, cette barrière naturelle ne représente qu'à 27% du bassin de l'oued Biskra (DSA, 2008) et se trouve généralement dans un état très dégradé, elle occupe les reliefs de Djebel Mahmel, Metlili et Asker.

Caractéristiques géologiques, lithologiques, végétatifs du bassin versant

En fin, les surfaces incomplètement et moyennement protégées sont occupées par les céréales et l'arboriculture, elles sont semi-perméables.

Les pratiques agricoles intensives diminuent la capacité du terrain à retenir l'eau et augmentent le ruissellement plus ou moins violent et exercent une érosion plus ou moins importante.

Au total, les formations végétales assurent une protection médiocre au sol, les plus présentées dans le bassin de l'oued Biskra, dont le caractère dégradé ou discontinué est les steppes d'alfas, qui n'offrent aucune protection au sol. Les formations végétales qui protègent le sol seulement une période de l'année, on les trouve plus pendant les mois des crues (septembre, octobre), donc si les eaux surviennent sous formes des averses brusques, elles ne peuvent être absorbées, ces averses se transforment en une inondation catastrophique.

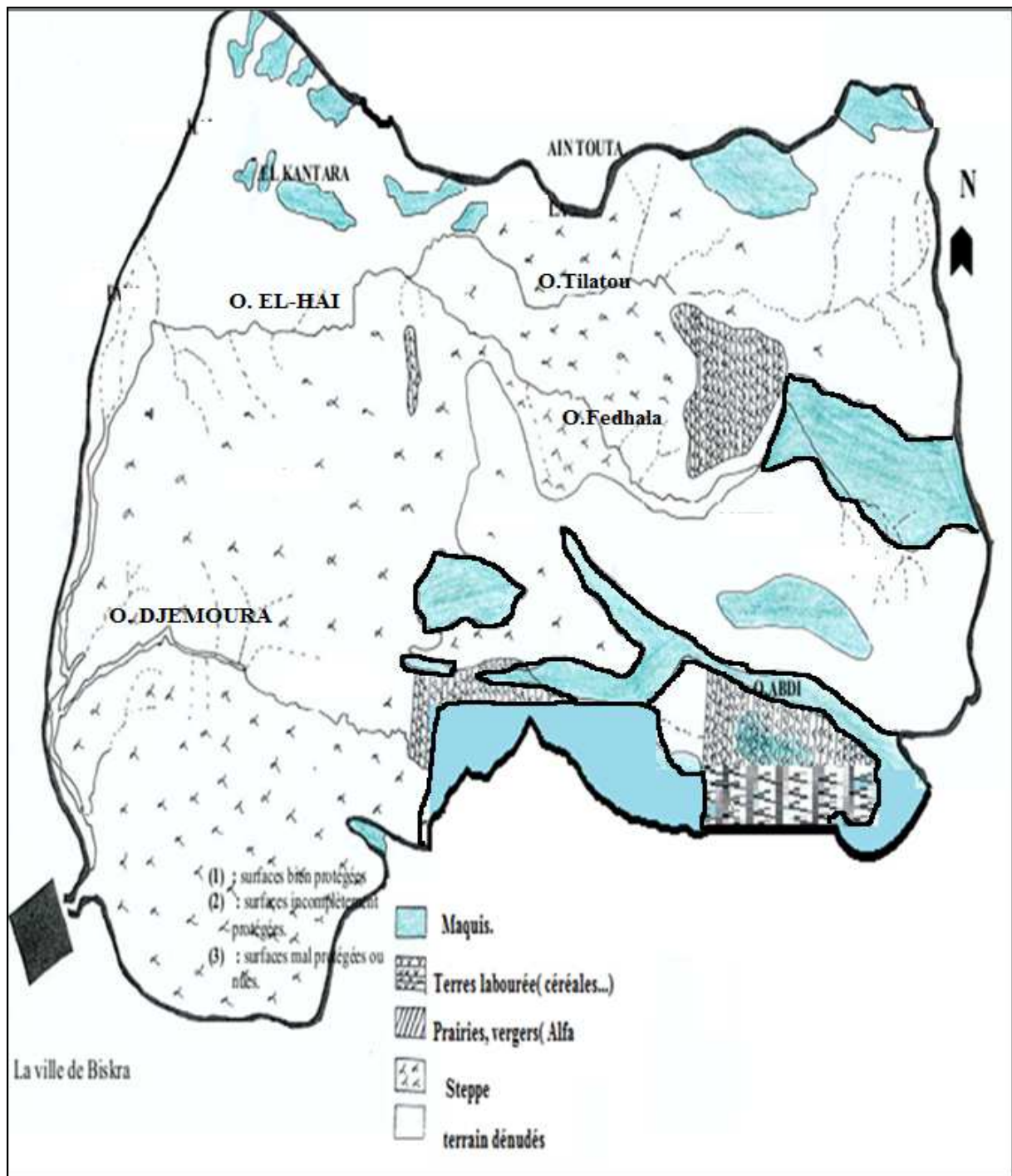


Figure n°23 : Carte de la végétation du bassin versant de l’oued Biskra (DSA.Biskra 2008)

IV-3 Impact de cette végétation sur les crues

Du fait que les terres destinées aux cultures sont généralement découvertes en saison froide saison où les précipitations sont les plus fréquentes et les plus abondantes, dont l’intensité est généralement élevée, le ruissellement n’est freiné par aucun obstacle végétal. Or on vient de voir que ces surfaces faisant l’objet de façon culturale n’offrent aucune

Caractéristiques géologiques, lithologiques, végétatifs du bassin versant

protection (seulement pendant une période de l'année), à ajouter à celles-là, les terrains nus ou quasiment nus en permanence. Ces surfaces sont les plus dominantes dans le bassin de l'oued Biskra, ces dernières ont toute fois dans les secteurs karstiques du bassin (massifs calcaires du crétacé) un pouvoir de rétention souterraine importante, comme le témoigne les débits des résurgences se trouvant aux pieds de certains Djebels.

La discontinuité ou l'absence totale de la couverture végétale favorise l'écoulement superficiel donc la remontée des crues, sous l'effet de la forte intensité de pluie. La présence du couvert végétal est profitable à l'équilibre hydrologique du bassin alors que sa discontinuité, ou son absence totale constitue un facteur favorable à l'irrégularité des débits et à la genèse de fortes crues, surtout sur les terrains à fortes pentes et là où les sols sont très sensibles au ruissellement direct

IV.4 CONCLUSION

La présentation des caractéristiques lithologiques du bassin de l'oued Biskra, malgré le peu de données, permettra dans un premier temps de dégager certains aspects des conditions de l'écoulement dans les différents sous bassins.

En effet, cette étude par sous bassin fait ressortir la très grande diversité lithologique qui obligatoirement, entraîne des conséquences sur la stabilité du régime des eaux superficielles.

A l'issue de cette brève étude lithologique, il paraît nécessaire de dégager quelques remarques essentielles :

La majorité des formations lithologiques du bassin ont de par leur structure physique, une perméabilité assez faible. Les réserves en eaux souterraines sont liées essentiellement aux nappes superficielles des formations plioquaternaires, (les formations marneuses) et aux phénomènes karstiques des massifs calcaires.

Par ailleurs, assez paradoxalement, la partie Nord du bassin, donc la plus arrosée, correspond aux terrains à dominance imperméables : roches marneuses et argileuse, ...etc. Cette relative imperméabilité vient s'ajouter à des conditions morphologiques particulières (voir chapitre précédent) pour favoriser le ruissellement superficiel et la formation des crues ce qui augmente le risque des inondations.

Au contraire, dans la partie méridionale du bassin, la présence notable de formations perméables contribue de pair avec des facteurs climatiques et morphologiques défavorables à limiter les possibilités de l'écoulement de surface ; les inondations sont à degré moindre dans cette partie.

En définitive, d'après leurs caractéristiques lithologiques, les calcaires et les marnes sont quasiment imperméables, la dolomie à une perméabilité très faible, les marno-calcaires indurés et les dépôts détritiques sont les seuls à offrir une perméabilité notable, mais leur surface d'affleurement trop insuffisante.

D'une façon générale, il est possible d'en tirer que les formations imperméables occupent la grande partie du bassin, pour arriver finalement à dire que le phénomène d'inondation apparaît nettement ici sans doute

CHAPITRE IV
CARACTERISTIQUES
HYDROGEOLOGIQUE

Caractéristiques hydrogéologiques

IV.1. Hydrogéologie de la région

La connaissance de l'hydrogéologie de la région hydrodynamique est très intéressante car elle permet d'envisager les échanges souterrains qui peuvent se produire dans les aquifères. En se basant sur la description géologique des terrains ainsi que sur les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation.

Les ressources en eaux souterraines dans la wilaya sont représentées par deux grandes aquifères multicouches et d'une nappe phréatique du Quaternaire (Tableau n°19-a), qui sont les suivants :

IV.1.1. Nappe Phréatique

Cette nappe se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires, elle est alimentée essentiellement par les eaux des précipitations, d'infiltration des oueds et des eaux d'irrigation. Les nappes les plus importantes dans la wilaya, sont celles de l'Oued Biskra et de l'Oued Djeddi.

Elle est fortement exploitée dans les régions de Ouled Djellal, Sidi Khaled et la ville de Biskra. La profondeur de cette nappe est comprise entre 20 et 100 m, avec un débit oscillant entre 05 et 20 l/s et une qualité chimique qui se situe de bonne à mauvaise, selon les zones (ANRH, 2008).

IV.1.2. Complexe Terminal

1. Nappe des sables

Elle est constituée par une alternance de niveaux d'argile, de sable et de cailloutis d'âge du Mio-Pliocène, elle couvre une grande superficie de la wilaya. Cette nappe est fortement exploitée dans la partie Est de la Wilaya et surtout dans la zone de M'Zirâa. Sa profondeur varie de 100 à 900 m, avec un débit qui oscille entre 20 et 60 l/s et un résidu sec variant de 2 à 4 g/l (ANRH, 2008).

2. Nappe des Calcaires

Cette nappe est constituée essentiellement de calcaire fissuré d'âge Éocène et Sénonien; elle est la plus sollicitée dans les palmeraies des Ziban; cette dernière est appelée « Nappe de Tolga » (Figure II.10). Sa profondeur varie de 100 à 130 m, avec un débit qui oscille entre 20 et 60 l/s et un résidu sec variant de 0.6 à 3 g/l (ANRH, 2008).

3. Continental Intercalaire

C'est un réservoir très important, constitué essentiellement de grès et de marne d'âge Albien et Barrémien. Son exploitation est très coûteuse en raison de sa profondeur,

Caractéristiques hydrogéologiques

qui dépasse les 2 000 m, la température de l'eau peut dépasser les 60 °c. Cette nappe est exploitée dans la Wilaya par 19 forages (ANRH, 2008).

Cette nappe est représentée également dans la wilaya par des sources hydrothermales qui sont: la source de Hammame Essalhines dans la commune de Biskra et celle de Sidi El Hadj dans la commune d'El-Outaya.

Daira	Nappe	Prof. (m)	Q (l/s)	N.S (m)	R.S (g/l)
<i>ZRIBET EL OUED</i>	<i>MIO-PLIOCENE</i>	90 – 250	5 – 15	16 - 88	2 – 4
	<i>PONTIEN</i>	500 – 900	20 - 30	Art	2
<i>SIDI OKBA</i>	<i>MIO-PLIOCENE</i>	90 – 250	5 – 15	04 - 46	2 – 4
	<i>PONTIEN</i>	500 – 900	20 - 30	Art	2
<i>OULED DJELLAL</i>	<i>PHREATIQUE</i>	20 – 60	1 – 4	03 - 10	2 – 4
	<i>MIO-PLIOCENE</i>	90 – 250	5 – 15	10 - 20	2 – 4
	<i>EOCENE INF</i>	90 – 500	5 – 40	10 - 50	0,5 – 4
	<i>ALBIEN</i>	1700 – 2600	60 - 120	Art	2 – 3
<i>SIDI KHALED</i>	<i>PHREATIQUE</i>	20 – 60	1 – 3	03 - 10	2 – 4
	<i>EOCENE INF</i>	90 – 500	5 – 40	90 - 120	0,5 – 4
	<i>ALBIEN</i>	1500-2500	40 - 120	Art	3
<i>BISKRA</i>	<i>PHREATIQUE</i>	20 – 60	1 - 3	03 - 10	2 – 4
	<i>MIO-PLIOCENE</i>	90 – 250	5 - 15	10 - 15	2 – 4
	<i>EOCENE INF</i>	90 – 500	5 - 40	20 - 50	0,5 – 4
	<i>ALBIEN</i>	2500	25	Art	3
<i>TOLGA</i>	<i>PHREATIQUE</i>	20 – 60	1 - 3	02 - 05	2 – 4
	<i>EOCENE INF</i>	90 – 500	5 - 40	ART - 50	0,5 – 4
	<i>ALBIEN</i>	1700 – 2600	60 - 120	Art	2 – 3
<i>FOUGHALA</i>	<i>PHREATIQUE</i>	20 – 60	1 - 3	03 - 05	2 – 4
	<i>MIO-PLIOCENE</i>	90 – 250	5 - 15	07 - 10	2 – 4
	<i>EOCENE INF</i>	90 – 500	5 - 40	20 - 50	0,5 – 4
	<i>ALBIEN</i>	1700 – 2600	60 - 120	Art	2 – 3
<i>OURLAL</i>	<i>PHREATIQUE</i>	20 – 60	1 - 3	02 - 05	2 – 4
	<i>MIO-PLIOCENE</i>	90 – 250	5 - 15	06 - 10	2 – 4
	<i>SENONO-EOCENE</i>	90 – 500	5 - 40	Art	0,5 – 4
	<i>ALBIEN</i>	2500	25	Art	3
<i>EL OUTAYA</i>	<i>PHREATIQUE</i>	15 – 20	2	10	3
	<i>MIO-PLIOCENE</i>	90 – 250	5 - 15	20	2 – 4
<i>EL KANTARA</i>	<i>PHREATIQUE</i>	15 – 20	2	10	1 – 2
	<i>MAESTRICHTIEN</i>	200-800	20	20	1
<i>DJEMORAH</i>	<i>MIO-PLIOCENE</i>	150	10	10	2 – 4
	<i>MAESTRICHTIEN</i>	100-350	10	20	1 – 2
<i>MCHOUNECHE</i>	<i>MIO-PLIOCENE</i>	80 – 200	3 - 5	32 - 43	3 – 4
	<i>MAESTRICHTIEN</i>	150 – 500	8 - 30	Art - 68	1

Tableau n° 15: Caractéristiques par Dairas, des nappes captées à travers la wilaya (ANRH, 2008).

Caractéristiques hydrogéologiques

IV.1.3. Volumes d'eau soutirée

Le tableau ci-après illustre en détail la répartition des volumes d'eau prélevés (exprimés en Hm³/an) par daïra, par nappe et par usage :

		Sidi Okba	Zribet E.O	Od Djelal	Ourellal	Tolga	S. Khaled	Foughala	Biskra	Loutaya	E.Kantara	Mchounech	Djamoura
Quatern.	IRR			35.55			23.75		0.249				
	AEP	-	-	0.031	-	-	1.420	-	4.759	-	-	-	-
	IND			00			00		00				
Miopliocène	IRR	116.4	60.26	18.52	33.27	0.257		2.284	11.41	8.594		0.510	1.095
	AEP	4.70	4.207	00	00	00	-	00	1.075	1.094	-	00	1.063
	IND	00	0.026	00	00	00		00	00	0.432		00	0.004
Pontien	IRR	1.763	0.871										
	AEP	2.986	0.886	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IND	00	00										
Eocène infé.	IRR			56.86	2.882	63.86		23.38	6.903				
	AEP	-	-	3.364	1.413	1.461	-	0.705	0.327	-	-	-	-
	IND			0.003	00	0.052		00	0.233				
Sénonien	IRR				15.43				0.130				
	AEP	-	-	-	0.389	-	-	-	00	-	-	-	-
	IND				00				00				
Maestrich.	IRR	00	00									0.109	0.767
	AEP	6.998	0.202	-	-	-	-	-	-	-	-	2.885	0.591
	IND	00	00									00	00
Turonien	IRR										0.460		0.069
	AEP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	00		00
	IND										00		00
Albo- Barémien	IRR			3.732	4.666	6.843	00	4.044	1.089				
	AEP	-	-	7.154	00	00	11.88	00	00	-	-	-	-
	IND			00	00	00	00	00	00				
S / Totaux		132,856	66,452	125,214	58,05	72,473	37,053	30,413	26,175	10,12	0,46	3,504	3,588
Totaux		566,36 Hm³/an											

Tableau n° 16 : Répartition des volumes d'eau prélevés en Hm³/an par daïra, par nappe et par usage (ANRH, 2008).

Caractéristiques hydrogéologiques

L'histogramme ci-dessous indique que la grande partie de la ressource est exploitée à partir de la nappe du Miopliocène surtout dans les communes Sidi Okba, Zribet El Oued et Ourellal vue le nombre important des points d'eau en services. En suite c'est celle de l'Eocène inférieur dans les communes de Tolga et Ouled Djellal, puis en fin le reste des autres nappes.

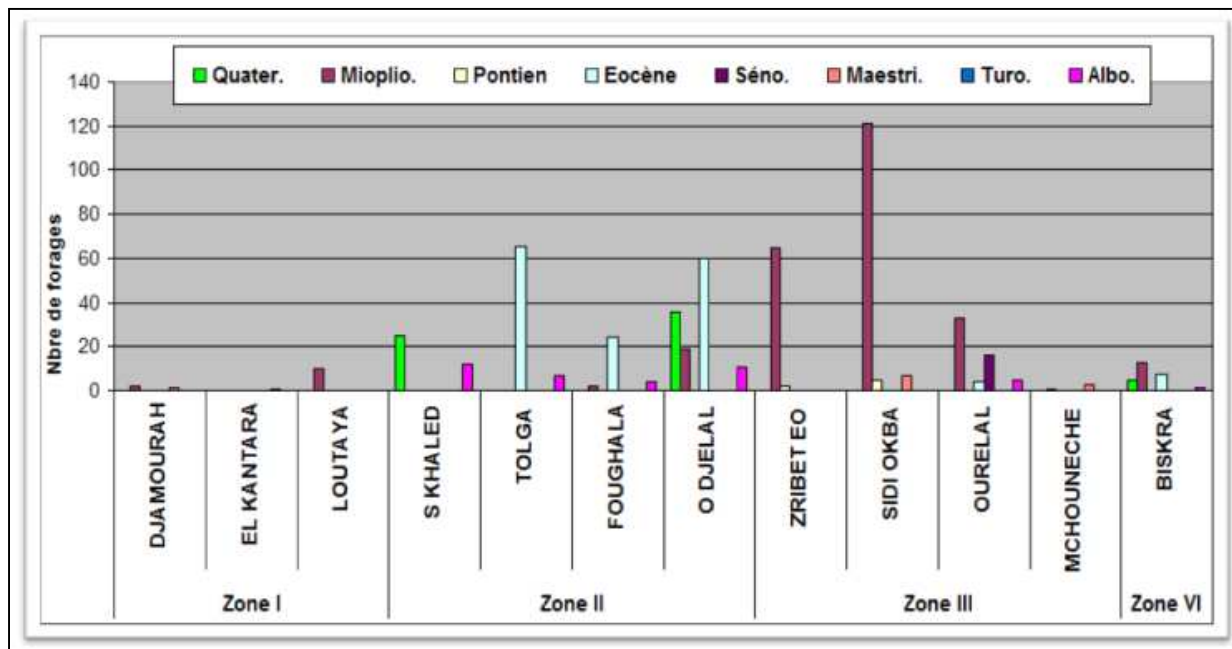


Figure n° 24 : Variation du nombre de forages par daïras et par nappe (ANRH, 2008).

La figure n° 25, montre une coupe hydrogéologique du Nord au Sud, d'après cette coupe, on constate que les réservoirs aquifères sont bien définis et superposés au Sud qu'au Nord.

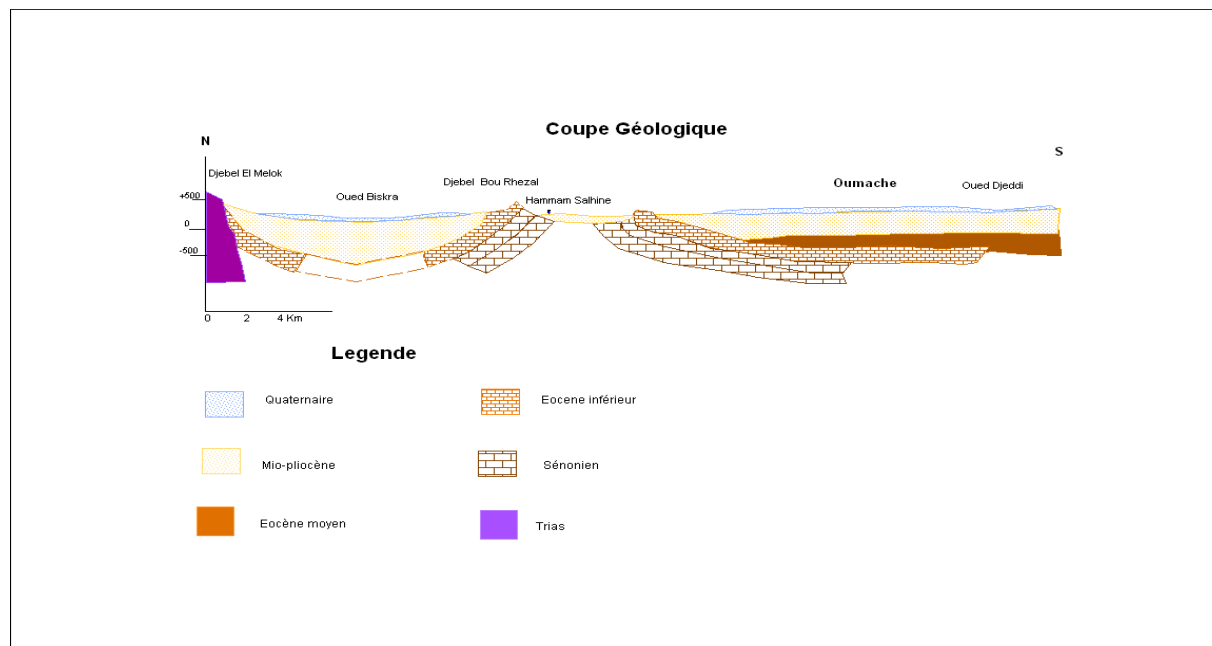


Figure n° 25 : coupe hydrogéologique schématisée de la région de Biskra (DMERH, 1980).

IV.2. Description de l'aquifère alluvionnaire

1. Nappe des alluvions d'oued Biskra

Il est bien dommage de constater, suite à notre recherche bibliographique, que les études hydrogéologiques concernant l'aquifère alluvionnaire d'oued Biskra sont extrêmement rares.

Il faut dire que la seule étude a été faite en 1967 et concerne les possibilités d'exploitation optimum du réservoir alluvionnaire. Celle-ci a été prise en charge par la Société d'Exploitation Urbaine et Rurale des eaux du Sahara. Depuis cette date, aucune étude sérieuse n'a été entreprise. Pour cette raison, la partie qui va suivre est en grande partie tirée du document final de la Société Centrale pour l'Équipement du Territoire.

2. Description de l'aquifère alluvionnaire

L'aquifère est connu depuis les travaux de Vailleux d'Aout 1963 et novembre 1965 reprenant et complétant les rapports antérieurs de MM. Gousskov et Duquesnov, ainsi que le rapport L.T.S de Novembre 1965.

La nappe d'oued Biskra et d'âge Quaternaire, la nature lithologique est graveleuse (Sédiments d'origine détritique), on trouve des galets, graviers avec passages sableux à argileux. La puissance de cette couche aquifère est de 40 à 60 m, alimentée par inféro-flux d'oued. Elle s'étend sur une superficie de 5 Km² avec une épaisseur moyenne de 20 m, le volume d'alluvions étant de 100 Hm³, déduit par la géophysique.

Une étude géophysique en 1967 a complété ces connaissances vers l'amont par l'exécution d'une série de sondage électriques. Ce qui a permis d'estimer l'épaisseur des alluvions obtenus montrent la variation des épaisseurs d'alluvions saturées sur substratum marneux imperméable du Miocène. Les cluses amont citées ci-dessus et la courbe d'épaisseur nulle des alluvions saturées limitent le réservoir. La limite aval a été prise arbitrairement au droit de la barre de poudingue pliocène qui joue le rôle de seuil de contrôle aval.

L'aquifère est de forme allongée et de direction générale Nord Sud. Cette forme a été façonnée par l'écoulement de l'oued Biskra creusé dans les marnes imperméables du miocène et remblayé par des dépôts alluvionnaires.

Les limites géographiques de l'aquifère se rapportent au remblaiement actuel des terrasses des oueds. L'extension verticale de la nappe peut atteindre parfois 40 mètres où on rencontre des grandes lentilles d'argiles quaternaires marquant le substratum local de la nappe. Mais la notion de substratum est discutable du fait qu'on passe par endroit directement à des niveaux de calcaires compacts.

Caractéristiques hydrogéologiques

Les alluvions des moyennes terrasses de l'oued Biskra, dont l'extension est importante, sont formées d'un assemblage de cailloutis, graviers et sables, occupent une altitude inférieure à celle des anciennes alluvions.

Les alluvions récentes qui forment les basses terrasses d'oued Biskra sont constituées de gros galets et sables résultant de l'érosion des massifs calcaires et dunaires limitrophe.

Ces matériaux d'origine crétacée, favorables à la formation des nappes d'eau phréatique, permettent d'importants prélèvements pour l'alimentation en eau potable de la ville de Biskra.

Actuellement 13 forages, captent les eaux de cette nappe et sont répartis comme suit (Tableau n° 17)

Lieu dit	X.Deg	Y.Deg	Z(m)	Type.Ovg.	An. Réal	Prof (m)
F:01	005°44'19"	34°52'59"	133	Forage	1980	40
F:02	005°44'26"	34°53'07"	139	Forage	1988	40
F:03	005°44'30"	34°53'20"	144	Forage	1971	41
F:04	005°44'30"	34°53'25"	149	Forage	1988	44
SIF / F:04	005°44'34"	34°53'10"	135	Forage	1988	50
SIF / F:05	005°44'32"	34°53'01"	139	Forage	1970	40
SIF / F:06	005°44'25"	34°52'56"	135	Forage	1970	40
SIF / F:06/ Bis	005°44'24"	34°52'57"	132	Forage	1987	44
F:01/ Bis	005°44'14"	34°52'55"	130	Forage	1995	50
B:05 / Bis	005°44'09"	34°52'51"	134	Forage	2006	50
B:05	005°44'10"	34°52'50"	131	Forage	1990	42
B:01	005°44'08"	34°52'49"	132	Forage	1954	40
B:02	005°44'13"	34°52'47"	133	Forage	1989	45

Tableau n°17 : Caractéristiques des forages d'eau potable captant l'aquifère alluvial de Biskra.

Caractéristiques hydrogéologiques

IV.2.1. Piézométrie de la nappe

Une campagne de mesures piézométriques des forages captant la nappe alluviale de l'oued Biskra, a été effectuée au cours de la période haute eaux, au mois de Mai 2012.

➤ Inventaire des points

Dans notre inventaire des points d'eau, nous avons recensé 13 points de mesure dont 13 forages

➤ Localisation des points d'eau

La carte d'inventaire de la répartition des points d'eau, montre que la majorité des forages sont situés dans la partie amont de la commune de Biskra.

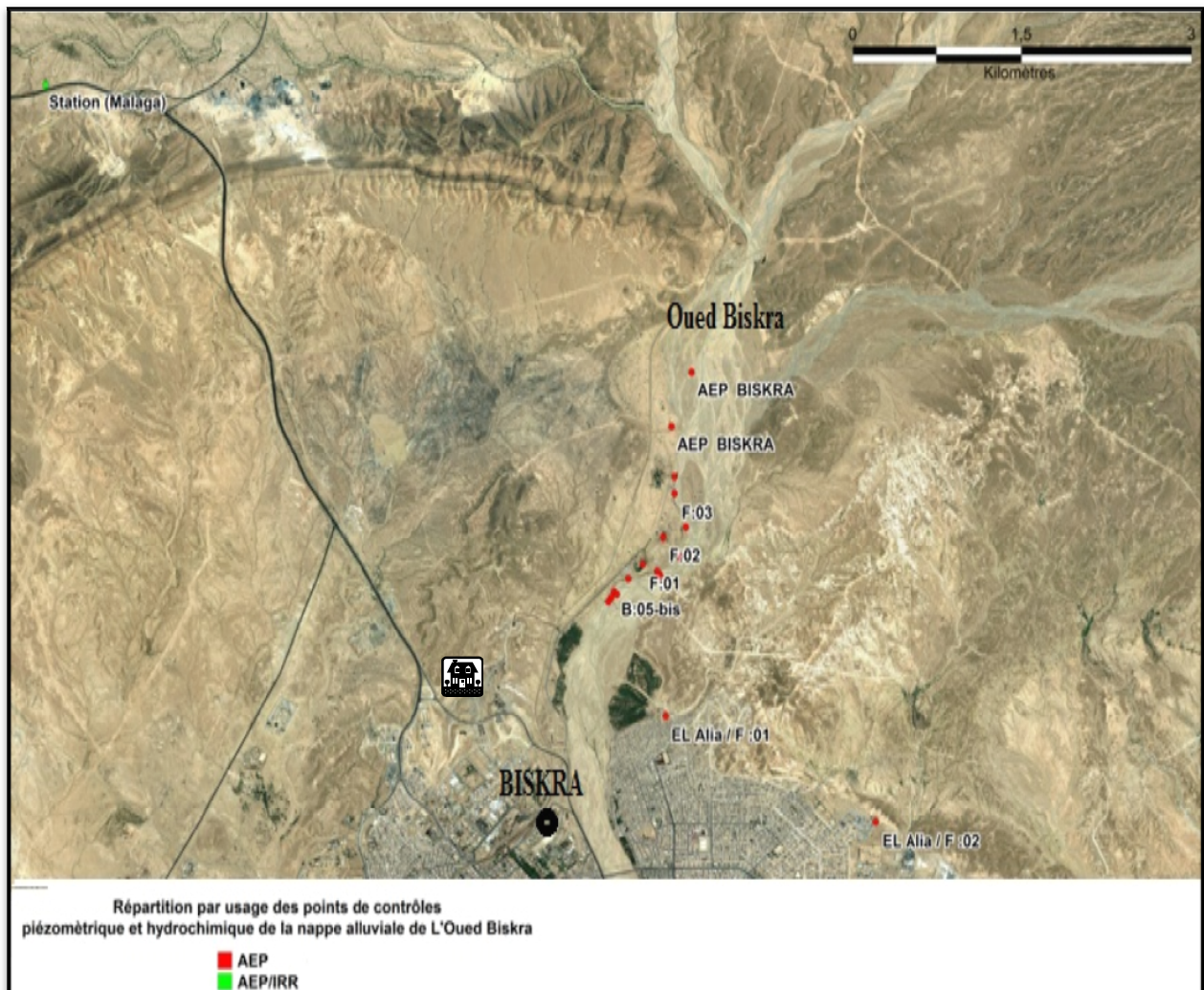


Figure n° 26 : Localisation des points de mesure dans l'oued Biskra.

Caractéristiques hydrogéologiques

➤ **Matériels utilisé**

Pendant les périodes des sorties sur terrain pour les mesure, on a utilisé le matériels suivant :

1. Sonde lumineuse

C'est l'appareil utilisé pour les mesures du niveau d'eau dans les forages, et les puits. Son principe de fonctionnement est simple, une détection lumineuse, et sonore incorporée au dévidoir de la sonde lumineuse vous informe que la surface de l'eau est atteinte, La lecture de la profondeur est alors très facile sur le ruban gradué en millimètres.

2. Le GPS

On a utilisé cet appareil pour la localisation précise des points d'eau sur la carte (les coordonnées longitudes et latitude), et ensuite mettre ces points sur l'ordinateur, et travailler sur les logiciels appropriés.

Les logiciels utilisés sont :

- ➔ Le MapInfo pour le travail de localisation des points d'eau.
- ➔ Le Surfer pour dessiner les cartes des isopièzes, avec une méthode interpolation bilinéaire pour calculer les valeurs de Z des points qui ne coïncident pas avec les nœuds de la grille.

➤ **Les mesures sur le terrain :**

Les données anciennes des basses eaux proviennent de campagnes de reconnaissance, de rapports techniques et de quelques travaux de recherche. Souvent, elles concernent des zones particulières et se limitent à des informations élémentaires comme le niveau de la nappe.

Les mesures anciennes ont été complétées par de nouvelles mesures réalisées au cours d'une campagne de terrain entre Avril et Mai 2012, en période humide (septembre- octobre mars-avril-mai). Au total 13 sites ont été mesurés (Fig. 27) dont 13 ont fait l'objet d'un suivi interannuel.

• Etude des hautes eaux

Les mesures ce sont effectués pendant la période allant de 29/04/2012 jusqu'à 30/04/2012. La première chose à faire sur le terrain c'était de localiser les points d'eau qui répondent à nos critères tels que la pompe qui ne sont pas en action, ensuite on prend les

Caractéristiques hydrogéologiques

coordonnées géographiques (X, Y, Z) en UTM, et enfin c'est la mesure du niveau de la nappe par la sonde.

Tableau n° 18 : nombre de forage visité par utilisation.

Commune	Nombre de forage (AEP)	Nombre de forage (IRR)
Biskra	12	1

Les résultats des mesures de niveau de la nappe pendant les hautes eaux se trouvent dans l'annexe pour chaque point d'eau.

Ces résultats des hautes eaux nous ont permis d'établir une carte des isopièzes pour le bassin d'étude, et déterminer les axes de drainage, et les flux horizontal, et donc la direction de l'eau de la nappe pendant cette période. Le niveau de la nappe est pris par rapport au niveau de la mer, par simple soustraction de la mesure obtenue sur le terrain, de l'altitude de chaque point donnée par le GPS.

Après analyse piézométrique des différents points d'eau de la zone de captage d'eau de la nappe alluviale d'oued Biskra pendant les hautes eaux (mai 2012). Les niveaux d'eau de l'aquifère nous montrons l'état de la profondeur des niveaux statiques de la nappe alluviale avant le passage des apports superficielle dans l'oued comme le montre le tableau n° 19.

La surface piézométrique se trouve à 3 mètres en moyenne sous le niveau du sol, par contre, elle peut baisser plus profondément en période sèche, vu le grand pompage par forage et l'intensité de l'évaporation superficielle.

Caractéristiques hydrogéologiques

Point d'eau	Niveau statique
F:01	13
F:02	15
F:03	18
F:04	15
SIF / F:04	18
SIF / F:05	14
SIF / F:06	16
SIF / F:06/ Bis	11,5
F:01/ Bis	15
B:05 / Bis	17
B:05	14
B:01	17
B:02	15

Tableau n° 19: Niveaux statiques pendant les hautes eaux (mai 2012).

Les cartes obtenue renseignent, d'une part sur la situation piézométrique de la nappe dans la région d'étude pendant les hautes eaux.

Le niveau de la nappe varie de quelques mètres dans la region d'étude d'un point à l'autre , atteint des dizaines de mètres surtout dans l'extrémité du champ captant où les puits sont abandonné.

IV.3. Interprétation des Lignes de Courant

Les cartes piézométriques été établies pour connaitre les directions de mouvement de l'eau souterraine dans la zone d'étude ;

Elles montrent que l'eau de la nappe se déplace du nord vers le sud. Plus précisément dans direction d'oued Biskra vers le sud, cette observation n'est pas valable parce qu'on remarque la présence des zones avec des cônes de dépression dues a la consommation accrue, et au pompage des forages présents avec un grand nombre.

Caractéristiques hydrogéologiques

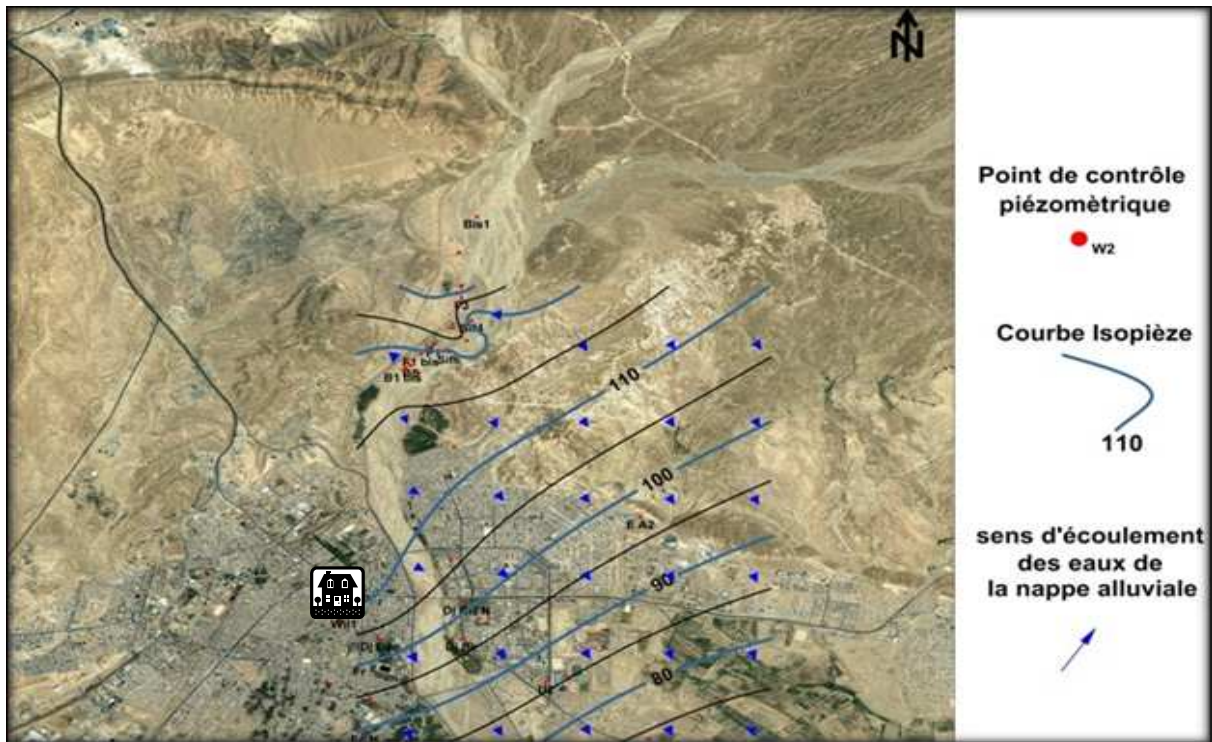


Figure n° 27 : Présentation des lignes de courant à partir des observations piézométriques du champ captant d'Oued Biskra (Mai 2012).

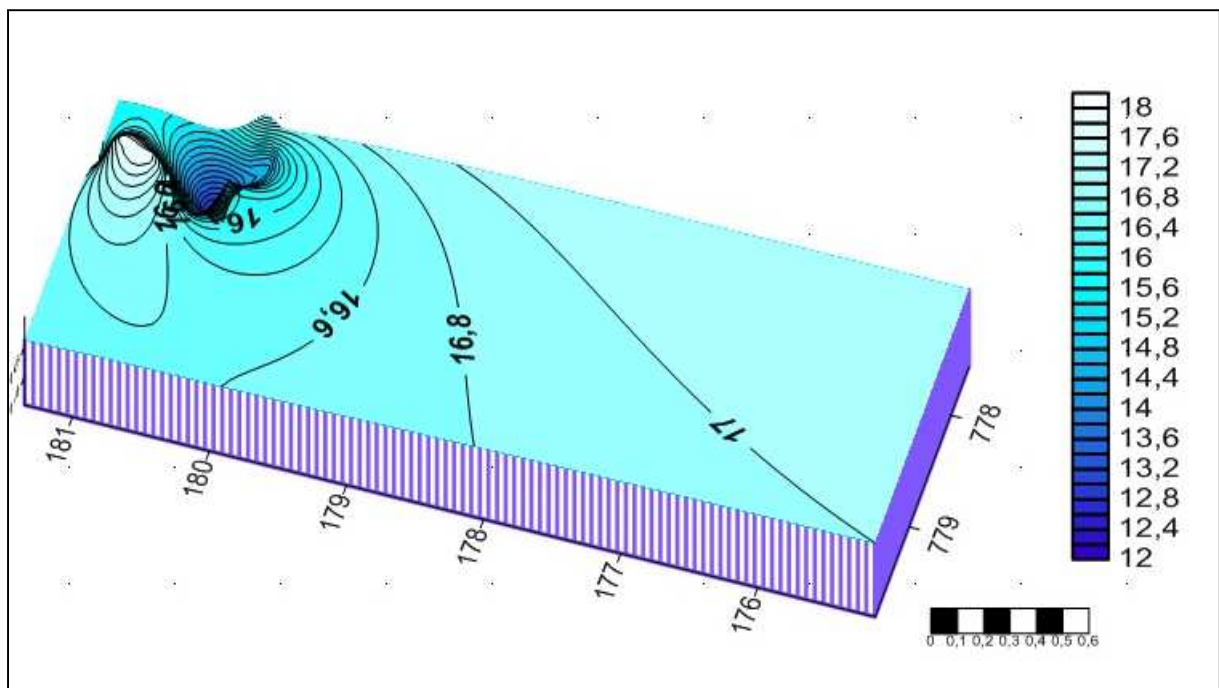


Figure n° 28-a : Carte piézométrique pendant les hautes eaux (Mai 2012).

Caractéristiques hydrogéologiques

- **Etude des basses eaux :**

Les données des basses eaux sont des données anciennes proviennent de campagnes de reconnaissance, des rapports techniques et des quelques travaux de recherche. Souvent, elles concernent des zones particulières et se limitent à des informations élémentaires comme le niveau de la nappe.

Ces résultats des basses eaux nous ont permis d'établir une carte des isopièzes pour le bassin d'étude, et déterminer les axes de drainage, et les flux horizontal, et donc la direction de l'eau de la nappe pendant cette période.

Après analyse piézométrique des différents points d'eau de la zone de captage d'eau de la nappe alluviale d'oued Biskra pendant les basses eaux. Les niveaux d'eau de l'aquifère nous montrons l'état de la profondeur des niveaux statiques de la nappe alluviale avant le passage des apports superficielle dans l'oued comme le montre le tableau n° 19-a.

Point d'eau	Niveau statique
F:01	-
F:02	12,5
F:03	-
F:04	13,3
SIF / F:04	12
SIF / F:05	12,5
SIF / F:06	9
SIF / F:06/ Bis	11,7
F:01/ Bis	14,5
B:05 / Bis	-
B:05	-
B:01	-
B:02	11

Tableau n° 19-a : Niveaux statiques pendant les basses eaux (ANRH 2008).

Caractéristiques hydrogéologiques

Les cartes obtenue renseignent, d'une part sur la situation piézométrique de la nappe dans la région d'étude pendant les basses eaux.

Le niveau de la nappe varie de quelques mètres dans la region d'étude d'un point à l'autre , atteint des quelques de mètres surtout dans l'extrémités du champ captant où les puits sont abandonné.

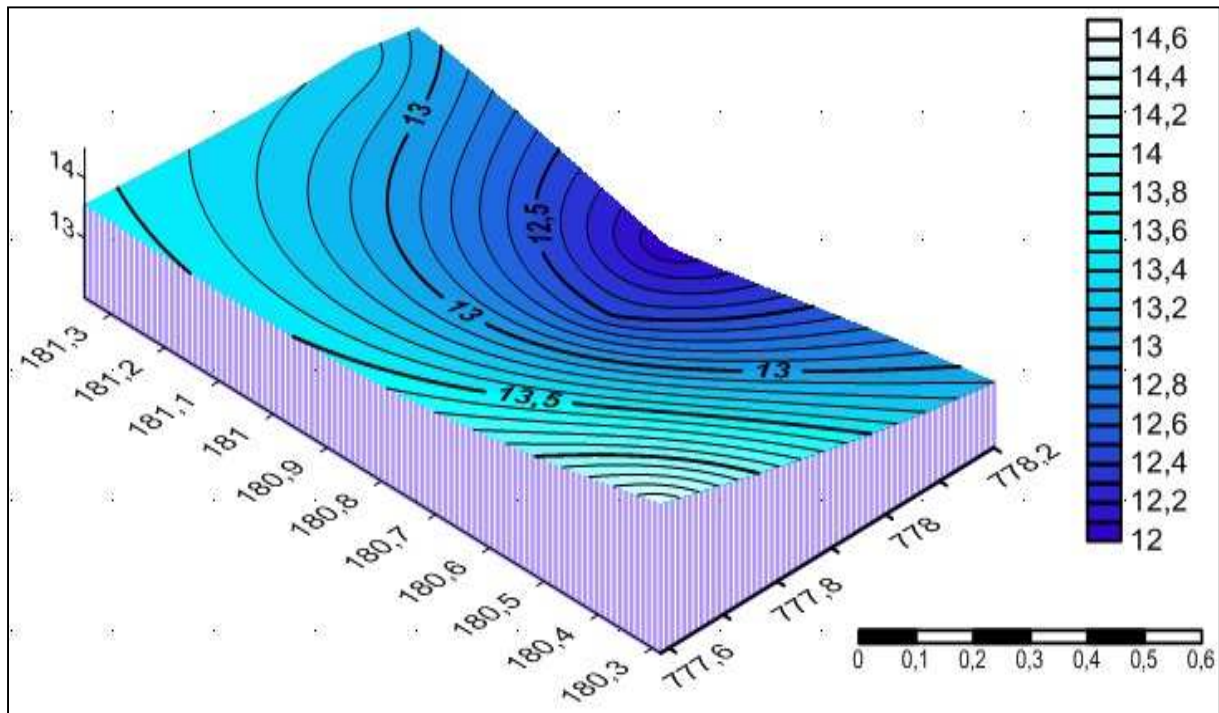


Figure n°28-b : Carte piézométrique pendant les basses eaux (ANRH,Biskra 2008).

IV.4. Hydrodynamique et hausse de la nappe

Le suivi de la nappe phréatique repose, sur la zone d'étude, sur plus d'une dix de points de mesures pour la dernière décennie. Les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère sont connus notamment par plus d'une dizaine de pompages d'essai de longue durée.

La profondeur de la nappe varie entre quelques mètres sous les vallées sèches, jusqu'à plus de 50 m , pour une profondeur moyenne de 43 m.

Caractéristiques hydrogéologiques

Pendant la saison humide , les sites proches des zones de recharge montrent des fluctuations piézométriques généralement compris entre 0,5 à 2,5 m , mais qui peuvent atteindre 7 m d'amplitude .

Une attention particulière a été portée sur l'évolution piézométrique du champ captant, site dans lequel un puisage intensif ($19\,656\text{ m}^3\cdot\text{j}^{-1}$ en 2012) a eu lieu entre 1954 et 2012 pour alimenter en eau potable le commun du Biskra. Cette dernière est alimentée depuis longtemps par les eaux d'oued Biskra. Dans ce secteur, un réseau de 13 piézomètres permet depuis plusieurs années la surveillance du niveau de la nappe.

Les niveaux statiques varient très peu malgré l'importance des prélèvements. Les variations sont au maximum de 18 m dans le piézomètre SIF / F:04 situé au amont du champ captant, et seulement 11,5 m dans le piézomètre SIF / F:06/ Bis situé plus vers l'extrémité du champ captant. Au-delà, en périphérie du champ, le niveau de la nappe est resté quasiment stable. Au niveau du piézomètre F : 01 situé au centre du champ de captage, le niveau a augmenté de seulement 1 m depuis son installation en 1980. (Figure n° 29). L'augmentation du niveau d'eau est remarquable encore (5 m) dans le piézomètre F : 03.

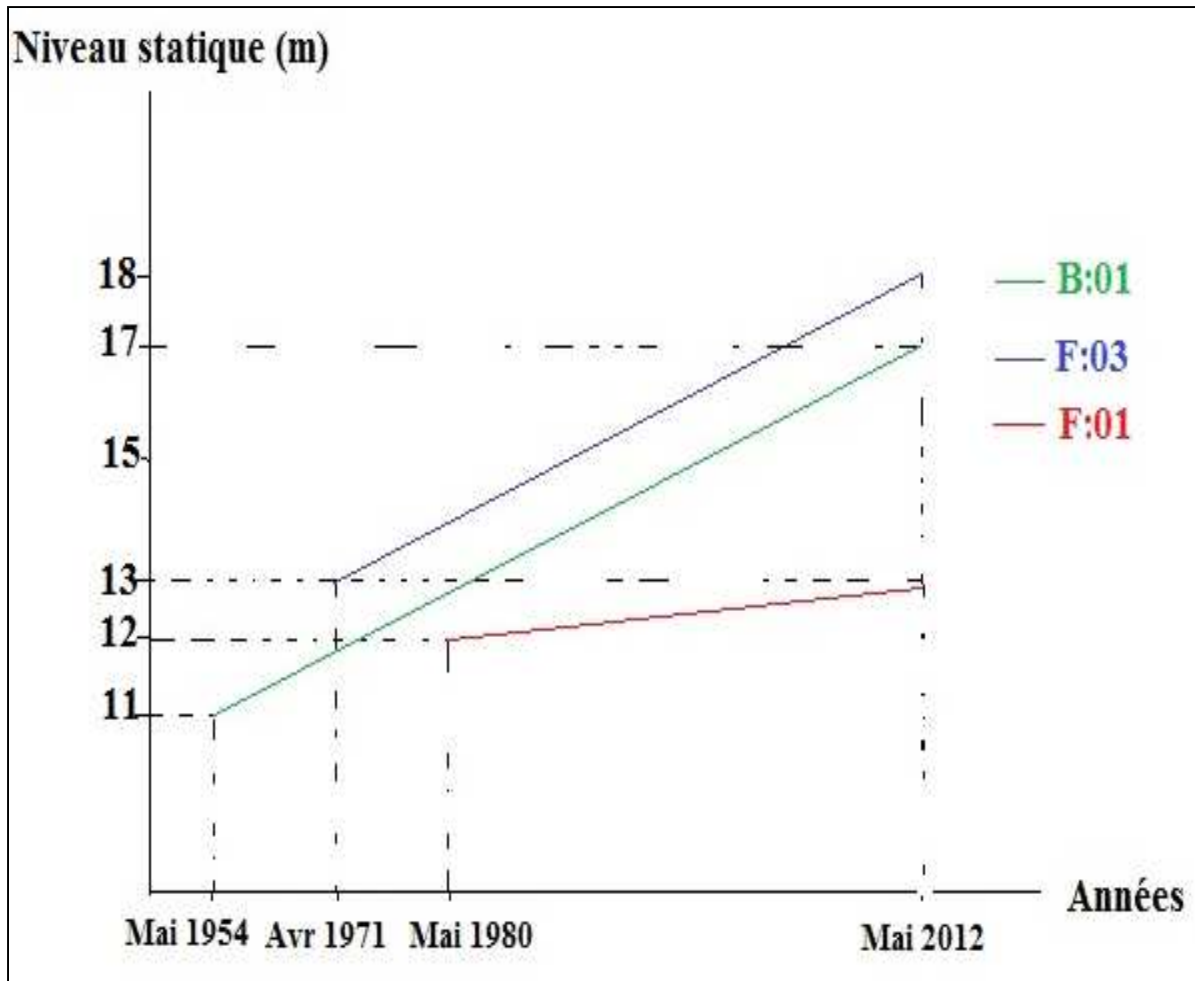


Figure n° 29 : Evolution piézométrique du champ captant de la nappe alluviale.

la hausse piézométrique à long terme mise en évidence sur la zone d'étude signifie nécessairement une modification du bilan hydrologique. Cette modification est-elle réversible, due à un impact climatique ou anthropique ? Quelques explications possibles sont d'abord à écarter.

Une augmentation de la recharge due à l'irrigation est impossible, puisque excepté la vallée alluviale du Oued Biskra, l'irrigation est inexistante près de l'oued .

Enfin l'hypothèse d'une réduction de l'importance des puisages doit être éliminée : la population croît de manière continue depuis plusieurs décennies et de nombreux nouveaux puits et forages ont fortement augmenté la sollicitation de la nappe. D'autres explications sont donc à rechercher :

Caractéristiques hydrogéologiques

❖ Impact des fluctuations pluviométriques

Comme partout dans les zones arides, les précipitations sont très variables dans le temps. Les valeurs annuelles extrêmes à Biskra depuis 1971 sont de 310,4 mm en 2009 ; sur une plus longue période, la moyenne 1971-90 est de 101,4 mm, contre 138 mm pour les années 1991-2010, soit respectivement 84 % au dessous et 15 % au dessus de la moyenne interannuelle. Une première explication pourrait être liée à une modification de la pluviométrie. La tendance à la hausse piézométrique observée depuis le milieu des années 2000 apparaît simultanée à une tendance à l'augmentation des précipitations. La chute relative de 20% de la pluviométrie moyenne entre 1971-89 aurait dû avoir un impact significatif sur les réserves en eau.

L'absence d'une relation simple entre fluctuations de la pluviométrie et de la piézométrie indique que le principal processus responsable de la hausse à long terme n'est pas d'origine climatique.

Du point de vue des processus, une explication à l'occurrence d'une recharge significative de la nappe même en période sèche existe. Selon D'Amato et Lebel (1998), la baisse du total pluviométrique en année sèche est due principalement à une diminution du nombre d'événements plutôt qu'à une baisse de leur magnitude. Comme la recharge est davantage dépendante des précipitations les plus intenses, la recharge peut se produire également en année sèche.

❖ Impact du couvert végétal

Le couvert végétal sur les dernières décennies a déjà été décrite dans le chapitre précédent ; ce paragraphe en constitue un résumé. L'absence totale de la couverture végétale favorise l'écoulement superficiel donc la remontée des crues, sous l'effet de la forte intensité de pluie. La présence du couvert végétal est profitable à l'équilibre hydrologique du bassin alors que sa discontinuité, ou son absence totale constitue un facteur favorable à l'irrégularité des débits et à la genèse de fortes crues, surtout sur les terrains à fortes pentes et là où les sols sont très sensibles au ruissellement direct. Sur la zone centrale de l'étude, les surfaces cultivées sont passées d'environ 45 % de la surface totale cultivable en 1970 à plus de 27 % en 2001.

Caractéristiques hydrogéologiques

❖ **Modification des états de surface des sols**

L'augmentation du ruissellement engendré par l'encroûtement des sols est l'hypothèse la plus plausible pour expliquer la hausse à long terme de la nappe. Dans la zone d'étude, les caractéristiques des états de surface sont très sensibles aux modifications de l'environnement tels que le déboisement ou les sécheresses récurrentes, qui tendent à augmenter le rapport ruissellement / infiltration. La réduction du couvert végétal naturel et de la période des jachères ne peut qu'avoir augmenté les propriétés ruisselantes des sols.

IV.5. Transmissivité et Coefficient d'emmagasinement

Les plus fortes valeurs de transmissivité sont observées à l'amont de l'aquifère atteignant $6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Elles augmentent sensiblement vers les berges à $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Vers le sud, les valeurs maximales sont localisées au milieu d'Oued selon l'axe longitudinal ($2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) et augmente vers les berges pour atteindre une valeur de $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Notons que ces transmissivités ne sont pas actualisées, et il est fort probable qu'elles ont diminué, suite à l'abaissement du niveau piézométrique général de la nappe.10

Les essais de pompage effectués sur les forages captant les alluvions donnent des valeurs moyennes de la transmissivité d'environ $2,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. par contre, la perméabilité est de $7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, alors que le coefficient d'emmagasinement est estimé à 7%. Donc on peut calculer la diffusivité est de $0,35 \text{ m}^2/\text{s}$.

D'après l'analyse de résultats de transmissivité, on remarque l'existence d'endroit où la transmissivité atteint des valeurs maximales dans l'oued notamment en amont de l'aquifère et dans le milieu de l'oued. Cette dernière diminue vers le sud est en allant vers les berges. La valeur de coefficient d'emmagasinement (7%), il est important pour les projets de recharge des aquifères, qui ce explique la diminution des débits aux exutoires, et le contraire pour la valeur de diffusivité.

A partir ces paramètres, on peut dire que notre nappe peuvent réceptionner les eaux de crues, qui ce explique notre choix de cette nappe.

IV.6. CONCLUSION

Le suivi piézométrique récent de la nappe d'oued Biskra repose sur plus d'une dizaine de points de mesures mesurés une fois par an lors des dernières années, et parfois bien davantage dans quelques rares sites. Malgré les différentes sources d'incertitude, la carte piézométrique est cohérente et donc utilisable pour la détermination des principaux traits piézométriques. L'écoulement général des eaux souterraines de la nappe se produit du sud vers le nord, la nappe est comprise entre 11,5 et 18m sous le niveau de la mer en hautes eaux. Nous avons relevé quelques fluctuations saisonnières de la nappe (de l'ordre de 3,3 m) qui pourraient être liées à l'infiltration des pluies et le passage des crues dans l'oued mais ces points mériteraient d'être suivis plus finement.

À plus long terme, quelques mesures anciennes du début des années 1954 ont été réanalysées. De même, les mesures faites dans le champ captant d'oued Biskra ont permis une perspective pluridécennale de la piézométrie d'oued Biskra. À l'échelle globale de la nappe, la piézométrie semble avoir évolué significativement depuis 50 ans.

La surface piézométrique se trouve à 3 mètres en moyenne sous le niveau du sol, par contre, elle peut baisser plus profondément en période sèche, vu le grand pompage par forage ; le débit journalier exploité s'élève au total en période humide à 19 656 m³ et en période sèche à 35 568 m³, et l'intensité de l'évaporation superficielle.

CHAPITRE V
ETUDE CLIMATIQUE

V-1 INTRODUCTION

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par : Leur répartition annuelle et mensuelle, leur total journalier et surtout les averses génératrices des crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques : la température l'évaporation l'évapotranspiration, les vents et l'humidité aussi ; des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.

L'étude climatique exige un réseau de postes assez important couvrant toute la région d'étude avec des observations qualifiées. Malheureusement le réseau national n'est pas satisfaisant et montre des interruptions dans les séries d'observations souvent en relation avec des événements historiques de l'Algérie, ces anomalies peuvent être dépassées grâce aux méthodes d'analyse statistiques.

V-2 Etude de la pluviométrie

La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs [P.Seltzer (1913-1938) H.Gaussen et Paquin (1913-1963)]. La plupart des stations ont connu des périodes d'arrêt pendant la guerre d'Algérie d'autres ont subi des modifications après 1962.

Un bon nombre de stations ont été installées dans les années (1968-1970), les données de ces stations sont très utiles pour l'établissement des séries hydropluviométriques, qui vont être traitées ultérieurement (voir figure n°30).

Etude Climatique

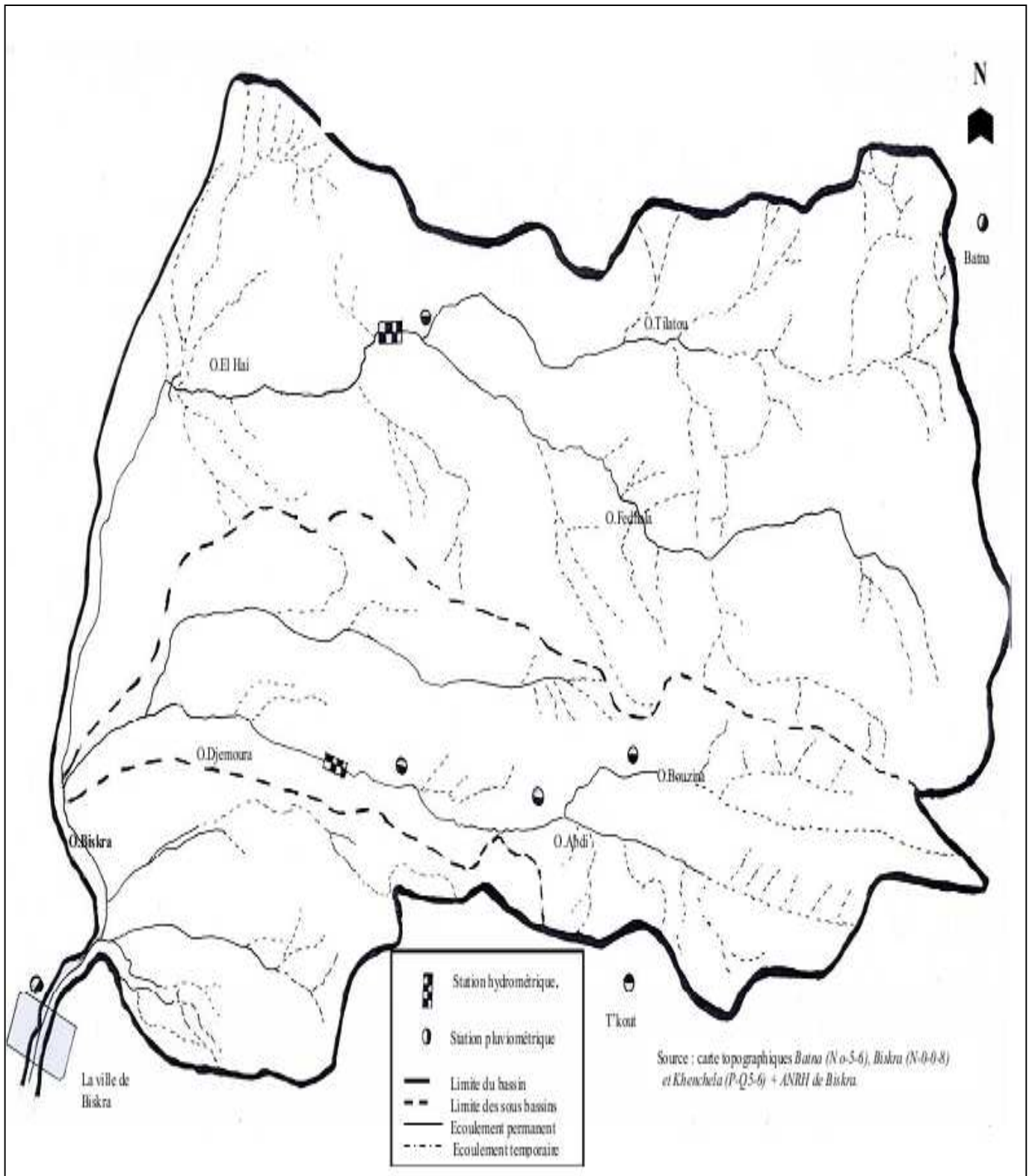


Figure n°30 : Equipements hydro pluviométrique du bassin versant d'oued Biskra (ANRH Biskra).

Etude Climatique

V-2.1 Réseau pluviométrique et les séries d'observation

Dans notre étude le bassin versant de l'oued Biskra ; six stations pluviométriques ont été retenues, trois d'entre elles sont situées à l'intérieur du bassin, les trois autres sont implantées aux alentours de ceci, elles sont réparties d'une manière homogène, plus particulièrement dans la partie supérieure du bassin où le caractère montagneux est dominant et plus arrosé (voir tableau n° 20 et figure n°30).

Par ailleurs, l'étude de pluie dans le bassin versant de l'oued Biskra a été possible grâce à la collecte des données des six postes pluviométriques. Ces stations présentent des lacunes à l'échelle annuelle à l'exception de la station de Batna et Biskra, qui offrent des séries plus longues et complètes celles de l'ANRH de Batna et l'ANRH de Biskra.

La station de T'kout et vue l'importance de son site (moyenne du bassin versant), il a été jugé utile de la présenter dans le cadre de cette étude, effectivement lors de l'épisode pluvieux, elle a enregistré un maximum de pluie, qui n'a pas été observé dans toute la région le 08 mai 2000 (ANAT de Biskra "schéma directeur des ressources en eau de la wilaya de Biskra" dossier n°02 : les potentialités en eau superficielles 2001). Le site de T'kout a été le noyau de l'averse et cette méthodologie, qui consiste à tenir compte des postes hors bassin l'oued Biskra offre une meilleure approche pour mieux cerner ces phénomènes naturels.

D'autant plus que la courte étendue de la série d'observation de la station d'El Kantara ne peut constituer une base d'analyse statistique, elle est utilisée seulement à titre indicatif.

Station	Code ANRH	Lambert		Altitudes (m)
		X	Y	
Biskra	06.14.16	777	178	120
Batna	07.03.16	814,70	257,35	1040
T'kout	06.15.05	828,5	211,25	980
Bouzina	06.13.02	810	225	1350
Menea	06.13.04	801,25	213,25	983
Djemoura	06.13.05	786,5	201,6	545
El kantara	06.12.06	774,7	217,4	513

Tableau n°20 : Coordonnées des stations pluviométriques et leurs codes. (ANRH Biskra, 2008).

V-2.2 Réseau pluviométrique et les séries d'observations

L'étude climatique ou hydrologique d'un bassin ou d'une région est basée sur l'exploitation des séries de données recueillies pendant des périodes plus ou moins longues, continues ou discontinues.

Les méthodes statistiques d'analyse de ces séries exigent une homogénéité de leurs composantes, il est donc nécessaire avant toute utilisation des variables pluviométriques, de contrôler leur qualité par l'emploi d'outils statistiques et graphiques, afin de réduire les erreurs systématiques qui pourraient les affecter.

La méthode du double cumulé est plus utilisée, elle est obtenue en portant en abscisse les totaux annuels cumulés de la station de base et en ordonnées les totaux annuels cumulés de la station à vérifier ; si les couples de valeurs donnent des points qui forment une ligne droite, on conclut que la série est homogène, au contraire s'il apparaît une ou plusieurs cassures dans la distribution des points la série n'est pas homogène.

La station de base choisie est la station de Biskra, car c'est la station qui dispose une série continue et homogène, elle se trouve dans la partie inférieure du bassin où se trouve son exutoire.

Pour les graphiques des doubles cumuls de toutes les stations (Bouzina, Mena, Djemoura T'kout et Batna) les points s'alignent suivant une seule direction formant une droite, aucune cassure ne s'est apparaît. Donc les séries pluviométriques pour ces stations présentent si on peut dire aucunes erreurs systématiques, elles sont homogènes (voir figure n°31), (annexe n°02).

Etude Climatique

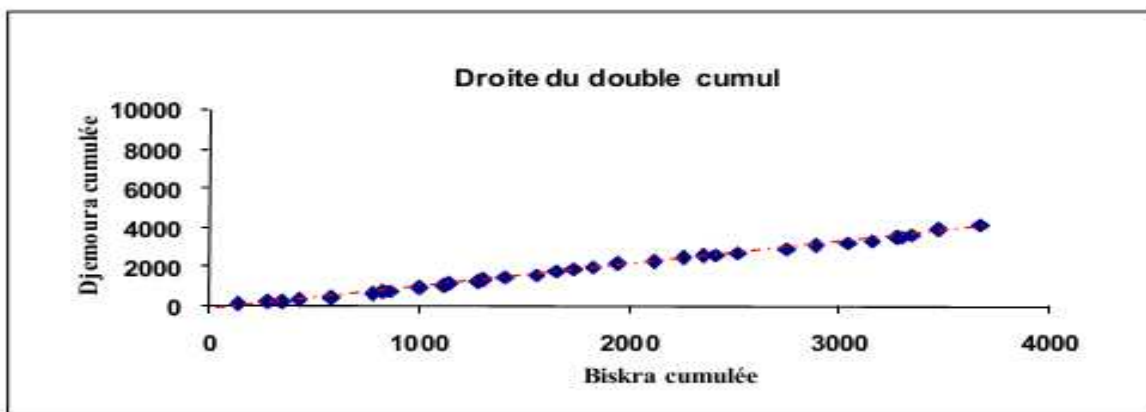
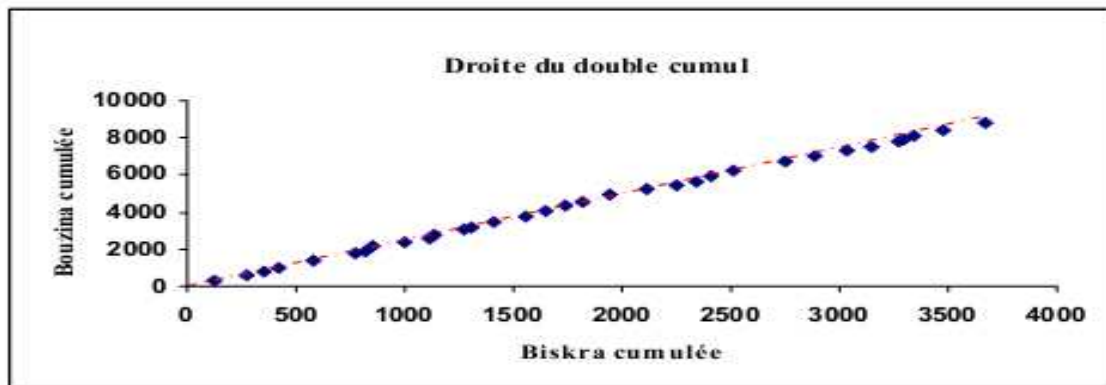
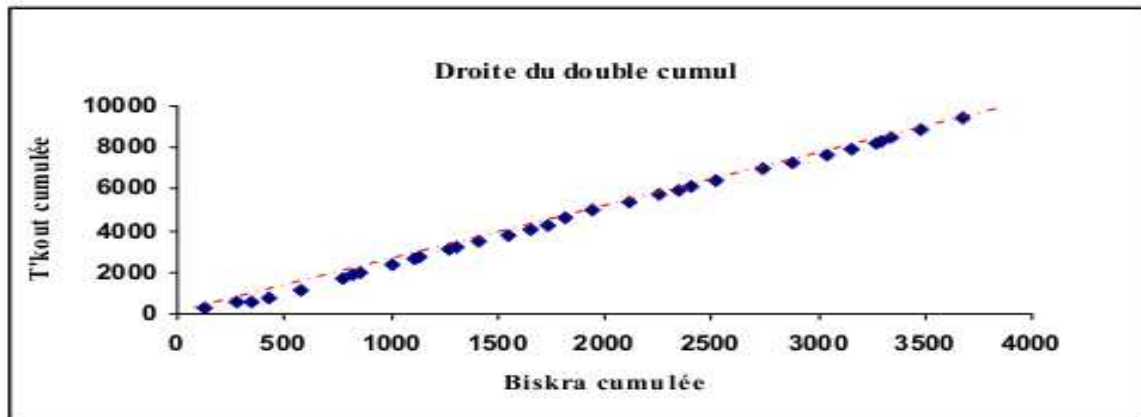


Figure n° 31 : Critique des données pluviométriques par la méthode des doubles cumuls.

V-2.3 Comblement des lacunes d'observation

L'analyse des séries d'observations pluviométriques révèle que les stations disponibles présentent des lacunes à l'échelle mensuelle (de un à plusieurs mois) et donc annuelle, ces lacunes sont dues soit à l'absence de l'observation soit à une défaillance du pluviomètre.

La restitution des données manquantes a été établie à l'aide de la méthode de corrélation linéaire qui consiste à estimer une valeur manquante d'une série pluviométrique lacunaire à partir des observations d'une autre série homogène (station de base).

L'équation de régression liant la station à homogénéiser à la station de référence est la suivante :

$$Y = aX + b$$

Avec :

Y : valeur estimée de la série à homogénéiser.

a : pente de la droite (coefficient angulaire de la droite de régression linéaire).

b : coordonnée à l'origine (constante).

X : valeur connue de la série homogène.

Les lacunes d'observation ont été comblées mois par mois et cela pour toutes les stations qui présentent des lacunes sur tout les mois, avec la station de Biskra comme référence. On a estimé parallèlement les totaux annuels, afin de les confronter aux totaux mensuels estimés séparément, ce qui permet d'éviter une incohérence des résultats. Mais la méthode de corrélation linéaire qui néglige la réalité géographique et les nuances pluviométriques locales n'a pas donnée de bons résultats. Voici quelques exemples (voir figure n°32).

➤ **Commentaire sur les corrélations**

D'après les observations des résultats obtenus du coefficient de corrélation entre les stations et la station de Biskra, on constate que :

- Corrélation entre (Biskra-Djemoura) en mois de février a donné un coefficient de corrélation, qui est égale à 0,0412 ; au moment que le coefficient de corrélation critique égale à 0,34.

Mars (Biskra-Menaa), $r = 0,071 < r_c = 0,34 \Rightarrow$ corrélation non significative.

Mai (Biskra-Bouzina), $r = 0,217 < r_c = 0,362 \Rightarrow$ corrélation non significative.

Mai (Biskra-T'kout), $r = 0,041 < r_c = 0,355 \Rightarrow$ corrélation non significative.

Juillet (Biskra-T'kout), $r = 0,086 < r_c = 0,355 \Rightarrow$ corrélation non significative.

Etude Climatique

Janvier (Biskra-Menaa), $r = 0,0686 < r_c = 0,34 \Rightarrow$ corrélation non significative.

A l'exception de quelques stations et dans quelques mois :

Septembre (Biskra-Bouzina), $r = 0,459 > R_c = 0,362 \Rightarrow$ corrélation significative.

Octobre (Biskra-T'kout), $r = 0,677 > R_c = 0,34 \Rightarrow$ corrélation significative.

Novembre (Biskra-Bouzina), $r = 0,745 > R_c = 0,362 \Rightarrow$ corrélation significative.

Février (Biskra- Menaa), $r = 0,365 > R_c = 0,34 \Rightarrow$ corrélation significative.

Dans l'ensemble, on peut dire que cette méthode n'a pas aboutit à notre recherche, c'est pour cela on a utilisé la deuxième méthode qui se base sur une corrélation de la station qu'on veut combler ses lacunes avec l'ensemble des autres stations et finalement cette dernière a donné de bons résultats (voir tableau n°21).

Etude Climatique

Figure n°32 : Régression à l'échelle mensuelle des précipitations.

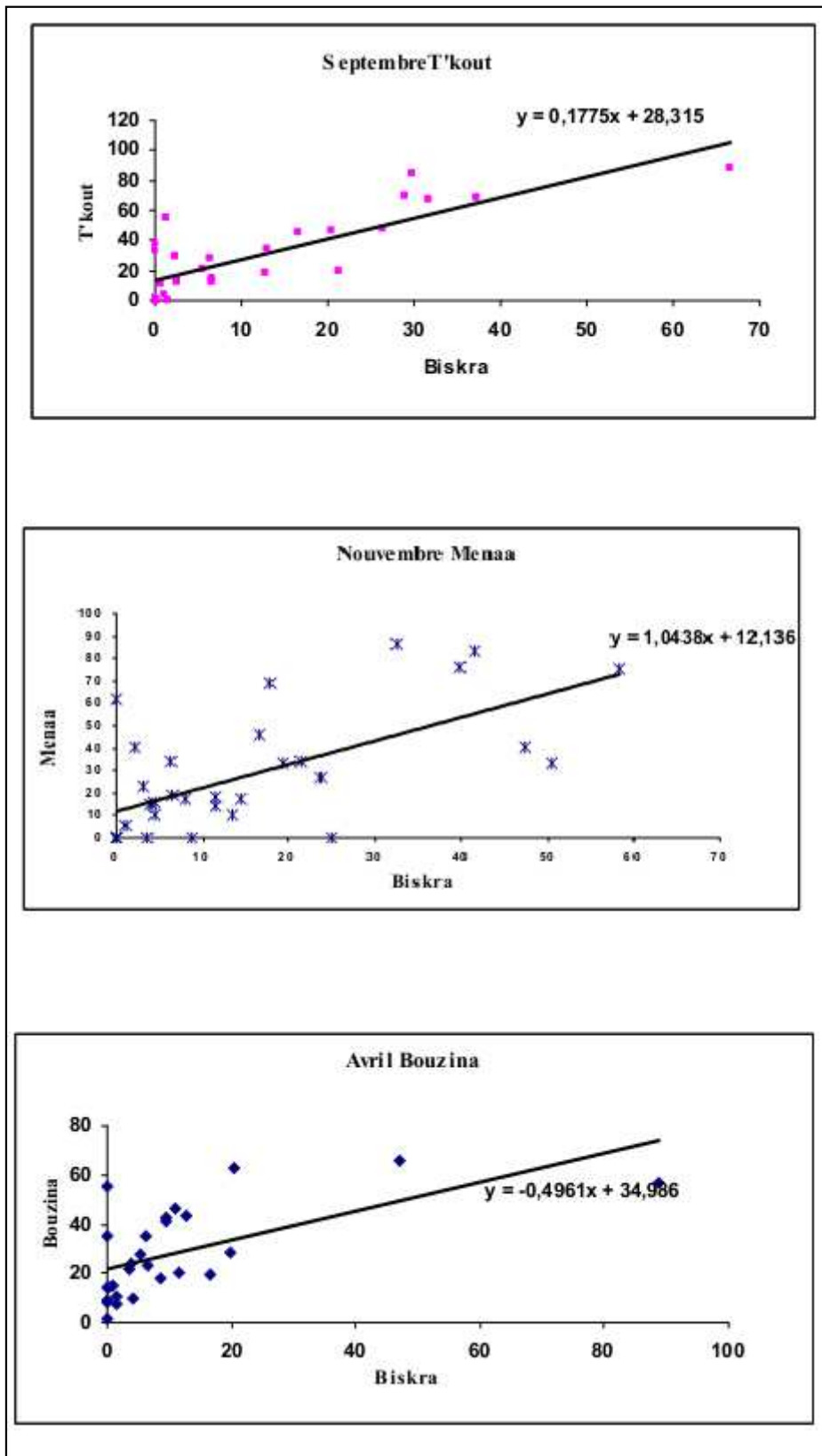


Tableau n°21 : Régression basée sur l'analyse par composante principales (ACP).

Etude Climatique

V-2.4. Variations spatiales et temporelles sur le bassin

N°	Septembre	Septembre	Septembre	Septembre
	Biskra	Bouzina	Djemoura	T'kout
1	6,7	59	0	14,5
2	29,8	86	43,1	84,8
3	1,5	27,176	0	0
4	0,2	19,4	8,5	0
5	38,5	32,8488	7	72,92197
6	29	65	0	70,2
7	0	65,50792	47,3	0
8	0	4,5	0	0,3
9	66,5	35,3	27,6	87,9
10	0	39	2	11,30408
11	0	37,7	12,93631	38,3
12	0	18,5	0,4413204	33,2
13	0	0	0	7,450049
14	1	3,5	0,3	3,2
15	2,3	17,5	5,2	29,7
16	26,3	85,5	57,5	48,1
17	0	8	0	1,4
18	2,5	84	43,32496	13,6
19	6,6	26,5	1,3	12,8
20	5,6	14,5	0	20,7
21	13	0	4,7	34,7
22	20,5	58	5,3	46,7
23	2,5	18,5	3,5	12,1
24	37,3	78	9,1	68
25	31,8	89,5	44,2	67,3
26	31,7	16,5	17	59,88774
27	16,6	57	16,7	44,8
28	0	21,5	0	9,614785
29	21,3	32	12,1	19,7
30	12,8	30,5	0	17,8
31	1,2	51,5	7	55,6
32	0,6	27,176	0	11,2
33	6,3	33,335	7,6	28,3

A. Evaluation de la pluie moyenne annuelle précipitée sur le bassin

Etude Climatique

Comme dans toute étude pluviométrique, nous sommes référés à une période d'observation qui s'étale du premier septembre 1971 au 31 août 2010 (39ans). Plusieurs méthodes établies pour le calcul de la pluie moyenne annuelle précipitée sur le bassin versant dont on a choisi :

a. Moyenne arithmétique

C'est une simple moyenne arithmétique des précipitations moyennes annuelles des stations pluviométriques relevées au même temps, aux différentes stations du bassin ou dans son voisinage pour une période déterminée.

Elle est déterminée par la relation :

$$p_m = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (10)$$

P_m : pluie moyenne annuelle (mm).

P_i : pluie moyenne annuelle de chaque station (mm).

n : nombre de station d'observation ; n=07.

Station	Batna	Bouzina	T'kout	Menna	Djemoura	Biskra	El-Kantra
Pi(mm)	373	284	288	247	139	120	230
Nombre D'année d'observation	43	33	33	33	33	39	37
Observation	ANRH					ANRH	Etude n°19 ¹

Tableau n°22 : Application de la méthode de moyenne arithmétique au calcul de la pluie moyenne annuelle.

Pour le bassin versant de l'oued Biskra la méthode de moyenne arithmétique a donné une pluie moyenne annuelle de P_m = 241 mm.

(1) : Etude n°19, code 05-06, 07,12. Date : Juin 1979. Auteur : T.Bougnar. Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique. Service Hydraulique.

Etude Climatique

b. Utilisation des graphiques (les trois lois de l'Algérie)

C'est une méthode graphique empirique tirée de l'ouvrage (climat de l'Algérie) de Seltzer montre avec tous les autres qui ont étudié la pluviométrie en Algérie, que la pluie en Algérie subit trois influences : celle de l'altitude, les conditions topographiques, de la longitude et enfin de l'éloignement des influences maritimes. Ainsi P.Seltzer a montré que la répartition des pluies en Algérie obéit au trois lois suivantes :

- La hauteur des pluies augmente de l'Ouest à l'Est.
- La pluie augmente avec l'altitude, celle-ci est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les versants sous les vents secs.
- La pluie diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

Une simple lecture sur le graphique correspondant à notre zone d'étude l'oued Biskra donne une valeur pluviométrique moyenne de 240mm (figure n°33).

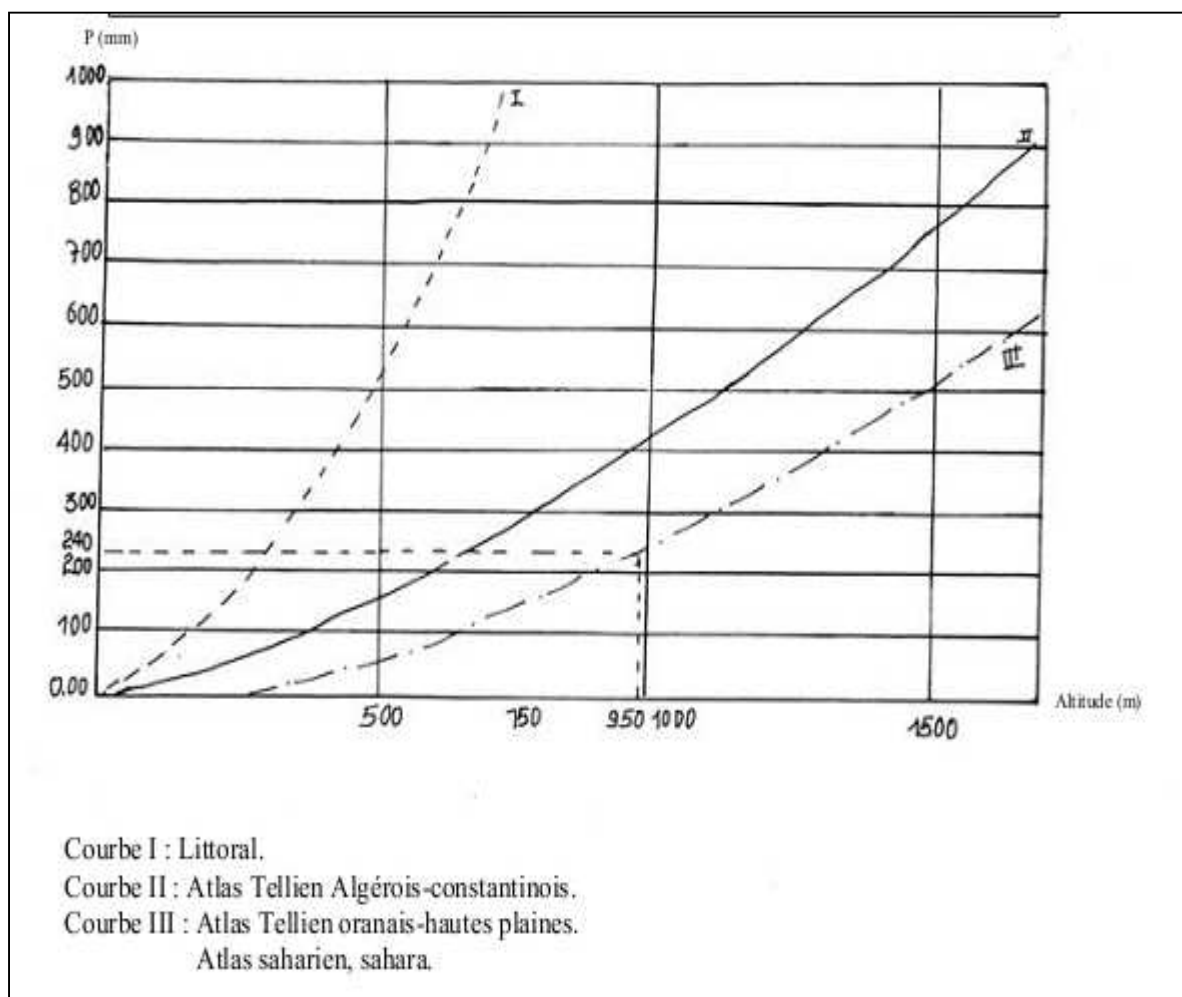


Figure n° 33 : Graphique de Seltzer des trois lois en Algérie (ANRH, Biskra 2008).

Etude Climatique

c. Méthode de Thiessen

C'est l'une des méthodes les plus rapides et les plus utilisées, elle consiste à diviser la surface du bassin en polygones, dans lesquels on attribue à chaque poste pluviométrique un poids proportionnel à une zone d'influence. Un point situé dans cette zone soit plus près en distance horizontale du pluviomètre correspondant que toute autre pluviomètre (figure n°34). La construction est la suivante :

- Les stations disponibles étant reportées sur une carte.
- On trace une série de droites reliant les stations adjacentes.
- Au milieu de chacune de ces droites on prend une perpendiculaire.
- Les intersections de ces médiatrices déterminent un certain nombre de polygones, pour chacun des quels la hauteur de précipitation moyenne est prise égale à celle de la station comprise à l'intérieur du polygone qui l'entour.

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{S_i P_i}{S_T} \quad (11)$$

Avec :

P : Pluie moyenne sur l'ensemble du bassin (mm).

S_i : surface élémentaire d'égale précipitation (km²).

P_i : précipitation moyenne sur la surface élémentaire qui est égale à celle de la station située à l'intérieur de la surface élémentaire (mm).

S_T : surface totale du bassin (km²).

Les résultats sont répartis dans le tableau n°23.

Tableau n°23 : Application de la méthode de Thiessen au calcul de la pluie moyenne annuelle

Station	P _{imoy} (mm)	Surface propre de chaque station (S _i) (Km ²)	P _i x S _i
Batna	373	356.96	133148.14
Bouzina	284	646.27	183541.93
T'kout	285	0	0
Mena	247	367.37	90741.43
Djamoura	139	595.83	82820.67
Biskra	120	94.34	11320.8
El-Kantra	230	726.2	167027.83

La lame d'eau moyenne annuelle obtenue par cette méthode est égale à 239,983mm.

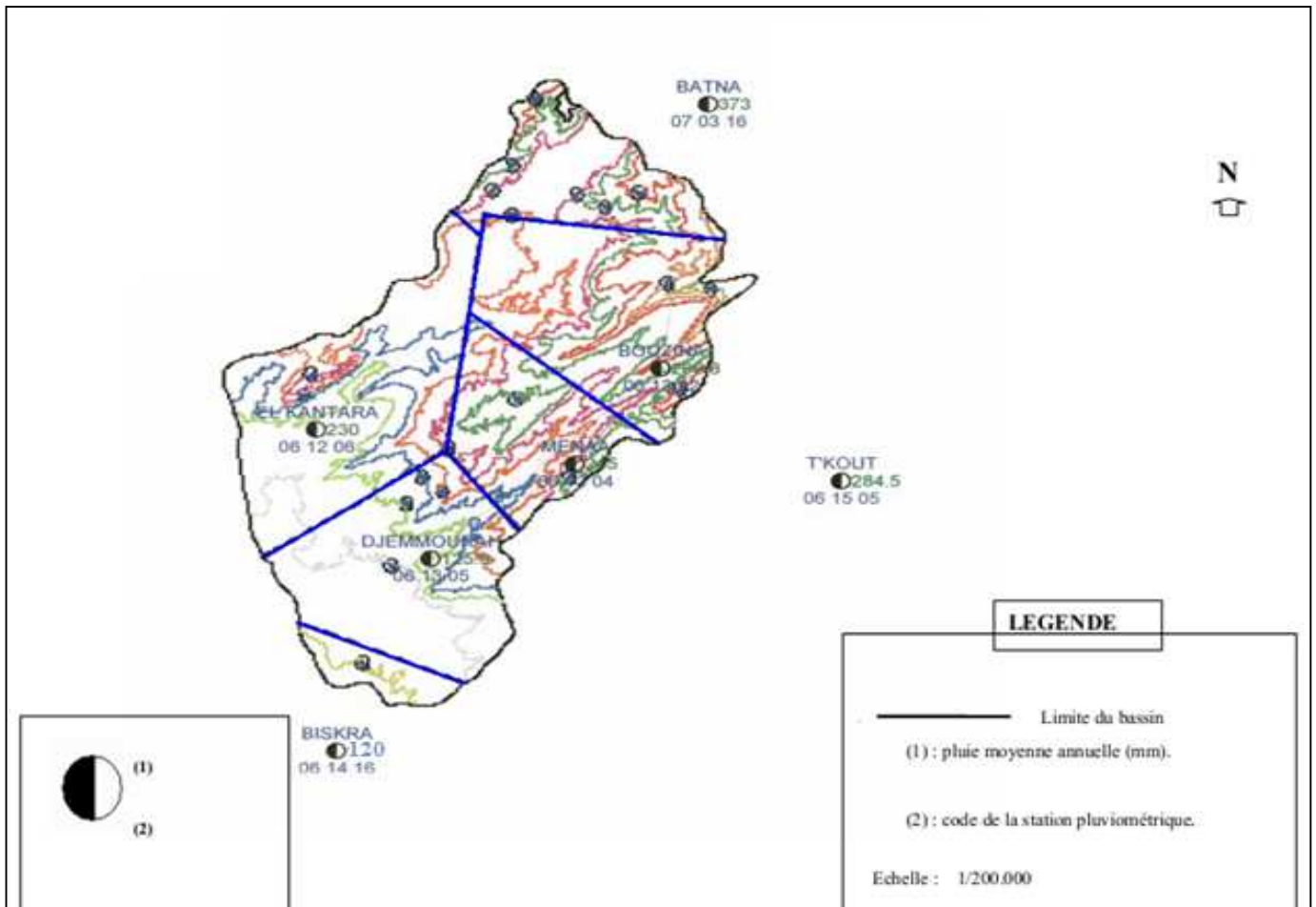


Figure n° 34 : Découpage de BV d’oued Biskra selon la méthode de Thiessen
 (Boumesseneh.A, 2007)

B. Répartition pluviométrique interannuelle

Pour mieux saisir et préciser la variation pluviométrique annuelle, on s’est basé sur le coefficient de variation ; paramètre très efficace pour la mesure du degré de dispersion relative des valeurs particulières autour de la moyenne globale.

Les valeurs de coefficient de variation annuelles de six (6) stations du bassin varient entre 0,30 et 0,46 avec une distribution spatiale qui varie du Sud-Ouest, donc en fonction du domaine climatique (tableau n°24).

A fin de caractériser la pluviosité propre à chaque année, il convient de tenir compte de "l'écart type" correspondant à l'excédent, ou au déficit des précipitations de l'année considérée rapportée à la moyenne de 39 ans; nous avons relevé toutes les années pluviométriques extrêmes humides et sèches (voir la figure n°35) (tableau n°25).

Etude Climatique

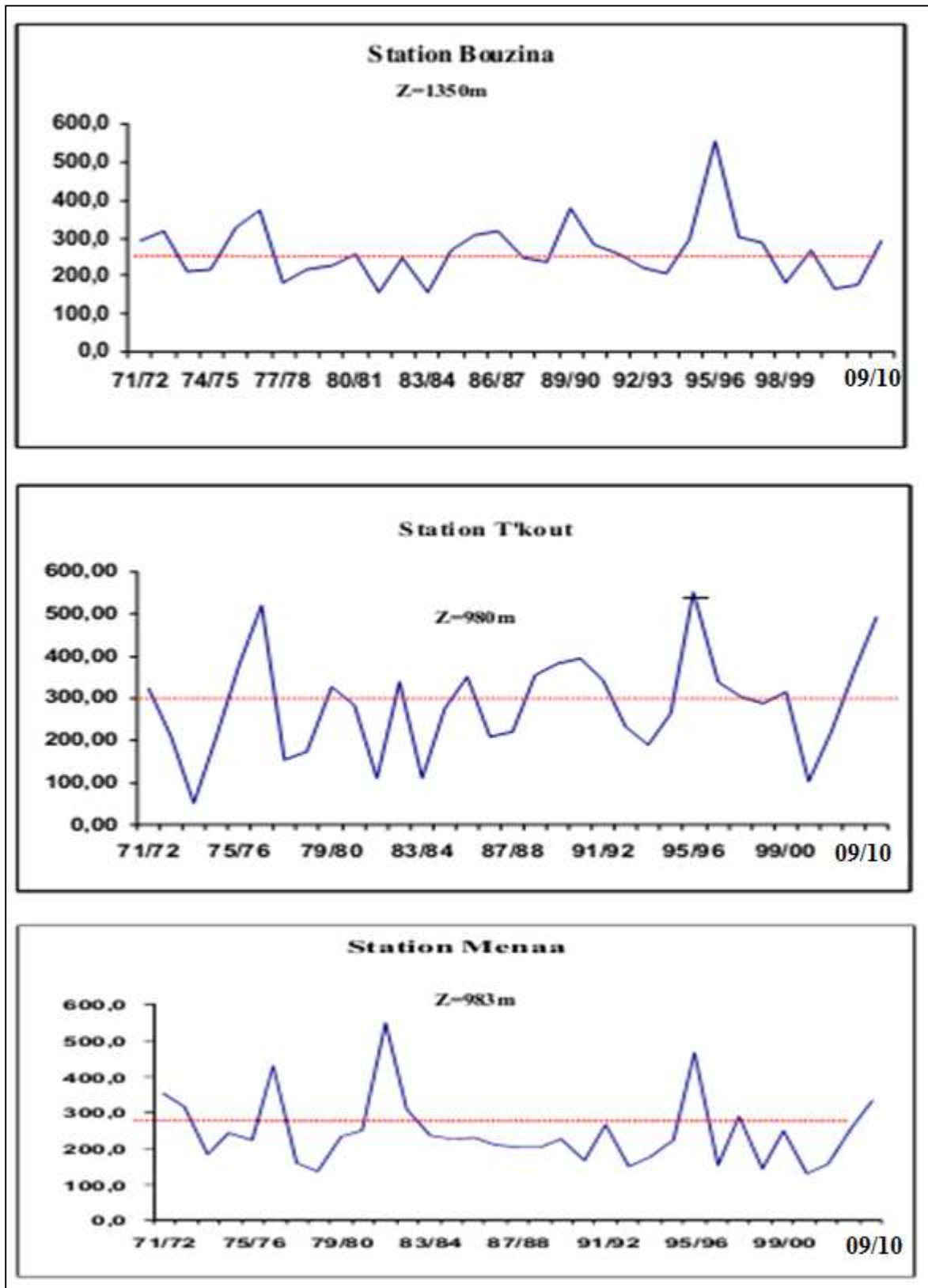
Tableau n°24 : Moyenne, écart type et coefficient de variation de la série pluviométrique.
(1971-2010)

Station		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Ju	Jui	Aou	Année
Biskra	<i>P</i>	12,5	9,65	15,6	8,89	14,5	5,98	13,4	12,7	8,25	5,55	0,618	3,68	111,30
	δ	16,1	12,2	16,2	8,69	22,4	8,07	15,4	20,2	13,3	8,01	1,30	6,81	51,75
	CV	1,29	1,27	1,04	0,977	1,55	1,35	1,15	1,59	1,62	1,44	2,11	1,85	0,463
Bouzina	<i>P</i>	37,7	41,6	25,5	27,3	17,6	27,7	28,1	29,6	26,5	15,1	3,27	11,1	266,80
	δ	26,9	64,6	20,8	17,1	15,4	30,3	23,9	19,2	28,2	15,9	6,09	14,8	80,73
	CV	0,715	1,55	0,814	0,625	0,873	1,09	0,853	0,649	1,06	1,05	1,86	1,34	0,30
Djemoura	<i>P</i>	11,6	11,4	15,91	9,92	17,5	14,4	11,9	15,7	13,32	4,47	0,85	5,03	125,90
	δ	16,6	16,4	17,72	9,14	30,1	18,3	14,8	22,5	22,12	7,97	3,04	2,24	54,50
	CV	1,43	1,44	1,11	0,92	1,72	1,27	1,24	1,43	1,66	1,78	3,57	1,87	0,43
Mena	<i>P</i>	29,87	20,7	28,1	29,5	19,7	19,6	30,9	21,9	21,8	12,5	1,44	11,3	245
	δ	26,96	21,3	26,4	69,3	23,3	17,7	27,5	19,1	29,4	16,0	6,13	18,4	97
	CV	0,902	1,03	0,94	2,35	1,19	0,903	0,89	0,874	1,35	1,28	4,27	1,62	0,40
T'kout	<i>P</i>	31,1	25,73	29,4	20,0	18,7	19,2	29,0	23,2	24,8	18,0	5,22	18,3	284,52
	δ	27,0	22,79	24,2	19,1	19,9	20,0	31,2	19,2	34,5	19,5	101	23,7	118,18
	CV	0,868	0,89	0,826	0,954	1,06	1,04	1,08	0,83	1,39	1,08	1,95	1,29	0,415
Batna	<i>P</i>	47,39	26,57	36,21	33,69	32,21	29,29	36,91	35,016	36,24	21,1	8,63	15,71	359,00
	δ	34,00	21,89	30,29	27,58	28,41	21,28	26,49	24,62	27,13	21,3	13,91	14,64	102,54
	CV	0,718	0,82	0,84	0,82	0,88	0,73	0,72	0,703	0,748	1,01	1,61	0,93	0,30

A titre d'exemple, l'année la plus pluvieuse de la série est 1981/1982 à Mena avec un écart à la moyenne de 125% à Bouzina, avec un écart à la moyenne de 107% de la série 95/96 et à Biskra un écart à la moyenne de 178% de la série 2008/2009. Par contre, l'année la plus sèche est l'année 1973/1974 à Djemoura, son déficit par rapport à la moyenne est de -84% à Biskra c'est l'année 2000/2001 avec un déficit de -79% et à T'kout c'est l'année 1973/1974 avec un déficit de -82%.

Etude Climatique

Figure n° 35 : Evolution annuelle des précipitations en (mm) (1971/2010).



Etude Climatique

Station	Moy-ann (1971-2010) (Pm)	Année humide (Pi)	Ecart à la moyenne $e_i = \frac{p_i - p_m}{p_m} \times 100$	Année sèche (Si)	Ecart à la moyenne $e_i = \frac{S_i - p_m}{p_m} \times 100$
Biskra	111,30	08/09	178%	00/01	-79%
Bouzina	266,80	95/96	107%	81/82	-42%
Djemoura	125,9	003/004	105%	73/74	-84%
Menaâ	245	81/82	125%	00/01	-47%
T'kout	284,52	95/96	94%	73/74	-82%
Batna	359	71/72	52%	93/94	-49%

Tableau n°25 : Ecart à la moyenne des précipitations annuelles extrêmes (1971-2010).

L'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations mérite d'être complétée par une étude fréquentielle, c'est-à-dire l'estimation des valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période donnée. Ceci suppose de rechercher au préalable la loi d'ajustement.

C. Distribution statistique des pluies annuelles

Nous avons adopté les modules annuels à la loi normale pour les stations du bassin : on a classé les 33 hauteurs annuelles de pluie par ordre décroissant, en attribuant à chaque variable son rang dans la série compté de 1, puis on détermine les fréquences expérimentales correspondantes ⁽¹⁾, on porte dans un graphique de Gauss, les fréquences en abscisses et les pluies moyennes annuelles en ordonnée puis on trace la droite d'ajustement permettant d'envisager la loi de probabilité. Cette démarche étant suivie pour toutes les stations du bassin versant l'oued Biskra (figure n°36 annexe n°03).

Selon la période d'observation choisi, les moyennes annuelles oscillent autour de la moyenne calculée sur la période la plus longue (erreur d'échantillonnage), il est donc nécessaire de compléter notre information en déterminant autour de la valeur empirique estimée un intervalle de confiance pour un degré de confiance choisi, qui dépend de considération économiques concernant le risque accepté⁽²⁾.

(1) : $F = \frac{i-0,5}{N}$ rang, N : taille de l'échantillon.

(2) : Pour une série d'observation (N > 30), on a les intervalles de confiances suivants :

$$\bar{x} \pm \frac{t_i - \alpha}{2}, \frac{\delta}{\sqrt{N}}$$

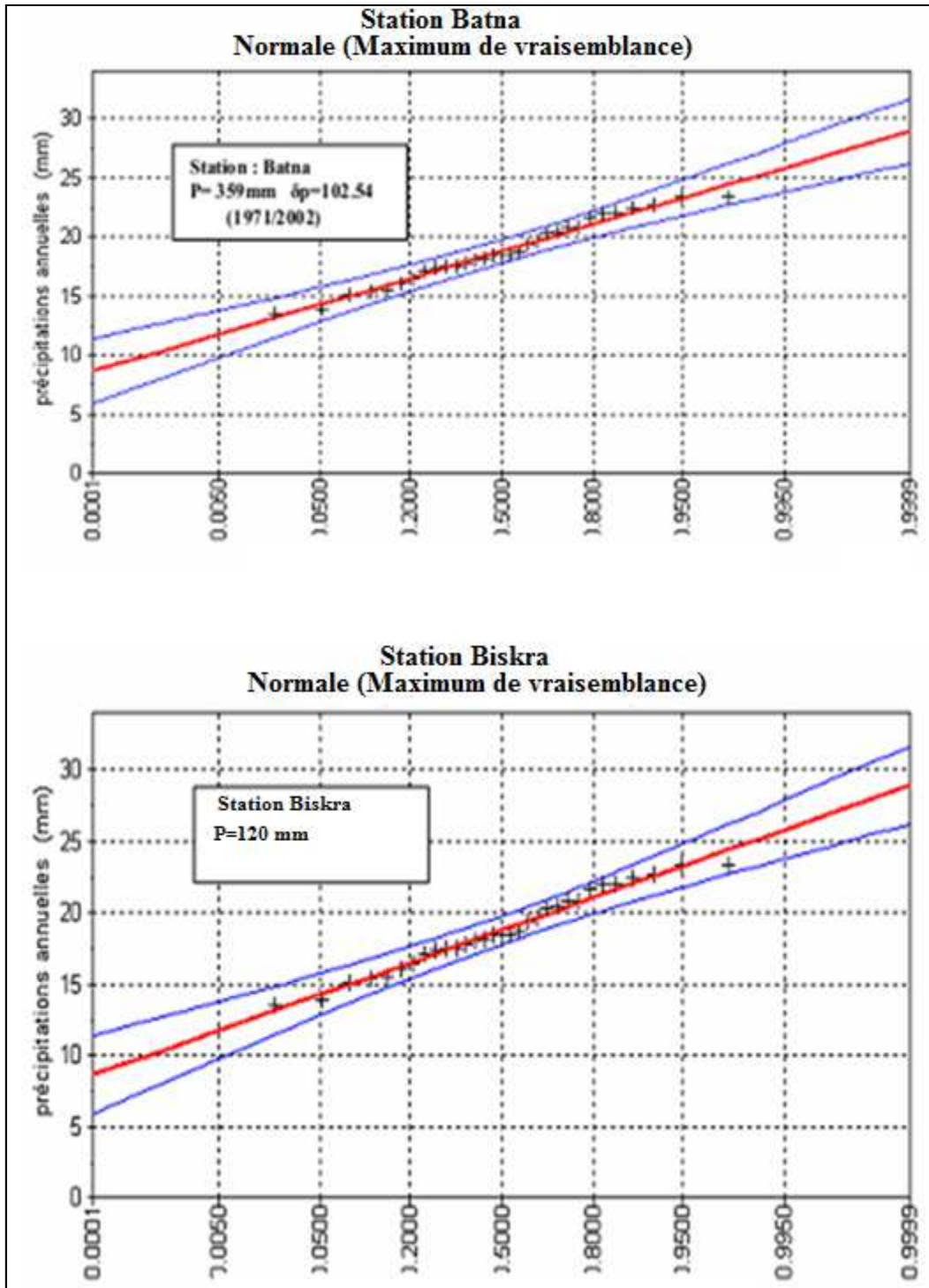
$\frac{t_i - \alpha}{2}$: La variable réduite à la loi Gauss, à la probabilité $\frac{1-\alpha}{2}$

x : La moyenne annuelle sur une longue période (33ans).

δ : Écart type de la période considérée.

Etude Climatique

Figure n°36 : Ajustement des précipitations annuelles à une loi de Gauss.



Les intervalles de confiance correspondant aux degrés de confiance α % sont résumés dans le Tableau n° 26.

Lorsqu'on procède à un ajustement d'une loi théorique de probabilité pour un échantillon la Question qui se pose savoir si cette loi s'adapte d'une façon satisfaisante.

Etude Climatique

Un examen graphique aussi intéressant qu'il soit ne pourrait suffire, il faut pouvoir tester par le calcul la qualité de l'ajustement réalisé.

On utilise à cette effet le teste de χ^2 : variable aléatoire dont la distribution à été étudiée par Pearson, les règles d'emploi sont les suivantes :

a) Le découpage en classes qui doit introduire des classes d'égale probabilité théorique et d'un effectif théorique d'au moins cinq (5) valeurs par classe.

b) Calcul de χ^2 :
$$\chi^2 = \sum_1^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (12)$$

Avec : n_i : effectif observé de la classe i .

np_i : effectif théorique de la classe i .

c) Calcul de nombre de degré de liberté.

$$U = k - 1 - P$$

Avec :

P : nombre de paramètre à partir des valeurs expérimentales pour ajuster à la loi théorique.

k : nombre de classe

Etude Climatique

Tableau n°26 : Intervalle de confiance pour les différentes stations du bassin et teste

Station	$\sum x^2$	Intervalle de confiance	
Biskra	4.09	95%	$93,64 \leq x \leq 128,96$
		90%	$96,48 \leq x \leq 126,12$
Bouzina	4.09	95%	$239,26 \leq x \leq 294,34$
		90%	$243,69 \leq x \leq 289,91$
Djemoura	5.55	95%	$107,30 \leq x \leq 144,50$
		90%	$110,29 \leq x \leq 141,51$
Menaâ	11.36	95%	$211,91 \leq x \leq 278,08$
		90%	$217,23 \leq x \leq 272,78$
Tkout	6.03	95%	$244,2 \leq x \leq 324,84$
		90%	$250,68 \leq x \leq 318,36$
Batna	4.00	95%	$322,90 \leq x \leq 395,10$
		90%	$328,70 \leq x \leq 389,30$

L'estimation numérique des pluies fréquentielles (Pf) en année humide et en année sèche se fait en appliquant l'équation de la variable réduite de Gauss ⁽¹⁾

Les quantités estimées pour les différentes stations du bassin de l'oued Biskra et pour les probabilités de retour retenues, sont présentées dans le tableau n° 27.

$$(1) : P_t = \bar{p} + Uf \times \delta.$$

P_t : pluie annuelle de fréquence f ; Uf : variable réduite de Gauss.

\bar{p} : Pluie moyenne annuelle.

Etude Climatique

Station	P (année humide)			\bar{P}	P (année sèche)		
	T=100ans	T=50ans	T=10ans	T=2ans	T=100ans	T=50ans	T=100ans
	f =0,99	f =0,98	f =0,90	f =0,5	f =0,10	f =0,02	f =0,010
Biskra	269,91	246,55	186,02	104,39	46,17	22,40	16,04
Bouzina	468,46	441,13	368,06	261,37	172,92	128,41	114,28
Djemoura	278,62	256,64	199,26	120,03	60,80	34,71	27,24
Mena	488,10	454,03	364,16	236,94	136,94	89,83	75,57
T'kout	360,31	580,52	450,54	271,16	137,08	78,13	61,26
Batna	630,36	593,56	495,24	351,75	232,74	172,87	153,86

Tableau n°27 : Précipitations annuelles fréquentielles en (mm).

La période observée de 1971 à 2010 présente des années exceptionnelles sèches ou humides et contient des valeurs d'une fréquence très différente de la fréquence expérimentale. A titre d'indication : l'année 1973/1974 est la plus sèche à la station de Djemoura (P=20,2mm) qui peut atteindre ou dépasser une fois tous les 39 ans. Alors que l'année la plus humide à la même station est celle de 2003/2004 avec une pluie de 258,7mm à une période de retour de 143 ans (tableau n° 28).

Etude Climatique

Tableau n°28 : Fréquence théorique des pluies moyennes annuelles et extrêmes pour les différentes stations de l'oued Biskra.

Station	Année extrême sèche	P (mm)	$u_p = \frac{P - \bar{p}}{\delta}$	Fréquence (f)	T=1/F	Année extrême humide	P(mm)	$u_p = \frac{P - \bar{p}}{\delta}$	f	T= 1/1-f
Biskra	00/01	22,9	-1,708	0,044	23	008/009	310,4	3,882	0,99993	14286
Bouzina	81/82	154,8	-1,387	0,083	13	95/96	553,6	3,553	0,9997	3334
Djemoura	73/74	20,2	-1,939	0,026	39	003/004	258,7	2,437	0,993	143
Mena	00/01	129	-1,196	0,116	9	81/82	551,7	3,162	0,999	1000
T'kout	73/74	51,5	-1,972	0,024	42	95/96	552,2	2,265	0,988	83
Batna	93/94	182	-1,726	0,042	24	71/72	545,5	1,81	0,966	29

V-2.5. Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers

L'étude de la variation inter-mensuelle et inter-saisonnière des précipitations s'avère déterminante sur l'écoulement fluvial saisonnier et sur le comportement hydrologique annuel de l'oued.

A. Variabilité inter-mensuelle des précipitations

On relève une amplitude importante des valeurs pluviométriques entre les mêmes mois de la série étudiée, ceci est mis en évidence par le coefficient de variation. En effet, les coefficients les plus élevés sont ceux des mois d'été, avec un maximum en juillet de 4,27 à la station de Menna ce maximum et de 3,57 à Djemoura le même mois et de 2,11 à la station de Biskra toujours en mois de juillet.

Ces coefficients extrêmement élevés s'expliquent par l'indigence pluviométrique d'une part et le caractère orageux des précipitations (averse) de la fin d'été d'autre part. La valeur minimale de ce coefficient est observée en mois de décembre à la station de Bouzina à une valeur de 0,625, il atteint 0,98 en décembre à Biskra, 0,826 en mois de novembre à T'kout et 0,7 en avril à Batna (tableau n°29). Sur le plan spatial, les hauteurs moyennes mensuelles de pluie dans les stations du bassin qui suivent une coupe SO-NE montrent clairement la variabilité spatiale de ces précipitations, elle est relativement plus accentuée dans le Nord du bassin, ceci reste très nuancé selon le mois et la réalité géographique des différents secteurs du bassin.

B. Régime pluviométrique saisonnier de l'oued Biskra

On appelle régime de pluie ; la lame d'eau de la hauteur de précipitations entre les diverses périodes, le plus souvent entre les diverses saisons de l'année.

La valeur moyenne mensuelle pluviométrique relative à la période 1971-2010 représentée par des graphiques, traduisant clairement des variations mensuelles et saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle et permet de distinguer deux périodes (figure n°37).

Une période déficitaire où les précipitations sont inférieures à la moyenne mensuelle de l'année. Or ils s'avère d'après le graphique que les mois dits secs, ne sont pas consécutifs dans plusieurs stations cependant les mois de juin, juillet et août sont secs dans toutes les stations, ils représentent la station sèche et chaude de l'été et le minimum est atteint en juillet ; le mois de février est aussi sec dans la quasi-totalité des stations.

Une période excédentaire où les précipitations sont supérieures à la moyenne mensuelle de l'année, elle débute en septembre et s'achève en mai, avec un premier maximum en septembre et un deuxième en mars dans la majorité des stations du bassin, pour les stations

Etude Climatique

Batna, T'kout, Djemoura et Bouzina le mois de mars et le plus arrosé de l'année, le minimum est enregistré en février pour toutes les stations.

La répartition saisonnière des pluies, dans les stations du bassin l'oued Biskra (tableau n°29) permet de distinguer un régime pluviométrique continental. Ce régime est caractérisé par une lame d'eau tombée en automne équivalente à peu près à la quantité de pluie printanière (environ 31% de moyenne annuelle) et une proportion de pluie hivernale relativement moindre soit 27% des précipitations annuelles, alors que la saison d'été est caractérisée par une faiblesse quantitative des précipitations soit un pourcentage de 11% de la moyenne annuelle.

Tableau n°29 : Répartition saisonnière des pluies dans les stations du bassin de l'oued Biskra.

Station	Automne (%) (sep, oct, nov)	Hiver (%) (déc, jan, fév)	Printemps (%) (mar, avr, mai)	Eté (%) (juin, juil, aou)
Biskra	34	26	31	9
Bouzina	31	27	31	11
Djemoura	30	32	30	8
Mena	30	28	32	10
T'kout	30	24	32	14
Batna	30	27	31	12

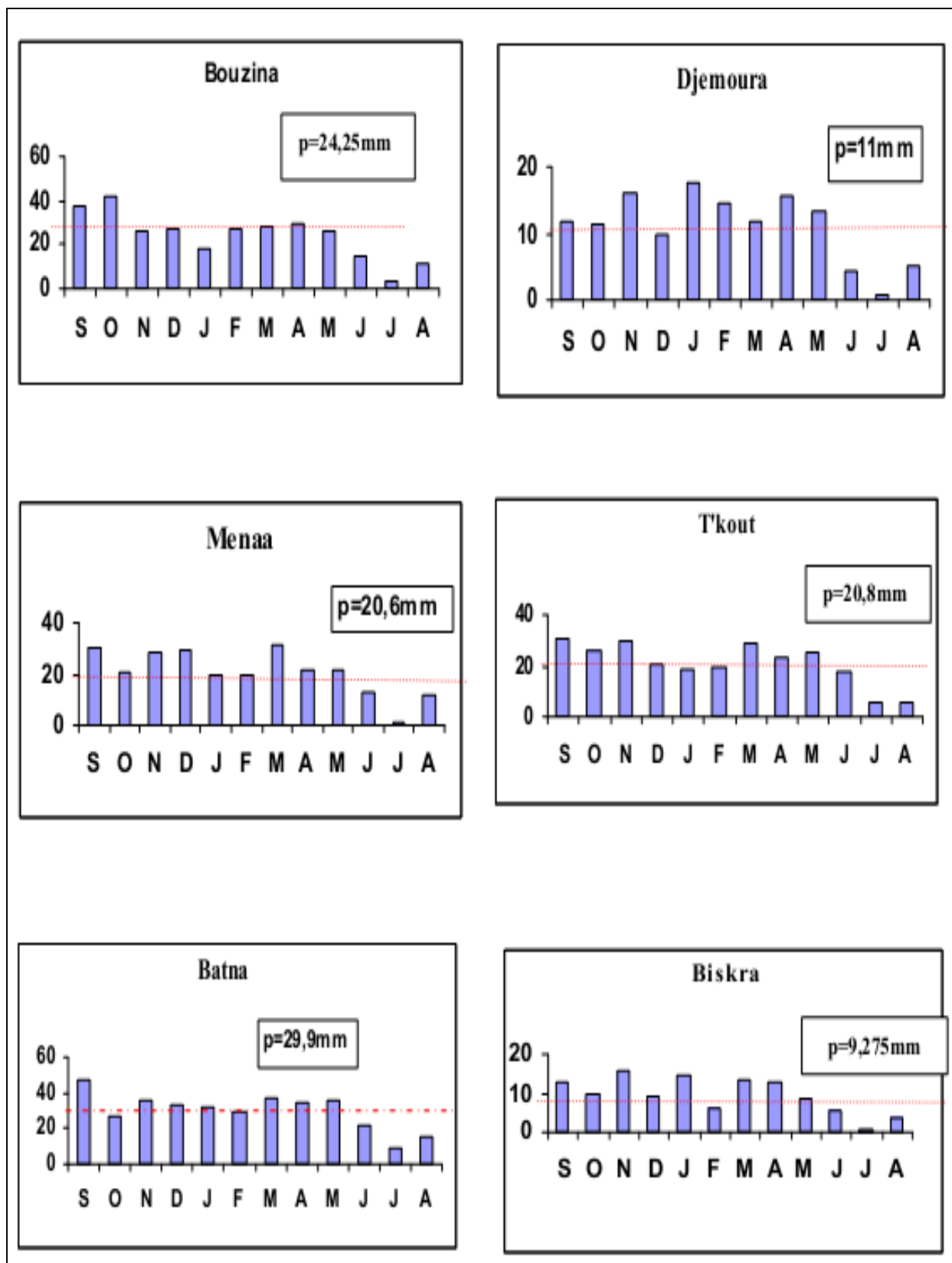


Figure n°37 : Variation mensuelle et saisonnière de la distribution des précipitations.

Compte tenu de la forte irrégularité des pluies mensuelles, il convient d'estimer les valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période de récurrence donnée, dans ce cas

Etude Climatique

la recherche d'une loi d'ajustement aboutit selon les essais déjà faites sur des bassins versants Algériens et en particuliers celui de Esser (J.M.Masson 1974), à admettre l'anamorphose en racine carrée des valeurs mensuelles, pour assurer la normalité (A.Mebarki, 1984).

Les graphiques d'ajustement pour les trois stations caractéristiques du bassin confirment la validité de cette anamorphose (figure n°38). L'estimation des pluies fréquentielles (Pf), se fait par application de l'équation de la variable réduite de Gauss, en transformant les moyennes en racines carrées ⁽¹⁾.

A titre d'exemple, à Bouzina la station la plus arrosée du bassin, il apparaît que pour le mois le plus pluvieux de l'année (septembre) la valeur atteinte ou dépassée une fois sur 10, 50, 100 ans en phase humide, serait respectivement 3, 2, 4, 8, 5,4 fois plus élevée à la moyenne mensuelle. Dans les secteurs les moins arrosés, à Biskra on remarque toujours pour le mois le plus pluvieux de l'année (janvier) que la hauteur de pluie de récurrence 1000 ans sera en année humide 8,7 fois plus élevée que la hauteur moyenne mensuelle.

Alors que les pluies fréquentielles sont pratiquement en période sèche, à l'exception de celle de durée de récurrence 10 ans, qui présente une hauteur de pluie 4,3 fois plus faible que la moyenne à la station de Bouzina (mois de septembre) et 5,4 fois plus faible que la hauteur moyenne à Biskra pour le mois de janvier.

Pour ce qui est du mois le plus sec de l'année à toutes les stations, il s'avère que les précipitations s'annulent tous les 10 ans en période sèche. Ainsi en retient dans l'ensemble que l'irrégularité des pluies de saison d'été est nettement plus accentuée qu'en saison humide (tableau n°30).

$$(1) \quad p_t = (\sqrt{P} + U_f \delta \sqrt{p})^2$$

Avec :

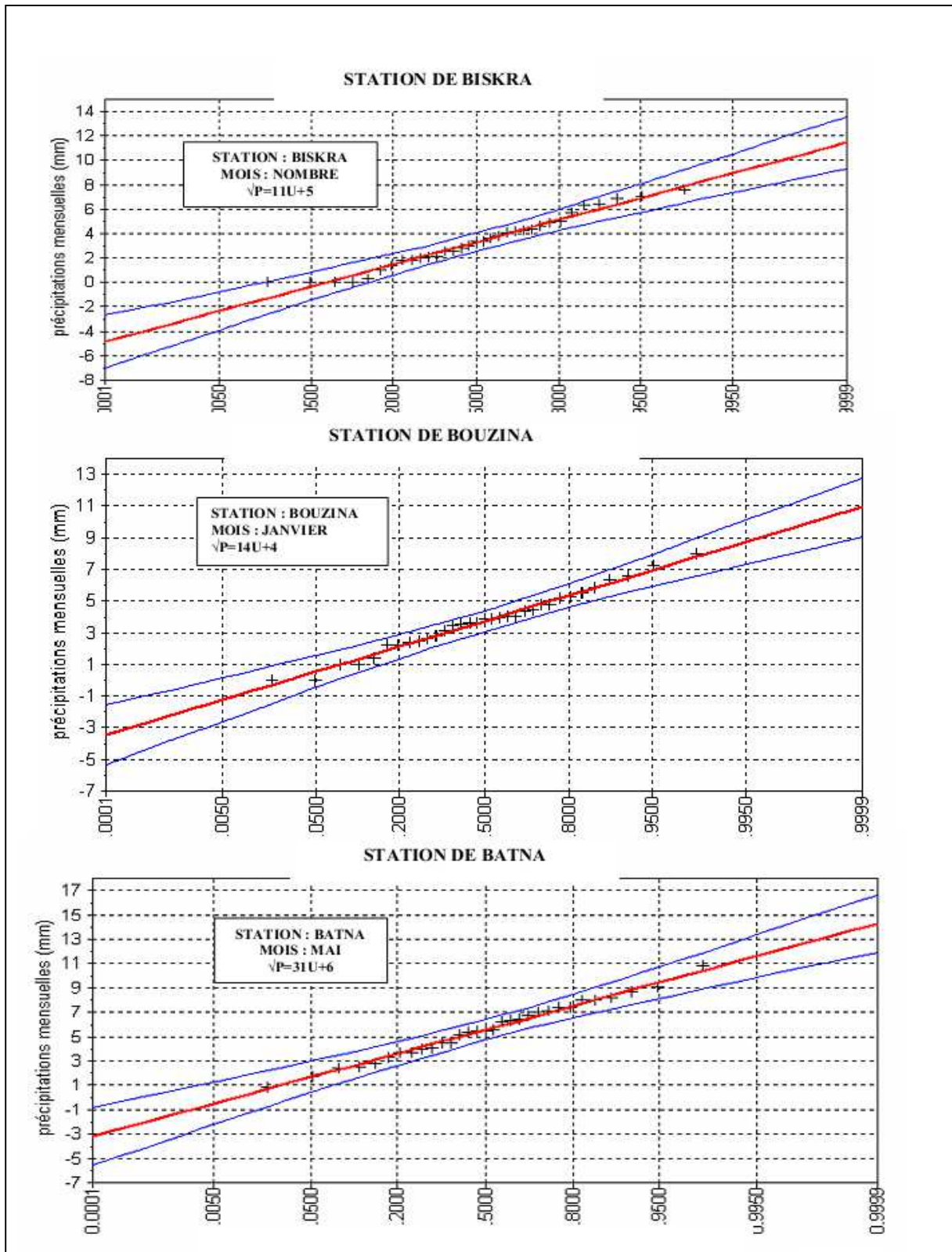
\sqrt{P} : la moyenne de la racine de pluie mensuelle en mm.

$\delta \sqrt{P}$: l'écart type de la racine de pluie mensuelle en mm.

U_f : la variable réduite de Gauss.

Etude Climatique

Figure n°38 : Ajustement des précipitations mensuelles à une loi de Gauss après une anamorphose en racine carrée pour la série (1971/2010).



Etude Climatique

Tableau n°30 : Précipitations mensuelles fréquentielles Pour les 3 stations caractéristiques.

Station	fréquence	Précipitations mensuelles en mm											
		Sep	Oct	nov	Déc	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aou
Biskra	0,01	8,31	5,98	3,20	1,80	12,51	2,51	2,88	7,68	86	4,96	1,58	6,37
	0,02	5,00	3,54	1,42	0,79	7,86	1,37	1,30	4,53	60,87	3,13	3,13	4,39
	0,10	0,16	0,08	0,25	0,15	0,52	0,00	0,19	0,09	146,58	0,22	0,27	0,77
	0,50	7,00	5,53	10,93	6,25	7,45	3,76	9,35	7,34	133,19	2,87	0,14	1,28
	0,90	32,42	24,95	37,78	21,3	38,20	15,04	32,2	32,81	254,28	14,66	1,62	9,90
	0,98	56,70	43,40	60,92	34,7	68,25	25,48	52,6	56,97	327,25	26,27	3,30	10,02
	0,99	66,88	51,11	70,60	40,2	80,91	29,81	61,0	67,08	35,30	31,18	4,03	22,94
Bouzina	0,01	0,00	15,71	0,21	0,00	0,56	1,75	0,12	0,86	3,44	4,20	5,64	4,41
	0,02	0,19	8,37	0,00	0,61	0,00	0,39	0,00	2,02	1,26	2,06	3,88	2,38
	0,10	5,69	0,00	3,27	5,34	1,61	1,81	3,90	7,95	0,92	0,00	0,68	0,00
	0,50	31,52	26,70	21,0	23,51	14,00	21,35	23,3	26,40	19,48	10,21	1,15	7,02
	0,90	78,17	104,0	54,06	54,60	38,63	62,33	58,9	55,58	61,89	37,00	8,81	27,73
	0,98	116,4	175,0	81,43	79,52	59,4	97,4	88,2	78,4	99,00	61,22	16,9	46,8
	0,99	131,6	204,46	92,42	89,4	67,8	111,6	100	87,3	114,0	71,21	20,4	54,7
Batna	0,01	0,24	0,00	0,36	0,00	0,00	0,03	0,49	0,30	0,00	2,85	6,75	0,58
	0,02	1,38	0,13	0,00	0,40	0,00	0,53	1,66	1,26	0,53	1,00	4,17	0,07
	0,10	9,89	4,00	4,85	1,55	1,70	5,47	8,7	7,7	6,5	0,70	0,22	1,36
	0,50	41,10	22,23	29,92	28,59	22,4	25,1	32,4	30,56	30,89	15,45	4,6	12,43
	0,90	93,66	55,18	76,34	68,71	66,3	59,0	71,4	68,52	73,5	49,4	22,6	34,65
	0,98	135,6	82,16	114,6	101,2	104	86,3	102	98,69	107,9	79,08	40,1	53,41
	0,99	152,3	92,95	130,0	114,2	119	97,2	114	110,6	121,7	91,23	47,5	61,00

V-2.6 Précipitations extrêmes et les averses facteur générateur des crues

L'analyse des précipitations journalières maximales et même des hauteurs de pluie horaire présente un intérêt particulier, pour les études de protection contre les crues.

Pour dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes, nous nous basons sur des données d'observations disponibles pour quatre (4) stations et pour une période de vingt trois ans (23) ainsi que sur les données d'étude faite par K, Body (1981).

Il s'avère que la hauteur d'eau journalière maximale décroît d'une manière générale, en allant du secteur montagneux vers les plaines, à titre de comparaison, la station de Biskra a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne 29,50mm ; la station de Batna : 36,2mm, Menaâ a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne de 33,67mm, alors que Tkout a reçu 37,76mm donc ces hauteurs maximales recueillies en 24 heures sont d'autant plus élevées que le module mensuel et plus fortes. Concernant la variabilité temporelle de pluie maximale journalière, on relève que la hauteur la plus forte coïncide avec les mois les plus pluvieux de l'année : septembre et octobre ou mars, avril et mai pour la série (1971/1993).

Etude Climatique

Ces pluies exceptionnelles alimentent largement les crues et les transports solides des oueds surtout dans les terrains fortement dénudés qui occupent une partie importante du bassin ; là où les inondations risquent de se produire.

Afin de faire ressortir cette irrégularité temporelle de pluie extrême, une étude fréquentielle nous permet de caractériser et d'estimer les précipitations exceptionnelles, pour les différentes durées de récurrence.

La loi qui s'ajuste mieux aux valeurs extrêmes est celle de Gumbel, ou doublement exceptionnelle, sa réalisation par la méthode graphique nécessite les opérations suivantes :

- Classé les pluies maximales journalières observées par ordre croissant.
- Classé les probabilités expérimentales ⁽¹⁾.
- Reporté les couples (Pjmax, Fx) sur papier à échelle de probabilité Gumbel.
- Calculé les paramètres d'ajustement ⁽²⁾.
- Tracé la droite de Gumbel ⁽³⁾.

La figure n°39 montre que la droite de Gumbel passe bien au milieu de ces points expérimentaux, donc cette loi est applicable pour les séries d'observations des quatre stations caractéristiques du bassin.

Les quantiles estimés pour les quatre stations ⁽⁴⁾ et pour les probabilités de retour retenues sont présentés dans le tableau n°31.

(1) $f_x = \frac{n-0,5}{N}$

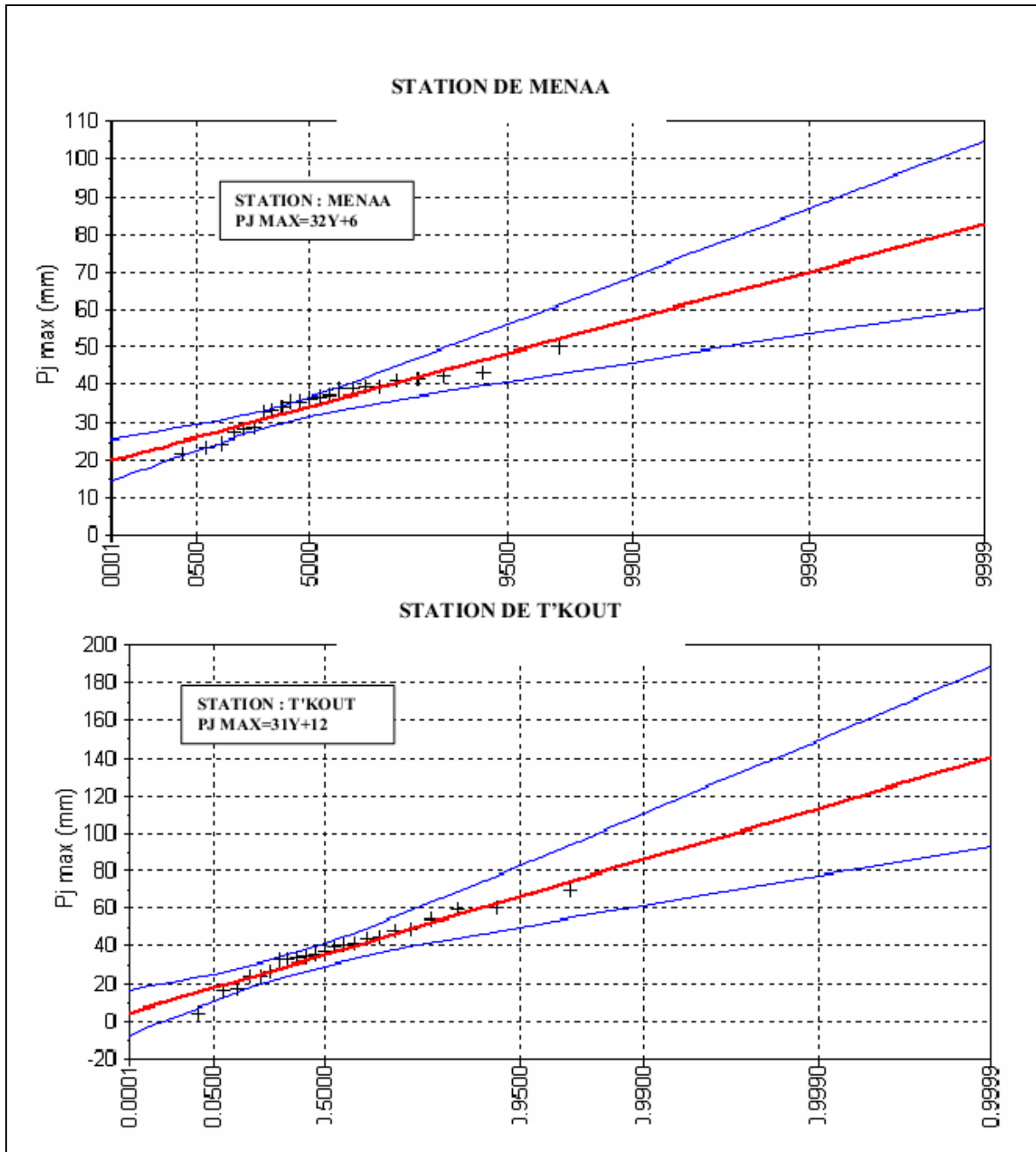
(2) $\frac{1}{\alpha} = 0,78\delta p; \quad p_{jmax\%} = \overline{p_{jmax}} - \frac{1}{\alpha} \times 0,577$

(3) $y = a(\overline{p_{jmax}} - p_{jmax\%})$

(4) Le calcul des quantiles se fait en appliquant l'équation de Gumbel : $y = -[\ln(1 - \ln fx)]$

Etude Climatique

Figure n° 39 : Ajustement des précipitations journalières maximales à la loi de Gumbel stations de Menaa et T'kout (1971/1993).



Etude Climatique

Figure n°40 : Ajustement des précipitations journalières maximales à la loi de Gumbel stations de Biskra et Batna (1971/1993).

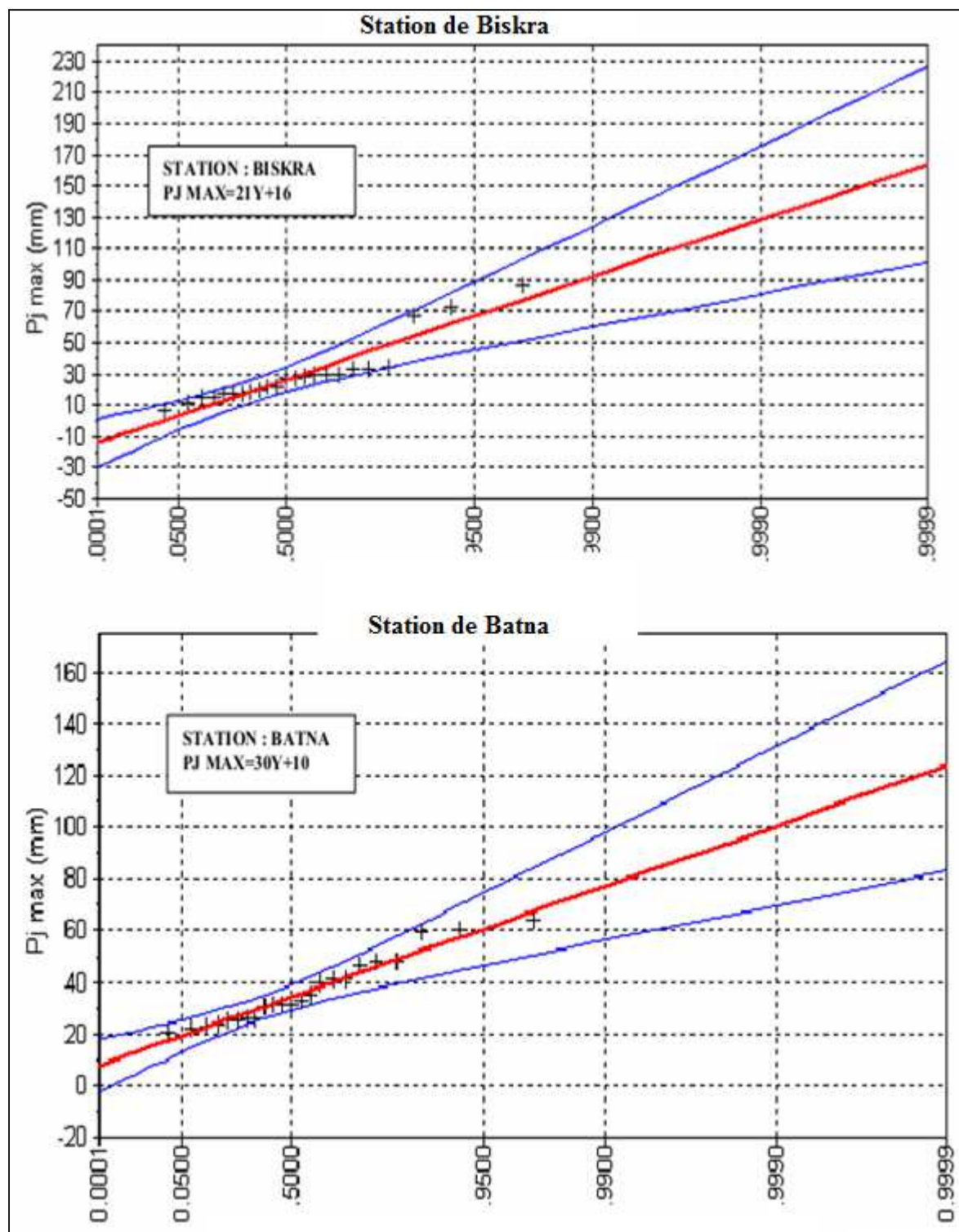


Tableau n°31 : Pluie maximale journalière fréquentielle, pour les quatre stations pluviométriques (1971/1993).

Etude Climatique

Pour mieux caractériser l'écoulement fluvial extrême ayant trait aux crues et les inondations, il faut descendre à une échelle temporelle encore plus fine dans l'analyse des

T	02	05	10	50	100	1000
Pjmax%						
Fréquence	0,50	0,80	0,90	0,98	0,99	0,999
Variable de Gumbel	0,40	1,50	2,30	3,90	4,60	6,90
Biskra	26,22	43,87	55,55	81,27	92,15	128,70
Batna	34,06	45,55	53,15	69,88	76,69	100,34
Mena	33,97	40,22	44,36	53,47	57,32	70,037
T'kout	35,25	48,77	57,72	77,42	85,74	113,26
Bassin (moyenne)	32,37	44,60	52,70	70,51	71,30	102,93

pluies extrêmes, à l'échelle des pluies horaires, pour une analyse complète des événements averse-crue observés sur le bassin.

Cependant, n'ayant pas de données suffisantes, on doit recourir à des formules empiriques qui permettent d'estimer les pluies de courte durée, on adopte la méthode utilisée par ANRH d'après K.Body (1981) ⁽¹⁾.

(1) $P_t = P_{jmax} \left(\frac{t}{24}\right)^b$ P_t : pluie de courte durée de fréquence donnée, en mm,

b : exposant climatique (voir le tableau n°32),

P_{jmax} : pluie journalière de fréquence donnée en mm

Etude Climatique

Tableau n°32 : Valeurs de l'exposant climatique pour les quatre stations pluviométriques de l'oued Biskra.

Station	Pj max (mm)	Exposant climatique ⁽¹⁾
Biskra	29,50	0,22
Batna	36,20	0,27
Mena	33,67	0,26
T'kout	37,76	0,28
Bassin (moyenne)	34,28	0,26

La pluie de courte durée d'un pas de temps voulu, pour les différentes fréquences est représentée dans (annexe n°06).

$$(1) \quad b = 1 + \frac{\ln\left(\frac{pj_{max}}{24}\right) - \ln(25)}{\ln(24) - \ln(0,5)}$$

Etude Climatique

Figure n°41-a : Courbes intensités-durées-fréquences Stations Biskra et Batna.

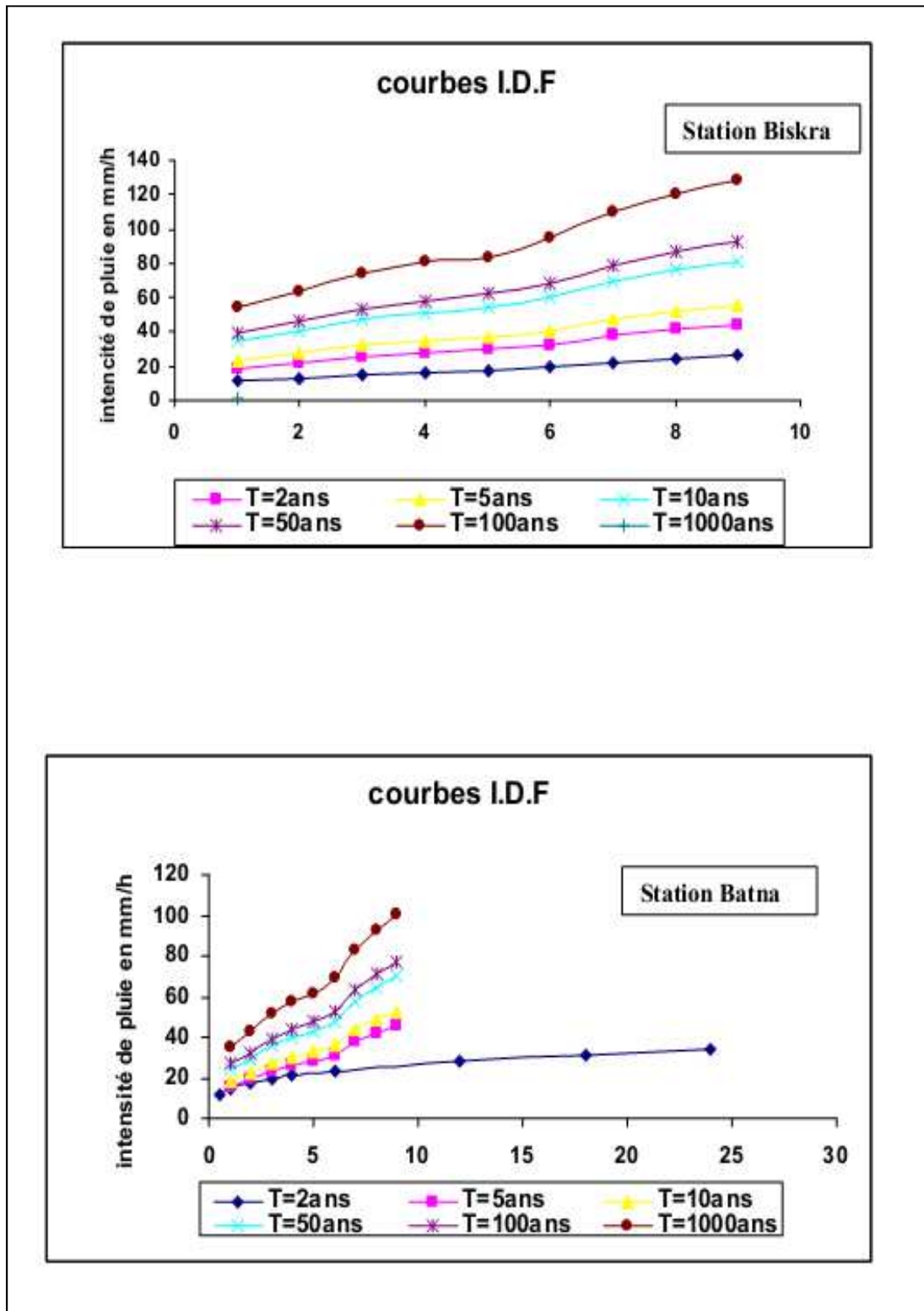
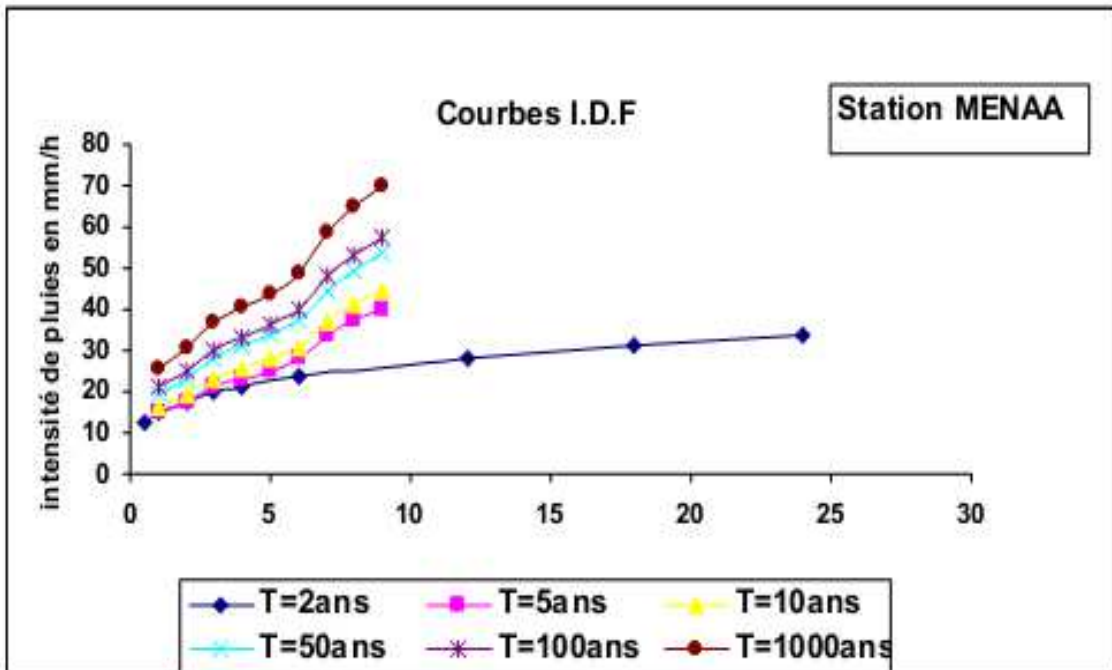
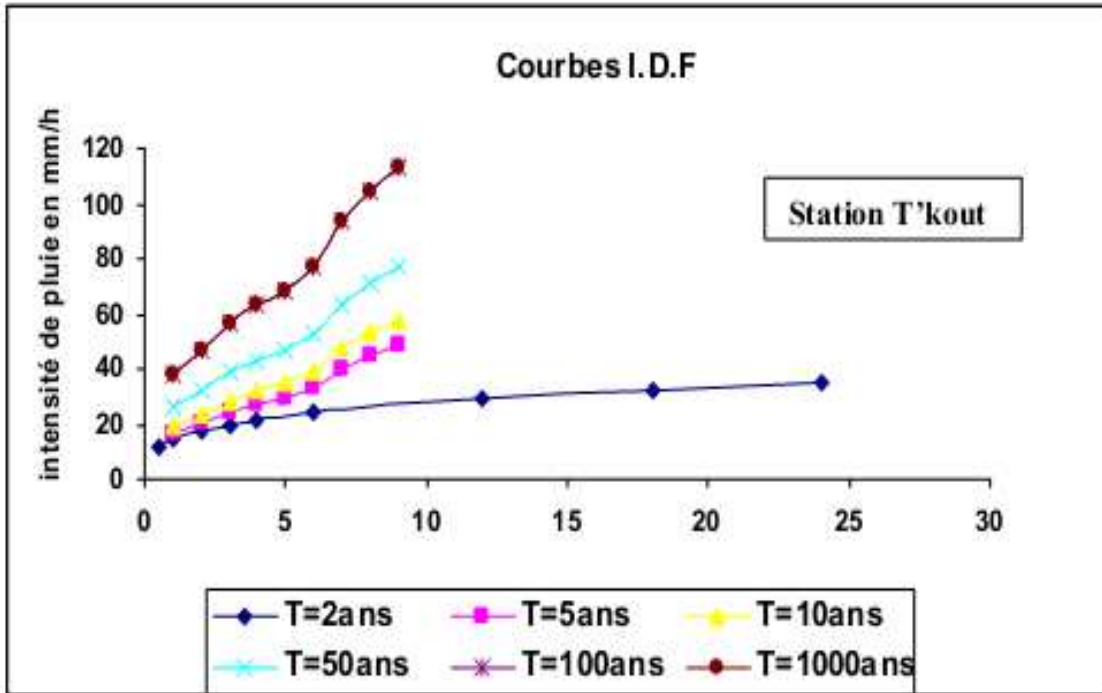


Figure n°41-b : Courbes intensités-durées-fréquences Stations Menaa et T'kout.



Etude Climatique

V-3 Température

La température est un facteur très important, qui conditionne les phénomènes et les paramètres du bilan hydrologique en particulier.

L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elles qui nous permettent d'évaluer les déficits d'écoulement des bassins versant.

Le terrain d'étude dispose des données de deux stations au voisinage du bassin, mais aucune données en son sein : la station de Biskra au Sud du bassin, avec une série homogène pour une période de 25 ans (1977-2002) et la station de Batna au Nord du bassin, avec une série homogène, pour une période de 25 ans (1973-1998) (tableau n° 33 et tableau n° 34).

La figure n°41, montre la variation des températures moyennes mensuelles interannuelles maximale et minimales.

Source : ANRH Biskra (1977-2002).

Mois	Sep	Oct,	Nov,	Déc,	Jan	Fév,	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Température	28,71	22,78	16,88	12,86	12,35	14,03	16,76	20,11	25,02	30,45	33,56	33,28
Temp.moy.max	34,19	27,90	21,57	17,6	16,69	19,17	22,27	25,73	30,86	36,68	39,93,	39,35
Temp.moy.min	23,16	17,65	12,15	8,11	7,16	8,86	11,25	14,43	19,11	21,15	27,14	16,69

Tableau n°33 : Températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Biskra.

Source : ANRH Batna (1973-1998).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Température	20,57	15,62	10,32	6,69	5,66	7,18	9,40	12,65	17,22	22,46	26,35	26
Temp.moy.max	26,53	21,47	15,62	11,25	10,51	12,74	15,28	19,53	24,69	29,96	34,49	34,13
Temp.moy.min	14,6	9,78	5,02	2,13	0,81	1,62	3,53	5,77	9,76	14,97	18,21	17,87

Tableau n°34 : Températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Batna

Etude Climatique

Figure n°41-c : Répartition des températures moyennes mensuelles maximales et minimales à la station de Biskra période (1979/2002).

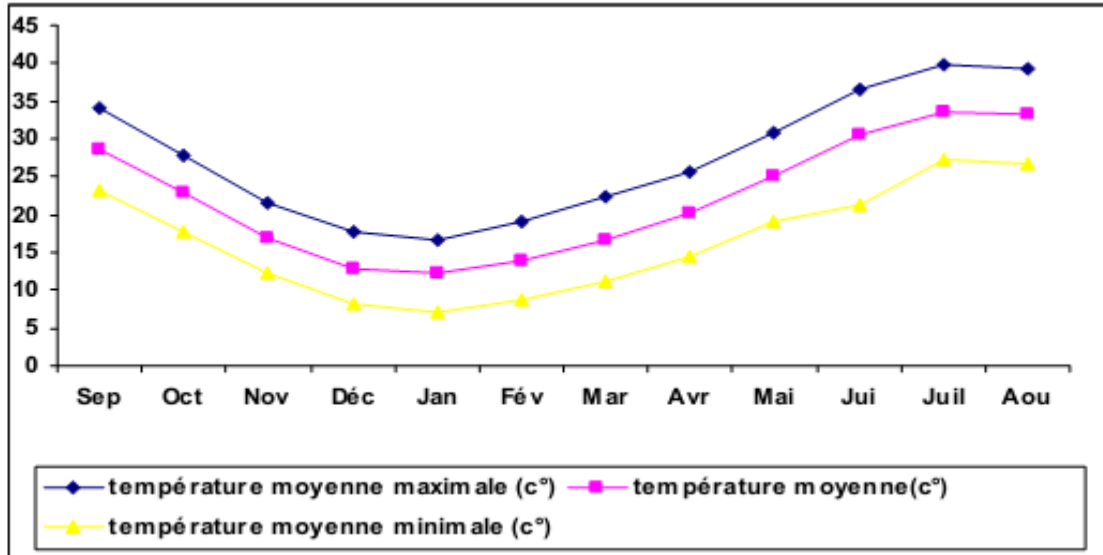
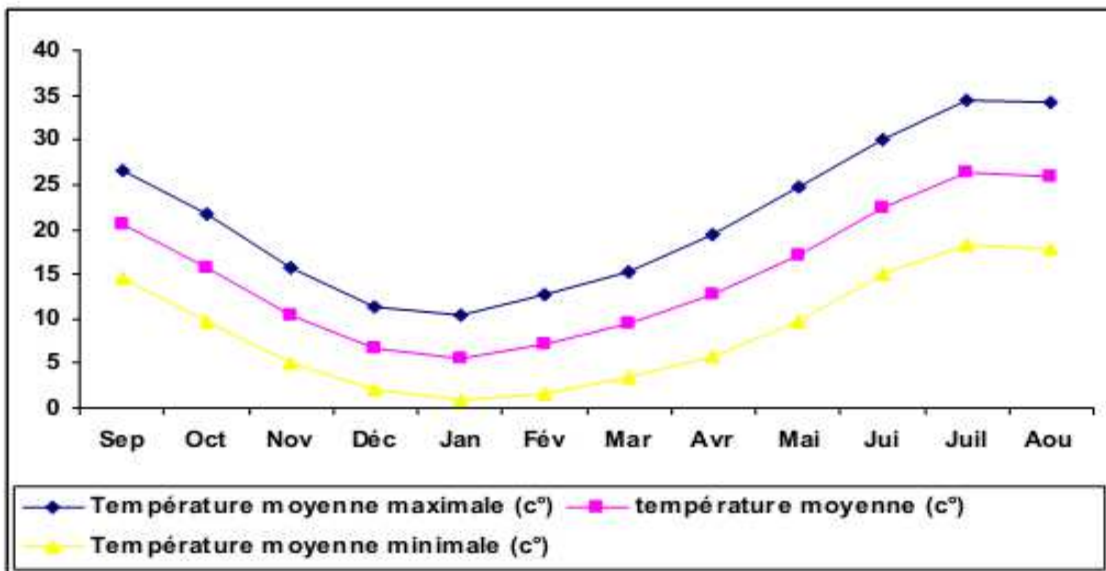


Figure n° 41-d : Répartition des températures moyennes mensuelles maximales et minimales à la station de Batna période (1973 /1998).



Etude Climatique

D'après la figure n°41 et les tableaux n°33 et 34, l'un des points essentiels qu'il faut retenir c'est la division de l'année en deux saisons thermiques :

-La saison chaude s'étend de mai à octobre, mais pendant lesquels les températures moyennes sont supérieures à la moyenne annuelle qui est de 22°C pour la station de Biskra et 14°C à Batna. Avec un maximum en juillet ou août, qui atteint la valeur de 26°C , pour la station de Batna et 28°C à Biskra alors que la saison froide correspond à novembre et avril avec un minimum en janvier de $4,4^{\circ}\text{C}$ pour la station de Batna et 5°C pour la station de Biskra.

La diminution du Nord vers le Sud des températures pour le bassin de l'oued Biskra est liée essentiellement à l'altitude mais aussi à cause de l'effet de la continentalité dans la région des hautes plaines (70% ; donc la majorité de la superficie du bassin se situe dans le même régime bioclimatique que la station de Batna (climat semi-aride).

-L'amplitude thermique annuelle qui traduit la différence entre la température moyenne du mois le plus chaude et celle du mois le plus froid est environ 22°C pour la station de Batna et 17°C pour la station de Biskra ; ce qui confirme la continentalité marquée de ce bassin.

V.4 Evaporation annuelle des précipitations, des températures et le régime climatique du bassin

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques températures et précipitations est intéressante dans la mesure, où elle permet de déterminer les mois véritablement secs, qui correspondent selon la définition de F. Bagnouls et H. Gaussen, au mois où le total de précipitations est inférieur au double de la température moyenne mensuelle.

Pour avoir la relation entre la température et la précipitation on utilise le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (figure n°42), qui est établi à partir des données de températures moyennes mensuelles et des précipitations moyennes mensuelles avec une échelle $P=2T$, qui sont représentées dans le tableau n°35.

Comme le montre le diagramme ombrothermique de la station de Batna située hors du bassin vers le Nord-Est de ces limites Nord, on observe une saison sèche de cinq mois. Elle commence à la fin de mai et dure jusqu'à la fin de septembre (figure n° 42-a et b).

La station de Biskra située hors du bassin aussi dans le sud, on trouve ici une saison sèche de onze mois, elle commence à la moitié de janvier et dure jusqu'à la moitié de décembre.

Etude Climatique

En conclusion, on peut remarquer qu'il existe une dépendance étroite entre la durée de la sécheresse qui est un trait climatique dominant dans la région d'étude, les valeurs d'altitudes des précipitations et de température des stations météorologiques citées précédemment, ainsi qu'une influence considérable du climat saharien aride sur le régime thermique du bassin versant à étudier.

Ce qu'on constate, c'est que le bassin versant de l'oued Biskra est situé entre deux zones climatiques : l'une située au Nord avec ses faibles températures et ses fortes précipitations et l'autre située au sud, avec ses fortes températures et ses faibles précipitations.

Etude Climatique

Figure n°42-a : Diagramme ombrothermique de la station de Biskra (1979/2002).

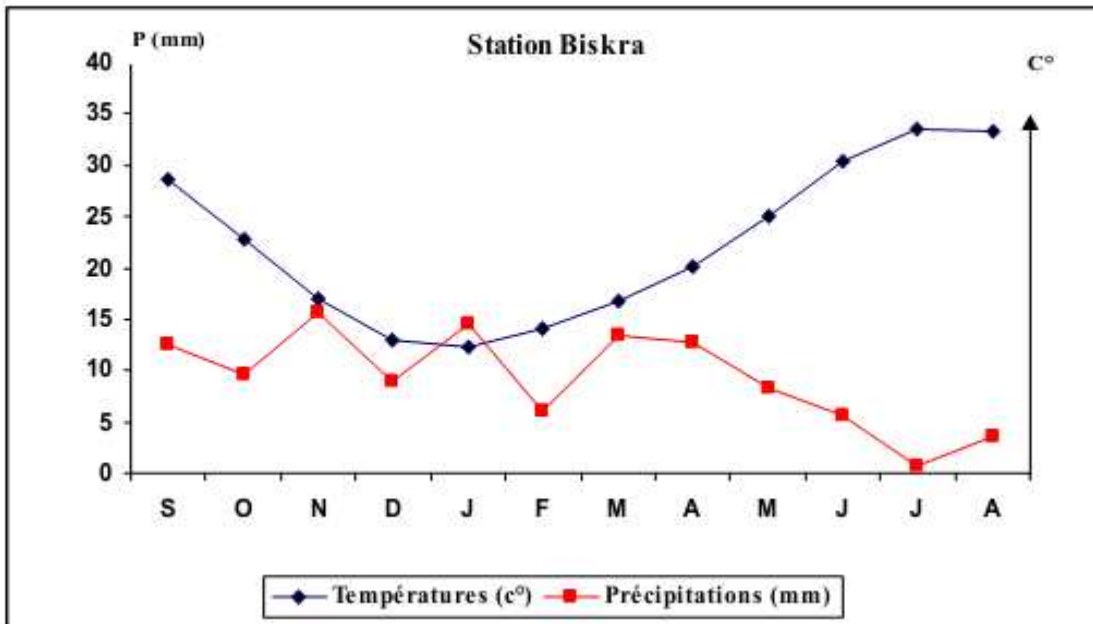
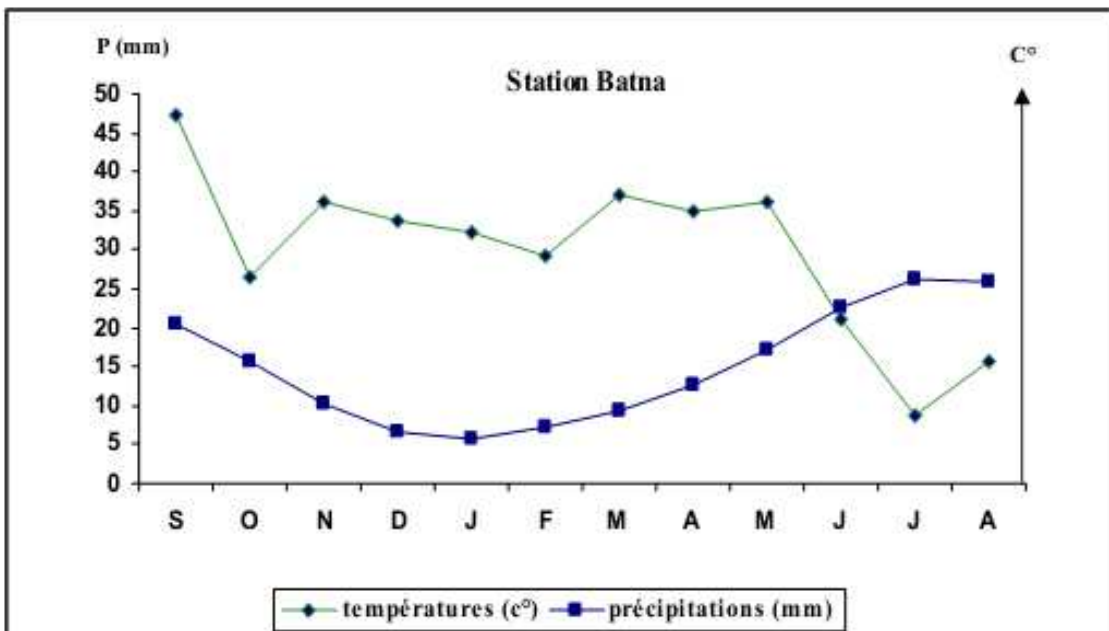


Figure n°42-b : Diagramme ombrothermique de la station de Batna (1973/1998).



V-5. Evapotranspiration

L'évapotranspiration : est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre soit sa nature (sols, végétaux et eaux libres) à l'atmosphère.

Il est utile de distinguer entre la notion d'évapotranspiration potentielle ETP, qui est la quantité d'eau nécessaire à la transpiration non ralentie, d'un tapis végétal couvrant entièrement le sol et alimenté régulièrement en eau.

Elle commande les excès et les déficits des régions humides ou arides, l'évapotranspiration réelle ETR ; c'est le retour de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur, elle résulte de deux phénomènes ; l'un physique (évaporation) et l'autre biologique (transpiration).

Bien souvent, L'évapotranspiration est calculée plus que mesurée, en jouant sur les paramètres thermiques et les vents.

De nombreuses formules ont été établies pour calculer l'ETP, les noms de Penman, Thornthwaite et Turc sont associés à des formules de l'évapotranspiration potentielle. Pour notre région, on a utilisé la formule dite ETP ANRH-Penman.

V-5.1 Formule dite ANRH (1997)

ETP ANRH-Penman permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle de Penman à partir de la seule mesure de la température moyenne mensuelle correspondante, de la connaissance du mois et de la position géographique

C'est donc à partir de cette formule que nous nous proposons de généraliser la connaissance ETP à partir de l'information thermométrique.

La formule est la suivante :

$$ETP_{ANRH} = K_r * k_m (H - 187) * (0,032T + 0,07) \quad (13)$$

Avec : ETP ANRH : est exprimé en mm par mois.

K_r : c'est un coefficient régional, que l'on peut lire sur le tableau n°35.

K_m : c'est un coefficient mensuel dont les valeurs sont données dans le tableau n°36

Etude Climatique

H : la durée théorique mensuelle d'insolation (en heure par mois) elle est exprimée en fonction de l'altitude (y) et selon les formules données dans le tableau n°38.

T : la température moyenne mensuelle pour le mois considéré et exprimée en c°.

Nom	Kr cor	Kr	Cor,	Nom	Kr cor	Kr	Cor	Nom	Kr cor	Kr	Cor
Aïn sefra	1,21	1,11	9%	Dellysafir	0,87	0,87	0%	Mostaganem	0,87	0,87	0%
Annaba	0,91	0,91	0%	Djelfa	1,10	1,04	5%	Msila	1,12	1,12	0%
Arzew	0,97	0,97	0%	El kheiter	1,15	1,24	-7%	Naama	1,11	1,11	0%
Barika	1,24	1,24	0%	Elbayadh	1,23	1,23	0%	Oran	0,99	0,99	0%
Batna	1,12	1,12	0%	Elmilia	0,79	0,79	0%	Oumelbouaghi	0,92	0,92	0%
Bbarreridj	1,07	1,07	0%	Ghazaouet	0,81	0,81	0%	Saida	1,01	1,01	0%
Bechar	1,32	1,32	0%	Guelma	0,83	0,83	0%	Setif	1,04	1,04	0%
Bejaia	0,92	0,92	0%	Jijelaer	0,79	0,79	0%	Sidibelabbes	0,94	0,94	0%
Benisaf	0,88	0,88	0%	Jijelport	0,79	0,79	0%	Skikda	0,86	0,86	0%
Biskra	1,26	1,26	0%	Ksarchellala	1,09	1,09	0%	Soukahras	0,99	0,99	0%
Bou saada	1,10	0,93	18%	Magnia	0,93	0,93	0%	Tebessa	1,00	1,00	0%
Bouira	1,04	1,04	0%	Mascara	0,95	0,95	0%	Tenes	0,95	0,95	0%
Chlef	0,93	0,93	0%	Mecheria	1,14	1,14	0%	Tiaret	1,08	1,14	-6%
Constantine	0,91	0,91	0%	Medea	1,05	1,05	0%	Tiziouzou	0,83	0,83	0%
Darelbeida	0,89	0,89	0%	Miliana	0,97	0,97	0%	Tlemcensen	0,93	0,93	0%

Tableau n°36 : Coefficient régional " K_r".

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
K _m	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1,00	0,97	0,97	0,98	0,90	0,90	0,86

Tableau n°37 : Evolution du coefficient correctif mensuel " K_m".

En fait, on se trouve avec deux paramètres saisonniers H et K_m. Si ce dernier est stable spatialement, la durée H varie avec l'altitude. La formule est complexe car de portée universelle si on se Restreint à notre zone d'étude (33° < latitude < 35°) Nord Algérien (50Km < Y < 450Km), il est possible d'obtenir H d'une Façon Beaucoup plus simple, avec un Ecart, insignifiant, H est lié linéairement aux Y Lambert (cette formule est applicable pour toute l'Algérie) :

H : étant la durée théorique d'insolation du mois i (en heures par mois).

Y : étant la coordonnée Lambert (en kilomètres) ; latitude.

$$H_i = a_i Y + b_i. \quad (14)$$

Etude Climatique

Les paramètres mensuels ai et bi sont donnés dans le tableau n°38.

Tableau n°38 : Coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation.

On remarque dans le tableau n°40 que le gradient de H par rapport à Y sont très faibles et quasiment nuls en été, dans cette zone on peut considérer H comme indépendant de Y et

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Ai	-0,0218	-0,011	-0,0012	0,0098	0,0201	0,0248	0,0230	0,0144	0,0031	-0,0081	-0,0185	-0,0246
Bi	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308

retenir les valeurs suivantes du produit $K_m(H-187)$:

Tableau n°39 : Valeurs moyennes de K_m (H-187)

En procédant ainsi, on commet une erreur inférieure à 5% pour les mois et inférieur à 3%

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
K_m (H-187)	118	143	204	239	251	248	247	223	180	146	108	99

de février à octobre.

L'application à la station de Biskra ($K_r= 1,26$) est présentée dans le tableau n°40.

Etude Climatique

Tableau n° 40 : Résultats de la méthode dite ANRH Penman dans la zone d'étude en mm
durant la période (1971-2010).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	année
ai	-0,021	-0,011	-0,0012	0,0098	0,0201	0,025	0,023	0,0144	0,0031	-0,0081	-0,0185	-0,0246	-
bi	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308	-
H (h/mois)	311,12	305,04	370,79	390,74	432,58	433,4	440,09	416,56	370,55	349,56	307,71	303,32	4431,87
K_m	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1	0,97	0,97	0,98	0,9	0,9	0,86	-
Km (H-187)	119,155	144,009	204,007	238,376	250,4916	246,4	245,4973	222,67	179,879	146,304	108,639	100,0352	2205,47
T °C	28,71	22,78	16,88	12,86	12,35	14,03	16,76	20,11	25,02	30,45	33,56	33,28	266,79
ETP (mm /mois)	148,4	145,0	156,8	144,6	146,8	161,1	187,6	200,2	197,3	192,5	156,6	143,1	1980,1

V.6. CONCLUSION

L'étude des modalités de l'alimentation et de l'écoulement fluvial dans le bassin de l'oued Biskra, se heurte à une insuffisance de données climatiques, particulièrement en ce qui concerne les températures, et les précipitations journalières.

Les mesures des autres paramètres météorologiques notamment, l'insolation et la neige sont quasiment faibles, une restructuration du réseau hydrométrique s'impose afin de mieux cerner les caractères hydro-pluviométriques du bassin.

La pluviométrie est son rôle dans l'écoulement ont été amplement analysés. Après critique et l'homogénéisation des données, on a été amené à distinguer une série longue et homogène (1971-2010) qui nous a permis de dégager d'une part des variations spatiotemporelles des précipitations dans le bassin et d'autre l'établissement de l'esquisse des isohyètes de la série longue, afin d'aboutir à une esquisse écoulement moyen annuel du bassin.

Quand à l'évaporation elle évalue suivant les deux saisons thermiques, c'est-à-dire qu'elle est très élevée en été, ce qui concerne le déficit d'écoulement et faible en hiver ou les précipitations sont abondantes.

- L'irrégularité annuelle, qui est aussi l'une des caractéristiques de la région d'étude, se traduit par une sécheresse plus au moins marquée et qui confirme le caractère semi-aride du climat du bassin versant de notre zone d'étude.

Ainsi que la prédominance des extrêmes, qui est un caractère bien marqué de cette région que se soit les températures ou les averses qui engendrent des inondations violentes

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

A travers les caractéristiques morpho-métriques et structurales, nous avons voulu dégager les différents éléments du relief en relation directe avec l'écoulement et la genèse des crues.

Les formations prédominantes dans le bassin versant de l'oued Biskra, sont celles du quaternaire dans les grandes plaines et vers l'oued Biskra sont bien développés et celles du tertiaire dans les plateaux (sont en grande partie).

Les terrains imperméables et semi-perméables sont majoritaires dans le bassin de l'oued Biskra à cette faible perméabilité vient s'ajouter les conditions morphologiques favorables au ruissellement.

Le couvert végétal rencontré à travers le bassin est de type dégradé, il est constitué de touffes de plantes clairsemées, de steppes d'alfas, de broussailles adoptées au sol et au climat de la partie Sud du bassin, où la végétation devient rare et plus dégradée du fait de la surexploitation des quelques nappes vertes. Dans la zone Nord ; montagneuse et assez dénudée, exception faite pour quelques zones forestières, comme les monts de Bellezma et la région de Bouzina, de ce fait le bassin de l'oued Biskra est mal protégé se qui augmente le risque des inondations.

Les caractéristiques climatiques du bassin versant de l'oued Biskra sont étroitement liées à sa position géographique et son relief ; on relève de fortes variabilités spatiales et surtout temporelles des précipitations sous forme d'averses, des températures et l'influence élevée de l'évapotranspiration.

La combinaison de ces conditions physico-géographiques et climatiques est déterminant dans le comportement hydrologique des diverses unités du bassin.

En peut constater que le ruissellement dans le bassin versant d'oued Biskra est variable à cause des plusieurs paramètre (pente, l'intensité des pluies et températures, couvert végétale....) par exemple , dans le bassin supérieur ; malgré la présence d'un couvert forestier, ce secteur offre des conditions très favorables au ruissellement superficiel et susceptible d'engendrer un régime torrentiel (forte pente, l'intensité élevée des pluies et

températures peu élevées) ce qui a engendré la formation d'un réseau hydrographiques dense ; donc les inondations trouvent leur champ dans ce secteur. C'est le contraire pour le bassin inférieur (la précipitation faible, l'évaporation s'élève et le couvert végétal est absent..).

Mais dans le bassin moyen ; offre des conditions de drainage un peu meilleures (forte pente, les précipitations sont abondantes, un couvert végétal assez dénudé voir même nu et des terrains plus au moins imperméables) vu son relief qui est proche de l'exutoire à cet effet les inondations sont fréquentes dans cette partie. L'influence sur l'écoulement de ces différents facteurs physico-géographiques et climatiques pourrait être cernée de manière plus précise, si on les envisage au niveau des unités contrôlées par les stations hydrométriques, lesquelles feront ultérieurement l'objet d'étude de bilans hydrologiques.

SECONDE PARTIE
CARACTERISTIQUE DE L'ECOULEMENT
ET FAISABILITE
DE LA RECHARGE.

SECONDE PARTIE

CARACTERISATION DE L'ÉCOULEMENT ET FAISABILITE DE LA RECHARGE.

Le comportement hydrologique du bassin est le résultat de l'interaction des différents paramètres physico-géographiques du bassin, des facteurs météorologiques notamment, la pluviosité et l'évaporation. Ces derniers, règlent la distribution temporelle et spatiale de l'écoulement de surface.

L'écoulement dans cette région est peut fréquent, de courte durée et de type orageux. La puissance de ses crues est susceptible d'avoir des actions importantes d'érosion et de transport solide ce qui entraîne des inondations agressives dans ce bassin, et ce influe ce transport solide sur les dispositifs de recharge (problème de colmatage).

En effet, on doit étudier l'écoulement dans ses aspects fondamentaux :

- Ecoulements annuels et leur variation temporelle.
- Intensité des extrêmes ; genèse des crues et leurs fréquences.
- Etude des transports solides et leur variabilité.
- Approche d'estimation de la recharge.

CHAPITRE I
ÉCOULEMENTS ANNUELS ET LEUR
VARIATION TEMPORELLE

Écoulements annuels et leur variation temporelle

I. Écoulements annuels et leur variation temporelle.

Les facteurs qui régissent les processus de l'écoulement sont multiples et interdépendants, ils sont d'ordre morphologiques, lithologiques, biogéographique et surtout climatiques ces derniers, de part leur caractère irrégulier sont les plus dominantes. En effet, l'effet pluviométrique sur le régime hydrologique de nos oueds est marqué surtout lors des averses qui sont souvent génératrices des crues violentes.

I-1 Equipement hydrométrique du bassin

Le principal trait du réseau hydrométrique du bassin de l'oued Biskra est la jeunesse ; puisque les deux stations hydrométriques qui existent ont été mises en service après 1950, la station d'El Kantara en 1958 et la station de Djemoura depuis 1952, elles ont gardé leur site initial jusqu'à l'heure actuelle (voir carte n°19).

Concernant les méthodes de mesures dans l'ensemble, les hauteurs d'eau étaient relevées au moyen d'un limnigraphe, les archives nous apprennent que pour la station d'El Kantara, les débits estimés à partir des hauteurs d'eau relevées sur un déversoir une fois tous les cinq jours en moyenne et par application des formules usuelles des déversoirs.

I-1.2 Critique des données et homogénéisation

Les données anciennes : Etant d'une précision douteuse, ces données accessibles en majorité à l'échelle mensuelle ne peuvent constituer une base d'analyse hydrologique valable et méritent d'être utilisées à titre d'indication.

Les données récentes : Pour la station hydrométrique d'El Kantara, qui contrôle le sous bassin de l'oued El Hai d'une superficie de 1660 km² ; la série récente disponible couvre une période de 16 ans ⁽¹⁾ (1980-1981/1994-1995).

(1) : le barrage de fontaine des gazelles, dont la mise en eau a été faite en l'an 2000, donc il n'y a pas d'influence marquée de cet ouvrage sur les mesures hydrométriques disponibles (ANAT 2002 : étude du schéma directeur des ressources en eau de la wilaya de Biskra).

Ecoulements annuels et leur variation temporelle

Cette dernière présente des lacunes à l'échelle mensuelle pour l'année 1990/1991. Alors que la station de Djemoura, qui contrôle le sous bassin portant le même nom ; d'une superficie de 586 km², la série récente disponible couvre une période de 17 ans (1979-1980/1994-1995).

Cette dernière, ne comporte aucune lacune ; c'est la plus longue et la plus homogène, nous ne procédons à aucune opération d'extension des données pour les deux stations, afin de baser notre analyse sur des données réellement observées.

Le manque de station hydrométrique dans le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire et à l'exutoire, nous a conduit à faire nos calculs à l'aide des formules expérimentales et par analogie.

I-2 Ecoulement moyen annuel et ses nuances

L'écoulement fluvial concentré intègre tous les types d'écoulement qui s'enchaînent dans le temps et dans l'espace, il est le seul à être contrôlé, car il traduit le comportement hydrologique du bassin par l'observation du volume d'eau qui s'écoule à l'exutoire du système.

I-2.1 Evaluation de l'écoulement avec les formules empiriques

Nous avons utilisé les formules empiriques qui permettent d'évaluer l'écoulement moyen annuel à partir des données climatiques disponibles et certains paramètres du bassin (voir tableau n°41).

Tableau n°41 : Lame moyenne annuelle écoulée et l'apport moyen annuel (Estimation d'après les formules empiriques)

Formules		Oued El Hai		Oued Djemoura	
		Le (mm)	A (hm ³)	Le (mm)	A (hm ³)
ANRH	$A = 0.513 * P * Dd^{0,5} * S^{0,842}$ Le = S/A	2.18	3.618	3.61	2
Sami	$A = S/10^3 * P * 2(293 - 2.2\sqrt{S})$ Le = S/A	10.76	18.58	13.75	8.09
Deri I	$A = 0.915 * P^{2,684} * S^{0,842}$ Le = S/A	5.49	9.11	7.21	4.22
Deri II	$A = 0.372 * 4.8 * P^{2,684} * S$ Le = S/A	5.90	9.799	6.62	3.87
Chaumont	$A = 600 * P * S(1 - 10^{-0.36 * P^2})$ Le = S/A	5.92	9.828	6.67	3.91
Algérienne	$A = P * S(1 - 10^{-K * P^2})$ Le = S/A	2.95	7.891	3.65	2.19

Ecoulements annuels et leur variation temporelle

P : pluie moyenne annuelle (mm) utilisée celle des isohyètes en raison de sa précision acceptable.

S : surface du bassin en km²; $K=0,18-0,11\text{Log}S$.

On détermine les débits selon la relation suivante :

$$Q = Le * S * 10^{-3} / 31.536 \quad (14)$$

Avec :

Q : le débit moyen annuel en m³/s

Le : la lame d'eau annuelle écoulée en (mm)

S : surface du bassin versant km².

Le calcul des débits moyens annuels par les différentes formules empiriques est présenté dans le tableau n° 42.

Tableau n° 42 : Calcul des débits moyens annuels, par les différentes formules empiriques pour les deux stations hydrométriques.

Bassin						
Débit	Anrh	Sami	Deri I	Deri II	Chaumont	Algérienne
El Hai	0,015	0,566	0,290	0,310	0,311	0,165
Djemoura	0,06	0,260	0,134	0,123	0,124	0,068

Pour l'oued Djemoura, l'analyse des résultats semble avoir des écarts importants entre les formules empiriques et le débit observé (0.266 m³/s) à cet effet on a adopté celle de Sami qui a donné une valeur proche (0.260 m³/s) voir tableau n°43.

Ecoulements annuels et leur variation temporelle

Tableau n°43 : Débit moyen annuel observé, débit annuel selon la formule de Sami pour le bassin de l'oued Djemoura.

Sous bassin versant	Débit moyen annuel observé (m ³ /s).	Débit moyen annuel selon la formule de Sami (m ³ /s).
Oued Djemoura	0,266	0,260

Pour l'oued El Hai, les résultats obtenus par les différentes méthodes donnent des valeurs loin de la réalité, sauf celle de Deri II qui donne une valeur acceptable (0.310 m³/s). Voir tableau °44.

Tableau n°44 : Débit moyen annuel observé, débit annuel selon la formule de Deri II pour le bassin de l'oued El Hai.

Sous bassin versant	Débit moyen annuel observé (m ³ /s).	Débit moyen annuel selon la formule de Deri II (m ³ /s).
Oued El Hai	0,299	0,310

Donc, les débits estimés pour l'oued Biskra et ses sous bassins : l'oued El Hai, l'oued Djemoura et l'oued Biskra complémentaire sont respectivement : 0,57m³/s ⁽¹⁾, 0,31m³/s ⁽²⁾ 0,26m³/s ⁽³⁾ et 0,70m³/s ⁽⁴⁾.

I-2.2 Evaluation de l'écoulement avec les données de mesure

Les débits moyens annuels dans le bassin de l'oued Biskra se caractérisent par leurs nuances spatiales et temporelles remarquables.

L'oued El Hai qui draine une superficie de 1660 km², à la station d'El Kantara avec ses conditions physico-géographiques favorables à l'écoulement décrites dans la première partie et à son abondance relative des précipitations (230 mm) enregistre un débit annuel de 0,31 m³/s.

Le sous bassin de l'oued Djemoura (586 km²), à la station de Djemoura, où se trouve le point culminant du bassin l'oued Biskra ; qui est djebel El Mahmel (2321m) présente un débit annuel de 0,260 m³/s, les précipitations sont importantes dans ce secteur (239,50mm). Ceci s'explique par des conditions thermiques défavorables à l'écoulement (ce qui a

Écoulements annuels et leur variation temporelle

engendré une forte évaporation surtout en saison sèche) et la présence d'un couvert forestière relativement dense dans cette partie du bassin l'oued Biskra exactement dans le Nord-Est du sous bassin de Djemoura, ainsi que l'oued Djemoura qui draine ce sous bassin traverse une vaste plaine de pentes faibles et de nature lithologique relativement perméable (la partie méridionale du bassin).

Enfin pour mieux saisir la variation de l'écoulement superficiel dans le bassin de l'oued Biskra nous utiliserons les modules spécifiques, car ces derniers permettent de comparer des sous bassins ou bassins d'étendues différentes et de faire ressortir le rôle des autres facteurs d'écoulement (voir tableau n° 45).

Le bassin de l'oued Biskra se caractérise par une variation spatiale de débits spécifiques passant de 0,19 l/s/km² au sous bassin de l'oued El Hai, à la station d'El Kantara ; 0,44 l/s/km² dans le sous bassin de l'oued Djemoura, à la station de Djemoura. Ceci s'explique par une augmentation sensible de température et de l'évaporation à la sortie de la zone montagneuse située au Nord du sous bassin de l'oued El Hai, mais se traduit aussi par le caractère montagneux du sous bassin de l'oued Djemoura avec ses fortes pentes qui favorisent largement le ruissellement et les inondations qui peuvent se manifester en causant de graves dommages.

Tableau n°45 : Débits absolus, débits spécifiques et la lame d'eau écoulee dans les deux stations hydrométriques.

Oued	Station	Superficie (km ²)	Débit absolu (m ³ /s)	Débit spécifique (l/s/km ²)	Lame écoulee (mm) ¹	Lame précipité (mm) ²
El-Hai	El-Kantara	1660	0,310	0,19	5,89	230
Djemoura	Djemoura	586	0,26	0,44	13,99	239,5

I-3 Bilan hydrologique et le déficit d'écoulement

L'établissement d'un bilan hydrologique suppose l'unification des unités des différents termes utilisés dans ce bilan, l'unité adéquate la plus utilisée est la lame d'eau en millimètre. Ce bilan hydrologique permet de quantifier les transferts d'eau issus des précipitations. Il comporte trois principaux termes à savoir ; les entrées, les sorties et la variation de la réserve. L'équation du bilan hydrologique est la suivante :

$$P=Le+D \quad (15)$$

Avec :

P : la lame d'eau annuelle précipitée en mm.

Écoulements annuels et leur variation temporelle

Le : la lame d'eau annuelle écoulée en mm.

D : déficit annuel d'écoulement, qui est assimilé à l'évapotranspiration réelle ETR.

Pour rendre plus pratique l'expression du bilan hydrologique, on utilise parallèlement une autre variable ; le coefficient d'écoulement $C = 100 * Le / P$, qui est en tant que valeur relative reflète mieux le rôle diversifié des facteurs physico-géographiques propres du bassin versant. Ces composantes du bilan hydrologique ont été calculées pour les sous bassins de l'oued El Hai et l'oued Djemoura.

(1) $(Q * 31.45 * 10^3) / S$

E : La lame d'eau annuelle écoulée. , S : La superficie du bassin (km²). , Q : Le débit absolu (m³/s).

(2) : La méthode utilisée pour l'évaluation de la lame d'eau précipitée est celle des isohyètes en raison de sa précision acceptable. ST : Surface totale du bassin (km²). , Si : Surface élémentaire délimité par les isohyètes Pi et Pi+1, Pi : Hauteur moyenne des précipitations entre deux isohyètes i et i+1.

Écoulements annuels et leur variation temporelle

Tableau n°46 : Bilan hydrologique moyen annuel de l'écoulement pour les stations d'El Kantara et Djemoura.

Oued	Station	Superficie (km ²)	Bilan hydrologique				
			P(mm)	Q(m ³ /s)	Le (mm)	D	CE%
El-Hai	El-Kantara	1660	230	0,31	5,89	224,11	2,56
Djemoura	Djemoura	586	239,5	0,26	13,99	225,51	5,84

Les sous bassins caractérisant le bassin versant de l'oued Biskra présentent une lame d'eau écoulee faible par rapport à la hauteur pluviométrique moyenne, qui se traduit par une forte évaporation.

Le coefficient de l'écoulement CE est très faible (moins de 6%), en raison de l'influence du couvert végétal et la nature lithologique moyennement imperméable qui prédomine.

La conclusion qui annonce que l'écoulement est très faible, n'est pas parfaitement justifiée vue la nature lithologique et le couvert végétal assez dégradé du bassin.

Enfin, le bassin de l'oued Biskra à caractère semi-aride malgré une augmentation sensible de l'ETR, se traduit par les valeurs relativement fortes du déficit d'écoulement, une lame d'eau nettement élevée dépassant en moyenne 200mm et un coefficient d'écoulement inférieur à 6%. Ce qui n'exprime pas fidèlement les variations hydrologiques du bassin, mais son intérêt majeur réside dans le fait qu'il permet d'apprécier les pertes en eau par évaporation. En outre, il n'a pas été possible de calculer à l'aide des formules empiriques usuelles les valeurs théoriques de déficit d'écoulement D (ou ETR) pour les confronter à celles déduites directement du bilan hydrologique.

I-4 Hydraulique et la variabilité interannuelle de l'écoulement

L'irrégularité interannuelle de l'écoulement dans le bassin versant de l'oued Biskra, peut être exprimée par les variations de coefficient d'hydraulicité ⁽¹⁾, c'est-à-dire le rapport de débit d'une année particulière (Q_i) au débit moyen d'une longue série d'observation (\bar{Q}).

Elle peut être complétée par d'autres critères statistiques simples, tel que l'écart type (σ) ou mieux le coefficient de variation (Cv) ainsi que le coefficient d'immodération (R) ; traduit par le rapport de modules extrêmes.

Écoulements annuels et leur variation temporelle

L'évolution de l'hydraulicité mise en évidence par le graphique correspondant (figure n°43) montre de fortes fluctuations des débits d'une année à l'autre, ce qui témoigne de l'irrégularité de l'écoulement, qui est lié à l'alimentation essentiellement pluviale des cours d'eau.

La majorité des coefficients sont inférieurs à l'unité : 07 années hydrologiques sur 17 sont déficitaires dans la station hydrométrique de Djemoura.

A titre d'exemple l'hydraulicité de 1984/85 à la même station est Très forte, avec un $ch = 2,47$ qui correspond à un débit de $0,5525\text{m}^3/\text{s}$ et l'année de faible hydraulicité est l'année 1987/88, avec un $ch = 0,18$ qui correspond à un débit de $0,041\text{m}^3/\text{s}$; ce qui détermine un coefficient d'immodération ⁽²⁾ ($R = 25,7$).

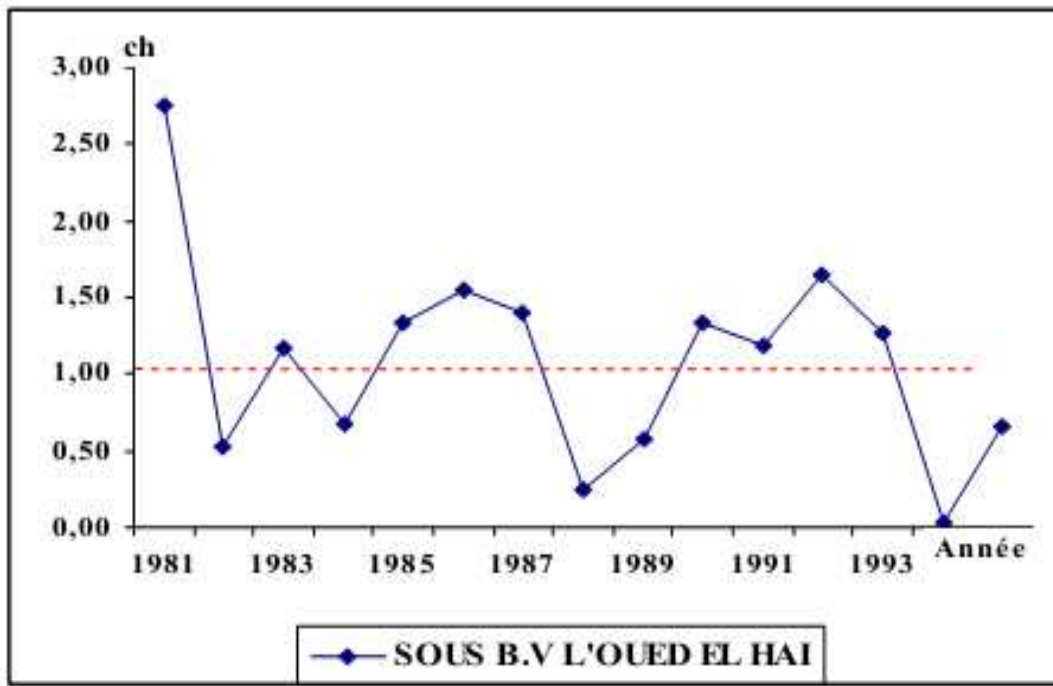
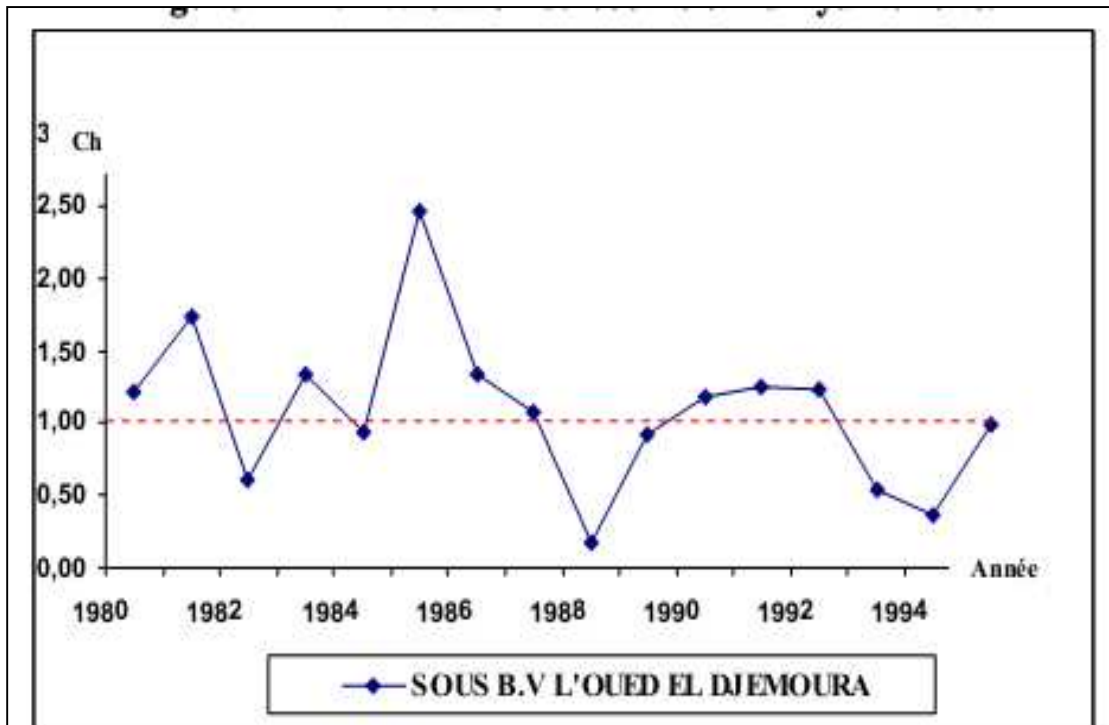
Pour la station d'El Kantara, le bilan de l'hydraulicité est équilibré 06 années sur 16 sont déficitaires, l'année de forte hydraulicité est l'année 1980/81 avec un $ch = 2,76$ qui correspond à un débit de $0,736\text{m}^3/\text{s}$, alors que l'année 1993/94 est l'année de faible hydraulicité avec une valeur de $ch = 0,03$ qui correspond à un débit de $0,0088\text{m}^3/\text{s}$. Toutes les données sont consignées dans le tableau n°49.

(1) : $ch = Q_i / (\bar{Q})$.

(2) : Le coefficient d'immodération ou d'irrégularité (R) est le rapport du débit annuel le plus abondant au débit annuel le moins abondant.

Figure n°43 : Variation du coefficient d'hydraulicité.

Écoulements annuels et leur variation temporelle



Ecoulements annuels et leur variation temporelle

Tableau n°47 : Débits moyens annuels, coefficient de d'hydraulicité et coefficient de variation.

Oued		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	moy
El Hai	Q _{moy}	-	0.73	0.14	0.31	0.18	0.35	0.41	0.37	0.06	0.15	0.35	0.31	0.44	0.33	0.009	0.17	
	Ch		2.76	0.52	1.17	0.68	1.34	1.56	1.4	0.2	0.58	1.33	1.19	1.65	1.26	0.33	0.66	1.09
	Cv		1.70	1.32	1.52	1.3	1.54	1.9	1.43	1.27	2.01	1.48	2.54	1.58	1.51	0.79	1.54	1.56
Djemoura	Q _{moy}	0.27	0.39	0.13	0.3	0.20	0.52	0.3	0.24	0.04	0.2	0.26	0.28	0.27	0.11	0.083	0.22	0.26
	Ch	1.21	1.74	0.6	1.34	0.93	2.47	1.34	1.08	0.18	0.91	1.18	1.25	1.23	0.53	0.37	0.99	1.08
	Cv	1.74	1.66	1.72	1.82	1.59	1.92	1.66	1.29	1.29	1.84	1.47	1.63	1.63	1.46	2.04	2.59	1.71

I-5 Analyse statistique des apports liquides

Pour mieux apprécier le phénomène d'irrégularité de l'écoulement annuel, une étude statistique des débits est nécessaire.

La forte dispersion des débits annuels mise en lumière par les valeurs élevées du coefficient de variation (tableau n°51) laisse supposer une distribution dissymétrique des échantillons, on a ajusté les modules annuels de la station de Djemoura à la loi de Galton ⁽¹⁾, mais les modules annuels de la station d'El Kantara ne s'adaptent pas à cette loi.

La variation étudiée est formée des valeurs des débits moyens annuels, qui seront normalement distribués, si le climat le favorise or, un changement de variable a été nécessaire pour se rendre à la loi normale, d'où le changement de variable : $x = \sqrt{\bar{x}}$; le changement est dite alors loi racine normale.

Bien que la loi de Gumbel s'ajuste aussi avec l'échantillon brut et avec les mêmes valeurs de x^2 , mais elle est destinée favorablement aux valeurs extrêmes, d'où l'adaptation définitive à la loi racine normale (graphique n°44). Ainsi on a calculé pour les deux stations les modules ayant une durée de récurrence de 2,5 20,50 et 100 ans en année sèche et humide (voir tableau n°48).

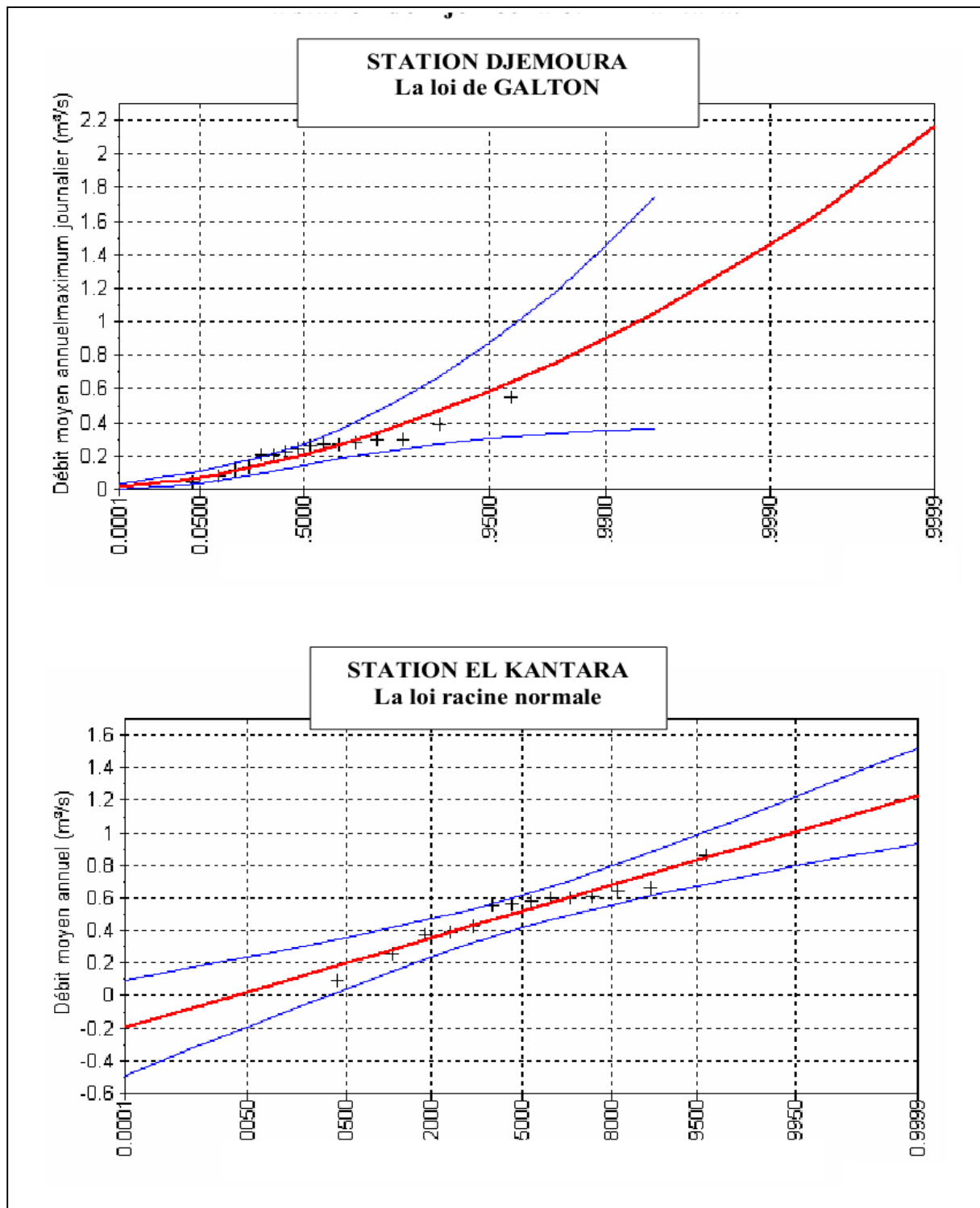
(1) L'équation de Galton s'écrit alors : $u = a \log(Q - Q_0) + b$

$$a = \frac{1,517}{\sqrt{\log\left(1 + \frac{\delta \times Q^2}{(Q - Q_0)}\right)}}; \quad b = \frac{1,1513}{a} - a \log(Q - Q_0)$$

Q_0 : Paramètre de position estimé sur graphique.

Écoulements annuels et leur variation temporelle

Figure n°44 : Ajustement graphique des débits moyens annuels pour la station de Djemoura et El Kantara.



Ecoulements annuels et leur variation temporelle

Tableau n°48 : Débits moyens annuels et durée de récurrence Pour les deux stations hydrométriques.

Oued	Surface du bassin (km ²)	Paramètres d'ajustement de Galton	Année humide				Module médian	Année sèche			
			T=100ans	T=50ans	T=20ans	T=10ans		T=2ans	T=10 ans	T= 20 ans	T= 10 ans
			F= 0,99 U=-2,32	F= 0,98 U=-2,05	F= 0,95 U=-1,65	F= 0,9 U=-1,28	F= 0,5 U = 0,0	F= 0,1 U=1,28	F=0,05 U=1,65	F=0,02 U=2,05	F= 0,01 U=2,32
El Hai	1660	a=10 b= 0,05 Q ₀ = 0	2,52	1,88	1,22	0,83	0,21	0,05	0,037	0,024	0,018
Djemoura	586	a= 3,8 b= 6,08 Q ₀ = 0	1,06	0,76	0,59	0,47	0,34	0,09	0,074	0,057	0,048

I-6 Régime d'écoulement : les variations mensuelles des débits

Le débit moyen mensuel se caractérise par un minimum correspond au mois de juillet (0,034 m³/s) pour le sous bassin de Djemoura et en mois d'août (0,044 m³/s) pour le sous bassin de l'oued El Hai, alors que le maximum est situé en avril (0,37 m³/s) pour El Hai et en mois de mars (0,484 m³/s) pour Djemoura.

La figure n°45, qui représente la variation mensuelle des débits moyens montre clairement que la période des hautes eaux est marquée au cours des trois mois successifs : mars, avril et mai du fait de l'importance relative des précipitations printanières. Alors que la période des basses eaux commence dès juin jusqu'à février, mais avec une augmentation relative des débits pendant les mois de septembre et octobre à cause des averses orageuses à la fin d'été (cette augmentation est très importante au sous bassin de l'oued El Hai) ce qui produit de graves inondations en cette période de l'année.

Écoulements annuels et leur variation temporelle

En plus de cette variation mensuelle des débits moyens, il apparaît que l'écoulement mensuel est extrêmement variable d'une année à l'autre (voir figure n°46) surtout au cours de la période des hautes eaux. Le coefficient de variation mensuelle dépasse largement l'unité, il atteint en mois de septembre 2,49 à El Hai, cette valeur est de 1,86 en mois de mars à Djemoura, ce qui reflète une pluviosité irrégulière, qui tombe sous forme d'averses intenses engendrant des crues brutales et localisées, qui caractérisent évidemment les bassins à influence climatique semi-aride.

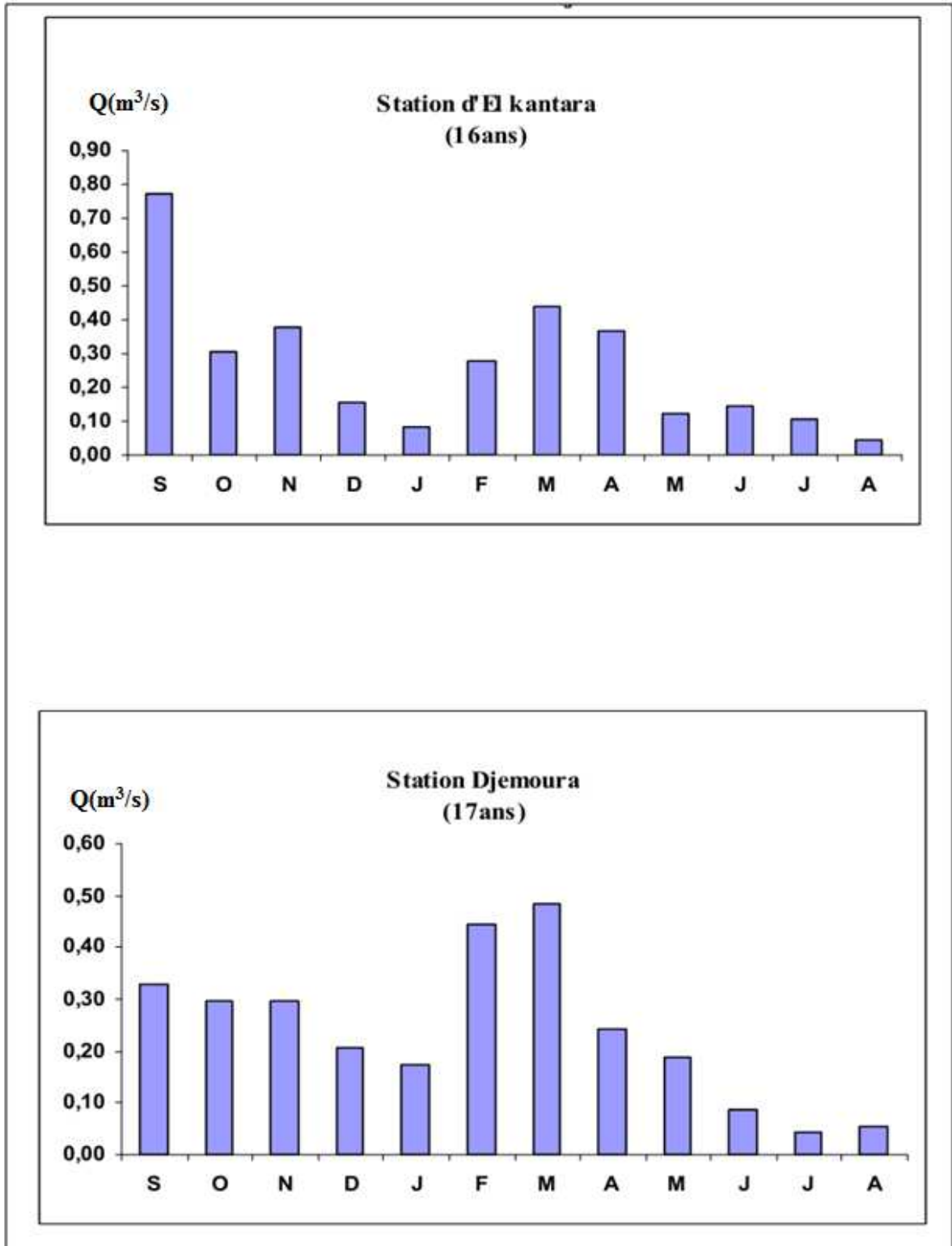
Du point de vue spatial, la variabilité de l'écoulement est liée au caractère aléatoire des précipitations (averses intenses et localisées) et aux nuances physico-géographiques, qui présentent le bassin de l'oued Biskra, car le débit d'un oued dépend des impulsions pluviométriques et de la réponse de la structure physique du bassin (lithologie, géologie, couvert végétal et la déclivité du versant).

Le bassin versant de l'oued Biskra accuse des fortes variations de l'écoulement et avec des nuances géographiques sensibles : la variabilité la plus faible caractérise le sous bassin de l'oued Djemoura, ce qui atteste de la régularité inter-mensuelle de l'écoulement dans ce secteur.

La remonté du coefficient de variation de l'oued El Hai reflète le caractère orageux et localisé des précipitations, la réaction variable des terrains selon les formations lithologiques traversées (les formations calcaires du cénomaniens supérieur, marno-calcaires du turonien à la vallée de l'oued Fedhala et des formations marno-calcaires gréseux du miocène au Sud d'El Outaya, Ain Touta et les pieds des montagnes) et l'influence des facteurs physico-géographiques.

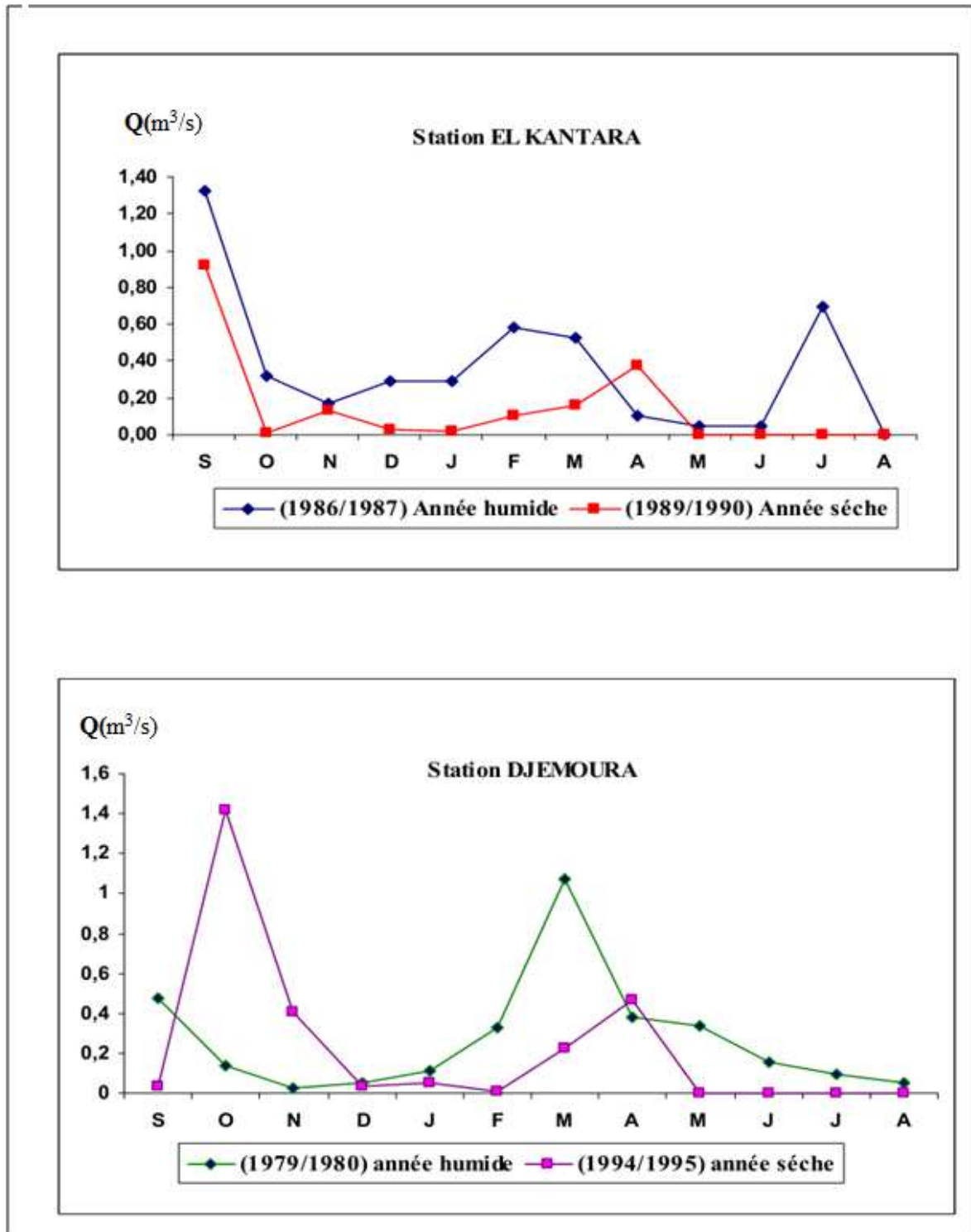
Écoulements annuels et leur variation temporelle

Figure n° 45 : Variations mensuelles des débits moyens de l'oued El Hai et Djemoura.



Écoulements annuels et leur variation temporelle

Figure n°46 : Hydrogramme de quelques années caractéristiques de l'écoulement à la station de Djemoura et El Kantara.



Écoulements annuels et leur variation temporelle

I-7 Approche classique du régime : Méthode des C.M.D

La méthode classique d'étude des régimes des cours d'eau est basée sur les débits moyens mensuels que l'on transforme en coefficients mensuels de débits (C.M.D) qui ont l'avantage de permettre la comparaison des variations saisonnières du régime des cours d'eau de débit très différents et aux bassins versants de tailles différents.

Les mois dont le coefficient mensuel de débits ou rapport de débit moyen mensuel au module de la période considérée est inférieur à l'unité représentent la période de basses eaux et les mois dont le C.M.D est supérieur à l'unité, correspondant à la période des hautes eaux.

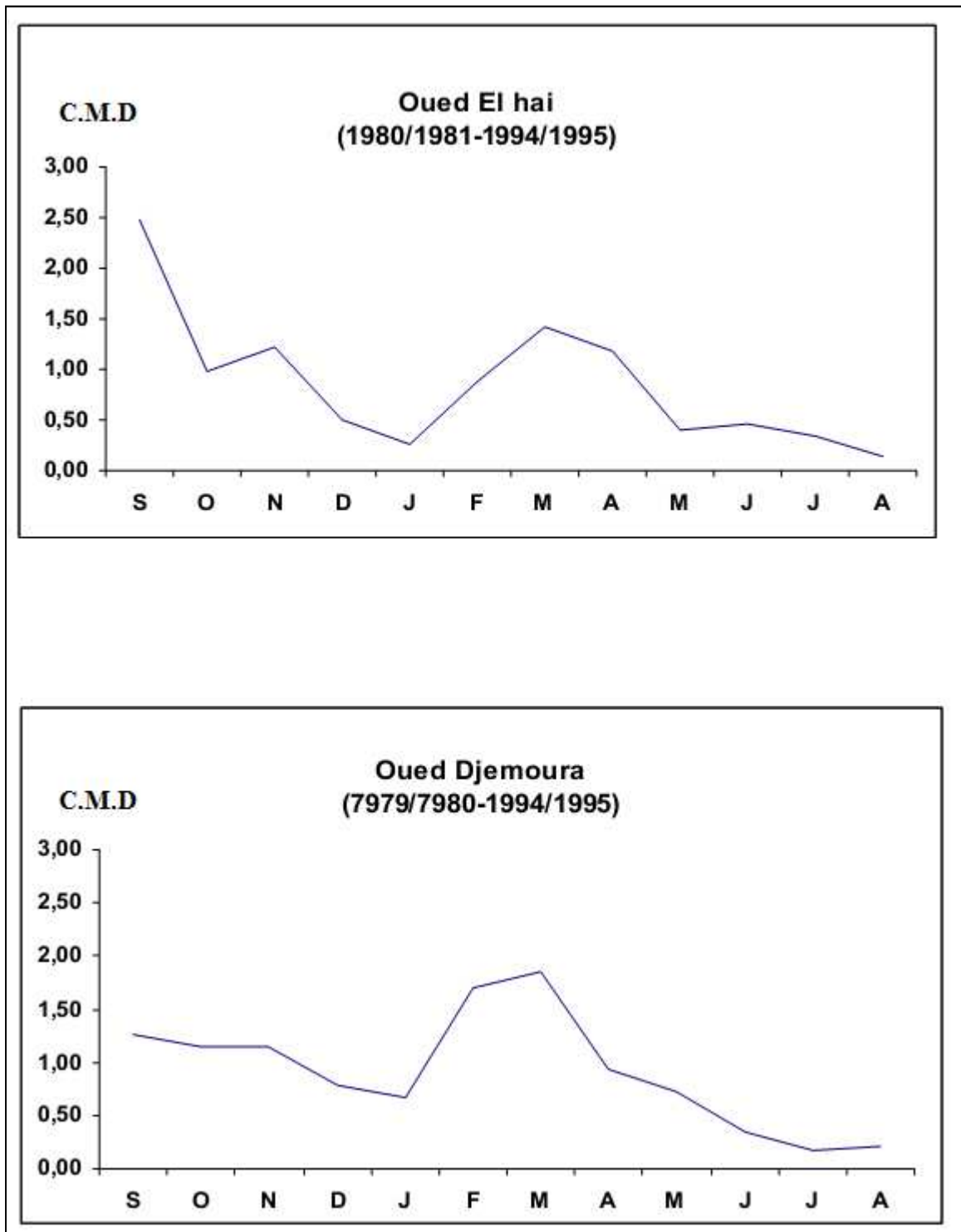
La figuration graphique des C.M.D établie pour les séries hydrométriques disponibles permettent de quantifier le régime des deux oueds principaux, malgré l'absence de station hydrométrique à l'embouchure et dans le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire, les coefficients de débits de Djemoura et El Hai reflètent le mieux les caractères généraux de l'écoulement dans notre bassin d'étude (figure n°47).

En effet, le régime moyen de ce bassin à alimentation essentiellement pluviale, comporte des hautes eaux de saison humide de février à mai. Le mois de septembre présente ainsi un $C.M.D > 1$, en raison des fortes pluies orageuses provoquant des inondations au début de l'année hydrologique. Le maximum mensuel se situe en avril, pour El Hai soit un C.M.D de 1,42 et en mois de mars pour Djemoura soit 1,86, alors que le C.M.D de juillet représente le minimum mensuel d'écoulement, à Djemoura soit 0,17 et ce minimum est en mois d'août pour El Hai soit 0,14. Donc il y a une nette adaptation du régime hydrologique au régime pluviométrique.

L'allure générale des courbes des C.M.D rappelle celle des précipitations étudiées précédemment. Pour l'oued El Hai, la période de hautes eaux est marquée au cours des trois premiers mois de l'année hydrologique : Septembre, octobre et novembre en raison des fortes crues d'automne, qui peuvent produire des débits moyens mensuel importants et avec l'influence des facteurs physico-géographiques de la lithologie le phénomène d'inondation est très répondeu en cette période de l'année.

Écoulements annuels et leur variation temporelle

Figure n°47 : Courbes des coefficients mensuelles des débits.



I.8 CONCLUSION

L'apport annuel moyen de l'ensemble du bassin de l'oued Biskra calculé d'après les observations hydrométriques à la station de Djemoura plus la station d'El Kantara est de $17,86 \text{ hm}^3$ en ce qui concerne la partie aval, le bassin de l'oued El Hai ($A=9,80 \text{ hm}^3$) alors que l'oued Djemoura écoule annuellement un volume de $8,059 \text{ hm}^3$. Ces apports annuels moyens n'ont cependant qu'une signification théorique, en raison de la forte variabilité interannuelle de l'écoulement mis en lumière par les valeurs de l'hydraulicité et du coefficient de variation, ainsi que par des données des estimations fréquentielles. Ceci résulte des conditions climatiques, lithologiques et physico-géographiques, qui règnent dans ce secteur.

Le régime d'écoulement est donc variable et irrégulier, car il dépend du régime des pluies et de la réponse du milieu physique du bassin, mais certain rythme d'écoulement se produit chaque année plus au moins fidèlement. Ce régime d'écoulement est exprimé par la méthode de CMD basée sur le débit moyen mensuel qui reflète la variation de l'écoulement dans le bassin de l'oued Biskra.

Le régime saisonnier de l'oued Biskra et ses affluents se fait sous forme de crues, il y a une nette adaptation du régime hydrologique au régime pluviométrique étudié. Ce rythme périodique de l'écoulement a un impact plus important à l'aval, il permet une alimentation des nappes phréatiques et un développement à l'irrigation par épandage des crues, en cette période de l'année.

CHAPITRE II
ETUDE DSE CRUES EXTREME D'OUED
BISKRA

II. INTRODUCTION

Les crues sont des gonflements hydrométriques exceptionnels débordant ou non, qui affectent sans périodicité le plus souvent l'écoulement ⁽¹⁾. Ce sont des évènements rares, qui ont un double effet ; l'un destructif provoquant de grandes inondations qui touchent l'intérêt socio-économique du pays (Biskra en particulier) l'autre bénéfique, pour une éventuelle mobilisation de ces eaux par des structures hydrauliques.

L'étude des crues permet de mettre en lumière la réaction du bassin pendant un pas de temps réduit, à une averse ou séquence pluvieuse donnée. Cette réaction ou réponse du bassin fonction des caractères propres des précipitations (hauteur, intensité, durée totale et durée efficace) est déterminée par la combinaison complexe des divers éléments caractérisant l'organisme fluvial : Etat de saturation du sol, importance des pentes, densité de drainage, taux de couverture végétale, forme du bassin,...etc.

II.1 Maximums annuels : les crues

Le débit maximal d'un oued est le résultat des pluies d'hiver et de printemps, il s'établit entre mars, mai et présente près de la moitié du flux annuel de l'oued, se manifeste souvent par d'importantes inondations qu'affrontent les agglomérations situées aux pieds des versants notamment, la ville de Biskra située à l'embouchure de l'oued Biskra.

Les estimations des débits des crues maximales ont été toujours perçues comme une nécessité impérieuse, pour ce protégé contre les séquences néfastes.

L'opposition et l'interférence des facteurs influençant la pluviosité ont caractérisé le bassin versant de l'oued Biskra par un climat semi-aride marqué par des oscillations saisonnières. La concentration de la pluie en une seule saison lui confère indiscutablement le caractère torrentiel avec une incidence érosive intense et des inondations répétées : phénomène d'incidence aval. Ces particularités conjuguées à une couverture insuffisante en stations pluviométriques et surtout hydrométriques limitent le champ d'investigation des méthodes d'estimation des débits de crues maximaux

(1) : J.Loup, 1974.

Etude des crues extrême d'oud Biskra

Comme nous l'avons cité au début de cette partie, le bassin versant de l'oued Biskra n'est contrôlé que par deux stations hydrométriques ; la station d'El Kantara et Djemoura, nous disposons une série d'année d'observation de 26 ans, le seul avantage consiste dans la mise en œuvre simple et facile, traduit par la régularité de l'échantillonnage (la crue que nous étudions est le maximum de chaque année) l'information est nette : débit maximum annuel et indépendance assurée.

Il semble nécessaire de distinguer les crues de saison froide et les crues de saison chaude ces deux grands types de crues se différencient en effet, tant par leur genèse et leur mécanisme de propagation, que par leurs puissances, leurs durées, leurs fréquences ainsi que leurs extensions géographiques.

II-1.1 Genèse des crues et leur extension dans le temps et l'espace

1. Crues de la saison froide :

A. Leur genèse :

Ces crues surviennent généralement durant la saison d'hiver, du printemps et plus particulièrement durant les mois de février et de mars : elles sont générées par des précipitations longues, régulières et continues présentant des intensités moyennes à élevées.

Ce sont les paramètres morphométriques du bassin versant, des réseaux hydrographiques (forme du bassin, pente des talwegs, hiérarchisation du chevelu et la densité de drainage,...) ainsi que les caractéristiques physiques des lits fluviaux, qui jouent pleinement leur rôle et déterminent des nuances dans la propagation et l'évolution des crues. Ces dernières, ont une alimentation essentiellement pluviale, car la neige n'intervient de façon efficace que dans les secteurs montagneux élevés, supérieurs généralement à 1500 m d'altitude.

Les averses génératrices de ces crues hivernales ont un caractère à la fois durable et extensif, il s'agit en fait d'épisodes pluvieux plus au moins longs, susceptibles d'engendrer non seulement une unique montée des eaux, mais également plusieurs crues successives, tel que celle de décembre 1981 à la station de Djemoura et à El Kantara que nous étudierons ultérieurement.

B. Leur répartition temporelle

Le tableau n°49 montre que les valeurs extrêmes des débits journaliers maximums ont une distribution annuelle variable selon les secteurs géographiques du bassin versant de l'oued Biskra ainsi malgré quelques concordances, il ne semble pas exister de liaison étroite entre les valeurs des crues des stations et celles de l'hydraulicité annuelle abordée précédemment.

Etude des crues extrême d'oud Biskra

En effet, les crues de saison froide, plus fréquentes à la fin qu'au début de la période des hautes eaux, se produisent surtout en avril et mars, à degré moindre en février. Elles ne coïncident donc pas nécessairement avec les mois les plus pluvieux de l'année, car elles sont déterminées par la nature même des averses notamment, leur intensité en interaction avec les autres facteurs du ruissellement.

C. Leur répartition dans l'espace

L'évolution spatiale des crues est en fonction de la répartition des précipitations, de la densité de drainage et de la vitesse de propagation d'ondes évoquées par ces crues, elle-même fonction de plusieurs facteurs physico-géographiques (topographiques, lithologiques, couvert végétal et caractéristiques des lits des oueds).

Cependant, la propagation des crues de l'oued Biskra est souvent très compliquée, par les apports des affluents du fait que " les terroirs hydrologiques " réagissent différemment d'un oued à l'autre et d'une crue à l'autre.

De ce fait, les stations d'El Kantara et Djemoura qui sont loin de l'exutoire ne sont pas toujours représentatives de l'évolution du phénomène de crue dans l'ensemble du bassin de l'oued Biskra.

D. Exemple de la crue de la saison froide du mois de décembre 1981

En raison de l'abondance et de l'extension remarquable d'averses, cette crue a caractérisé l'année hydrologique 1980/1981, dans les deux stations hydrométriques ; la hauteur pluviométrique à la station de Djemoura est de 138.50 mm en total annuel.

Des précipitations importantes tombant sur le bassin ont provoqué la crue du décembre 1981 la station hydrométrique d'El Kantara a enregistré un débit journalier de $53,9 \text{ m}^3/\text{s}$, avec une hauteur de 183 cm, cette valeur est de $101,6 \text{ m}^3/\text{s}$, avec une hauteur de 192 cm dans la station de Djemoura (figure n°48-a et b).

L'hydrogramme relatif à cette crue est intéressant dans la mesure où il laisse apparaître deux montées des niveaux d'eau à deux averses successives. Ces dernières mettent en évidence le caractère relativement durable des précipitations de saison froide.

Cependant, le maximum d'onde de crue a été enregistré le 22/12/1981 à O. Djemoura, alors qu'il n'a été atteint à O. El Hai à la station de El Kantara qu'une heure après.

Etude des crues extrême d'oud Biskra

Figure n°48-a : Hydrogramme de la crue de la saison froide décembre 1981(ANRH-Biskra, 2008).

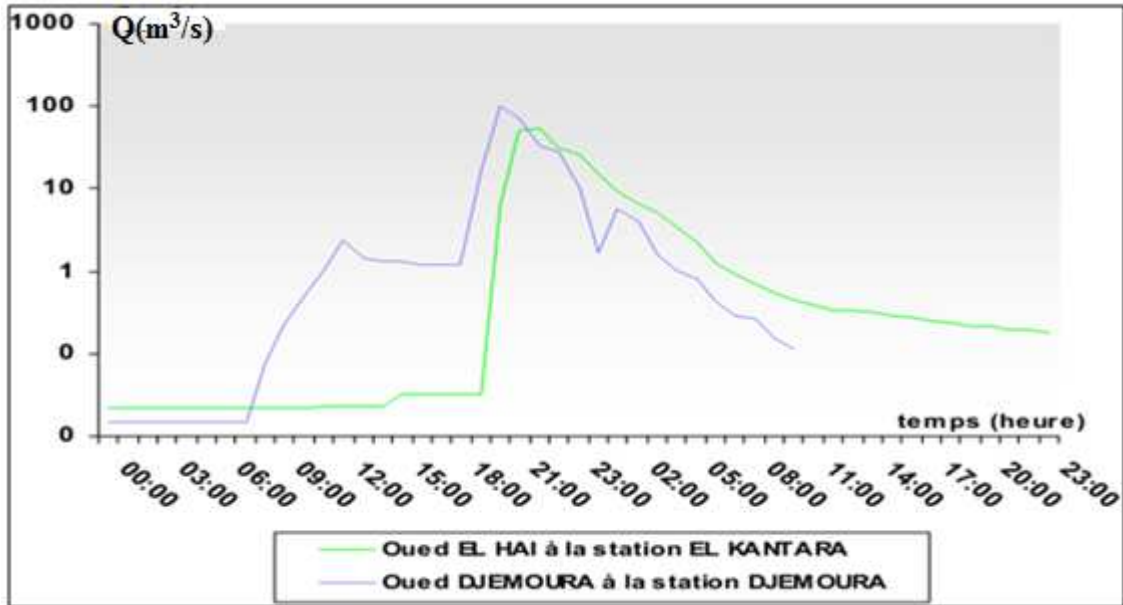
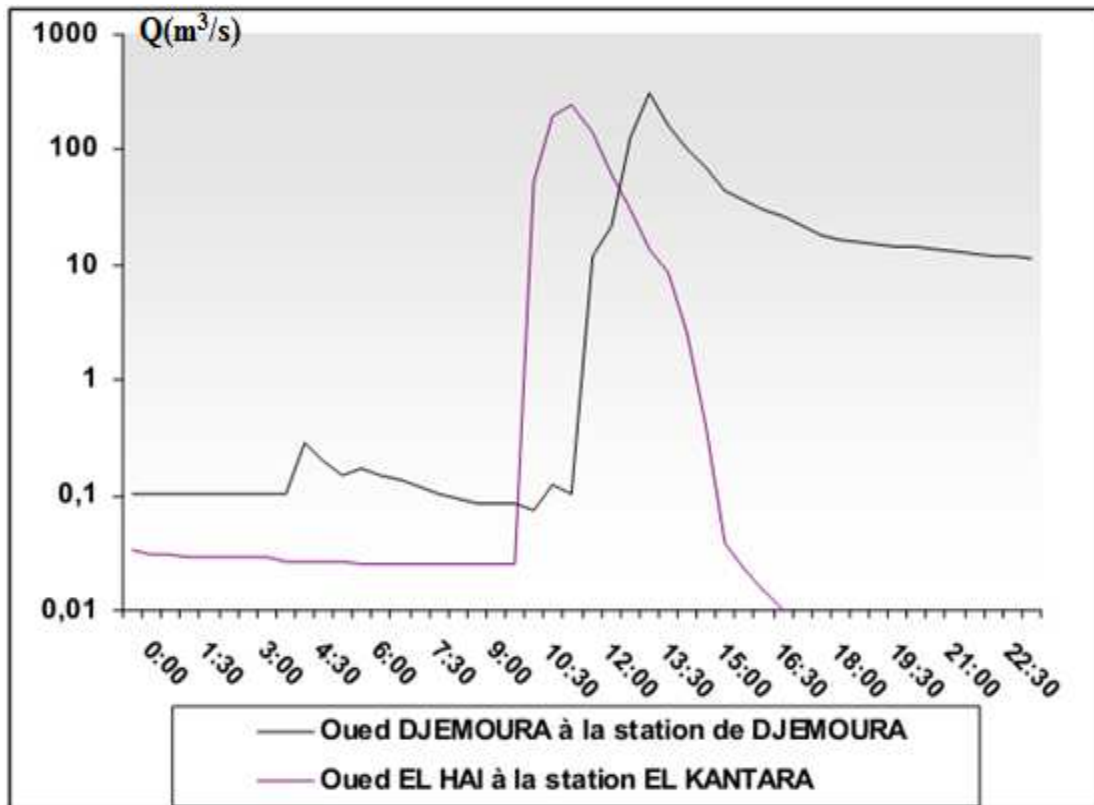


Figure n°48-b : Hydrogramme de la crue de la saison chaude octobre 1982 (ANRH-Biskra, 2008).

Etude des crues extrême d'oud Biskra



2. Crues de la saison chaude

Les crues de la saison chaude liées généralement à des averses orageuses, brèves et localisées se caractérisent par une durée et une extension spatiale plus faibles que celle des crues de saison froide. Leurs puissances sont également moins élevées bien que parfois, à la suite d'averses torrentielles elles peuvent atteindre des proportions jamais égalées en période de haute eau, ce qui entraîne des inondations brutales. Ceci est valable pour la partie supérieure de l'oued Biskra (station d'El Kantara et la station Djemoura) où la moyenne des débits journaliers maximaux de saison chaude dépasse celle de la saison froide (voir tableau n°49).

Les crues de saison chaude les plus fréquentes se produisent en début et en fin de saison plus précisément en mai et septembre. Ce sont les crues de septembre (mais des premières pluies) qui revêtent un caractère de gravité élevée, en raison de la forte intensité des averses et de l'absence de couvert végétal ; ces paramètres peuvent l'emporter sur les effets de l'évaporation et du pouvoir absorbant du sol, très élevés en cette période dans le bassin de l'oued Biskra.

Ces crues sont de type orageux, de courte durée (4 à 6 heures) avec forte intensité. Les débits de pointe de ce type de crues peuvent être importants dépassant 100 m³/s comme celle

Etude des crues extrême d'oud Biskra

produite le 31 octobre 1982 avec son débit de $314,8 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Djemoura et de $242,6 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station d'El Kantara.

Comme nous l'avons vue dans la première partie ; toutes les inondations qu'a connu la ville de Biskra ont lieu en mois de septembre et octobre généralement.

2. a. Exemple de la crue de saison chaude

➤ **Crue du mois d'octobre 1982**

Cette année là, de fortes précipitations eurent lieu sur l'ensemble du bassin de l'oued Biskra. La hauteur pluviométrique est de $137,7 \text{ mm}$ à la station de Biskra $551,7 \text{ mm}$ à la station de Menaâ et $256,6 \text{ mm}$ à la station de Bouzina.

En mois d'octobre, une pluie diluvienne s'était abattue sur le bassin, qui a engendré des inondations dans la plaine de Djemoura et El Outaya.

L'hydrogramme relatif à ces crues donne une image suggestive de la rapidité et la brutalité caractérisant la montée des eaux : pour la station hydrométrique de Djemoura ; le débit journalier est passé de $0,105 \text{ m}^3/\text{s}$ à $314,80 \text{ m}^3/\text{s}$, au bout de deux heures à la station hydrométrique d'El Kantara, le débit passe de $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$ à $242,6 \text{ m}^3/\text{s}$ au bout d'une heure (figure n°48).figure 48- b

Ces mêmes caractères se retrouvent, mais à un degré moindre au niveau de la phase de décrue

Etude des crues extrême d'oud Biskra

Tableau n°47 : Débits moyens annuels, coefficient de d'hydraulicité (Ch) et coefficient de variation(Cv) (1980-1995).

Oued		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	moy
El Hai	Q_{moy}	-	0.73	0.14	0.31	0.18	0.35	0.41	0.37	0.06	0.15	0.35	0.31	0.44	0.33	0.009	0.17	
	Ch	-	2.76	0.52	1.17	0.68	1.34	1.56	1.4	0.2	0.58	1.33	1.19	1.65	1.26	0.33	0.66	1.09
	Cv	-	1.70	1.32	1.52	1.3	1.54	1.9	1.43	1.27	2.01	1.48	2.54	1.58	1.51	0.79	1.54	1.56
Djemoura	Q_{moy}	0.27	0.39	0.13	0.3	0.20	0.52	0.3	0.24	0.04	0.2	0.26	0.28	0.27	0.11	0.083	0.22	0.26
	Ch	1.21	1.74	0.6	1.34	0.93	2.47	1.34	1.08	0.18	0.91	1.18	1.25	1.23	0.53	0.37	0.99	1.08
	Cv	1.74	1.66	1.72	1.82	1.59	1.92	1.66	1.29	1.29	1.84	1.47	1.63	1.63	1.46	2.04	2.59	1.71

II-1.2 Crues de l'oued Biskra et ses affluents

Le bassin versant de l'oued Biskra connaît des crues généralement au début de l'année hydrologique, se sont les mois de septembre et octobre comportent le plus de crues (voir tableau n°49).

A. crue de septembre 1989 :

C'est un autre exemple de crues de saison chaude, ce type de crues les plus fréquentes dans l'oued Biskra se produit au début et en fin de saison, qui revêtent un caractère de gravité élevé en raison de la forte intensité des averses et de l'absence du couvert végétale, ces paramètres peuvent l'emporter sur les effets de l'évaporation et du pouvoir absorbant du sol élevé en cette période.

La crue de 1989 qui a lieu le 29 Septembre, dont la hauteur pluviométrique à Djemoura est de 146 mm et un débit journalier de 82,7 m³/s ce débit est de 297 m³/s à la station hydrométrique d'El Kantara.

Malgré les fortes possibilités d'infiltration et d'évaporation, l'intensité particulièrement élevée des précipitations a provoqué des montées importantes des niveaux d'eau qui ont atteint près de 2m à la station de Djemoura et 4m à la station d'El Kantara (figure n°49).

Il importe enfin, de souligner la brutalité caractérisant la montée de l'hydrogramme de crue de la station d'El Kantara, par rapport à celui de Djemoura ; nous constatons que le bassin versant de l'oued El Hai est responsable d'une grande partie de la crue. La phase de décrue est également rapide en raison de l'arrêt de l'averse après la pointe de la crue.

B. Crue d'Août 1984 :

Au mois d'août, une pluie abondante s'était abattue sur le bassin (une hauteur pluviométrique moyenne mensuelle de 131,8mm). Ces précipitations généralisées sur tout le bassin ont provoqué la crue du 29 août 1984.

En cette crue, (figure n°50) la station d'El Kantara a enregistré 127,6 m³/s et Djemoura 102,88 m³/s. L'allure des hydrogrammes relative de cette crue donne une image suggestive de la rapidité et la brutalité caractérisant la montée et la descente des crues (figure n°50) surtout pour l'oued El Hai, où les variations plus accusées dues essentiellement à l'importance de l'évaporation et de la nature lithologique des formations alluvionnaires traversées par l'oued qui engendrent une descente très rapide de la crue, après une montée aussi bien rapide.

C. Crue de Juin 1981

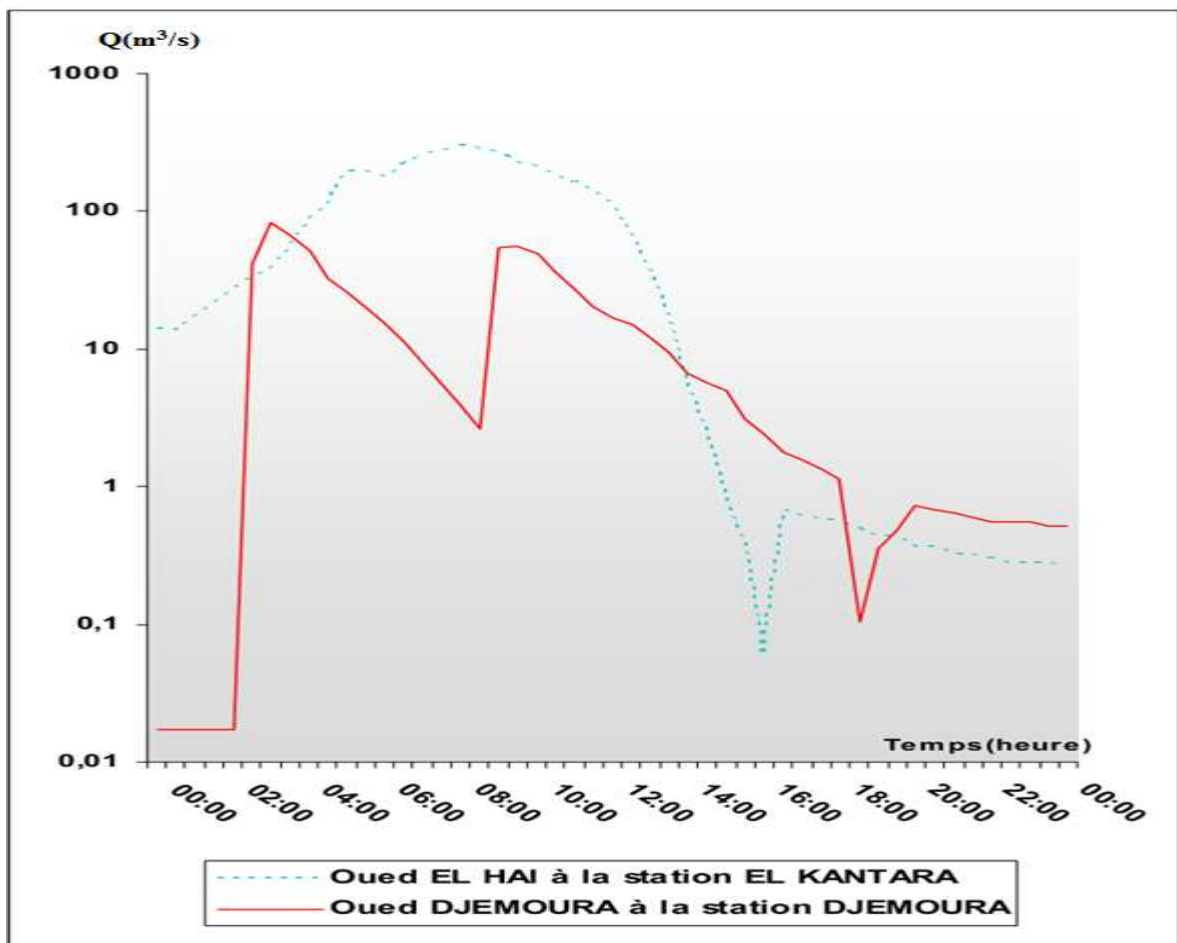
Cette année là, de fortes précipitations tombent sur le bassin versant de l'oued Biskra ont provoqué la crue du 25/06/1981. La station hydrométrique d'El Kantara a enregistré un débit journalier de 178,20 m³/s, alors que la station de Djemoura n'a enregistré que 19,94 m³/s,

Etude des crues extrême d'oud Biskra

l'écart entre ces débits journaliers pour ces deux stations est très important et témoigne de la variété des réponses des sous bassins (la morphologie du lit, les caractéristiques physiques notamment, la lithologie et les conditions météorologiques).

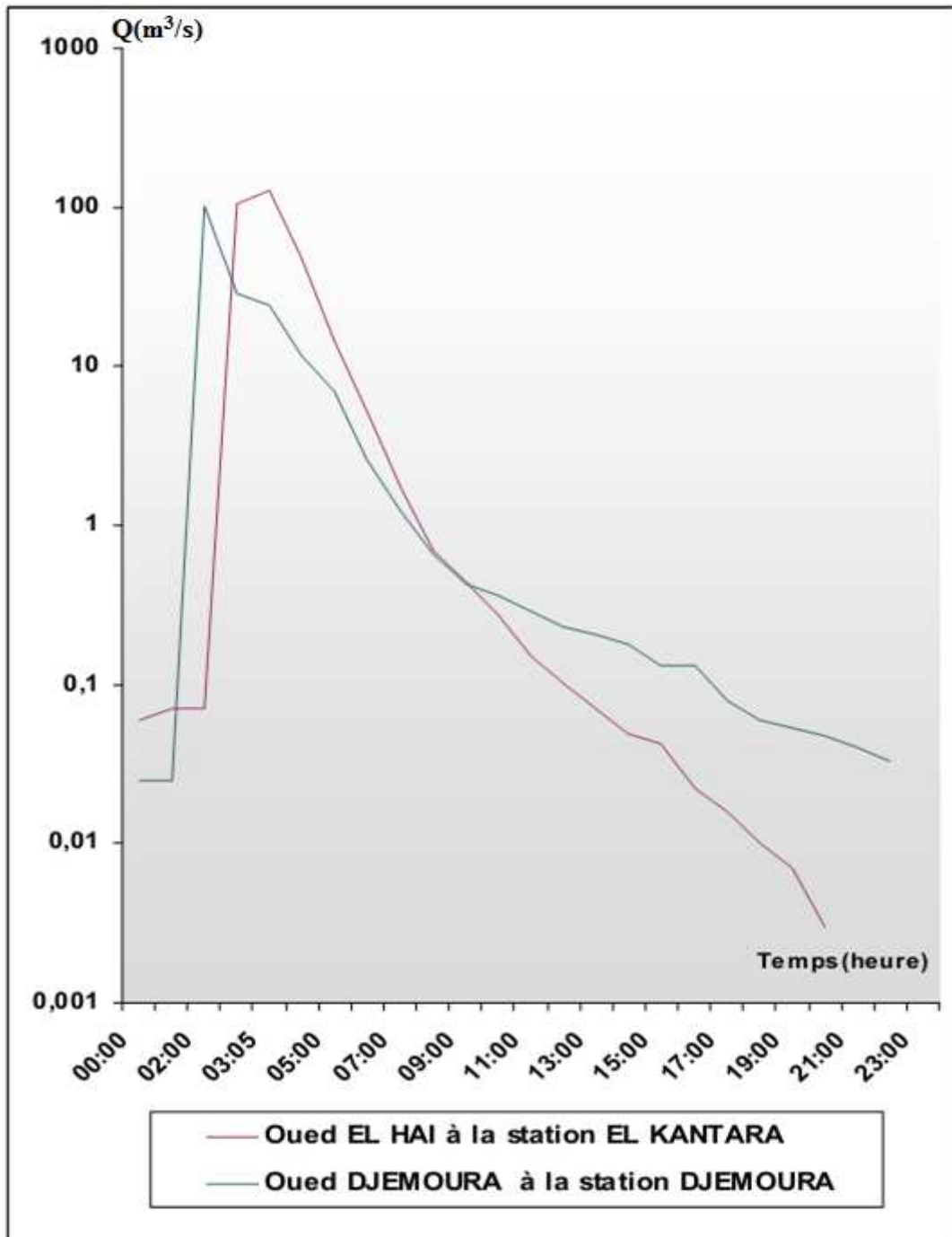
Il est à noter sur les hydrogrammes journaliers des deux oueds ; les débits maximums journaliers sont juxtaposé (figure n°51) la puissance de la crue a diminué de l'amont à l'aval du fait de la répartition des précipitations ainsi que la faiblesse de la pente vers le Sud, l'importance des dépôts alluvionnaires perméables et l'augmentation de la température qui engendre une évaporation intense.

Figure n°49 : Hydrogramme de la crue de septembre 1989 (ANRH-Biskra, 2008).



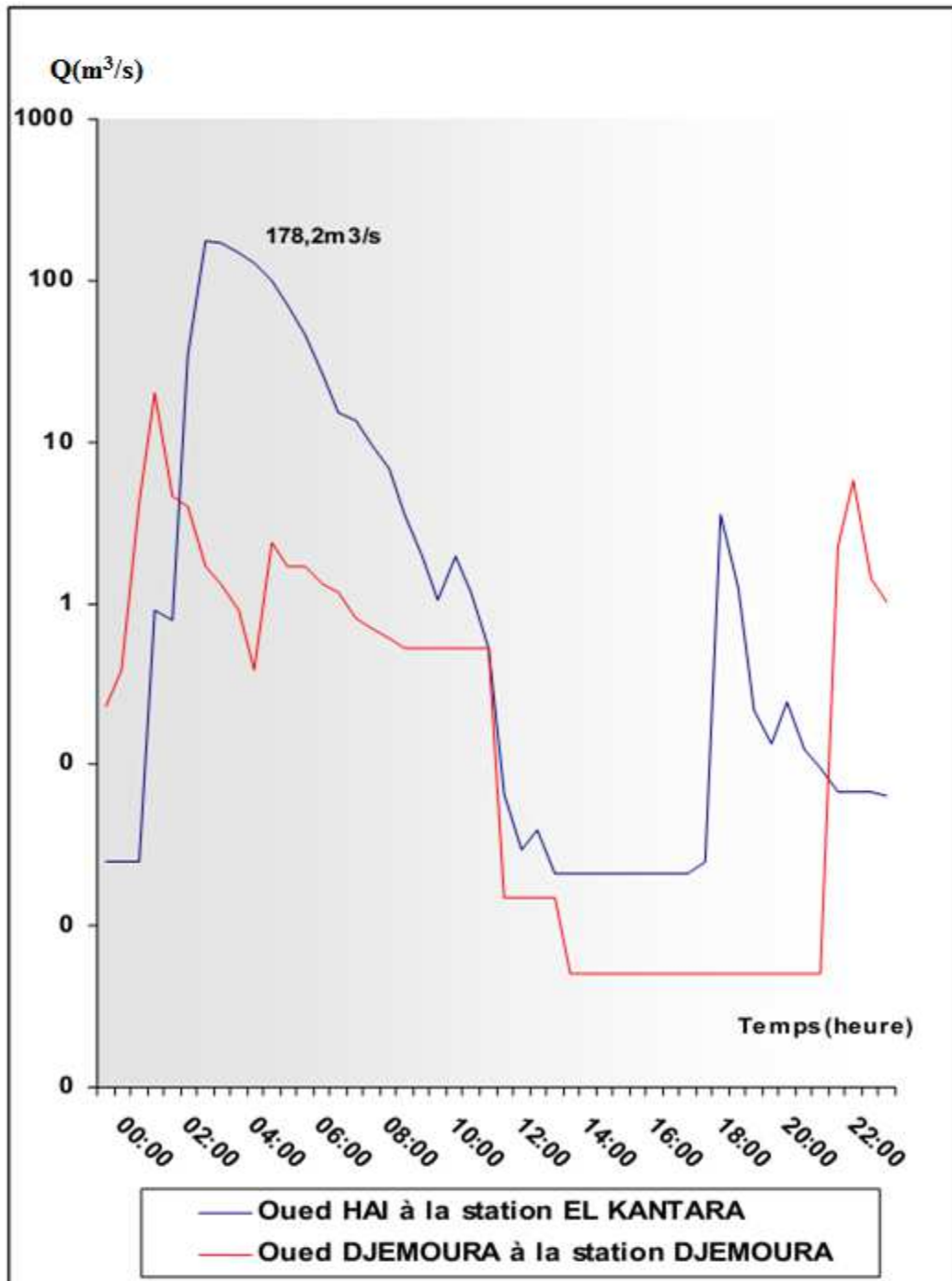
Etude des crues extrême d'oud Biskra

Figure n°50 : Hydrogramme de la crue d'août 1984 (ANRH-Biskra, 2008).



Etude des crues extrême d'oud Biskra

Figure n°51 : Hydrogramme de la crue de juin 1981(ANRH-Biskra, 2008).



Etude des crues extrême d'oud Biskra

Tableau n° 50 : Caractéristiques des principales crues de l'oued Biskra et ses principaux affluents.

Oued	Date de maximum	Pluie (mm) moyenne annuelle	Pluie (mm) moyenne mensuelle	Pluie (mm) journalière maximale	Q moy annuel (m ³ /s)	Q moy mensuel (m ³ /s)	Q max (m ³ /s)
Djemoura	22/12/81	138,5	9,94	29,00	0,38	0,30	101,60
	25/06/81	138,5	4,6	16,90	0,38	0,094	19,94
	31/10/82	58,3	9,945	2,30	0,133	0,084	314,80
	29/08/84	83,9	5,02	00,00	0,21	0,28	102,88
	21/09/89	106,7	10,90	21,60	0,20	0,26	82,70
El Hai ⁽¹⁾	22/12/81				0,72	0,23	53,90
	25/06/81				0,72	0,48	178,20
	31/10/82				0,14	0,050	242,60
	29/08/84				0,18	0,23	127,60
	21/09/89				0,14	0,42	297,00

II-1.3 Apports de crues

La plus forte crue enregistrée pour notre période d'observation a écoulé 271987.720 m³ à Djemoura le 31/10/82, alors que l'oued El Hai a écoulé 20.960.640 m³. Pendant la crue du 22/12/1981 en saison froide ; l'apport d'El Kantara est important soit 15396.480 m³ et seulement 8.778.240 m³ à Djemoura. Quant à la crue de 29/08/1984, l'apport de Djemoura est de 8.888.832 m³, il est important à El Kantara : 11024640 m³.

Les valeurs des débits absolus et spécifiques regroupées dans le tableau n°50, montrent que les crues n'affectent pas le bassin avec la même puissance. La crue de 1982 est plus marquée au Sud-Est du bassin, qu'à la partie Sud-Ouest. Elle a écoulé 314.80 m³/s avec en débit spécifique de 537.20 l/s/km² à l'oued Djemoura, alors que l'oued El Hai a écoulé 242.60 m³/s avec un débit spécifique de 146.15 l/s/km².

C'est le contraire qui s'est produit le 21/09/89, cette crue a écoulé 297 m³/s avec un débit spécifique de 178.92 l/s/km² à El Hai, alors que la station de Djemoura n'a enregistré que 82.70 m³/s avec un débit spécifique de 141.13l/s/km². Cette répartition est liée probablement à des fortes averses d'orage très localisées.

(1) : Comme nous l'avons mentionné dans la première partie, il n'existe aucune donnée pluviométrique sur la station d'El Kantara.

Etude des crues extrême d'oud Biskra

Tableau n°51 : Apports et les débits absolus, spécifiques des principales crues (ANRH-Biskra).

Oued	Date de crue	Débit max journalier		Volume total écoulé pendant 24 h de crue (m ³)	Volume total écoulé en année moyenne (m ³)
		Absolu (m ³ /s)	Spécifique (l/s/km ²)		
Djemoura	22/12/81	101,60	173,38	8778240	3204058×10 ³
	25/06/81	19,94	34,03	1722816	628828×10 ³
	31/10/82	314,80	537,20	27198720	9927533×10 ³
	29/08/84	102,88	175,56	8888832	3244424×10 ³
	21/09/89	82,70	141,13	7145280	260827×10 ³
El Hai	22/12/81	53,90	32,47	4656960	1699790×10 ³
	25/06/81	178,20	107,35	15396480	5619715×10 ³
	31/10/82	242,60	146,15	20960640	7650634×10 ³
	29/08/84	127,60	76,87	11024640	4023994×10 ³
	21/09/89	297,00	178,92	25660800	9366192×10 ³

II-2 Différentes méthodes d'estimation des débits des crues

Dans une première phase d'évaluation les valeurs de crues et de leurs divers paramètres, les hydrologues ont établi des méthodes d'estimation concernant la détermination des volumes probables de crues futures et leurs éléments associés. Dans la plus part des cas, il convient d'estimer les pointes de débits (et de niveaux d'eau) et leur fréquence dans un bassin versant, mais dans notre cas on peut procéder à l'estimation d'un maximum des conditions extrêmes.

Dans de nombreux cas réels, la méthode ou les méthodes adoptées dépendent des données disponibles des caractéristiques régionales et de l'intuition de l'hydrologue. C'est souvent l'une des tâches les plus difficiles à effectuer, les estimations sont fréquemment obtenues avec un degré marqué d'incertitude. Pour cette raison, il est recommandé pour toute application de faire appel à plusieurs méthodes d'évaluations des débits de crues.

Etude des crues extrême d'oud Biskra

II-2.1 Formules empiriques régionales

Il existe de nombreuses formules pour l'estimation des débits des crues et leur étude détaillée permet une vue d'ensemble du développement historique de l'hydrologie. D'une façon générale, les formules empiriques peuvent être classées selon les paramètres intervenants, entre autre celles dans lesquelles le débit est en fonction de la surface du bassin versant "S" et la période de retour "T".

Les études hydrologiques effectuées à l'échelle régionale ont permis à Drouhin, Mallel et Paquant de proposer une relation empirique issue des lois de Gilbert-Galton-Gauss et de la relation séjourne muni d'un terme correctif.

La dite relation est commode et donne de bons résultats, une fois confronté aux valeurs historiques observées. En exprimant la crue Q_{crue} en m^3/s , la pluie moyenne interannuelle " P " en mètre "S" la surface du bassin versant en km^2 , la longueur de ce bassin "L" en km, "T" période de retour en année, on peut prendre en Algérie pour un bassin versant $k=1$ et $A=20$, qui sont des coefficients ⁽¹⁾ qui dépendent des caractéristiques topographiques, climatologiques et géologiques des bassins. Les résultats sont présentés dans le tableau n°52.

Tableau n°52 : Calcul des débits des crues par la formule empirique issue des lois de Gilbert-Galton-Gauss.

Bassin	Surface (km ²)	Longueur du bassin (km)	Pluie moyenne (mm)	γ_{100} ⁽¹⁾	$Qt_{100\text{ ans}}$ ⁽²⁾	γ_{1000} ⁽³⁾	Qt_{1000} ⁽⁴⁾
O.El Hai	1788	95,17	230,00	0,378	776,12	0,722	1482,42
O.Djemoura	906	79,92	239,50	0,540	527,27	0,907	885,62
O.Biskra comp	93	74,10	213,50	1,361	75,89	1,874	104,50
O.Biskra	2787	95,22	241,40	0,284	1038,84	0,620	2267,88

Le débit de crue de cent (100) ans et mille (1000) ans, les plus élevés sont enregistrés sur l'oued Biskra ($Qt_{=100\text{ ans}}=1038.84\text{ m}^3/s$, $Qt_{=1000\text{ ans}}=2267.88\text{ m}^3/s$) en raison de la grande

Etude des crues extrême d'oud Biskra

superficie drainée par ce cours d'eau (2787 km²). De même pour le sous bassin de l'oued El Hai d'une superficie de 1788 km² présente ($Q_{t=100 \text{ ans}}=776.12 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{t=1000 \text{ ans}}=1482.42 \text{ m}^3/\text{s}$) ainsi que le sous bassin versant de l'oued Djemoura qui se distingue par des valeurs moyennement élevées ($Q_{t=100 \text{ ans}}=527.27 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{t=1000 \text{ ans}}=885.62 \text{ m}^3/\text{s}$) s'expliquent par la nature lithologie imperméable et un couvert forestier assez dégradé. Ces crues sont faibles dans le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire ($Q_{t=100 \text{ ans}}=75.89 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{t=1000 \text{ ans}}=104.50 \text{ m}^3/\text{s}$) du fait de la forte capacité d'infiltration et un apport pluviométrique relativement faible caractérisant ce sous bassin.

En conclusion, on constate que la puissance des crues est en fonction de plusieurs facteurs liés l'un à l'autre : que ce soit morphologiques, lithologiques météorologiques et bien sûr le rôle du couvert végétal et son impact sur la genèse de ces crues.

$$(1) \gamma_{100} = 2. S^{-0,25} X \sqrt{9 - \ln S}$$

$$(2) Q_{t = 100 \text{ ans}} = \gamma_{100} x S x K x \ln(1 + A\bar{P}) \left(\frac{S}{I^2}\right)^{0,25}$$

$$(3) \gamma_{100} = 2. S^{-0,25} X \sqrt{13 - \ln S}$$

$$(4) Q_{t = 1000 \text{ ans}} = \gamma_{1000} x S x K x \ln(1 + A\bar{P}) \left(\frac{S}{I^2}\right)^{0,25}$$

II-2.2 Etude des crues maximales annuelles par analyse statistique

A. Ajustement à la loi de Gumbel

L'estimation fréquentielle des débits d'une crue est très importante pour le dimensionnement des ouvrages hydrotechniques qui peuvent être des ouvrages de protection, d'emmagasinement ou d'évacuation.

Parmi les distributions statistiques généralisées, la loi de Gumbel est fréquemment utilisée pour rendre compte de la distribution des valeurs extrêmes en hautes eaux.

De ce fait, la distribution statistique des Q_{max} du bassin versant de l'oued Biskra s'adapte bien à cette loi (voir figure n°53).

Ce qu'il est a signalé, c'est que les traitements statistiques ne prétendent pas à expliquer le phénomène de crue ; on constate simplement qu'ils sont adoptés ou non à l'estimation des risques de crues.

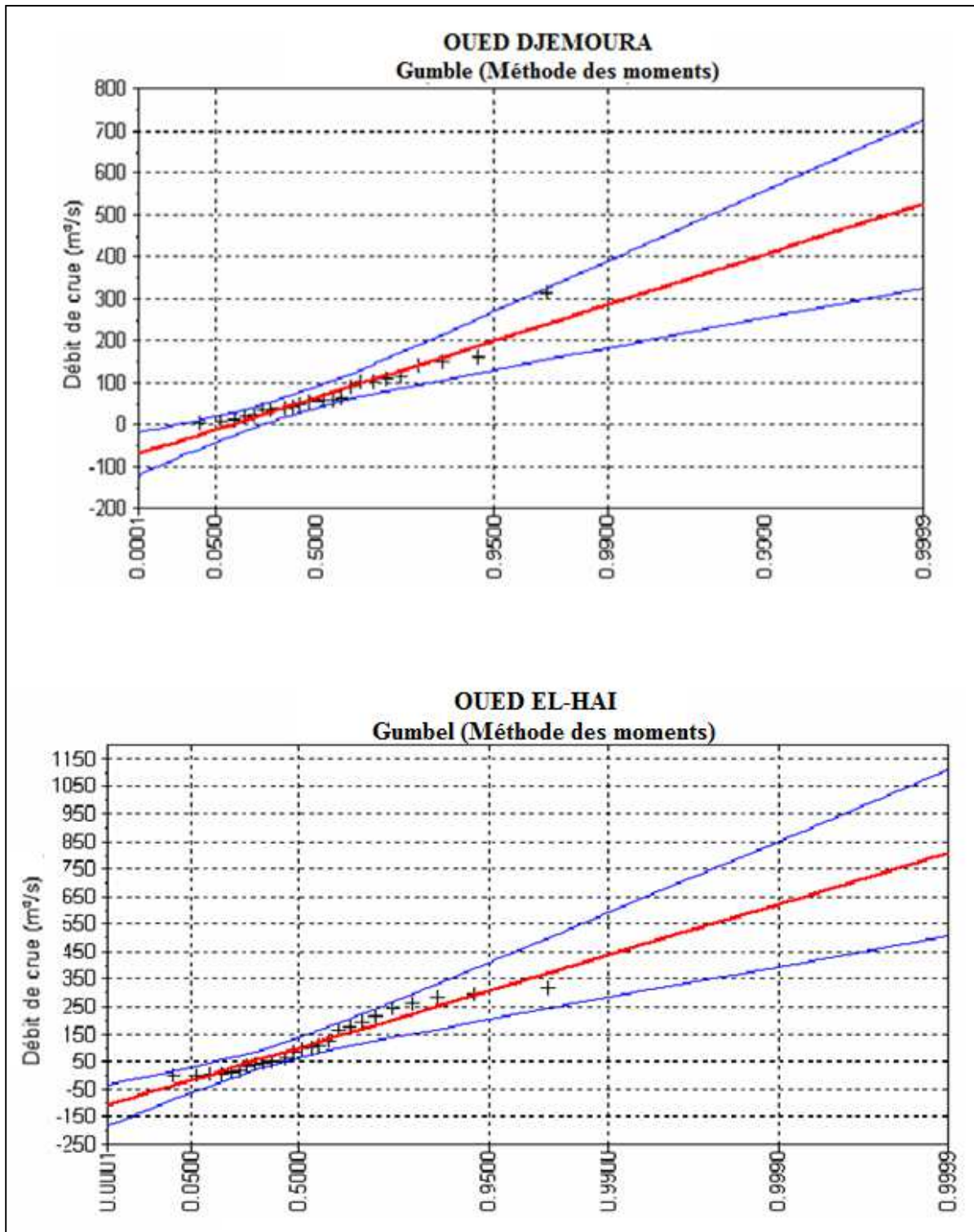
La détermination des quantiles (tableau n°53) peut se faire soit par lecture directe du graphe soit d'après l'équation de la droite de Gumbel.

Tableau n°53 : Durée de récurrence des débits journaliers maximaux annuels.

Oued	U	F	Période de retour (t)	Qmax (m ³ /s)	Coéf (K)
Djemoura Qmax=45.09u+52.16	0,3665	0,50	02	64,21	0,54
	1,5000	0,80	05	123,30	
	2,2204	0,90	10	162,50	
	2,9702	0,95	20	200,00	
	3,9019	0,98	50	248,60	
	4,6001	0,99	100	285,00	
El Hai Qmax=69.63U+80	0,3665	0,50	02	98,95	
	1,500	0,80	05	189,60	
	2,2504	0,90	10	249,70	
	2,9702	1,95	20	307,20	
	3,9019	0,98	50	881,80	
	4,6001	0,99	100	437,60	

Figure n°52 : Ajustement des débits journaliers maximums à une loi de Gumbel (1970/1998)

Etude des crues extrême d'oud Biskra



Etude des crues extrême d'oud Biskra

A partir de ces valeurs on peut évaluer les quantiles en termes de crue aux autres bassins de l'oued Biskra et l'oued Biskra complémentaire par la même relation suivante :

$$Q_{crue.Biskra} = Q_{crue.O.El.Hai} \left(\frac{S.O.Biskra}{S.O.El.Hai} \right)^K \quad (13)$$

K : Est un coefficient régional déterminé dans le tableau n°50, il est fonction du temps et de l'espace.

Il est calculé comme suit :

$$Q_{crue(T).El.Hai} = Q_{crue(T).Djemoura} \left(\frac{S.O.Biskra}{S.O.El.Hai} \right)^K \quad (14)$$

$$\ln k = \ln \left(\frac{Q_{crue(T).El.Hai}}{Q_{crue(T).Djemoura}} \right) - \ln \left(\frac{S.O.El.Hai}{S.O.Djemoura} \right) \quad (15)$$

Les valeurs de "K" sont présentées dans le tableau n°53 et les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau n°54.

Tableau n°54 : Débits de crues pour le bassin de l'oued Biskra et son ensemble.

Q_{crue} Période De retour	Oued El Hai	Oued Djemoura	Oued Biskra complémentaire	Oued Biskra
02	98,95	64,21	23,60	131,17
05	189,60	123,30	45,38	251,20
10	249,70	162,50	59,81	330,83
20	307,20	200,00	73,61	407,02
50	381,80	248,60	91,50	505,86
100	437,60	285,00	105,09	579,49

L'analyse de ces résultats nous permet de faire les remarques suivantes :

Les crues biennales (période de retour une année sur deux), montrent de nettes différences dans le comportement des bassins :

- La crue biennale de l'oued Biskra complémentaire a une valeur très faible ($Q_{max}=23.6 \text{ m}^3/\text{s}$) et serait due à la forte capacité d'infiltration et d'évaporation du bassin, où le rapport pluviométrique est relativement faible.

Etude des crues extrême d'oued Biskra

- Cette valeur est relativement plus élevée sur l'oued Biskra ($Q_{\max}=113.17 \text{ m}^3/\text{s}$) mais elle reste modérée dans l'ensemble en raison du rôle joué par la lithologie et l'apport pluviométrique.

L'accroissement des débits entre les crues de différente fréquence (2ans, 5ans, 10ans, 20ans 50ans et 100ans) dans le sous bassin versant de l'oued Djemoura serait lié à la répartition des précipitations, à une relative augmentation des pentes et à la nature de la couverture végétale dans cette partie du bassin l'oued Biskra, ce qui à augmenter la vitesse de propagation des crues.

Le sous bassin de l'oued El Hai réagit de façon intense aux averses car les pentes sont relativement fortes, les précipitations assez abondantes et surtout de fortes intensités, la végétation fortement dégradée malgré l'influence de cette dernière. Ce secteur offre les conditions physiques favorables au déclenchement de crues énormes : précipitations maximales, pentes assez fortes et terrains en majorité imperméables.

Dans le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire, avec sa faible superficie (93 km²) les débits des crues de ceci sont très faibles cela est lié à l'atténuation des pentes de l'amont à l'aval, la diminution des précipitations et la perméabilité importante des formations alluvionnaires traversées.

En conclusion, on retiendra que la puissance des crues est en fonction de la taille du bassin et de son comportement hydrologique notamment, la lithologie, la déclivité et la couverture végétale, qui jouent un rôle important par leurs impacts sur le régime des oueds. Cependant, il n'est pas raisonnable d'explorer l'ajustement statistique à des périodes de retour supérieur à N, 2N et 3N étant la durée d'observation. Cette méthode est donc limitée par la durée habituelle des observations, à la prédétermination de débit de crue de fréquence généralement inférieure à 0,99. On propose de réévaluer les valeurs rares des crues par la méthode du Gradex.

II.2.3 Méthode faisant intervenir la connaissance des pluies

A. Méthode du Gradex

Plusieurs tentatives ont été présentées depuis quelques dizaines d'années dans la littérature hydrologique. Pour baser le calcul du débit de la crue sur la connaissance des pluies sur le bassin versant .

Ces méthodes se rattachent toutes au départ à la technique de l'hydrogramme unitaire, c'est à dire que le débit pluvial (et éventuellement de fonte de neige) diminué de la rétention par le terrain est étalé dans le temps, par son parcours dans le bassin versant, pour former à l'exutoire le débit de crue.

Cependant, les variations de la rétention par le terrain en fonction du temps au cours de l'averse et dans les différentes parties du bassin versant, restent généralement très mal connues, et l'ajustement des modèles aux crues déjà observées ne garantit pas leur validité en cas de précipitations beaucoup plus fortes. Les opinions divergent sur les débits d'infiltration, les capacités de rétention, les coefficients de ruissellement et sur la conception même des modèles des relations pluies-débits.

En fait, pour répondre au problème de la probabilité des grandes crues, la référence à un mécanisme physique trop précis, à un modèle déterministe, de la relation pluies-débits est une opération non seulement arbitraire, en égard aux données généralement disponibles, mais aussi inutile.

Il n'est pas possible, dans le domaine d'évaluation des phénomènes extrêmes, de s'affranchir complètement d'hypothèses, mais on doit s'efforcer de réduire celles-ci à un minimum indispensable et cohérent.

Les services d'exploitation d'électricité de France emploient depuis 1966 une méthode simplifiée d'évaluation des crues extrêmes, que nous appelons la méthode du Gradex, qui est applicable aux bassins versant de 0 à 5000km², dont le temps de concentration de ruissellement ou de l'écoulement rapide est compris entre 1 heure et 4 jours ⁽¹⁾.

(1) : Duffant (J) - Guillot et Roche - Herriou (M) 1973, détermination des crues de projet par un graphique de travail du comité français des grands barrages. Société Grenobloise d'études et d'applications hydrauliques.

B. Application de la méthode du Gradex au bassin versant de l'oued Biskra et ses petits sous bassins :

➤ **Données de base :**

T_c : Temps caractéristique du bassin (heure), qui sépare la fin de la pluie homogène et la fin de l'écoulement direct.

g : Gradex des pluies maximales journalières observées aux différentes stations.

Sur 33ans (1966-1999) à la station pluviométrique de Biskra code 06.14.16. Les P_{jmax} sont ajustées à une loi de Gumbel et la valeur de g déduite est égale à : 20,43mm Sur 30ans (1969-1999) à la station pluviométrique de Djemoura code 06.13.05. Les P_{jmax} sont ajustées à une loi de Gumbel et la valeur de g déduite est égale à : 33,26mm.

Pour le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire la station pluviométrique la plus proche est celle de T'kout. Sur 32ans (1967-1999) les P_{jmax} sont ajustées à une loi de Gumbel et la valeur de g Déduite est égale à : 29,22mm.

Concernant la station pluviométrique d'El Kantara, l'absence de série pluviométrique nous a conduit à calculer g comme suite : $P_{jmax\ El\ Kantara}=32,8mm$ (Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie synthèse régional ANRH 1985).

Application de la méthode de Gumbel nous donne : $g = 25,57mm$.

b: Exposant climatique.

Q_{max} (10ans) : Débit de pointe estimé par la formule de Gumbel.

S : La surface du bassin versant en km^2 .

Les résultats de ce calcul sont présentés dans les trois tableaux qui suivent :

Etude des crues extrême d'oud Biskra

Tableau n°55 : Application de la méthode du Gradex sur le bassin versant de l'oued Biskra et son ensemble :

Bassin versant	Tc (heurs)	g (mm)	b ⁽¹⁾	Q _{10ans} (m ³ /s)	Surface (km ²)	gtc ⁽²⁾ (mm)	r ⁽³⁾	Débit de Pointe de crue moy (m ³ /s)
El Hai	15	25,57	0,25	249,7	1788	22,74	1,2	208,083
Djemoura	11,47	33,26	0,26	162,5	906	27,45	1,22	133,196
Biskra comp	9,62	29,22	0,28	59,81	93	22,62	1,37	43,6569
Biskra	17	20,43	0,22	330,83	2787	14,47	1,22	271,172

(1) : Exposit climatique ; pour les stations pluviométriques : Djemoura, T'kout et Biskra, il est calculé par la formule :

$$b = 1 + \frac{\ln(pj \max/24) - \ln(25)}{\ln(24) - \ln(0,5)}$$

Pour la station d'El Kantara ; b=0,25 (analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie synthèse régionale ANRH 1985).

(2) Pour une pluie de durée est égale à tc et sur la même étendue de la série d'observation, le Gradex correspondant est évalué par la relation de Montana :

$$gt_c = g \left(\frac{tc}{24} \right)^b \text{ en mm}$$

(3) : Le coefficient de pointe des débits de crue estimé par la formule de Fuller :

$$r = 1 + \left(\frac{2,66}{s} \right)^b$$

(4) Le débit de pointe moy (m³ /s)= Le débit de crue moyen (T=10ans)/ r

Etude des crues extrême d'oud Biskra

Cette méthode repose bien sûr sur des hypothèses concernant la fréquence des pluies, le coefficient de ruissellement marginal et le temps de ruissellement du bassin, mais elle est pour ambition de constituer une convention cohérente.

On utilise essentiellement l'information pluviométrique historique, généralement fiable et faiblement autocorrective : le Gradex est un paramètre climatologique.

- Elle ne nécessite pas de longues séries de débits de crues.
- Elle prend en compte les risques saisonniers, pour établir la loi de probabilité du débit maximal annuel.
- Elle tient compte des disparités spatiales des risques de crues, parfois importantes dans une même région.

Cette méthode fait apparaître les résultats suivants :

Ce sont les bassins de l'oued El Hai, l'oued Djemoura et bien sûr l'oued Biskra qui deviennent les plus dangereux en fréquence rare, ceci serait lié à la nature des précipitations, qui malgré leur faiblesse quantitative moyenne peuvent avoir une très forte intensité en fréquence rare. Cette intensité croissante est susceptible de provoquer sur des terrains mal protégés par la végétation des crues d'une grande ampleur.

Au contraire, le petit bassin de l'oued Biskra complémentaire qui s'est avéré dangereux par ses petits cours d'eau, qui sont souvent à sec semble réagir de façon relativement modéré en fréquence rare, phénomène qui serait en rapport avec le faible accroissement de la torrentialité des averses.

II.2.4. Comparaison entre les méthodes

L'erreur sur le risque constitue le point capital sur lequel se focalise l'action commune des chercheurs, la confiance et la fiabilité accordée aux méthodes d'estimation actuelles sont encore loin de faire l'unanimité.

Un point de discordance persiste et persistera encore tant les extrapolations pour les périodes de récurrences longues, ne peuvent être vérifiées sur le terrain.

La comparaison sur le plan méthodologique et la mise en œuvre est importante tant elle met en évidence les limites et les contraintes imposées, dans bien des cas, par la nature même des données, il n'en demeure moins que la comparaison chiffrée des résultats donne une meilleure appréciation opérationnelle sur le choix d'une méthode au détriment de l'autre.

L'approche menée sur un cas spécifique (bassin l'oued Biskra), outre l'appréciation par les résultats, met en évidence la comparaison entre les méthodes.

L'opposition et l'interférence des facteurs influençant la pluviosité ont toujours caractérisé la région d'étude, par un climat semi-aride marqué par des oscillations saisonnières. La concentration des pluies, en une seule saison lui confère indiscutablement le caractère torrentiel, avec une incidence érosive intense et des inondations répétées.

Ces particularités conjuguées à une couverture insuffisante en stations hydrométriques limitent le champ d'investigation des méthodes d'estimation des débits de crues maximales.

A la lumière de ce constat, les méthodes des maxima annuels (Gumbel et Fréchet) sont largement employées pour l'étude statistique des crues et présentent l'avantage dans leur mise en œuvre simple et facile, traduite par la régularité de l'échantillonnage (une seule valeur prise en compte par année) et l'information est nette, débit maximum annuel et indépendance assurée.

Concernant les formules empiriques, il ne faut naturellement pas attacher à ces formules une valeur formelle, elles sont commodes et donnent " en moyenne " de bons résultats ; c'est leur seul mérite.

Il est bien évident qu'en pratique de nombreux facteurs de correction interviennent :

- La forme, la topographie du bassin versant ainsi que sa nature géologique et lithologique.
- La répartition des pluies dans le temps (période sèche et période humide).
- Le degré de déboisement et l'étendue des zones cultivées.
- La forme du lit (champ d'inondation et étalement des crues).

Etude des crues extrême d'oud Biskra

La méthode du Gradex, qui déduit la fréquence des débits extrêmes de la fréquence des pluies extrêmes en s'appuyant sur quelques hypothèses physiques simples, mais elle donne de très bons résultats.

Etude des crues extrême d'oud Biskra

II-3 Puissance des crues

Plusieurs critères peuvent caractériser la puissance d'une crue : sa cote maximale, son débit absolu et spécifique, son volume écoulé. Mais ces paramètres qui sont influencés par la surface du bassin et par les caractéristiques des lits des oueds, ne permettent pas une analyse comparative de crues des bassins de taille différentes.

Le coefficient "A", de Meyer-Cautagne-Parade ⁽¹⁾ est un indicateur souvent utilisé, il permet d'apprécier la puissance des crues sur des bassins d'étendues diverses, mais cet indice peut pertinent, alors que le calcul de la lame d'eau écoulée nous donne un ordre de grandeur réel.

Les valeurs correspondantes calculées pour les crues maximales de saison froide et de saison chaude permettent de constater les fortes variations de la puissance des crues extrêmes d'une station à l'autre (tableau n°56).

Tableau n°56 : La puissance des crues.

Oued	Date du max	Q (m ³ /s)	S (km ²)	Q spécifique (l/s/Km)	Lame d'eau écoulée (mm)	Cœf A	Hauteur d'eau dans le lit de l'oued (m)
Djemoura	22/12/81	101,60	586	173,38	0,015	4,20	1,65
	25/06/81	19,94	586	34,03	0,0020	0,82	2,82
	31/10/82	314,80	586	537,20	0,046	13,00	2,82
	29/08/84	102,88	586	175,56	0,015	4,25	1,66
	21/09/89	82,70	586	141,13	0,012	3,42	2,04
El-Hai	22/12/81	53,90	1660	32,47	0,0028	1,32	1,83
	25/06/81	178,20	1660	107,35	0,0093	4,37	3,24
	31/10/82	242,60	1660	146,15	0,013	5,95	3,83
	29/08/84	127,60	1660	76,87	0,0066	3,13	2,74
	21/09/89	297,00	1660	178,92	0,015	7,29	4,32

(1) : Coefficient de crue $A = Q_{max} / \sqrt{S}$; Q_{max} : le débit maximal instantané ; S : surface réceptrice du bassin (km²).

Etude des crues extrême d'oud Biskra

Il apparaît que la lame d'eau écoulee dans chaque sous bassin est variable lors d'une crue, elle oscille entre la saison chaude et froide, cette variation est liée aux conditions d'alimentation et de ruissellement différentes d'un secteur hydrologique à l'autre et d'une saison à l'autre.

Le coefficient "A" oscille entre 0,8 et 13 à l'oued Djemoura, il varie entre 1,32 et 7,29 à l'oued El Hai.

En saison froide, le coefficient "A" varie entre 4,2 à Djemoura et 1,32 à El Hai ; en saison chaude il varie entre 13,00 à l'oued Djemoura et 7,29 à l'oued El Hai, ces fortes variations sont toujours liées aux conditions d'alimentation et de ruissellement.

La puissance des crues de saison chaude est dans l'ensemble, plus élevée qu'en saison froide ceci est le cas de l'oued Biskra, en raison du régime pluviométrique particulier de ce secteur.

La puissance de la crue d'octobre 1982 est la plus forte observée pendant la période considérée représente un débit maximal de 314,80 m³/s enregistré à la station de Djemoura, soit un débit spécifique de 537,20 l/s/km².

Elle est comparable à la crue de l'oued El Hai de la même date, correspond à un débit spécifique de 146,15 l/s/km² avec un débit journalier de 242,60 m³/s.

II.4. CONCLUSION

Ainsi, l'étude des extrêmes de l'écoulement sur les différents oueds équipés du bassin versant de l'oued Biskra, que ce soit l'oued El Hai, l'oued Djemoura a permet de confirmer le caractère d'irrégularité et d'immodérations qu'on a déduit précédemment dans l'analyse du régime.

La variabilité des débits est liée aux caractéristiques physico-géographiques propre à chaque sous bassin. Le sous bassin de l'oued El Hai est responsable d'une grande partie de débit écoulé à l'oued Biskra, surtout en période de crues, l'oued Djemoura à degré moindre et l'oued Biskra complémentaire d'une petite superficie ; les débits de crues dans celui-là sont très faibles.

Les crues, plus précisément celles de début de l'année hydrologique, surtout en mois de septembre et octobre, dont la gravité et la fréquence sont les plus fortes, présentent une menace sur la région de Biskra et ses environs.

Quant aux averses, qui provoquent ces crues, elles sont de type orageuses, surviennent principalement en automne, qui engendre ces crues .Il en a été ainsi le 31 octobre 1982 où les précipitations ont été généralisées à toutes les stations du bassin, ainsi que le 21 septembre 1989 et celle du 29 août 1984 qui atteint une côte de 1,66 m à la station de Djemoura et 2,74 m à El Kantara. Lors des crues, l'apport de l'oued Biskra est considérable, sur les cinq hydrogrammes de crue, l'élévation du flot est relativement courte. Le temps de décrue se fait toujours brutalement.

Le coefficient de crue "A" montre parfaitement la puissance des crues, c'est la station de Djemoura, qui a connu la crue la plus puissante en octobre 1982 ($A=13$), suivi par El Kantara ($A=7,29$) le 21/09/1989 et vient s'ajouter les conditions du milieu qui font de cette région une zone favorable aux inondations et l'érosion hydrique.

Ces crues inondantes participent activement à la dynamique fluviale de l'oued Biskra. Leur impact en particulier, dans le lit majeur est important notamment, en allant vers l'embouchure, en aval de la ville de Biskra.

CHAPITRE III

ETUDE DES TRANSPORTS SOLIDES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED BISKRA

III.1 INTRODUCTION

Le bassin versant est caractérisé par l'irrégularité de la pluviométrie, des averses torrentielles, par un couvert végétal discontinu, vu érosion active, qui génère un transport solide considérable. Ainsi les transports en suspension traduisent l'importance des hautes eaux et les crues qui sont la conséquence d'un ruissellement intensif des précipitations torrentielles. En effet, l'oued Biskra et ses affluents transportent chaque année une importante quantité de matériaux de fond, qui est d'ailleurs inconnue. La taille des matériaux charriés peut atteindre jusqu'à une tonne, lors des crues qui menacent la région.

Le transport solide contribue au colmatage des sites potentiels de la recharge. C'est pourquoi une étude revêt un caractère important en vue d'envisager des opérations de recharge.

Dans la zone d'étude, le transport solide se caractérise particulièrement par une prédominance du transport en suspension par autres formes de transport solide (ANRH, Biskra). Dans le paragraphe suivant, nous estimons la le transport solide en appliquant les différentes formules inventoriées dans la littérature.

III.2 Evaluation du transport solide

III.2.1 Evaluation du transport solide par les formules empiriques

Diverses formules ont été établies pour l'estimation du transport solide à partir des données observées sur des différents bassins :

A. Formule de Tixeront (1960) ⁽¹⁾ :

Basée sur les données recueillies dans 32 bassins d'Algérie et 09 bassins Tunisiens, les superficies varient de 90 à 22300 km² et les observations portent sur une durée variante de 2 à 22 ans.

Elle donne un taux d'abrasion de 131,45 t/km²/an pour El Hai ; 146,11 t/km²/an pour Djemoura et 136,08 t/km²/an à l'oued Biskra.

B. Formule de Sogreah (1969) ⁽²⁾

Basée sur les données recueillies dans 27 bassins d'Algérie, les superficies varient de 90 à 22300 km².

Les relations de Sogreah inspirées des relations de Tixeront donnent les apports spécifiques "A" (t/km²/an) en fonction du ruissellement annuel de crue (mm) et de la perméabilité des bassins, le sous bassin de l'oued El Hai donne un taux d'abrasion de 451,61 t/km²/an, le sous bassin de Djemoura donne une valeur de 104,36 t/km²/an et finalement, le bassin de l'oued Biskra donne un taux d'abrasion de 462,91 t/km²/an.

(1) : $A=92 \times R^{0.21}$ (Région de l'est Algérien).

A : Apports solides spécifiques moyens annuels (t/km²/an).

R : Ecoulement annuel total (mm).

(2) : $A= 8,5 \times R^{0.15}$ perméabilité élevée.

$A= 75 \times R^{0.15}$ perméabilité moyenne a élevé.

$A= 350 \times R^{0.15}$ perméabilité faible à moyenne.

$A= 1,400 \times R^{0.15}$ perméabilité faible.

$A= 3,200 \times R^{0.15}$ imperméable.

III-2.2 Avec les données de mesures

III-2-2.1 Recherche de relation entre débits solides en suspension et débits liquides

La collecte des informations conduit inévitablement à un grand nombre de données de concentrations basses et insignifiantes, les concentrations élevées n'étant mesurées qu'en de rares occasions, ceci est justifié par la discontinuité du phénomène de transports solides en suspension qui dépend de l'état initial du bassin versant :

En saison estivale, une faiblesse du transport des matériaux fine dû simplement à la faiblesse voire l'absence de l'écoulement. En automne les premières précipitations de cette saison, souvent sous formes torrentielles, qui arrivent sur un sol dénudé, après une longue période chaude entraînent des masses considérables d'argiles et de limons déjà préparés sur place, aussi une forte quantité de terre est apportée par le ruissellement de surface au début de campagne de labours où le sol est remanié, aéré et fragilisé. Le transport en suspension est faible en hiver, quand les versants ont déjà lessivé par les premières pluies de la saison humide.

Cette situation se traduit par des lacunes inévitables au niveau des séries d'observations et nécessite de faire appel aux courbes et d'établir des relations qui peuvent servir de base pour le comblement de ces lacunes. Ceci pour l'évaluation des apports solides à différents pas de temps et par suite l'interprétation du phénomène des transports solides.

Pour le bassin versant de l'oued Biskra : La station d'El Kantara à une série de 24 ans (1969-1993) alors que la série disponible à Djemoura est de 13 ans (1981-1994).

- Compte tenu de l'influence saisonnière sur le phénomène des transports solides, nous avons cherché à établir des relations saisonnières, afin d'éviter les trop fortes dispersions.

- Les couples de valeurs (débit liquide, débits solide) sont reportés sur papier log-log, pour les séries d'observations disponibles, des regroupement effectués suivant quatre saisons ont donné de bons résultats (exemple: figure n°54 et annexe n°04).

- Les relations sont établies à partir d'ajustement de droites, par la méthode des moindres carrés sur les nuages de points reportés sur papier logarithmique.

Les équations de régression logarithmique sont de la forme :

$$\text{Log } Q_s = K_2 \text{Log } Q_L + \text{Log } K_1 \quad (y = ax + b).$$

Donc la relation recherchée sera : $Q_s = K_1 \cdot Q_L^{K_2}$, avec $K_2 = a$, $K_1 = e^b$.

Etude des transports solides dans le bassin versant d'oued Biskra

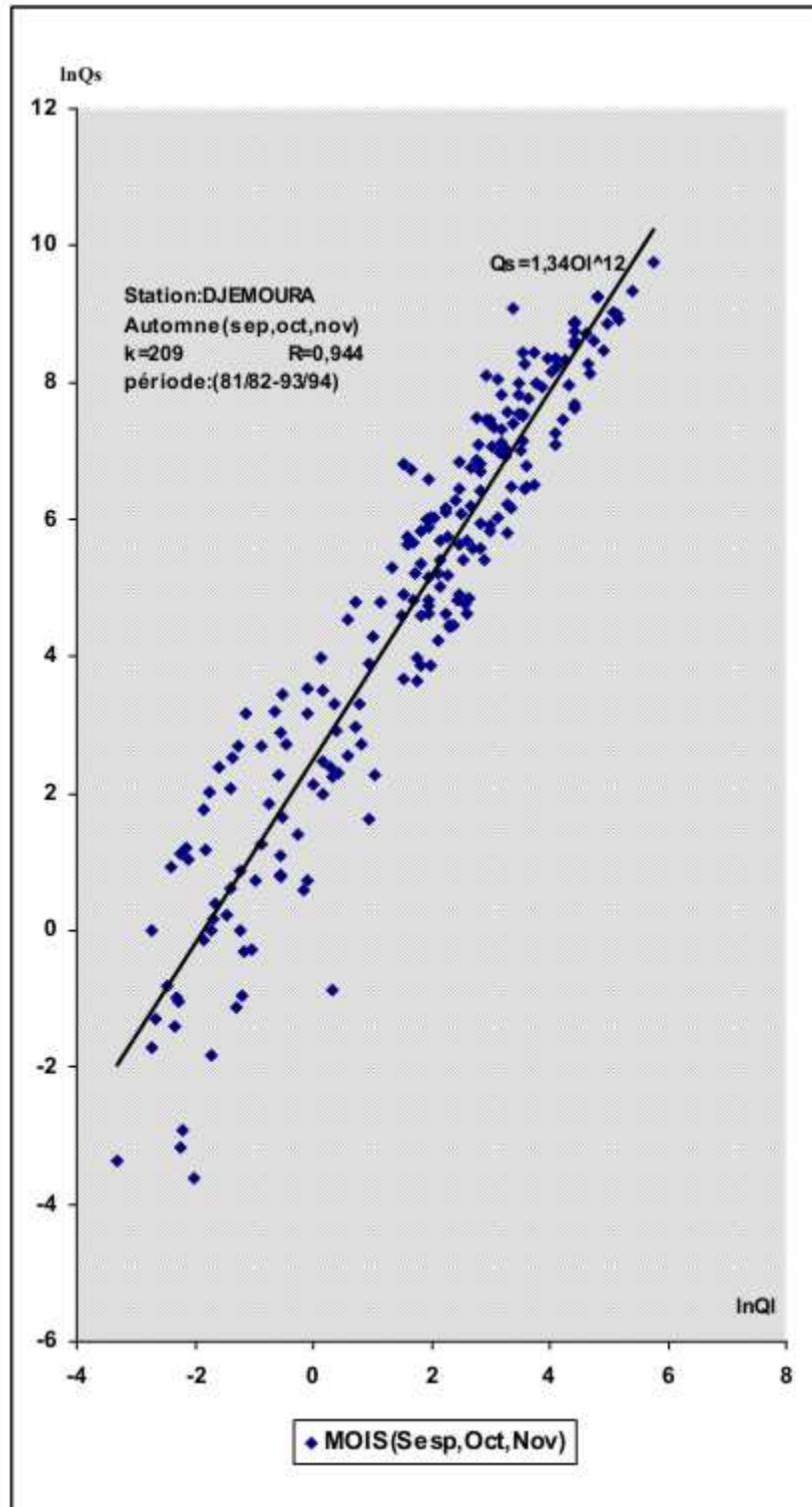
Nous obtenons les résultats consignés dans le tableau n°57.

Tableau n°57 : Recherche de relations saisonnières : Débit liquide-débit solide au pas de temps journalier.

	Station	Nombre de points	Paramètres de la droite régression.			Coeff. De corrélation	Relations
			Ks	b	$K_1 = e^b$		
El-Kantara	01(Sep-Oct-Nov)	485	1,51	1,66	5,3	0,89	$Q_S = 5,301 Q_L^{1,51}$
	02(Déc-Jan-Fév)	196	1,48	0,22	1,25	0,66	$Q_S = 1,48 Q_L^{1,26}$
	03(Mar-Avr-Mai)	338	1,77	0,53	1,71	0,85	$Q_S = 1,77 Q_L^{1,7}$
	04(Jui-Juil-Aou)	162	1,41	1,84	6,30	0,83	$Q_S = 1,41 Q_L^{6,3}$
Djemoura	01(Sep-Oct-Nov)	209	1,34	2,50	12,29	0,94	$Q_S = 12,92 Q_L^{1,34}$
	02(Déc-Jan-Fév)	24	1,2	2,06	7,87	0,92	$Q_S = 7,78 Q_L^{1,21}$
	03(Mar-Avr-Mai)	53	1,57	1,69	5,47	0,94	$Q_S = 5,47 Q_L^{1,58}$
	04(Jui-Juil-Aou)	42	1,43	2,06	7,9	0,97	$Q_S = 7,9 Q_L^{1,49}$

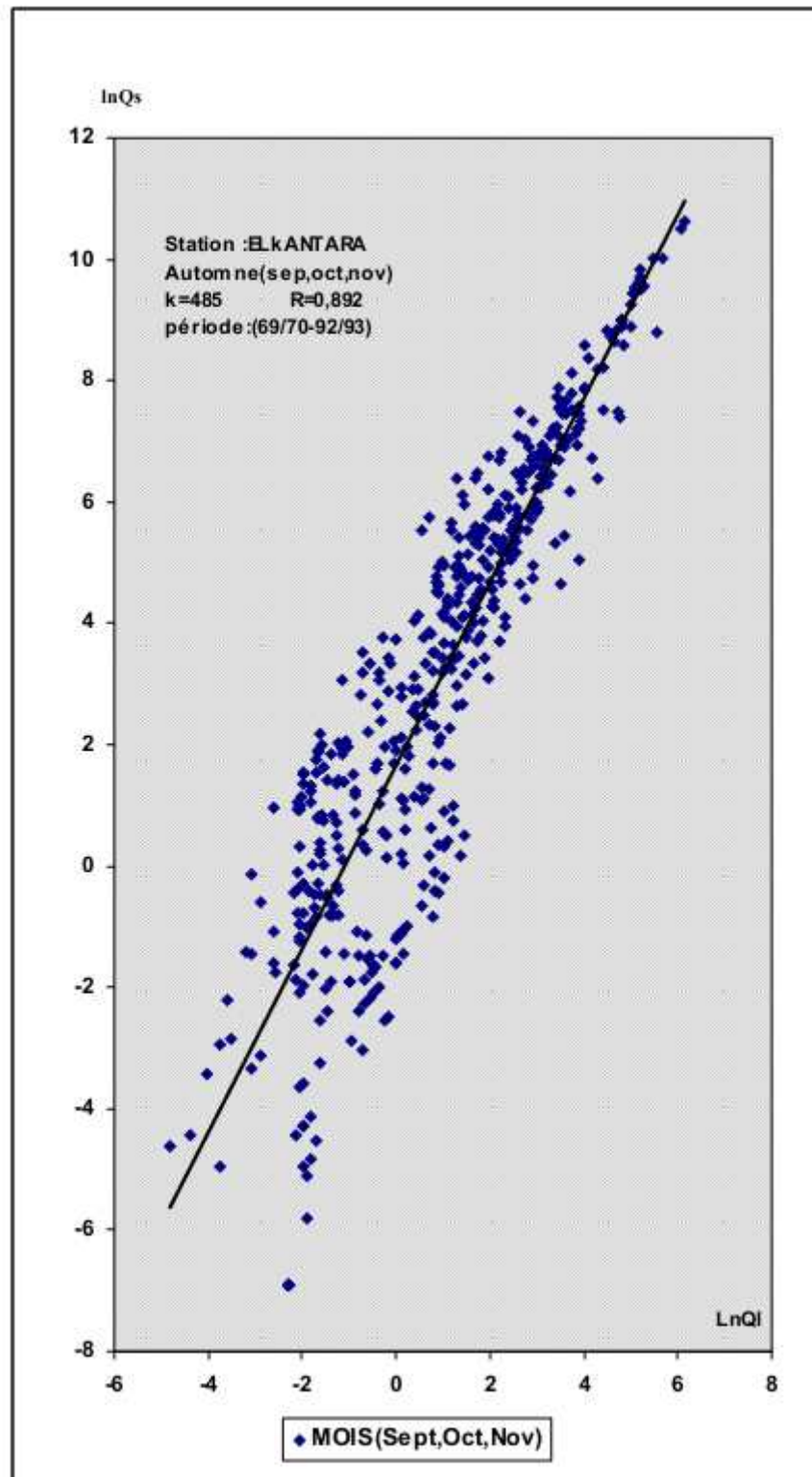
Etude des transports solides dans le bassin versant d'oued Biskra

Figure n°53-a : Recherche d'une relation saisonnière débit liquide-débit solide pour la station de Djemoura (1981-1994).



Etude des transports solides dans le bassin versant d'oued Biskra

Figure n°53-b : Recherche d'une relation saisonnière débits liquides- débits solides pour la station d'El Kantara (1969-1993).



III-2.3 Valeurs annuelles moyennes et leur variation spatiale

La turbidité moyenne annuelle à la station d'El Kantara est de 18,77g/l pour une période d'observation de 24 ans (1969-1993), elle passe à 26,25g/l à la station de Djemoura pour une même période de 13 ans (1981-1994) (figure n°54).

Ceci est probablement lié à la prédominance d'une couverture végétale saisonnière au bassin de l'oued El Hai et Djemoura, dont les terrains sont dénudés pendant les fortes crues d'automne, qui sont responsables de la quasi-totalité de transport solide ; les terrains du sous bassin de l'oued Djemoura sont le siège d'une érosion intense, surtout celles situées aux pieds du versant de Djebel El Mahmel et Boutlarmin. Ajouté à cela une couverture forestière très dégradée sur les reliefs de Bouzina et Djemoura à prédominance de marnes et sols argileux.

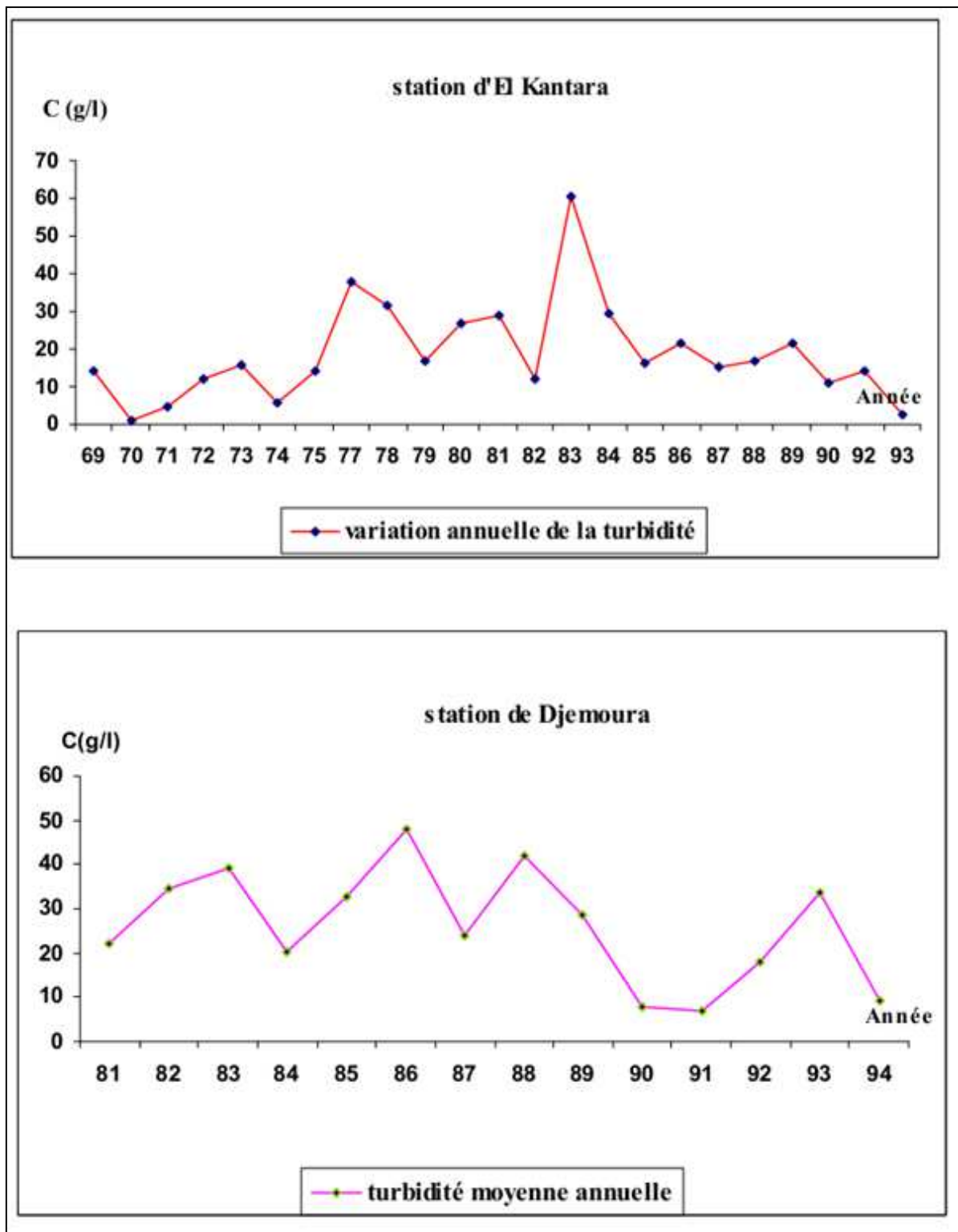
Alors que le sous bassin de l'oued El Hai, malgré les fortes pentes sur les versants de Metlili l'érosion est moins intense probablement due à la prédominance des formations moyennement érodables (marno-calcaire, calcaire et grés). Cette turbidité atteint sa valeur maximale en 1983 avec une valeur moyenne annuelle de 60,70g/l et son minimal est observé en 1970, avec une valeur égale à 0,96g/l quant à l'oued Djemoura, la valeur maximale de la turbidité est observée en 1986 égale à 48,15g/l et une valeur minimale de 7,02g/l en 1991.

Ces écarts importants ne peuvent être expliqués que par la forte variabilité du phénomène dans l'espace et dans le temps, mais aussi par l'imprécision des techniques de mesures et d'évaluation.

A cette variation spatiale des transports solides en suspension, s'ajoutent des variations interannuelles et saisonnières.

Etude des transports solides dans le bassin versant d'oued Biskra

Figure n°54 : Variations annuelles de la turbidité aux stations d'El Kantara et Djemoura (ANRH–Alger, 2012).



III-2.4 Variations interannuelles de l'apport solide en suspension

Les apports annuels en transports solides en suspension de l'oued Biskra et ses affluents aux deux stations hydrométriques présentent des variations spatiales dues essentiellement au couvert végétal et à la lithologie. Le tableau (Annexe n°6), résume les apports annuels solides en suspension, aux stations d'El Kantara et Djemoura.

L'oued El Hai a évacué des énormes volumes de matériaux solides en suspension, son apport est largement supérieur à celui de l'oued Djemoura. Lors de l'année 1986 qui est caractérisée par une forte hydraulicité à l'oued El Hai ($ch=1,56$) il a transporté 27172 tonnes, soit $16369 \text{ t/km}^2/\text{an}$, en 1979 l'oued El Hai a évacué un volume égale à 187279 tonnes, soit $11282 \text{ t/km}^2/\text{an}$; alors que l'oued Djemoura pour la même année 1986 avec une hydraulicité égale à 2,76, il a transporté 6185,4 tonnes, soit $10339 \text{ t/km}^2/\text{an}$.

Pour la période d'observation commune (1981-1993), il apparaît que l'oued El Hai fournis près de 60% de matériaux solides en suspension évacués par l'oued Biskra, alors que l'oued Djemoura ne fournissait que près de 30% de celui évacué à Biskra.

III-2.5 Variations saisonnières et mensuelles du T.S. en suspension

Le tableau n°58, donne en g/l la teneur moyenne mensuelle des eaux de l'oued El Hai et l'oued Djemoura en transports solides en suspension : Série d'observation (1969-1993) pour le premier et (1981-1994) pour le second.

Tableau n°58 : Valeurs mensuelles de la turbidité des eaux de l'oued El Hai et Djemoura en g/l (ANRH–Alger).

Oued	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Année
El Hai (1969-1993)	26,52	19,11	18,93	7,01	5,67	10,85	6,43	15,24	8,28	22,17	34,41	10,79	15,47
Djemoura (1981-1994)	39,47	44,33	13,60	19,73	4,60	11,63	14,46	20,26	14,27	35,52	10,48	32,66	22,27

Etude des transports solides dans le bassin versant d'oued Biskra

Les variations saisonnières de la turbidité suivent généralement une évolution inverse de celle de l'écoulement (figure n°55), un accroissement en automne avec un maximum en septembre et octobre, puis une chute en hiver, avec un minimum en janvier ou février et une reprise en juin-juillet.

Sur l'oued El Hai (période 1969-1993), la valeur maximale de la turbidité mensuelle est observée en mois de juillet soit 34,41g/l, alors que la teneur minimale moyenne est enregistrée en mois de janvier soit 5,67g/l. La turbidité mensuelle maximale de la période (1981-1994) sur l'oued Djemoura est de 44,33 g/l en octobre, elle est minimale en janvier (4,60g/l).

Cette variation saisonnière s'explique par l'état initial du terrain, la distribution des précipitations et aussi l'état de la couverture végétale : En automne, la distribution irrégulière des pluies (averses orageuses) sur sol encore dénudé est favorable aux fortes teneurs ; alors qu'au printemps la distribution plus ou moins régulière des précipitations en pleine saison végétative réduit considérablement la mobilisation des matériaux fins, sur les versants et engendre des faibles teneurs en transports solides (tableau n°59).

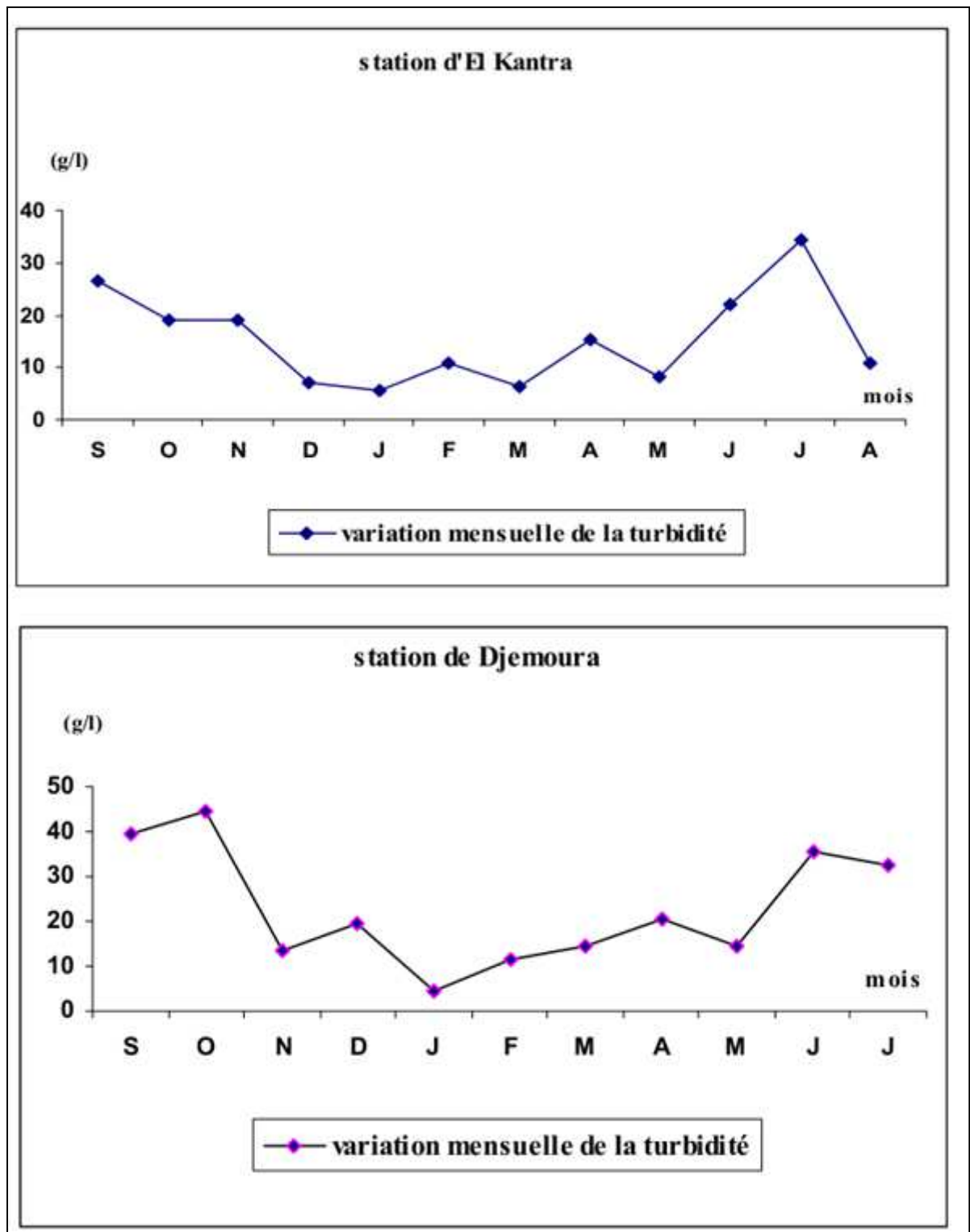
Tableau n°59 : Dégradation spécifique des bassins d'El Hai et Djemoura en tonnes/km²
(ANRH-Alger).

Bassin	Surface (km ²)	Caractéristique pluviométrique pendant les observations			Perte de terre		
		Pmoy (mm)	Le (mm)	Débit moy (m ³ /s)	Turbidité moy ann (g/l)	Turbidité maximale (g/l)	Dégradation spécifique ann. (t/km ² /an)
El-Hai (1969-1993)	1660	230	5,47	0,31	18,77	34,41	366
Djemoura (1981-1994)	586	239,5	9,05	0,26	26,25	44,33	1413

Etude des transports solides dans le bassin versant d'oued Biskra

Figure n° 55 : Variation mensuelle de la turbidité aux stations d'El Kantara et Djemoura.

(ANRH–Alger, 2012).



Etude des transports solides dans le bassin versant d'oued Biskra

III-2.6 Variations journalières de la turbidité et ses liens avec l'écoulement des crues

Les turbidités journalières maximales les plus élevées ont été observées dans les mois d'automne et les mois de fin d'hiver début de printemps.

Le tableau (annexe n°07) présente la turbidité maximale journalière dans les différentes stations du bassin l'oued Biskra. Elle atteint 190,80g/l à El Hai le 13/06/1975 à 09h20 ; soit 348,41 tonnes en décharge.

A l'oued Djemoura, la turbidité journalière maximale est de 307,40 g/l, le 13/09/0982 à 07h30 soit une décharge de 2126,75 tonnes.

C'est l'oued El Hai qui connaît les teneurs en matériaux en suspension les plus élevées. Le 24/09/1981 à 6H : 00, la turbidité à été de 160,80 g/l, le débit de l'oued était de 18 m³/s, le 09/10/1982 la turbidité a baissé à 98,20 g/l qui correspond à un débit liquide de 18,28 m³/s à 18h: 00.

Les plus fortes turbidités ne correspondent pas toujours aux plus grands débits liquides : le 02/09/69 à 07h:45, le débit de 1,73 m³/s à été enregistré pour une teneur de transport solide de 147,20 g/l, alors que le débit de 147 m³/s à été enregistré seulement pour une valeur de turbidité égale à 71,70 g/l le 30/09/87.

Les valeurs maximales sur L'oued Djemoura étaient de 184,80 g/l le 06/06/88 à 07h:30 et de 194,40 g/l le 01/09/93 à 16h:45, les débits liquides respectifs étaient de 32,30 m³/s et 4,65 m³/s. Ceci montre bien le caractère fréquemment orageux et localisé des pluies provocatrices des transports de matériaux fins, la turbidité est passée de 38,90g/l à 147,20g/l pendant la journée du 02/09/69, de 05h:45 à 07h:00 l'oued El Hai a évacué 255,24 tonnes de matière en suspension. Sur l'oued Djemoura, ce dernier a connu des variations journalières moins importantes que celles de l'oued El Hai, la teneur est passée de 2,10g/l à 307g/l en 06 heures, dans la journée du 13/09/92 l'oued Djemoura à Djemoura a évacué 790,20 tonnes de matière en suspension

III.3 CONCLUSION

Les transports solides en suspension reflètent dans une certaine mesure, l'importance de la dégradation dans un domaine donné. Les écoulements solides dans le bassin versant de l'oued Biskra constituent un phénomène irrégulier, complexe et aléatoire.

Les facteurs mis en jeu sont nombreux et interdépendants. En se basant sur les données disponibles observées aux stations d'El Hai et Djemoura, nous avons essayé d'apporter une contribution à l'étude de transport solide en suspension dans le bassin de l'oued Biskra.

Des relations saisonnières entre les débits solides et liquides à l'échelle journalière, de la forme ($Q_s = aQ^b$) sont mises au point, pour permettre de reconstituer les lacunes et d'homogénéiser les séries. Le calcul des paramètres statistiques des débits liquides et solides pour les oueds de Biskra permette de conclure que les variations saisonnières de la turbidité sont inverses de celles de débits liquide, et que la turbidité s'accroît du Sud au Nord, selon les résultats obtenues en analysant les séries observées pendant 13 ans à Djemoura et 24 ans à El Kantara, elle est de 26,25g/l à Djemoura et 18,77g/l à El Kantara. Les valeurs de dégradation spécifique passent de 366 tonnes/km²/an sur l'oued El Hai à 1413 tonnes/km²/an à Djemoura. A ces variations spatiales de la turbidité, du Sud au Nord s'ajoutent des variations temporelles.

En effet les transports solides en suspension varient d'une année à l'autre, ils mettent en évidence l'irrégularité de la pluviosité et de l'hydraulicité. La turbidité connaît une oscillation saisonnière importante, la concentration est maximale en automne et au printemps, lors des hautes eaux et des crues.

En hiver, on observe qu'au delà d'un certain seuil de précipitations, la concentration moyenne ne varie pas avec l'hydraulicité, elle est minimale en année de faible hydraulicité, en saison sèche et en hiver en absence de crues.

Les apports de matières en suspension sont considérables en moyenne annuelle, mensuelle et journalière. Ceci donne une idée sur l'ampleur du phénomène dans le bassin de l'oued Biskra et la gravité des problèmes qui en déclenchent, notamment le colmatage des dispositifs de recharge qui sera sans nul doute la conséquence la plus dangereuse du phénomène.

CHAPITRE IV
APPROCHES D'ESTIMATION DE LA
RECHARGE

IV.1. Présentation des approches d'estimation de la recharge sur la zone d'étude

Bien que les zones d'alimentation soient connues, les débits concernés n'ont jamais pu être déterminés avec précision (Eress, 1972). Le problème de l'estimation de la recharge en zone aride et semi-aride a particulièrement attiré l'attention des hydrogéologues ces dernières décennies. Le besoin de déterminer quantitativement la recharge des nappes en région aride devenu de plus en plus apparent et pressant, de nombreuses méthodes analytiques ont été proposées et testées (Glendon et Hillel, 1988). Dans l'ensemble, et conformément à l'état de l'art, des approches physiques ou piézométriques ainsi que des approches hydrologiques (bilan hydrique) ont été utilisées.

IV.1.1. Approche hydrologique

Il est certainement difficile d'obtenir une formule efficace et rapide pour déterminer à quel taux de précipitations une eau formée peut s'infiltrer dans le sol et percoler en profondeur pour recharger les nappes souterraines. Ceci dépend fortement de la distribution des précipitations et des conditions climatiques, hydrauliques et pédologiques. Les enregistrements pluviométriques effectués dans la zone d'étude montrent qu'actuellement des conditions de climat aride prévalent. Néanmoins, des occurrences sporadiques de précipitations peuvent encore engendrer des eaux souterraines. Il est concevable qu'une eau de pluie s'accumule localement dans un oued, où l'eau souterraine peut être rechargée.

Le calcul du bilan hydrologique est bien connu et souvent utilisé pour estimer toutes les composantes du bilan. La recharge (R_g) est alors considérée comme la différence entre la pluie (P) et la somme des autres composantes (Ruissellement (R), Evapotranspiration (ETR), Changement de l'humidité du sol (ΔS) (Glendon et Hillel, 1988).

$$R_g = P - (R + ETR + \Delta S) \quad (16)$$

Le problème des hydrogéologues dans l'estimation des ressources est d'obtenir un élément fiable de l'écoulement qui puisse être simulé et utilisé comme moyen de contrôle pour les besoins de modélisation. L'estimation de la recharge est souvent rendue difficile à cause de multiples lacunes. En effet, dans les calculs de la recharge un pourcentage de la précipitation est considéré comme recharge en dépit du calcul hydrologique (Lloyd, 1986). Le débit (Q) est alors donné par le produit de la pluie moyenne (P), de la surface (S) et d'un coefficient d'infiltration (C_i) :

Approches d'estimation de la recharge

$$Q = P \cdot S \cdot Ci \quad (17)$$

Dans cette approche, nous utilisons la formule de LLOYD pour estimer la quantité d'eau injectée ou infiltrée dans la nappe phréatique. Dans le cas de ce que nous calculons la quantité d'eau injectée ou infiltré dans le bassin versant dans son ensemble.

Nous avons utilisé les données de précipitation moyenne annuelle de la station de Biskra pendant la période (1971 – 2004) par la Méthode de Thiessen (voir la première partie, chapitre V). Parce qu'elle consiste à diviser la surface du bassin en polygones, dans lesquels on attribue à chaque poste pluviométrique un poids proportionnel à une zone d'influence. Un point situé dans cette zone soit plus près en distance horizontale du pluviomètre correspondant que toute autre pluviomètre, et avec un coefficient d'infiltration égale de 17% dans le total de bassin versant d'oued Biskra.

L'analyse des résultats obtenus, montre à première vue une différence annuelle de la quantité de l'eau infiltrée dans le Bassin versant d'oued Biskra d'une station à l'autre. Cela est principalement dû à la variation de la pluviométrie annuelle voir le tableau n°60.

Nous avons enregistré une lame d'eau moyenne annuelle obtenue par cette méthode est égale à 239,983mm et de volume infiltré moyen est égale à 16,3 Hm³.

Tableau n° 60 : Volume infiltré annuelle pour chaque station (m³).

Station	P_{imoy} (mm)	Surface propre de chaque station (Si)	Pi x Si (m³)	Coéf d'infiltration	Vi (m³)
Batna	373	356,96	133146080	0,17	22634833,6
Bouzina	284	646,27	183540680	0,17	31201915,6
T'kout	285	0	0	0,17	0
Mena	247	367,37	90740390	0,17	15425866,3
Djamoura	139	595,83	82820370	0,17	14079462,9
Biskra	120	94,34	11320800	0,17	1924536
El-Kantra	230	726,2	167026000	0,17	28394420

IV.1.2. Approche hydrodynamique

Dans l'approche hydrodynamique, la recharge est déterminée par le calcul d'élévation de l'eau souterraine. Cette élévation est déterminée par l'utilisation de l'équation de Hantush.

Des documents nombreux ont été édités sur l'élévation de monticules d'eaux souterraines sur la couche aquifère en réponse à l'infiltration d'un système de recharge, et certains également sur la chute du monticule après que l'infiltration se soit arrêtée (Glover, 1964).

Les calculs analytiques pour les élévations de monticule ci-dessous les étangs rectangulaires ont été effectuées en utilisant les équations de Hantush (Hantush 1967) qui suppose que la recharge verticale uniforme constante est appliquée à une zone d'infiltration rectangulaire de dimension fixe, et que la nappe phréatique monticule reste en dessous de la base de la zone d'infiltration en tout temps pendant l'aquifère est homogène et isotrope, et donc soumis aux dimensions de la monticule comme montre dans la figure n°56 en fonction de la taille et la forme de l'étang, le taux de recharge et caractéristiques aquifères (specific yield et de la conductivité hydraulique et la transmissivité).

L'équation de Hantush est également employée pour calculer des élévations de monticule plus loin à partir du secteur de recharge. Pour éviter des limites négatives dans la fonction erreur d'Eq (18), nous avons utilisé 0.5 W et de 0.5 L dans l'équation de Hantush. Nous l'utiliserons dans les domaines suivants:

1. En présence d'une grande zone de recharge.
2. quand dans les régions ayant un climat sec.
3. Les valeurs de transmissivité plus élevées.

Les calculs des hauteurs de monticule dans cette étude ont été effectuées en utilisant un programme appelé AQTESOLV qui est principalement conçu pour résoudre les équations de Hantush par un programme FORTRAN (Finnemore, 1995).

Ce programme peut être utilisé en ligne de sa page d'accueil (lien 3). Certains des résultats du programme ont été recalculées manuellement par les auteurs de vérifier les calculs et un accord a été trouvé élevé (Peter et al, 2008).

La porosité à employer dans les équations pour l'élévation de monticule est habituellement plus grande que le rendement spécifique de la couche aquifère. En effet, les zones de vadose sont souvent relativement sèches particulièrement dans des climats secs. Ceci est vérifié dans les sols qui de matériaux bruts comme des sables et des graviers.

La porosité devrait être prise comme différence entre les teneurs en eau existantes et saturées du matériel en dehors de la zone mouillée au-dessous du système d'infiltration.

Approches d'estimation de la recharge

En considérant le schéma de la figure n° 56, l'équation du Hantush est :

$$h_{x,y,t} - H = \left\{ F \left[\left(\frac{W}{2} + x \right) n, \left(\frac{L}{2} + Y \right) n \right] + F \left[\left(\frac{W}{2} + x \right) n, \left(\frac{L}{2} - Y \right) n \right] + F \left[\left(\frac{W}{2} - x \right) n, \left(\frac{L}{2} + Y \right) n \right] + F \left[\left(\frac{W}{2} - x \right) n, \left(\frac{L}{2} - Y \right) n \right] \right\} \quad (18)$$

Là où :

$h(x,y,t)$: taille de la nappe phréatique au-dessus de couche imperméable à x , à y , et à temps (fig. 56).

H : taille originale de nappe phréatique au-dessus de la couche imperméable.

V_a : cadence des arrivées à la nappe phréatique de l'eau à la zone d'infiltration.

t : temps depuis le début de la recharge.

f : porosité ($0 < f < 1$).

L : longueur de bassin de recharge (dans la direction de y).

W : largeur de bassin de recharge (dans la direction de x).

$n = (4tT/f)^{-1/2}$, et $F(\alpha, \beta) = \int_0^1 \text{erf}(\alpha\tau - 1/2) \cdot \text{erf}(\beta\tau - 1/2) d\tau$.

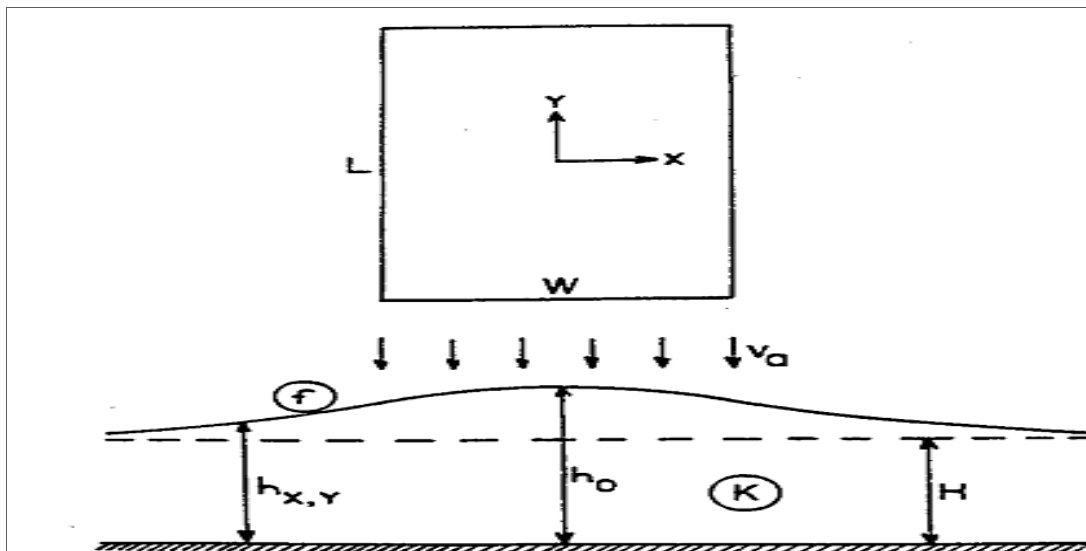


Figure n°56 : Géométrie et symboles pour le système de recharge et le monticule d'eaux souterraines (Bouwer, 1990).

IV.2. Détermination des paramètres du calcul

B. Paramètres d'entrée

Approches d'estimation de la recharge

Les paramètres d'entrée pour AQTESOLV sont, d'une valeur de recharge de varie selon les dimensions du site, la conductivité hydraulique de 64,84 m / j, la profondeur initiale de la zone saturée 20 m et le rendement spécifique de 0,33, et les dimensions de deux diguette proposé.

1. Volume infiltré

Comme nous l'avons cité précédemment, la plus grande partie des apports superficiels alimentant la nappe alluvionnaire proviennent essentiellement d'Oued El Hai et Oued Abdi et, avec un coefficient infiltration de 17 %. Il donne des résultats de volumes infiltrés mensuels comme le montre dans le Tableau n° 61, on peut constater que :

La valeur minimale du V_i est 54639,36 m³ correspondant au mois d'Aout, et la valeur maximale est 497923,2 m³ correspondant au mois de septembre. Ces valeurs du V_i montrent que l'apport superficiel est variable d'un mois à un autre ce qui confirme l'existence d'une variation temporelle sur deux périodes sèche, et humide.

Tableau n°61 : Volume infiltré mensuel (m³).

Mois	Q moy mensuel (m ³ /s) kantara	Q moy mensuel (m ³ /s) Djemoura	Ve moy mensuel (m ³) Kantara	Ve moy mensuel (m ³) Djemoura	Volume Total (m ³) VeK+VeD	Coéf d'infiltration	Volume mensuel infiltré (m ³) Ve * Coéf inf
Sep	0,79	0,34	2047680	881280	2928960	0,17	497923,2
Oct	0,3	0,3	803520	777600	1581120	0,17	268790,4
Nov	0,38	0,3	984960	803520	1788480	0,17	304041,6
Dèc	0,18	0,23	482112	616032	1098144	0,17	186684,48
Jan	0,1	0,18	267840	482112	749952	0,17	127491,84
Fèv	0,3	0,45	751680	1166400	1918080	0,17	326073,6
Mar	0,45	0,49	1205280	1270080	2475360	0,17	420811,2
Avr	0,38	0,25	984960	669600	1654560	0,17	281275,2
Mai	0,12	0,2	321408	518400	839808	0,17	142767,36
Ju	0,18	0,1	466560	267840	734400	0,17	124848
Jui	0,11	0,05	285120	129600	414720	0,17	70502,4
Aou	0,05	0,07	133920	187488	321408	0,17	54639,36

Approches d'estimation de la recharge

2. Taux de recharge

Le deuxième paramètre de logiciel est le taux de recharge (W) (m/j), ce paramètre calculé par une simple équation est en divisant le volume infiltré (V_i) sur la surface infiltration (S_i).

En analysant les résultats du tableau n° 62, on peut constater que :

Une simple analyse des résultats obtenus, on note, à première vue, que le taux de recharge dans la première zone est près de taux de recharge de la deuxième zone.

Dans la première zone, la moyenne journalière pour le taux de recharge est égale à 0,094 m/j.

En conclusion, on peut affirmer que ces résultats donnent une idée sur l'emplacement probable de la diguette.

Tableau n° 62 : Calcul de taux de recharge dans chaque emplacement de diguette.

Mois	Volume infiltré mensuel (m ³)	Volume infiltré journalière (m ³)	Surface infiltrant N°1 (m ²)	Surface infiltrant N°2 (m ²)	W ₁ (m/j)	W ₂ (m/j)
Sep	497923,2	16597,44	82500	102025	0,2011811	0,1626801
Oct	268790,4	8959,68	82500	102025	0,1086022	0,0878185
Nov	304041,6	10134,72	82500	102025	0,1228451	0,0993357
Dèc	186684,48	6222,816	82500	102025	0,0754281	0,0609931
Jan	127491,84	4249,728	82500	102025	0,0515119	0,0416538
Fèv	326073,6	10869,12	82500	102025	0,1317469	0,1065339
Mar	420811,2	14027,04	82500	102025	0,1700247	0,1374863
Avr	281275,2	9375,84	82500	102025	0,1136465	0,0918975
Mai	142767,36	4758,912	82500	102025	0,0576838	0,0466446
Ju	124848	4161,6	82500	102025	0,0504436	0,04079
Jui	70502,4	2350,08	82500	102025	0,0284858	0,0230344
Aou	54639,36	1821,312	82500	102025	0,0220765	0,0178516

IV .3. Niveau d'eau souterraine de la nappa alluviale d'oued Biskra

IV.3.1 Diguette

A. Dans le site N° 1

Après l'intégration des données de l'élévation des eaux souterraines, les résultats suivants sont obtenus (tableau n° 63).

Avant l'analyse, nous constatons une différence dans les hauteurs du niveau des eaux souterraines de mois à un autre, et cela est principalement dû à la quantité de volume écoulé dans l'oued Biskra (Figure n° 66). La valeur minimale est de 2.19 m enregistré en Aout, et la valeur maximale est de 16,8 m en Septembre.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Ju	Jui	Aou
H ₁ (m)	16.8	4.96	5.56	7.02	2.42	11.68	14.56	10.25	5.53	4.81	2.7	2.19

Tableau n° 63 : Calcul de l'élévation mensuelle de la nappe dans le site N° 1.

B. Dans le site N° 2 :

Le deuxième site avec une surface infiltrant de 102025 m² donne des valeurs de H_i entre 7.81 et 0,88 m, la plus grande valeur enregistrée en septembre, et la valeur minimale en Aout. Ces valeurs maximales obtenues sont marquées bien dans les mois de haute eau avec une moyenne de 5,04 m par mois.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Ju	Jui	Aou
H _i (m)	7.81	4.35	4.92	3.04	2.1	5.25	6.68	4.54	2.35	2.05	1.19	0.88

Tableau n° 64 : Calcul de l'élévation mensuelle de la nappe alluviale d'oued Biskra dans le site N° 2 en 2012.

IV.3.2 Bassin d'infiltration

L'application de modèle dans la deuxième conception de recharge de la nappe alluviale à partir des trois bassins d'infiltration dans le lit d'oued nous donnons les résultats suivants :

Une élévation du niveau de la couche d'eau souterraine entre 28.93 et 4.45 enregistrés en Septembre et Aout, respectivement.

La hauteur moyenne mensuelle de l'eau de l'aquifère dans la saison sèche est de 6.48 m. La hausse mensuelle moyenne dans l'aquifère d'eau en saison froide est à 17.72 m. (Tableau n°65).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Ju	Jui	Aou
H _i Bassin (m)	28.93	17.9	19.74	13.22	9.57	20.84	25.46	18.52	10.52	9.38	5.61	4.45

Tableau n° 65 : Elévation mensuelle de la nappe alluviale d'oued Biskra (Bassin d'infiltration).

IV.4. Comparaison de l'élévation du niveau d'eau souterraine dans les trois sites

Une comparaison entre les deux sites permet de constater qu'il existe des différences dans le niveau des eaux souterraines. Cette variabilité spatiale s'explique par les raisons suivantes :

- la longueur de la diguette à un impact direct sur le niveau des eaux souterraines, et cet effet est illustrée dans le tableau ci-dessous (tableau n° 66).
- La zone d'infiltration a une influence déterminante sur les résultats. Ceci est montré de manière claire dans la première et la deuxième position des diguettes.

Une comparaison entre les deux valeurs (diguette), nous ne constatons que la hausse du niveau de la couche d'eau souterraine pour la première position du diguette deux fois ou un peu plus que doublé par rapport à la deuxième zone.

Approches d'estimation de la recharge

Le deuxième dispositif de recharge (bassin d'infiltration) donne des chiffres d'élévation doublé par apport au premier dispositif en haute et en basse d'eau (voir le tableau n° 67).

Mois	H ₁	S _i (m ²)	H ₂	S _i (m ²)	H ₃ Bassin	S _i (m ²)
Sep	16,8	82500	7,81	102025	28,93	32500
Oct	4,96		4,35		17,9	
Nov	5,56		4,92		18,74	
Déc	7,02		3,04		13,22	
Jan	2,42		2,1		9,57	
Fév	11,68		5,25		20,84	
Mar	14,56		6,68		25,46	
Avr	10,25		4,54		18,52	
Mai	5,53		2,35		10,52	
Ju	4,81		2,05		9,38	
Jui	2,7		1,19		5,61	
Aou	2,19		0,88		4,45	

Tableau n° 66 : Comparaison de l'élévation entre les trois dispositifs de recharge.

Dispositifs de recharge	Hautes eaux (Sep, Oct, Mar, Avr, Mai)	Basses eaux (Jan, Fév, Ju, Jui, Aou, Nov, Déc)
Diguette 1	10.42 m	5.19 m
Diguette 2	5.14 m	2.77 m
Bassin d'infiltration	20.26 m	11.68 m

Tableau n° 67 : Comparaison de l'élévation d'eau moyenne saisonnier entre les dispositifs de recharge.

IV. 5 CONCLUSION

Si nous analysons chaque approche seule, d'après l'analyse de l'approche de l'infiltration directe (formule de Llyod), le volume infiltré dans le total de bassin versant d'oued Biskra, qui est fondée sur l'analyse des précipitations, la surface du bassin versant et le coefficient infiltration, les résultats indiquent des valeurs élevées de chaque sous bassin versant : environ un volume moyen infiltré annuel de 16,3 Hm³, et de 1,9 Hm³ dans sous bassin versant de Biskra. Cette valeur confirme notre hypothèse que l'alimentation de la nappe alluviale se fait par deux sources ; soit à partir les apports superficiels et aussi par le volume ruisselé à partir les pluies qui tombent dans bassin versant de Biskra.

Dans l'approche hydrodynamique, le volume infiltré atteint une grande valeur pour la proposition des diguette dans le site N°1 par apport le deuxième endroit, qui est basé sur deux apports superficiels qui proviennent surtout à partir d'oued El-Hai et Abdi. Ces apports alimentent la nappe alluviale d'oued qui donne des valeurs variables en Hautes eaux une moyenne mensuelle dans les différentes zones sont respectivement 10.42 m, 5.14 m. pour la deuxième proposition des bassins d'infiltration donne des valeurs en saison froide une moyenne mensuelle de 20.26m.

Cette méthode de recharge donne de meilleurs résultats que ceux par la recharge naturelle de la nappe alluviale. Une étude de l'alimentation de la nappe alluviale d'oued Biskra à partir de deux oueds Abdi et El-Hai a été réalisée en 1967 et a donné un résultat de 0,03-0,05 m/j (Gousskov et al, 1967)

Conclusion de la seconde partie

CONCLUSION DE LA SECONDE PARTIE

Etude des débits aux différentes stations fait ressortir une nette variation spatio-temporelle de l'abondance moyenne annuelle brute et spécifique.

L'oued Biskra est soutenu surtout par l'oued El Hai et l'oued Djemoura, qui lui fournissent respectivement 55% et 45 % de son débit moyen annuel,

Le débit spécifique qui est un élément purement géographique permet de comparer bassin à bassin. L'analyse des formes extrêmes de l'écoulement a permis d'approfondir les caractères du régime de l'oued Biskra et sa très grande irrégularité. La saison sèche très prononcée dans l'oued Biskra et ses affluents succèdent de grosses crues caractérisées par des fréquences relativement importantes et des puissances élevées (la crue du mois d'octobre 1982 à Djemoura à débits $314,80\text{m}^3/\text{s}$, soit un coefficient $A=13$ et la crue du mois de septembre 1989 avec un débit de $297\text{ m}^3/\text{s}$, et $A=7,29$ à la station d'El Kantara) qui déterminent une érosion hydrique active donc un transport solide important. Le degré d'inondation par exemple, peut en définitive altérer totalement ce bassin versant.

Les transports en suspension varient sensiblement d'un bassin à un autre, en fonction de la lithologie et des types de couvert végétal. Lors des crues, les apports sont considérables ils restent élevés en année moyenne, mais varient d'une année à l'autre. Ainsi bien que, les données soient insuffisantes, pour poursuivre l'analyse de la relation entre la turbidité et les débits, qu'il soit difficile de quantifier à partir des mesures ponctuelles.

Le transport en suspension qui est un phénomène complexe à variations rapides, il n'en demeure pas moins vrai qu'une évaluation grossière de la turbidité amène à poser l'énorme problème de l'envasement des retenues phénomène, de première importance au niveau des bassins versants algériens et qui est l'une des causes qui aggravent le phénomène des inondations.

Alors que l'irrégularité des débits de l'oued Biskra, la mauvaise répartition saisonnière et l'arrivée d'abondantes chutes de pluie sont les causes principales des inondations dans le bassin versant de l'oued Biskra.

Les approches d'estimations de recharge donnent des valeurs variables de chaque approche. L'approche de l'infiltration directe (formule de Llyod) est fondée sur l'analyse des précipitations, la surface du bassin versant et le coefficient infiltration, les résultats indiquent

Conclusion de la seconde partie

des valeurs élevées de chaque sous bassin versant : environ un volume moyen infiltré annuel de 16,3 Hm³, et de 1,9 Hm³ dans sous bassin versant de Biskra. Dans l'approche hydrodynamique, le volume infiltré atteint une grande valeur pour la proposition des diguette dans le site N°1 par apport le deuxième endroit, qui est basé sur deux apports superficiels qui proviennent surtout à partir d'oued El-Hai et Abdi. Ces apports alimentent la nappe alluviale d'oued qui donne des valeurs variables en Hautes eaux une moyenne mensuelle dans les différentes zones sont respectivement 10.42 m, 5.14 m. pour la deuxième proposition des bassins d'infiltration donne des valeurs en saison froide une moyenne mensuelle de 20.26m.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Nous avons tenté de montrer à travers cette étude que le ruissellement dans le bassin versant d'oued Biskra est variable à cause des plusieurs paramètres : pente, l'intensité des pluies et températures, couvert végétale. Par exemple, dans le bassin supérieur et malgré la présence d'un couvert forestier, ce secteur offre des conditions très favorables au ruissellement superficiel et susceptible d'engendrer un régime torrentiel. Ce qu'est le contraire pour le bassin inférieur : la précipitation faible, l'évaporation s'élève et le couvert végétal est absent. Dans le bassin moyen : les conditions de drainage un peu meilleures ; forte pente, les précipitations sont abondantes, un couvert végétal assez dénudé voir même nu et des terrains plus au moins imperméables, vu son relief qui est proche de l'exutoire. Les inondations y'ont fréquentes dans cette partie.

Nous avons montré par ailleurs que l'oued Biskra est soutenu surtout par l'oued El Hai et l'oued Djemoura, qui lui fournit respectivement 55% et 45 % de son débit moyen annuel, participe à la recharge de la nappe.

L'analyse des formes extrêmes de l'écoulement a permis d'approfondir les caractères du régime de l'oued Biskra et sa très grande irrégularité. La saison sèche très prononcée dans l'oued Biskra et ses affluents succèdent de grosses crues caractérisées par des fréquences relativement importantes et des puissances élevées (la crue du mois d'octobre 1982 à Djemoura et la crue du mois de septembre 1989 à la station d'El Kantara) qui déterminent une érosion hydrique active donc un transport solide important.

Le transport en suspension qui est un phénomène complexe à variations rapides, en fonction de la lithologie et des types de couvert végétal. Lors des crues, les apports sont considérables ils restent élevés en année moyenne, mais varient d'une année à l'autre, il n'en demeure pas moins vrai qu'une évaluation grossière de la turbidité amène à poser le problème de l'envasement et du colmatage des sites de recharge.

L'infiltration directe des eaux de pluie est probablement plus faible, mais toutefois significative. Comme partout dans les zones arides, elle est très variable dans le temps et l'espace, dépendant de l'intensité des pluies et aussi de la nature des sédiments de la zone non saturée.

Au cours de cette étude, nous avons utilisé deux approches indépendantes par aborder la recharge de la nappe de l'oued Biskra. Elles ont fourni des estimations de la recharge de la nappe. La première approche par l'infiltration directe de la nappe indique une proportion de

Conclusion générale

17 % des précipitations annuelles. Dans la deuxième approche, est présentée une idée générale sur le volume d'eau qui doit être injecté dans la nappe dans différentes zones. En amont et en milieu d'oued. Nous étudions comment ce volume influe sur l'élévation de niveau de la nappe souterraine. La recharge maximale qui peut être observée en hautes eaux est de 34,74 cm/j dans la proposition de diguette et 17,13 cm/j dans la deuxième proposition. Mais dans la conception des bassins d'infiltration, elles donnent en hautes eaux une valeur de 67,53 cm/j. Cette variabilité spatiale des endroits indique une recharge hétérogène.

Les diverses questions soulevées au cours de cette étude sont les mêmes que celles évoquées dans l'étude des autres systèmes de recharge des nappes alluviales, et plus particulièrement dans les autres zones arides. Les vastes dimensions, les caractéristiques hydrodynamiques et la faible recharge actuelle font de ces grands systèmes aquifères des archives conservant les multiples empreintes des phénomènes hydrologiques récents et anciens (Mohamed, 2012). En effet, comme les autres nappes phréatiques, l'état actuel de la nappe d'Oued Biskra est la résultante de plusieurs dynamiques agissant sur des échelles de temps très différentes : fluctuation saisonnière due à l'infiltration annuelle de la pluie et variations dues aux phénomènes hydrologiques et au passage des crues dans l'oued.

Pour mieux différencier les différents processus en jeu et quantifier leur importance respective dans l'évolution de la nappe d'oued Biskra, d'autres investigations de terrain seront encore nécessaires. En effet, le nombre actuel de données est limité par rapport à la superficie de la nappe. Il faudra ainsi suivre l'hydrodynamique de la nappe en multipliant les points de mesure pour mieux comprendre les facteurs responsables de l'hétérogénéité hydrodynamique à grande et petite échelle. Il serait souhaitable de poursuivre cette étude et de l'appliquer à plus grande échelle aux nappes aquifères qui connaissent des problèmes de surexploitation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Allison, G. B.** (1988). A review of some of the physical, chemical and isotopic techniques available for estimating groundwater recharge. NATO ASI Ser.,(Ser C 222), 49-72.
- **Allison, G.B., & Hughes, M.W.** (1978). The use of environmental chloride and tritium to estimate total recharge to an unconfined aquifer. Soil Res., 16(2), 181-195.
- **Ali, A., Lebel, T., & Amani, A.** (2008). Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel. Sécheresse, 19(4), 227-235.
- **Anctil et al.,** (2005) . Hydrologie. Cheminement de l'eau. Ecole Polytechnique Montréal.
- **A.N.A.T.,** (2002). Étude «Schéma Directeur des Ressources en Eau » Wilaya de Biskra : Rapport préliminaire " dossier n°02". Alger, 100p.
- **A.N.A.T.,** (2003). Étude « Schéma Directeur des Ressources en Eau » Wilaya de Biskra : Dossier agro-pédologique. Alger, 175p.
- **A.N.A.T.,** (2003). Étude « Schéma Directeur des Ressources en Eau » Wilaya de Biskra : Rapport de synthèse. Alger, 65p.
- **ANRH,** (2007). Inventaire des points d'eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Biskra.
- **A.N.R.H.,** (2008). Enquête sur les crues de la wilaya de Biskra, Rapport de l'Agence nat. Res. Hyd. Alger, 50 p.
- **A.N.R.H.,** (2008). Inventaire des points d'eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Biskra, Rapport de l'Agence nat. Res. Hyd. Ouargla, 28p.
- **Aidaoui , A.,** 1994. Ressource en eau et aménagement hydro-agricole dans la région de Biskra (Ziban), Thèse de Doctorat, Université de Nancy II, 327p (ABSH, 2009).
- **Banton. ,O., et Bangoy, L.M.** 1999. Hydrogéologie- Multi-science environnementale des eaux souterraines. Ed : Presses de l'université de Québec. AUPLEF, (460 p).
- **Braune, E., & Xu, Y.** (2010). The Role of Ground Water in Sub-Saharan Africa. Ground Water, 48(2), 229-238.
- **Bouwer, H.,** 1990: Effect of Water Depth and Groundwater Table on Infiltration from Recharge Basins, In S. C. Harris, ed., Proceedings 1990 National Conference Irrigation and Drainage Division American Society of Civil Engineers, Durango, CO, July 11–13, pp. 337–384.
- **Boumessenegh A.,** (2007). Les inondations dans la ville de Biskra, mémoire magister, université de Batna, 202p.

Références bibliographiques

- **Busson G.**, (1971). Le Mésozoïque saharien. 2eme partie : Essai de synthèse des données de sondages algéro-tunisiens. Publication de Centre de la Recherche des zones arides (C.N.R.S), Série Géologie, vol.2, n.11, 810 p.
- **Castany G.**, (1982) - Hydrogéologie : Principes et méthodes. Editions Dunod, N°ISBN 2100041711, 238 p.
- **Castany G., Margat J.**, (1977) - Dictionnaire français d'hydrogéologie. Editions du BRGM. Service géologique national, Orléans, 249 p.
- **Cédric Legou**, (2005). Etude des mécanismes hydrologiques et biogéochimiques de la recharge des nappes à surface libre. Thèse doctorat Univ- Rennes 1. 15p
- **Cook, P. G., Walker, G. R., & Jolly, I. D.** (1989). Spatial variability of groundwater recharge in a semiarid region. *Journal of Hydrology*, 111(1–4), 195-212.
- **C.R.S.T.R.A.**, (2010). Étude sur le système aquifère du Sahara septentrional de la wilaya de Biskra, Rapport, Biskra, 17p.
- **Custodio, E.** (2002). Aquifer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeology Journal*, 10(2), 254-277.
- **Dages, C., Voltz, M., Ackerer, P., Floure, C. et Fabre, J.C.** (2008). Modélisation tridimensionnelle des voies de recharge d'une nappe peu profonde dans un bassin versant agricole méditerranéen avec un dense réseau de fossés. Avignon. France.
- **D.E.M.R.H.**, (1980). Notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra. Rapp. Int, D.E.M.R.H / Minis. Hydrau. Algérie, 51p + 1 carte.
- **DeMarsily, G.**(1981) : Hydrogéologie quantitative, Masson et. Paris1981.85 P.
- **Dincer, T., Al-Mugrin, A., & Zimmermann, U.** (1974). Study of the infiltration and recharge through the sand dunes in arid zones with special reference to the stable isotopes and thermonuclear tritium. *Journal of Hydrology*, 23(1–2), 79-109.
- **DSA**, (2008) : Rapport de synthèse, Biskra 51p.
- **D'AMATO, N., LEBEL, T.**,(1998). On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability. *Znt. J. Climatol.*, 18,955-974.
- **Edmunds, W. M.** (2009). Palaeoclimate and groundwater evolution in Africa- implications for adaptation and management. *Hydrological Sciences Journal*, 54(4), 781-792.
- **Edmunds, W. N., & Wright, E. P.** (1979). Groundwater recharge and paleoclimate in the Sirte and kufra basins, Libya. *Journal of Hydrology*, 40(364), 215-241.

Références bibliographiques

- **E.R.E.S.S, 1972.** Étude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. UNESCO, Paris. (7 Vols. and Annexes).
- **Finnemore, E.J.** (1995), A program to calculate groundwater mound heights, *Groundwater*, 33/1, 139–143.
- **Filippi, C., Milville, F., & Thiery, D.** (1990). Evaluation de la recharge naturelle des aquifères en climat Soudano-Sahélien par modélisation hydrologique globale: Application a dix sites au Burkina Faso. *Hydrological Sciences Journal*, 35(1), 29-48.
- **Flint, A. L., Flint, L. E., Kwicklis, E. M., Fabryka-Martin, J. T., & Bodvarsson, G. S.** (2002). Estimating recharge at Yucca Mountain, Nevada, USA: comparison of methods. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 180-204.
- **Gal La Salle, C., Marlin, C., Leduc, C., Taupin, J. D., Massault, M., & Favreau, G.** (2001). Renewal rate estimation of groundwater based on radioactive tracers (3H, 14C) in an unconfined aquifer in a semi-arid area, Iullemeden Basin, Niger. *Journal of Hydrology*, 254(1–4), 145-156.
- **Girard, G., Ledoux, E., & Villeneuve, J. P.** (1981). Le modèle couplé simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un système hydrologique. *cah. ORSTOM*, XVIII (4), 195-280.
- **Glover, RE** (1964) Ground water movement. US Bureau of Reclamation, Eng Monogr 31, 67p.
- **Genxu, W., & Guodong, C.** (1999). Water resource development and its influence on the environment in arid areas of China, the case of the Hei River basin. *Journal of Arid Environments*, 43(2), 121-131.
- **Gee GW, Hillel D.** 1988. Groundwater recharge in arid regions: review and critique of estimation methods. *Hydrological Processes* 2(3):255–266.
- **Gilli E., Mangan Ch., Mudry J.** (2008) - Hydrogéologie - Edition Dunod
- **Glendon W. Gee & Hillel D.** (1988): Groundwater recharge in arid regions: Review and critique of estimation methods. *Hydrological process*, Vol.2, 255-266.
- **Gouskov, M.** Duquensnoy, M. (1967) : Alimentation et suralimentation des nappes souterraine, observation d'un cas de suralimentation par pompage d'oued Biskra.
- **Hantush MS** (1967) Growth and decay of ground water mounds in response to uniform percolation. *Water Resour Res* 3:227–234;
- **Hantke H.** (1983) Der Sickerschlitzgraben. *Brunnenbau, Bau von Wasserwerken, und Rohrleitungsbau (BBR)* 34(6):207–208.

Références bibliographiques

- **Hamdy, A., Ragab, R., & Scarascia Mugnozza, E. (2003).** Coping with water scarcity: water saving and increasing water productivity. *Irrigation and Drainage*, 52(1), 3-20.
- **John. Lisbrey Eurotext, 1991:** Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Paris, 113-123.
- **Landon, M. K., Rus, D. L., & Harvey, F. E. (2001).** Comparison of instream methods for measuring hydraulic conductivity in sandy streambeds. *Ground water*, 39(6), 870-885.
- **Lafitte, R (1939).** Étude géologique de l'Aurès. P 80
- **Leduc, C. (2003).** Dynamiques hydrologiques en milieu semi-aride (Habilitation à Diriger des Recherches). Université de Montpellier II, (81 p). France.
- **Lézine, A. M., Hély, C., Grenier, C., Braconnot, P., & Krinner, G. (2011).** Sahara and Sahel vulnerability to climate changes, lessons from Holocene hydrological data. *Quaternary Science Reviews*, 30(21-22), 3001-3012.
- **Lenoble, J. A., (1995).** Géologie et Hydrogéologie des Pyrénées orientales – Relation rivière-nappe. L'exemple du fleuve Têt et de la nappe alluviale de la Salanque.
- **Leduc, C., Sabljak, S., Taupin, J. D., Marlin, C., & Favreau, G. (2000).** Estimation de la recharge de la nappe quaternaire dans le Nord-Ouest du bassin du lac Tchad (Niger oriental) à partir de mesures isotopiques. *C.R Acad. Sci. Paris*, 330(5), 355-361.
- **Lloyd J. W. (1986):** A review of aridity and groundwater. *Hydrological processes*, Vol.1, 63-78p.
- **Li, X. R., Ma, F. Y., Xiao, H. L., Wang, X. P., & Kim, K. C. (2004).** Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of Northern China. *Journal of Arid Environments*, 57(1), 1-16.
- **Lihe, Y., Guangcai, H., Zhengping, T., & Ying, L. (2010).** Origin and recharge estimates of groundwater in the ordos plateau, People's Republic of China. *Environmental Earth Sciences*, 60(8), 1731-1738.
- **Liu, G., Wang, Y., Zhang, Y., & Song, T. (2009).** Application of chloride profile and (Brunke & Gonser, 1997 ; Woessner, 2000)
- **Mébark, A (1984) :** Ressources en eau et aménagement en Algérie. " bassin de Kbir Rhumel" O.P.U. Alger.
- **MacDonald, A. M., Calow, R. C., MacDonald, D. M. J., Darling, W. G., & Dochartaig, É. Ó. (2009).** What impact will climate change have on rural groundwater supplies in Africa? *Hydrological Sciences Journal*, 54(4), 690-703.

Références bibliographiques

- **Marino MA** (1975b): artificial ground water recharge, II. Rectangular recharging area, *J Hydrol* 26:29–37.
- **Martin-Rosales, W., & Leduc, C.** (2003). Dynamiques de vidange d'une mare temporaire au Sahel : l'exemple de Banizoumbou (Sud-Ouest du Niger). *Comptes Rendus Geoscience*, 335(5), 461-468.
- **Nelson A,** (1996) : Méthode d'études d'un aquifère à la nappe libre, mémoire maîtrise des sciences appliquées, univ-Montrièl.
- **Mohamed A,** (2012) : Approches hydrodynamique et géochimique de la recharge de la nappe du Trarza, sud-ouest de la Mauritanie. Thèse de doctorat université Paris-sud.151 P.
- **Nemeth, I.** (2001). Devenir de l'azote sous irrigation gravitaire - Application au cas d'un périmètre irrigué au Mexique. Thèse, Université de Montpellier II.
- **Peter H. Riad, , Max H. Billib, Peter-W. Boochs, Ahmed A. Hassan, Maha A. Omar.** (2008). Analytical and Numerical Approaches for the Hydraulic Design of Artificial Recharge Ponds in a Semi Arid Area.
- **Petit, O.** (2004). La surexploitation des eaux souterraines : enjeux et gouvernance. *Natures Sciences Sociétés*, 12(2), 146-156
- **Rahmani.R.,** (2008) : Influence du barrage fontaine du gazelle sur l'alimentation de la nappe alluviale d'oued Biskra. Mémoire du magister Univ-Biskra.120 P.
- **Remini, B.** (2005). La problématique de l'eau en Algérie. Alger : Edition Office des Publications Universitaires (OPU), 2006.)
- **Rosenberry, D.a and Winter, T.c:** (1997): dynamics of water fluctuation in an upland between two prairie-pothole wetland in North Dakota, *journal hydrology*, 191,266-289.
- **Scanlon, B. R., Keese, K. E., Flint, A. L., Flint, L. E., Gaye, C. B., Edmunds, W. M., & Simmers, I.** (2006). Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrological Processes*, 20(15), 3335-3370.
- **Scanlon, B. R., Healy, R. W., & Cook, P.** (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 18-39.
- **Seltzer , P** (1946) : Le climat de l'Algérie, travail institut météorologique et physique globe, Algérie
- **Sophocleous, M.** (2002). Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 52-67.
- **Sorman, A.V., et Abdulrazzak, M.J.,** (1993). Recharge through wadi beds in arid regions –*Hydrogeology science journal*. Ed: IAHS press. Vol. 38. n°3. (pp 173-186).

Références bibliographiques

- **Tardy, (1986)** : le cycle de l'eau. Climats, paléoclimats et géochimie. Masson. Paris.338 P.
- **Tiercelain R, (2006)**. Traités des irrigations. Tic & Doc Lavoisier. 1266p.
- **Vogt, T., Hoehn, E., Schneider, P., Freund, A., Schirmer, M., & Cirpka, O. A. (2010)**. Fluctuations of electrical conductivity as a natural tracer for bank filtration in a losing stream. *Advances in Water Resources*, 33(11), 1296-1308.
- **Vries, J.,and I. Simmers. (2002)**. Ground-water recharge: An overview of processes and challenges. *Hydrogeology journal* 10, no 1: 5-7.
- **Warner JW, Molden D, Chehata M, Sunada DK (1989)** Mathematical analysis of artificial recharge from basins. *Water Resour Bull* 25:401–41.
- **Westhoff, M. C., Bogaard, T. A., & Savenije, H. H. G. (2011)**. Quantifying spatial and temporal discharge dynamics of an event in a first order stream, using distributed temperature sensing. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15(6), 1945-1957.
- **Winter, T. C. (1999)**. Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal*, 7(1), 28-45.
- **Woessner, W. W. (2000)**. Stream and Fluvial Plain Ground Water Interactions: Rescaling Hydrogeologic Thought. *Ground Water*, 38(3), 423–429
- **Xu Y.et GJ van Tonder (2001)** : Estimation of recharge using a revised CRD method. ISSN 0378-4738 = *Water SA* Vol. 27 No.

Web graphe :

- **beaucham/cours.qge/du-7.htm** : <http://www.u-picardie.fr/~beaucham/cours.qge/du-7.htm>
- **lylmack.over-blog.com/ehydrologie** : Publié par LYL MACK sur 4 Avril 2013.
- www.aqtessolv.com.

ANNEXES

Annexes

Annexe n° 01

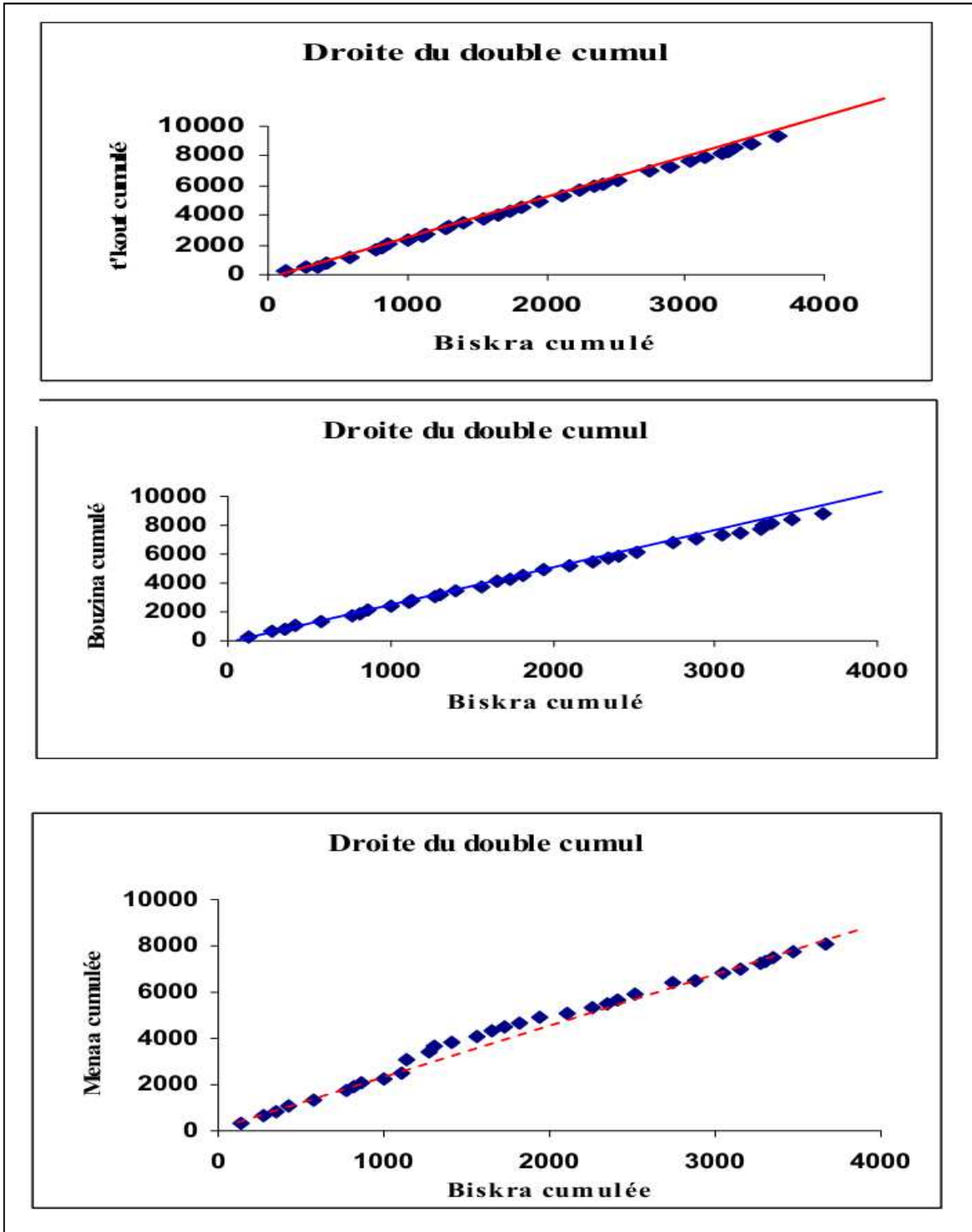
Résultats des campagnes piézométriques (Nappe alluviale d'oued Biskra, Mai 2012) :

N°	Commune	Date de campagne	Lieu dit	X.Deg	Y.Deg	Z(m)	Prof (m)	Ns (m)	Q (l/s)	Nappe Captée
1	Biskra	29/04/2012	F:01	005°44'19"	34°52'59"	133	40	13	25	Quaternaire
2	Biskra	29/04/2012	F:02	005°44'26"	34°53'07"	139	40	15	20	Quaternaire
3	Biskra	29/04/2012	F:03	005°44'30"	34°53'20"	144	41	18	20	Quaternaire
4	Biskra	29/04/2012	F:04	005°44'30"	34°53'25"	149	44	15	20	Quaternaire
5	Biskra	29/04/2012	SIF / F:04	005°44'34"	34°53'10"	135	50	18	18	Quaternaire
6	Biskra	29/04/2012	SIF / F:05	005°44'32"	34°53'01"	139	40	14	30	Quaternaire
7	Biskra	29/04/2012	SIF / F:06	005°44'25"	34°52'56"	135	40	16	25	Quaternaire
8	Biskra	29/04/2012	SIF / F:06/ Bis	005°44'24"	34°52'57"	132	44	11,5	30	Quaternaire
9	Biskra	29/04/2012	F:01/ Bis	005°44'14"	34°52'55"	130	50	15	25	Quaternaire
10	Biskra	29/04/2012	B:05 / Bis	005°44'09"	34°52'51"	134	50	17	20	Quaternaire
11	Biskra	29/04/2012	B:05	005°44'10"	34°52'50"	131	42	14	15	Quaternaire
12	Biskra	29/04/2012	B:01	005°44'08"	34°52'49"	132	40	17	25	Quaternaire
13	Biskra	29/04/2012	B:02	005°44'13"	34°52'47"	133	45	15	25	Quaternaire
14	Biskra	02/05/2012	Feliache / F :01	005°45'30"	34°50'02"	92	100	17	15	Quaternaire

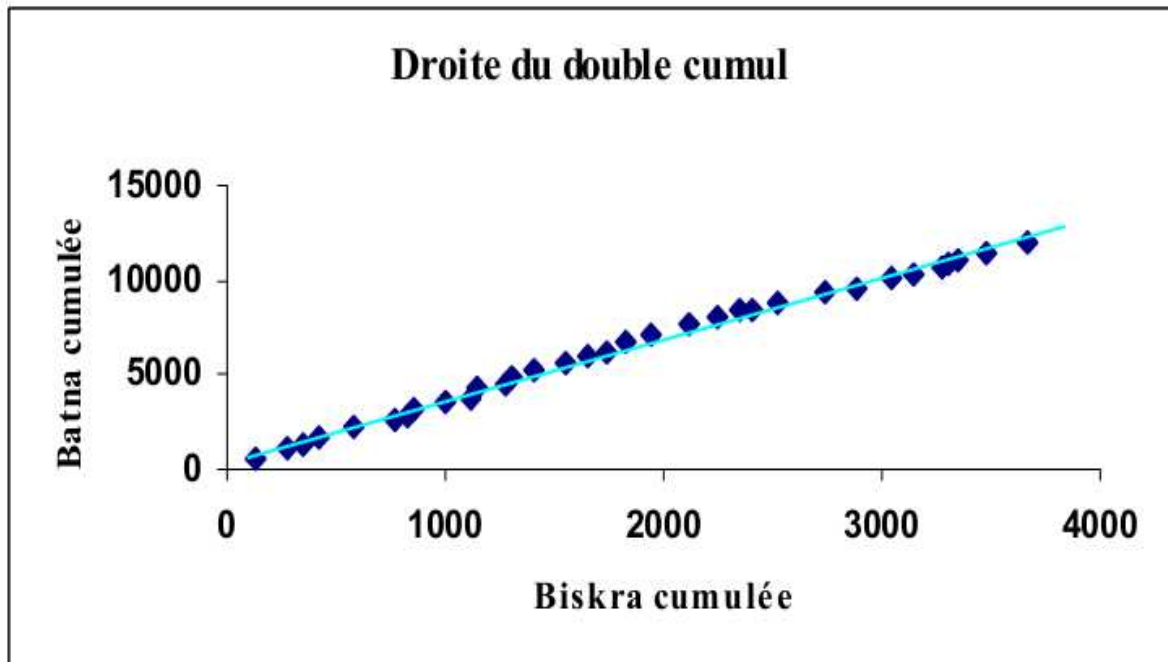
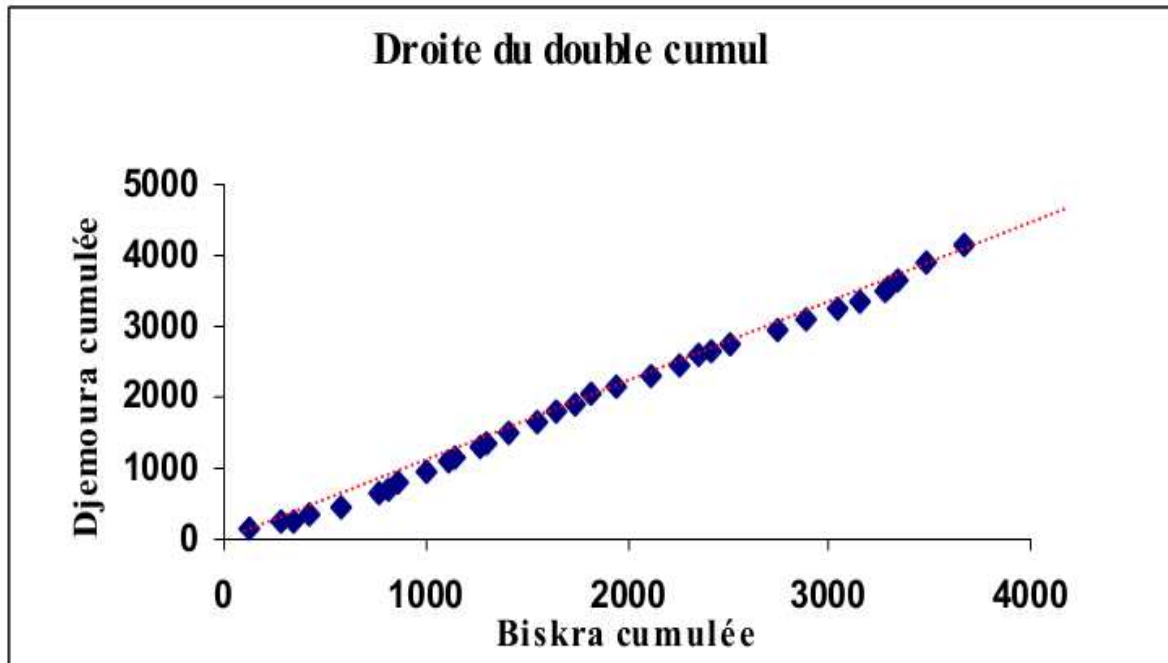
Annexes

Annexe n° 02

Critique des données pluviométriques par la méthode des doubles cumulés.



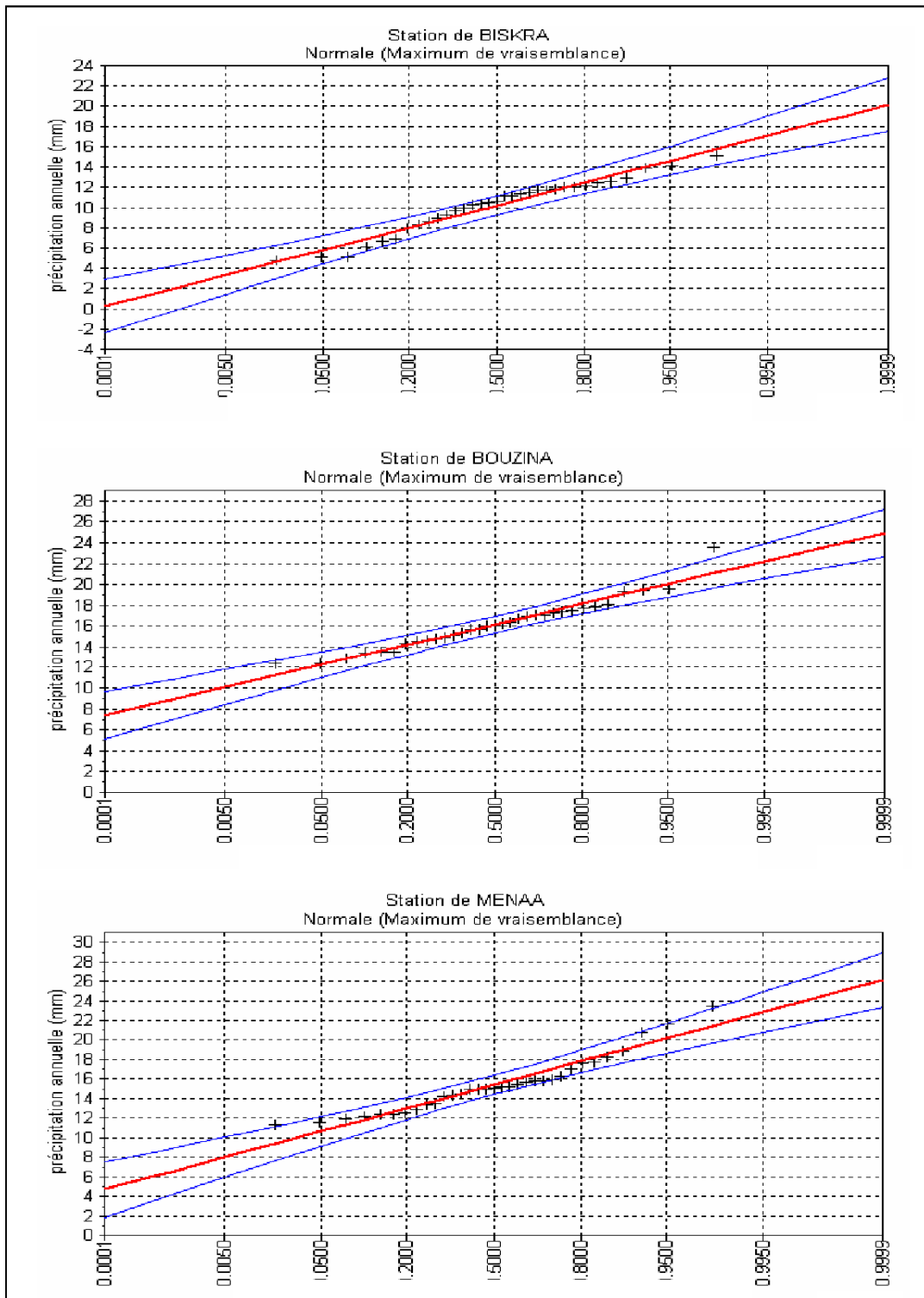
Suite de l'annexe : 02



Annexes

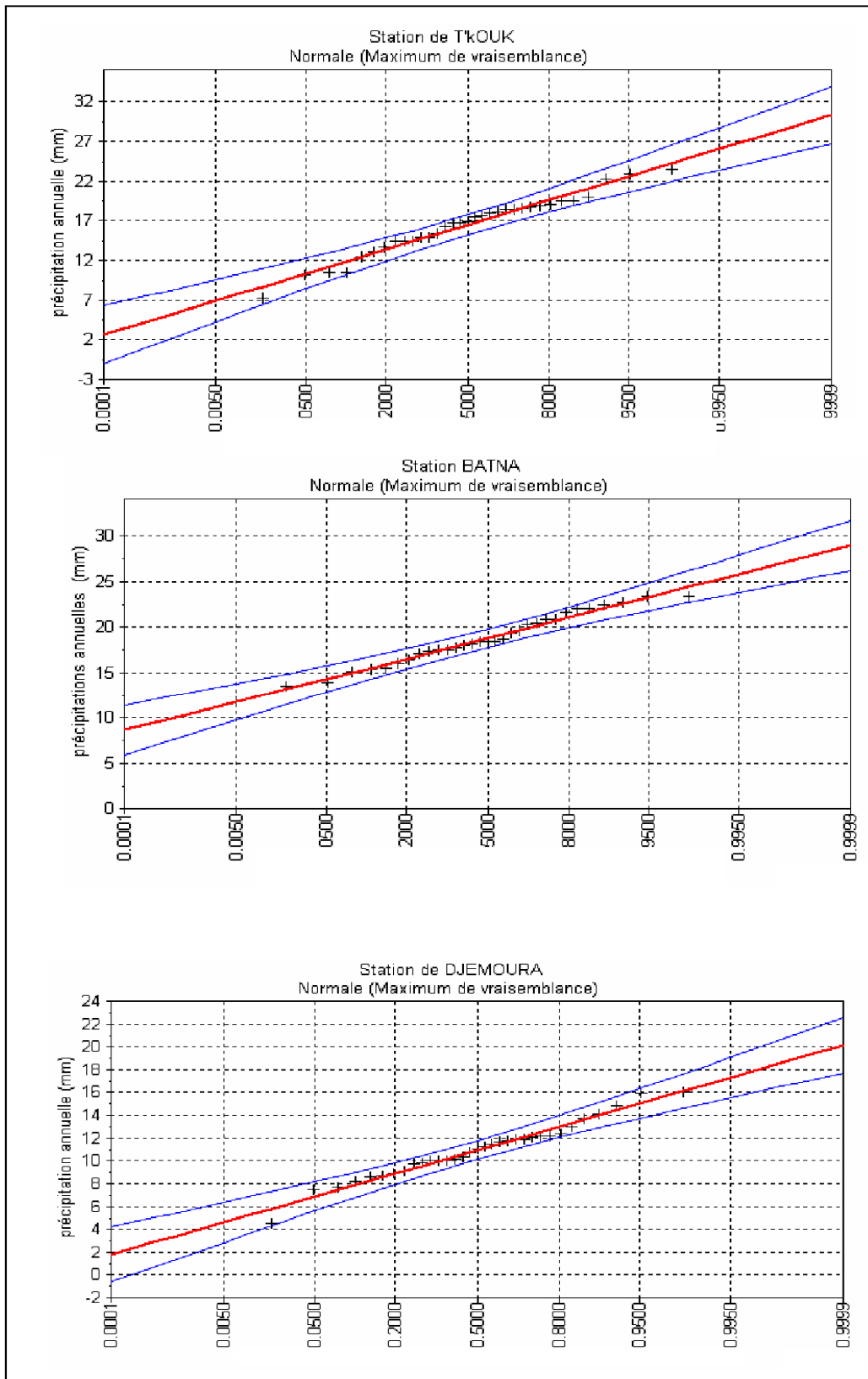
Annexe n°03 :

Ajustement des précipitations annuelles à une loi de Gauss.



Annexes

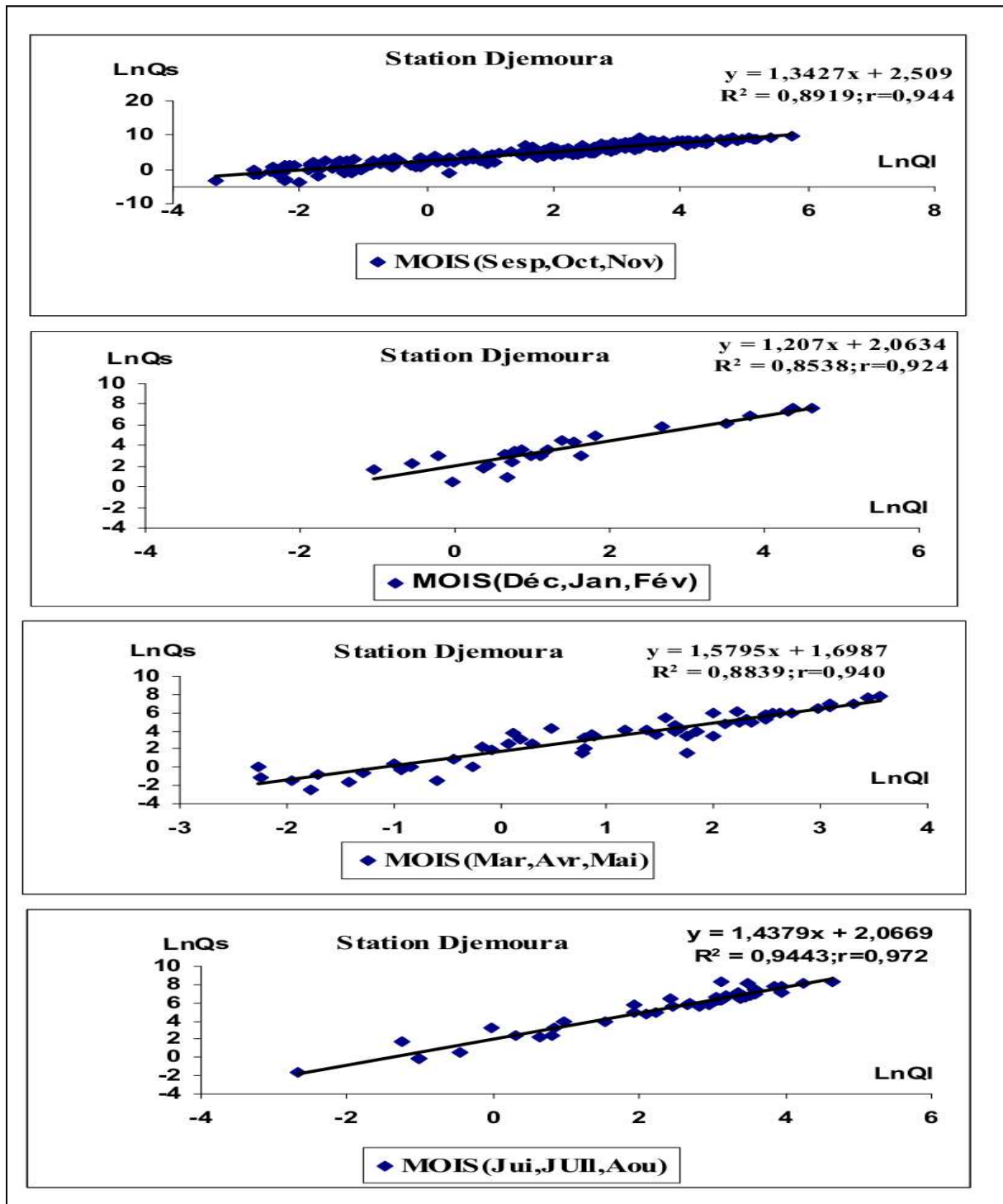
Suite de l'annexe 03 :



Annexes

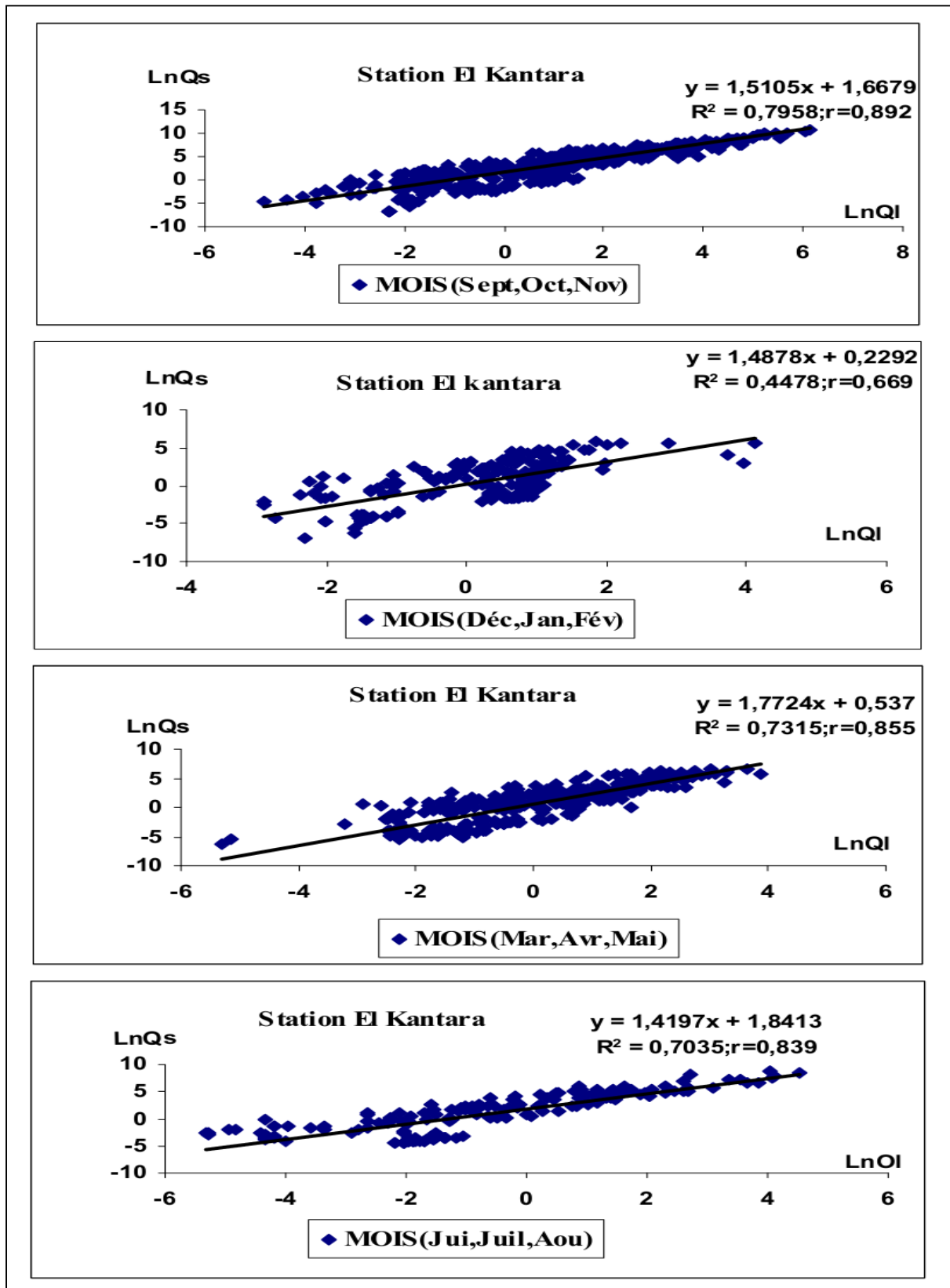
Annexe n°04 :

Recherche d'une relation saisonnière débit liquide-débit solide.



Annexes

Suite de l'annexe 04 :



Annexes

Annexe n° 05

Apports annuels en transports solides en suspension sur El Hai et Djemoura en tonne.

Djemoura	El Hai	Oued
	31758,21	68/69
	6949,82	69/70
	447,60	70/71
	2334,88	71-72
	16187,02	72-73
	27110,04	73-74
	1395,40	74-75
	-	75-76
	137,11	76-77
	9722,82	77-78
	18729	78-79
	12953,10	79-80
7314,30	731,03	80-81
70633,65	98147,80	81-82
14633,80	9449,30	82-83
22137,70	9780,80	83-84
14326,40	16704,70	84-85
61858,40	27172,00	85-86
2057,00	12644,70	86-87
22502,00	17453,30	87-88
74706,22	6682,74	88-89
148,37	3640,05	89-90
69,74	-	90-91
8755,50	1577,10	91-92
1042,30	7,089	92-93
192,517	-	93-94
23106,05	13821,48	Moyenne.

Source : ANRH d'Alger.

Annexes

Annexe n° 06 : Pluie de courte durée pour les quatre stations pluviométriques d'oued Biskra

T'kout	0,5	11,92	16,5	19,52	26,19	29	38,31
	1	14,48	20,03	23,71	31,8	35,21	46,52
	2	17,58	24,32	28,78	38,61	42,76	56,48
	3	19,69	27,25	32,24	43,25	47,9	63,27
	4	21,34	29,53	34,95	46,88	51,92	68,58
	6	23,91	33,08	39,15	52,51	58,16	76,82
	12	29,03	40,17	47,54	63,76	70,61	93,28
	18	32,52	45	53,25	71,43	79,1	104,49
	24	35,25	48,77	57,72	77,42	85,74	113,26
Bassin (moyenne)	0,5	11,83	16,30	19,26	25,77	26,06	37,62
	1	14,17	19,52	23,06	30,86	31,20	45,05
	2	16,97	23,37	27,62	36,95	37,37	53,94
	3	18,85	25,97	30,69	41,06	41,52	59,94
	4	20,32	27,99	33,07	44,25	44,75	64,60
	6	22,58	31,10	36,75	49,17	49,72	71,78
	12	27,03	37,24	44,01	58,88	59,54	85,96
	18	30,04	41,38	48,90	65,43	66,16	95,51
	24	32,37	44,60	52,70	70,51	71,30	102,93

Annexes

Annexe n° 07

Potentialité de la turbidité journalière et instantanée aux Stations de d'El Kantara et Djemoura.

	Date	N ^{re} de Prél.	C moyj (g/l)	Q moyj (m ³ /s)	C max. (g/l)	Q _c max. (m ³ /s)	Heures	A _{sj} · 10 ³ (tonne)
El Kantara	02/10/69	03	59,025	1,003	147,20	1,734	07 :45	86,27
	23/04/70	04	5,10	4,59	10,90	5,52	05 :50	24,044
	30/07/71	12	15,82	5,24	115,10	56,20	21 :30	554,89
	01/04/72	03	52,51	2,66	87,81	4,086	08 :00	164,96
	09/06/73	04	31,14	1,63	60,16	2,51	08 :30	52,56
	15/07/74	01	233,00	15,28	233,00	15,28	23 :00	3560,42
	13/16/75	02	123,93	3,27	190,80	4,12	09 :20	348,41
	20/10/79	04	55,17	40,46	71,60	81,30	14 :30	1815,94
	03/09/80	01	108,30	4,12	108,30	4,12	12 :00	446,20
	24/09/81	04	64,65	12,11	160,80	18,00	06 :00	529,81
	02/10/82	03	90,83	13,68	98,20	18,28	18 :00	1221,56
	13/10/83	05	41,86	75,39	59,20	121,00	15 :45	3669,40
	27/11/84	04	58,72	7,72	126,60	14,20	06 :00	669,13
	28/10/86	09	54,32	5,72	89,80	10,02	10 :00	291,01
	30/09/87	07	40,36	61,91	71,70	147,00	03 :00	3669,37
	13/11/89	04	80,32	4,078	119,90	7,26	08 :05	421,24
09/11/90	02	33,55	0,78	36,30	0,86	07 :00	26,40	
09/04/93	03	54,80	2,00	65,70	4,90	05 :00	125,55	
Djemoura	19/09/81	02	33,50	2,15	38,30	3,13	06 :00	76,63
	13/19/82	08	66,60	12,23	307,40	26,60	18 :35	790,20
	12/10/83	05	72,13	11,49	132,00	34,66	17 :15	116,80
	13/05/85	05	19,36	9,46	32,30	13,70	06 :00	214,56
	07/10/85	08	69,78	19,60	109,80	35,25	13 :00	1485,39
	02/09/86	09	92,07	19,51	135,60	34,35	04 :30	1943,76
	06/06/88	04	96,95	18,36	184,80	32,30	07 :30	2162,75
	09/09/88	05	50,42	34,08	86,40	82,70	18 :00	2234,87
	01/09/89	15	55,21	79,68	85,20	159,70	07 :30	4800,64
	11/11/90	03	18,50	1,79	26,10	2,78	10 :30	37,26
	06/05/92	01	19,00	3,20	19,00	3,20	12 :00	60,80
	07/11/92	07	29,30	32,61	38,10	75,68	05 :30	1217,40
	01/09/93	01	194,40	4,65	194,40	4,65	16 :45	903,96

C moyj : concentration moyenne journalière. ; Q moyj : débit liquide moyen journalier.

C max. : concentration maximale journalière. ; Q_c max. : débit liquide maximal journalier.

A_{sj} : Apport solide moyen journalier.

Annexe n° 08

Les valeurs de la fonction $F(\alpha, \beta)$ dans l'équation de Hantush 1967 pour les différentes valeurs de α, β .

TABLE 24.1 Values of the Function $F(\alpha, \beta)$ in Eq. (24.7) for Different values of α and β

$\alpha \backslash \beta$	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.14	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62
0.02	0.0041	0.0073	0.0101	0.0125	0.0146	0.0184	0.0216	0.0243	0.0267	0.0288	0.0306	0.0322	0.0337	0.0349	0.0361	0.0371	0.0380	0.0387
0.04	0.0073	0.0135	0.0188	0.0236	0.0278	0.0353	0.0416	0.0470	0.0518	0.0559	0.0596	0.0628	0.0657	0.0683	0.0705	0.0725	0.0743	0.0759
0.06	0.0101	0.0188	0.0266	0.0335	0.0398	0.0509	0.0602	0.0684	0.0754	0.0817	0.0871	0.0920	0.0963	0.1001	0.1035	0.1065	0.1091	0.1115
0.08	0.0125	0.0236	0.0335	0.0425	0.0508	0.0652	0.0776	0.0884	0.0978	0.1060	0.1133	0.1197	0.1254	0.1305	0.1350	0.1389	0.1425	0.1456
0.10	0.0146	0.0278	0.0398	0.0508	0.0608	0.0786	0.0939	0.1072	0.1188	0.1290	0.1381	0.1461	0.1532	0.1595	0.1650	0.1700	0.1744	0.1783
0.14	0.0184	0.0353	0.0509	0.0652	0.0786	0.1025	0.1232	0.1414	0.1573	0.1714	0.1839	0.1941	0.2048	0.2135	0.2212	0.2281	0.2343	0.2397
0.18	0.0216	0.0416	0.0602	0.0776	0.0939	0.1232	0.1490	0.1716	0.1916	0.2094	0.2251	0.2391	0.2515	0.2626	0.2724	0.2812	0.2890	0.2959
0.22	0.0243	0.0470	0.0684	0.0884	0.1072	0.1414	0.1716	0.1984	0.2222	0.2433	0.2621	0.2789	0.2938	0.3071	0.3189	0.3295	0.3389	0.3472
0.26	0.0267	0.0518	0.0754	0.0978	0.1188	0.1573	0.1916	0.2222	0.2494	0.2737	0.2954	0.3147	0.3320	0.3474	0.3612	0.3735	0.3844	0.3941
0.30	0.0288	0.0559	0.0817	0.1060	0.1290	0.1714	0.2094	0.2433	0.2737	0.3009	0.3252	0.3470	0.3665	0.3839	0.3995	0.4134	0.4257	0.4368
0.34	0.0306	0.0596	0.0871	0.1133	0.1391	0.1839	0.2251	0.2621	0.2954	0.3252	0.3520	0.3761	0.3976	0.4169	0.4341	0.4495	0.4633	0.4756
0.38	0.0322	0.0628	0.0920	0.1197	0.1461	0.1949	0.2391	0.2789	0.3147	0.3470	0.3761	0.4022	0.4256	0.4466	0.4654	0.4823	0.4973	0.5108
0.42	0.0337	0.0657	0.0963	0.1254	0.1532	0.2048	0.2515	0.2938	0.3320	0.3665	0.3976	0.4256	0.4508	0.4734	0.4937	0.5119	0.5281	0.5427
0.46	0.0349	0.0683	0.1001	0.1305	0.1595	0.2135	0.2626	0.3071	0.3474	0.3839	0.4169	0.4466	0.4734	0.4975	0.5161	0.5335	0.5559	0.5715
0.50	0.0361	0.0705	0.1035	0.1350	0.1650	0.2212	0.2724	0.3189	0.3612	0.3995	0.4341	0.4654	0.4937	0.5191	0.5420	0.5626	0.5810	0.5975
0.54	0.0371	0.0725	0.1065	0.1389	0.1700	0.2281	0.2812	0.3295	0.3735	0.4134	0.4495	0.4823	0.5119	0.5385	0.5626	0.5842	0.6036	0.6209
0.58	0.0380	0.0743	0.1091	0.1425	0.1744	0.2343	0.2890	0.3389	0.3844	0.4257	0.4633	0.4973	0.5281	0.5559	0.5810	0.6036	0.6238	0.6420
0.62	0.0387	0.0759	0.1115	0.1456	0.1783	0.2397	0.2959	0.3472	0.3941	0.4368	0.4756	0.5108	0.5427	0.5715	0.5975	0.6209	0.6420	0.6609
0.66	0.0394	0.0773	0.1136	0.1484	0.1718	0.2445	0.3020	0.3547	0.4027	0.4466	0.4865	0.5227	0.5556	0.5854	0.6122	0.6364	0.6582	0.6778
0.70	0.0401	0.0785	0.1154	0.1509	0.1849	0.2488	0.3075	0.3612	0.4104	0.4553	0.4962	0.5334	0.5672	0.5977	0.6254	0.6503	0.6728	0.6929
0.74	0.0406	0.0796	0.1117	0.1531	0.1876	0.2526	0.3123	0.3671	0.4172	0.4630	0.5048	0.5429	0.5774	0.6087	0.6371	0.6627	0.6857	0.7064
0.78	0.0411	0.0806	0.1185	0.1550	0.1900	0.2559	0.3166	0.3722	0.4232	0.4699	0.5125	0.5513	0.5865	0.6185	0.6475	0.6736	0.6972	0.7184
0.82	0.0415	0.0814	0.1198	0.1567	0.1921	0.2589	0.3203	0.3768	0.4286	0.4760	0.5192	0.5587	0.5946	0.6272	0.6567	0.6834	0.7074	0.7291
0.86	0.0419	0.0822	0.1209	0.1582	0.1940	0.2615	0.3237	0.3808	0.4333	0.4813	0.5252	0.5653	0.6017	0.6348	0.6648	0.6920	0.7165	0.7386
0.90	0.0422	0.0828	0.1219	0.1595	0.1957	0.2638	0.3266	0.3844	0.4374	0.4860	0.5305	0.5711	0.6080	0.6416	0.6721	0.6996	0.7245	0.7469
0.94	0.0425	0.0834	0.1228	0.1607	0.1971	0.2658	0.3292	0.3875	0.4411	0.4902	0.5351	0.5762	0.6136	0.6476	0.6784	0.7063	0.7316	0.7543
0.98	0.0428	0.0839	0.1236	0.1617	0.1984	0.2676	0.3314	0.3902	0.4442	0.4938	0.5392	0.5807	0.6184	0.6528	0.6840	0.7123	0.7378	0.7608
1.00	0.0429	0.0842	0.1239	0.1622	0.1990	0.2684	0.3324	0.3914	0.4457	0.4955	0.5410	0.5827	0.6206	0.6552	0.6865	0.7150	0.7406	0.7638
1.20	0.0437	0.0858	0.1263	0.1654	0.2030	0.2740	0.3396	0.4001	0.4558	0.5070	0.5540	0.5969	0.6362	0.6719	0.7044	0.7339	0.7605	0.7846
1.40	0.0441	0.0866	0.1275	0.1669	0.2049	0.2767	0.3431	0.4043	0.4608	0.5127	0.5603	0.6039	0.6438	0.6801	0.7132	0.7432	0.7704	0.7949
1.80	0.0444	0.0871	0.1283	0.1680	0.2062	0.2785	0.3454	0.4071	0.4641	0.5165	0.5645	0.6086	0.6489	0.6856	0.7190	0.7494	0.7769	0.8018
2.00	0.0444	0.0871	0.1284	0.1681	0.2064	0.2787	0.3457	0.4075	0.4645	0.5169	0.5651	0.6092	0.6495	0.6863	0.7198	0.7502	0.7778	0.8027
2.20	0.0444	0.0872	0.1284	0.1682	0.2065	0.2788	0.3458	0.4076	0.4646	0.5171	0.5653	0.6094	0.6497	0.6865	0.7200	0.7505	0.7781	0.8030
2.50	0.0444	0.0872	0.1284	0.1682	0.2065	0.2788	0.3458	0.4077	0.4647	0.5172	0.5653	0.6095	0.6498	0.6867	0.7202	0.7506	0.7782	0.8032
3.00	0.0444	0.0872	0.1284	0.1682	0.2065	0.2789	0.3458	0.4077	0.4647	0.5172	0.5654	0.6095	0.6499	0.6867	0.7202	0.7506	0.7782	0.8032

Suite de l'annexe n° 08

TABLE 24.1 Values of the Function F(α, β) in Eq. (24.7) for Different Values of α and β

$\alpha \backslash \beta$	0.62	0.66	0.70	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90	0.94	0.98	1.00	1.20	1.40	1.80	2.00	2.20	2.50	3.00	
0.02	0.0387	0.0394	0.0401	0.0406	0.0411	0.0415	0.0419	0.0422	0.0425	0.0428	0.0429	0.0437	0.0441	0.0444	0.0444	0.0444	0.0444	0.0444	0.0444
0.04	0.0759	0.0773	0.0785	0.0796	0.0806	0.0814	0.0822	0.0828	0.0834	0.0839	0.0842	0.0858	0.0866	0.0871	0.0871	0.0872	0.0882	0.0882	0.0882
0.06	0.1115	0.1136	0.1154	0.1171	0.1185	0.1198	0.1209	0.1219	0.1228	0.1236	0.1239	0.1263	0.1275	0.1283	0.1284	0.1284	0.1284	0.1284	0.1284
0.08	0.1456	0.1484	0.1509	0.1531	0.1550	0.1567	0.1582	0.1595	0.1606	0.1617	0.1622	0.1654	0.1669	0.1680	0.1681	0.1682	0.1682	0.1682	0.1682
0.10	0.1783	0.1818	0.1849	0.1876	0.1900	0.1921	0.1940	0.1957	0.1971	0.1984	0.1990	0.2030	0.2049	0.2062	0.2064	0.2065	0.2065	0.2065	0.2065
0.14	0.2397	0.2445	0.2488	0.2526	0.2559	0.2589	0.2615	0.2638	0.2658	0.2676	0.2684	0.2740	0.2777	0.2785	0.2787	0.2788	0.2788	0.2788	0.2788
0.18	0.2959	0.3020	0.3075	0.3123	0.3166	0.3203	0.3237	0.3266	0.3292	0.3314	0.3224	0.3396	0.3431	0.3454	0.3457	0.3454	0.3454	0.3454	0.3454
0.22	0.3472	0.3547	0.3612	0.3671	0.3722	0.3768	0.3808	0.3844	0.3875	0.3902	0.3914	0.4001	0.4043	0.4071	0.4075	0.4076	0.4077	0.4077	0.4077
0.26	0.3941	0.4027	0.4104	0.4172	0.4232	0.4286	0.4333	0.4374	0.4411	0.4442	0.4457	0.4558	0.4608	0.4641	0.4645	0.4646	0.4647	0.4647	0.4647
0.30	0.4368	0.4466	0.4553	0.4630	0.4699	0.4760	0.4813	0.4860	0.4902	0.4938	0.4955	0.5070	0.5127	0.5165	0.5159	0.5171	0.5172	0.5172	0.5172
0.34	0.4756	0.4865	0.4962	0.5048	0.5125	0.5192	0.5252	0.5305	0.5351	0.5392	0.5410	0.5540	0.5603	0.5645	0.5651	0.5653	0.5653	0.5654	0.5654
0.38	0.5108	0.5227	0.5334	0.5429	0.5513	0.5587	0.5653	0.5711	0.5762	0.5807	0.5827	0.5969	0.6039	0.6086	0.6092	0.6094	0.6095	0.6095	0.6095
0.42	0.5427	0.5556	0.5672	0.5774	0.5865	0.5946	0.6017	0.6080	0.6136	0.6184	0.6206	0.6362	0.6438	0.6489	0.6495	0.6497	0.6498	0.6499	0.6499
0.46	0.5715	0.5854	0.5977	0.6087	0.6185	0.6272	0.6348	0.6416	0.6476	0.6528	0.6552	0.6719	0.6801	0.6856	0.6863	0.6865	0.6867	0.6867	0.6867
0.50	0.5975	0.6122	0.6254	0.6371	0.6475	0.6567	0.6648	0.6721	0.6784	0.6840	0.6865	0.7044	0.7132	0.7190	0.7198	0.7200	0.7202	0.7202	0.7202
0.54	0.6209	0.6364	0.6503	0.6627	0.6736	0.6834	0.6920	0.6996	0.7063	0.7123	0.7150	0.7379	0.7432	0.7494	0.7502	0.7505	0.7506	0.7506	0.7506
0.58	0.6420	0.6482	0.6728	0.6857	0.6972	0.7074	0.7165	0.7245	0.7316	0.7378	0.7406	0.7605	0.7704	0.7799	0.7778	0.7781	0.7782	0.7782	0.7782
0.62	0.6609	0.6778	0.6929	0.7064	0.7184	0.7291	0.7386	0.7469	0.7543	0.7608	0.7638	0.7846	0.7949	0.8018	0.8027	0.8030	0.8032	0.8032	0.8032
0.66	0.6778	0.7053	0.7110	0.7250	0.7375	0.7486	0.7584	0.7671	0.7748	0.7816	0.7846	0.8064	0.8171	0.8243	0.8252	0.8255	0.8257	0.8257	0.8257
0.70	0.6929	0.7110	0.7272	0.7417	0.7546	0.7660	0.7762	0.7852	0.7932	0.8002	0.8034	0.8259	0.8370	0.8445	0.8454	0.8458	0.8460	0.8460	0.8460
0.74	0.7064	0.7250	0.7414	0.7566	0.7698	0.7816	0.7921	0.8014	0.8096	0.8168	0.8201	0.8434	0.8549	0.8627	0.8636	0.8640	0.8642	0.8642	0.8642
0.78	0.7184	0.7375	0.7546	0.7698	0.7834	0.7956	0.8063	0.8159	0.8243	0.8317	0.8351	0.8591	0.8710	0.8789	0.8799	0.8803	0.8805	0.8805	0.8805
0.82	0.7291	0.7486	0.7660	0.7816	0.7956	0.8080	0.8190	0.8288	0.8374	0.8450	0.8485	0.8731	0.8853	0.8935	0.8945	0.8949	0.8951	0.8951	0.8951
0.86	0.7386	0.7584	0.7762	0.7921	0.8063	0.8190	0.8302	0.8402	0.8491	0.8569	0.8604	0.8855	0.8980	0.9065	0.9075	0.9079	0.9081	0.9081	0.9081
0.90	0.7469	0.7671	0.7852	0.8014	0.8159	0.8288	0.8402	0.8504	0.8594	0.8674	0.8710	0.8966	0.9094	0.9180	0.9191	0.9195	0.9187	0.9187	0.9187
0.94	0.7543	0.7748	0.7932	0.8096	0.8243	0.8374	0.8491	0.8594	0.8686	0.8767	0.8803	0.9064	0.9195	0.9282	0.9294	0.9298	0.9300	0.9300	0.9300
0.98	0.7608	0.7816	0.8002	0.8168	0.8317	0.8450	0.8569	0.8674	0.8767	0.8849	0.8886	0.9151	0.9284	0.9373	0.9384	0.9389	0.9391	0.9391	0.9391
1.00	0.7638	0.7846	0.8034	0.8201	0.8351	0.8485	0.8604	0.8710	0.8803	0.8886	0.8924	0.9191	0.9324	0.9414	0.9426	0.9430	0.9432	0.9433	0.9433
1.20	0.7846	0.8064	0.8259	0.8434	0.8591	0.8731	0.8855	0.8966	0.9064	0.9151	0.9191	0.9472	0.9614	0.9709	0.9722	0.9726	0.9728	0.9729	0.9729
1.40	0.7949	0.8171	0.8370	0.8549	0.8710	0.8853	0.8980	0.9094	0.9195	0.9284	0.9324	0.9614	0.9759	0.9858	0.9871	0.9875	0.9878	0.9878	0.9878
1.80	0.8018	0.8243	0.8445	0.8627	0.8789	0.8935	0.9065	0.9180	0.9282	0.9373	0.9414	0.9709	0.9858	0.9959	0.9972	0.9972	0.9979	0.9980	0.9980
2.00	0.8027	0.8252	0.8454	0.8636	0.8799	0.8945	0.9075	0.9191	0.9294	0.9384	0.9426	0.9722	0.9871	0.9972	0.9985	0.9990	0.9992	0.9993	0.9993
2.20	0.8030	0.8255	0.8458	0.8640	0.8803	0.8949	0.9079	0.9195	0.9298	0.9389	0.9430	0.9726	0.9875	0.9977	0.9990	0.9995	0.9997	0.9998	0.9998
2.50	0.8032	0.8257	0.8460	0.8642	0.8805	0.8951	0.9081	0.9197	0.9300	0.9391	0.9432	0.9728	0.9878	0.9979	0.9992	0.9997	1.0000	1.0000	1.0000
3.00	0.8032	0.8257	0.8460	0.8642	0.8805	0.8951	0.9081	0.9197	0.9300	0.9391	0.9433	0.9729	0.9878	0.9980	0.9993	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000

Source: From Haanush (1967).