

*République Algérienne Démocratique Et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche Scientifique  
Université du colonel El Hadj Lakhdar -BATNA-*



*Faculté Des Sciences de l'ingénieur  
Département d'hydraulique*

**MEMOIRE**  
Présenté en vue d'obtenir le diplôme de  
**MAGISTER**

Option :  
**Mobilisation des ressources hydriques**  
Thème

**Les inondations dans la ville de BISKRA  
Causes et Impacts**

Par  
**BOUMESSENEGH Amel**

Devant le jury composé de :

<b>Président</b>	: Mr. BOUDOUKHA Abderrahmane	MC. Université de Batna.
<b>Rapporteur</b>	: Mr. NEMOUCHI Abdelmalek	MC. Université de Constantine.
<b>Examineurs</b>	: Mr. Ansar Allaoua	MC. Université de Constantine.
	: Mr.djabri Larbi	MC. Université de Annaba.



*Année Universitaire: 2006/2007*

## *Avant propos*

L'étude hydrologique du bassin versant de l'oued Biskra vise la connaissance de l'eau dans son contexte naturel, et le risque d'inondation avec ses causes principales.

Notre approche intègre l'étude climatique, l'étude du milieu physique, l'étude des causes ainsi que les moyens de protection contre les inondations.

Les résultats de ce travail résultent de l'exploitation et de la valorisation des données, travaux et archives portants sur le bassin de l'Oued Biskra, et des échanges avec les techniciens responsables des différents services (hydraulique, forêts et environnement, ANRH, barrages et protection civile) ainsi que des enquêtes sur terrain.

Avant de présenter le résultat de cette étude, nous avons le devoir de remercier tous ceux qui nous ont aidé (techniciens, administrateurs, enseignants et étudiants) dans l'aboutissement de notre travail.

Je remercie monsieur Nemouchi.A qui a bien voulu diriger ce travail et n'a pas hésité d'affronter cette lourde responsabilité en me consacrant une partie de son temps et beaucoup d'encouragement. Il m'a fait bénéficier de ses orientations et de ses conseils judicieux. Je lui en garde une profonde gratitude.

J'exprime mes remerciements les plus profonds à M<sup>R</sup> Hwichi.A. J'étais particulièrement sensible par son accueil attentif et bienveillant, qu'il trouve ici le témoignage de mon profond respect.

Je remercie également, M<sup>R</sup>Lahbari. N chef de département de l'institut d'hydraulique et bien sur monsieur Messaid.B chargé de cours à l'institut, ainsi que M.Achour .B et M.Laabadi de l'université de Biskra ; pour leurs aides et leurs encouragements.

J'adresse également ma plus chaleureuse et amicale reconnaissance à M<sup>R</sup> Boudoukha .A le président du conseil scientifique, d'avoir accepté d'être le président de ce jury. Qu'il trouve ici mes remerciements les plus sincères.

Sans oublier les membres de jury qui ont accepté d'évaluer et de juger ce travail.

Ma dette de reconnaissance est particulièrement lourde envers M<sup>R</sup> Hadraoui Chawki et M<sup>R</sup>bouزيد Lotfi pour leur aide et d'avoir mettre à ma disposition tout leur temps.

Une pensée particulière va aussi à mes parents, ma petite et grande famille à tous ceux que j'aime, qui ont toujours souhaité que cette thèse puisse voir le jour.

En fin en terminant, il m'est très agréable de remercier mon mari M<sup>R</sup> Mansseri qui m'a assisté de ses conseils, m'a toujours accompagné, m'a aidé dans la cartographie. C'est grâce à lui à son amabilité agissante, que j'ai pu mener à bien l'ouvrage, que je présente aujourd'hui sans bien sûr oublier ses encouragements et sa patience.

Mes remerciements vont à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

## Introduction générale

### 1. Problématique :

Accaparant totalement les préoccupations des hommes lorsqu'elles surviennent ; les catastrophes naturelles ne sont plus avec le temps et pour la plus part qu'un sujet mineur de la mémoire ou de l'imagination.

Aussi loin que l'on remonte dans l'histoire on s'aperçoit que l'homme est à l'origine de nombreux risques permanents et ponctuels, dont l'impact peut être comparable à celui des risques naturelles les plus sérieux, certains risques peuvent être accrus par l'activité humaine : c'est le cas par exemple des inondations provoquées par la déforestation.

L'inondation est une submersion (rapide ou lente) susceptible d'affecter de vastes surfaces naturelles et urbaines, elle correspond au débordement des eaux lors d'une crue. Par définition, une crue est une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau. Elle est décrite par trois paramètres : la hauteur, le débit et la vitesse du courant.

Les crues se produisent lorsque le sol et la végétation ne peuvent pas assimiler toute l'eau de ruissellement et provoquent une élévation du lit du cours d'eau. Le plus souvent, celui-ci ne déborde pas, mais l'eau ruisselle parfois dans des quantités qui ne peuvent être transportées dans les lits des cours d'eau, ni retenues dans les bassins naturels ou artificiels. Le cours d'eau déborde et il se produit alors une inondation.

Les inondations subites, qui peuvent survenir en automne dans les régions méditerranéennes sont généralement dues à des précipitations intenses sur une zone relativement réduite, les pratiques agricoles intensives diminuent la capacité du terrain à retenir l'eau et augmente le ruissellement.

L'homme a aggravé les inondations en dégradant le milieu naturel au tour de certains cours d'eau (l'imperméabilisation du bassin versant). Il est bien connu que l'imperméabilisation du sol par les bâtiments et les infrastructures a pour effet d'accroître les coefficients de ruissellement et donc d'accélérer les écoulements des eaux et d'aggraver les débits reçus à l'aval ; à ces conditions, l'incapacité des réseaux d'assainissement est considérée comme l'un des causes de ce phénomène.

L'impact de ces inondations reste relativement local, et le nombre de victimes est généralement limité, mais très variable en raison de la densité des habitations, de sa localisation et de type de construction adopté.

Événement récurrent partout dans le monde, ce phénomène a touché la plus part des pays, ces pays présentent à la fois les conditions climatiques, les sites géologiques à risque et des infrastructures insuffisantes en terme de protection de l'homme et de l'environnement ; à l'océan Indien à Bangladesh ce phénomène entraîne parfois, comme en 1970 la mort de plusieurs personnes <sup>(1)</sup>.

La montée précoce des eaux du fleuve Sénégal fait peser au mois d'août 2000 de graves inondations <sup>(2)</sup>, en France 3 à 4% de la population concernée et 7600 communes <sup>(3)</sup>, chaque année les inondations font quelques dizaines de victimes et engendrent plusieurs milliards de francs de réparation. En 1935 à Toulouse, des inondations catastrophiques ont provoqué la mort de 200 personnes. En 1988 à Nîme, des crues torrentielles et inondations pluviales ont provoqué la mort de 11 personnes et des dommages de 3.3 milliards de francs <sup>(4)</sup>.

---

(1) : Encarta 2006.

(2) : Article de Johnson Bengue, Wal Fadjri-all Africa.

(3) et (4) : "Evènements hydrologiques extrêmes" 16, Istil 1, 2 décembre 2003.

En Algérie, le risque d'inondation est parmi les défis majeurs qu'affrontent les agglomérations Algériennes situées aux pieds des versants dans les basses plaines ; aux embouchures des oueds. Les

crues inondantes constituent un risque engendré par l'accroissement démesuré de ces entités urbaines sans infrastructures convenables en matière d'assainissement et de protection contre ce risque. La mémoire des Algériens garde la trace des crues souvent pénibles, parfois angoissantes ; celles du 12 octobre 1971 à Tizi-Ouzou, l'inondation du 11 novembre 1982 à Annaba, ou même celle du 10 novembre 2001 à Bab l'oued, au mois d'août 1997 à Batna et en 1963 à Biskra constituent de tels souvenirs <sup>(1)</sup>.

## 2. Cadre de l'étude :

La ville de Biskra située au pied du versant méridional du massif de l'Aurès, au Nord-Est de l'Algérie connaît ce type de risque depuis plusieurs années, une succession d'épisodes pluvieuse exceptionnelle se traduit par des crues et des inondations. Les victimes et les dégâts ont été parfois catastrophiques, il s'agira donc dans cette étude d'essayer de caractériser le bassin versant de cette ville ; parce qu'on ne peut traiter les problèmes des crues à la ville, qu'en ayant une vision globale des caractéristiques de son bassin : qui est le bassin versant de l'oued Biskra, ce dernier et lors des années humides développait de grandes crues. L'évolution, la gestion des ressources en eau et des risques des inondations s'effectuent à l'échelle du bassin car l'entrée, le stockage et la sortie de l'eau peuvent y être mesurés. La gestion intégrée d'un bassin est donc considérée comme la meilleure solution pour l'exploitation des ressources et la régularisation des cours d'eau.

L'écoulement d'un cours d'eau est commandé par les caractéristiques de son bassin (relief géologie, lithologie, couvert végétal et le climat) .Dans ce stade il faut insister sur le grand bassin versant alimentant l'oued Biskra.

Le bassin versant de l'oued Biskra d'une superficie de 2787km<sup>2</sup> ; fait parti du grand bassin Chott Melghir (BV06), qui couvre une superficie de 68751km<sup>2</sup> et englobe trente (30) sous bassins versants(carté n°01).

Le bassin versant de l'oued Biskra est allongé suivant la direction (SO.NE) les principaux oueds drainant ce dernier sont : oued El Hai qui forme une confluence avec l'oued Djemoura formant l'oued Biskra. Il se caractérise aussi par la prédominance des petits oueds, qui sont le plus souvent à sec ; l'oued Bouguatou, l'oued Lafrah, l'oued Bouzina, l'oued Abdi, Hassi Ben Tamtam et l'oued Tanit ; ces derniers sont dangereux, vu leur effet direct sur la genèse des crues inondantes.

La ville de Biskra a souvent été le théâtre d'inondation assez grave. Les inondations qui affectent régulièrement les grands organismes sont très différentes, à la fois par leur genèse, par leur propagation et par l'espace qu'elles affectent. Ces crues sont exceptionnelles à Biskra surtout en mois de septembre et octobre. Par ailleurs, toutes les inondations importantes ou les destructions causées par les crues ne sont cependant pas dues à des phénomènes météorologiques en bien des occasions, d'autres facteurs agissent, soit pour aggraver les problèmes d'une crue déjà apparue, soit pour créer par eux même des phénomènes de crues. Ces facteurs sont le plus souvent associés à l'apparition d'une surcharge hydraulique dans les surfaces d'eau, ils comprennent la présence d'obstructions naturelles ou provoquées par l'homme dans la zone de crue.

A partir des données climatiques et des archives administratives locales, la ville de Biskra a connu plusieurs évènements hydrologiques inondants, les crues ont surtout pour origine des averses exceptionnelles par leur intensité, leur extension et leur durée qui ne dépasse pas une heure dans la plus part des cas (voir annexe n°01).

---

(1) : Aptitude aux écoulements dans l'impluvium de la ville de Batna et les problèmes d'inondations, institut science de la terre, université de Batna.

La ville de Biskra a assisté à des crues souvent catastrophiques <sup>(1)</sup>, il suffit de se souvenir des crues du 12 septembre 1963 ; une forte pluie orageuse accompagnée par des vents a aggravé la situation, de ce fait les dégâts sont considérables .Celle du 27/01/1964 a été tragique, la crue de

septembre 1969 ; une forte pluie a causé des ravages. L'inondation du 27/11/1971 a entraîné la submersion de plusieurs oueds spécialement l'oued Biskra, la voirie et le réseau d'assainissement ont été immédiatement colmatés et bouchés. Des énormes dégâts ont été marqués par la crue du 06/01/1975, celle de 06/01/1977 et mars 1976 ; les dégâts sont énormes, rappelons encore celle du 03/10/1978 et celle du mois d'août 1989 ont également été tragiques.

Les intempéries du 12/12/1999 ; submersion des lits des oueds et les dégâts matériels sont considérables, celle du 15/01/2003 au 17/01/2003 a provoqué la destruction de 543 habitations. Les intempéries du mois de mars et avril 2004 a mené à des dégâts inestimables.

La crue du mois d'avril 1949 a dépassé significativement les niveaux atteints dans les plus grandes crues historiques qu'a connu cette ville.

Il faut avoir en permanence conscience du risque des inondations, se souvenir des grandes crues passées et se préparer par des actions de prévention, d'amélioration des protections et d'organiser des secours pendant la crise.

### **3. Méthodologie de l'étude :**

Pour répondre à cette problématique complexe, l'axe directeur de cette étude est organisé selon les trois temps identifiés de l'inondation : avant, pendant et après. L'objectif est de proposer une vision globale de la gestion du risque d'inondation dans la ville de Biskra, préférentiellement par l'intégration des données d'observation de la terre, au travers d'étude de ce cas. L'idée est finalement de décloisonner les trois temps de l'inondation chacun étant caractérisé par des exigences propres, on les replaçant dans un processus continu dans le temps. L'étape de compréhension et de modélisation des phénomènes naturels générateurs de l'inondation constitue la pièce maîtresse de l'ensemble, car suffisamment en amont des contraintes imposées par l'évènement et ses conséquences.

Nous étudierons le bassin versant de l'oued Biskra en tant que système représentatif de ce phénomène (les inondations). Cette unité naturelle sera étudiée sur le plan physique, morphologique lithologique et le couvert végétal ; pour caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'écoulement et sur le plan hydroclimatologique pour évaluer le potentiel hydrique du bassin.

Nous disposons aussi d'un ensemble de documents montrant certaines caractéristiques des précipitations et des données de bases : les débits des oueds, intensités des pluies, températures et des documents concernant la zone d'étude : géologie, lithologie, le couvert végétal, la topographie du bassin et aménagement de la ville (P.O.S<sup>(2)</sup>).

La première étape pratique de notre travail a été la délimitation du bassin versant et ses sous bassins élémentaires (carte n°02 et 05). Les petits bassins versants et leurs types d'aménagement jouent un rôle important dans la genèse des crues, la compréhension et éventuellement la maîtrise des phénomènes hydrologiques permettent d'appréhender l'interférence des facteurs macro, microscopiques et physiques pour expliquer la complexité des crues inondantes à des échelles détaillées et plus précises.

---

(1) : Protection civile de la ville de Biskra.

(2) : Plan d'occupation des sols.

Cette délimitation a été réalisée manuellement, les paramètres de longueurs et de surfaces ont été mesurés sur la carte topographique à l'échelle 1/200.000 et à l'aide d'un logiciel (Auto Cad

2004) on analysera ensuite les caractéristiques morphométriques du bassin, ainsi que la géologie, la lithologie, ...etc.

Ensuite, c'est la critique des données climatiques (pluie, température et évaporation) étude des apports liquides, solides et étude des crues.

Les données hydrométriques utilisées proviennent de l'agence nationale des ressources hydriques d'Alger, Biskra et Constantine. La seule station pluviométrique qui fonctionne depuis 1970 se trouve à quelques kilomètres de la ville de Biskra, les autres comme celles de El Kantara et Djemoura ont été arrêtées, ce qui engendre un manque de données climatiques mesurées notamment la température, le rayonnement et l'évaporation (absence de station à l'intérieur du bassin). Aussi ce travail est conditionné par l'absence des moyens matériels, ce qui a limité énormément nos sorties sur terrains.

Enfin, l'étude du tissu urbain de la ville et son évolution, en commençant par la présentation de cette dernière ; site, situation, topographie,...etc, évolution de la population, le réseau d'assainissement et son état, insisté sur ces critères et comment ils peuvent participer à la genèse de ces inondations étude des zones exposées au risque et les actions à entreprendre pour lutter contre ce phénomène.

#### **4. Présentation de l'étude :**

Notre étude s'articule sur trois parties :

La première partie : Tente de définir le comportement du bassin et de préciser comment les différents facteurs naturels interfèrent dans la genèse des inondations et leurs impacts :

**Chapitre I** : Le cadre orographique et le réseau hydrographique.

**Chapitre II** : Les caractéristiques géologiques, lithologiques et leurs impacts sur les crues.

**Chapitre III** : Le couvert végétal, son état et son rôle sur les crues.

**Chapitre IV** : Etude climatique.

La seconde partie : 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.

**Chapitre I** : Ecoulements annuels et leurs variations spatiotemporelles.

**Chapitre II** : Les formes extrêmes de l'écoulement : Crues.

**Chapitre III** : Etude des transports solides dans le bassin versant de l'oued Biskra.

La troisième partie de ce mémoire concerne l'analyse des facteurs humains liés aux actions menées sur la ville ; d'abord du point de vue du bâti et son évolution spatiale et temporelle, puis du point de vue de ses habitants, ainsi que le réseau d'assainissement et ses impacts sur la genèse de ces crues.

Une des préoccupations majeures est alors de connaître l'ampleur de l'évènement pour permettre le dimensionnement et le déploiement des moyens d'action.

**Chapitre I** : Evolution de la population et de l'urbanisation de la ville de Biskra.

**Chapitre II** : Le réseau d'assainissement et son impact sur la genèse des crues dans la ville de Biskra.

**Chapitre III** : Exposition de la ville de Biskra au risque d'inondation et les moyens de protection.

## Première partie

### *Les facteurs conditionnels de l'écoulement de crues dans le bassin versant de l'oued Biskra.*

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 ; pour définir les raisons de ces fortes crues sont les suivants :

- 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

Le cadre orographique  
Et le réseau hydrographique

**Chapitre I*****Le cadre orographique et le réseau hydrographique*****I-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 km<sup>2</sup>, 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).

***I-2) Les 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. Les 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.

***B. Les 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. Les 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 :

**A. Le 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 "

**B. Le 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.

**C. Le 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. 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.

**I-3) Les 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.

**1-3.1) La 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°01).

**Tableau n° :1 Superficie du bassin versant de l'oued Biskra.**

Bassin	Superficie (km <sup>2</sup> )		
	(1)	(2)	(3)
El Hai	1788	2056	1660
Djemoura	906	696	586
Biskra.compl	93	-	-
Biskra	2787	2752	2246

(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 2787km<sup>2</sup> ; 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 1788km<sup>2</sup> et 906km<sup>2</sup> alors que le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire qui n'est contrôlé par aucune station présente une surface de 93km<sup>2</sup>.

### 1-3.2) L'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 km<sup>2</sup> et en % de la superficie totale) par tranches d'altitudes est consignée dans le tableau n°02 et reportée sur la carte n°02 ; qui nous renseigne sur les altitudes caractéristiques du bassin.

Le bassin de l'oued Biskra atteint 2321m 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 150m donc une dénivelée totale de 2171m. L'altitude moyenne<sup>(1)</sup> sur l'ensemble du bassin de l'oued Biskra est de 950m, déduite de la courbe hypsométrique, elle est plus forte dans le sous bassin de l'oued Djemoura (998m) et n'est que de 956m sur le bassin de l'oued El Hai et plus faible dans le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire (410m).

La dénivelée<sup>(2)</sup> 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 ; 1891m et 2121m mais plus faible dans le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire (1120m).

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

$S_i$  : Surface cumulée entre deux courbes de niveaux (Km<sup>2</sup>).

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

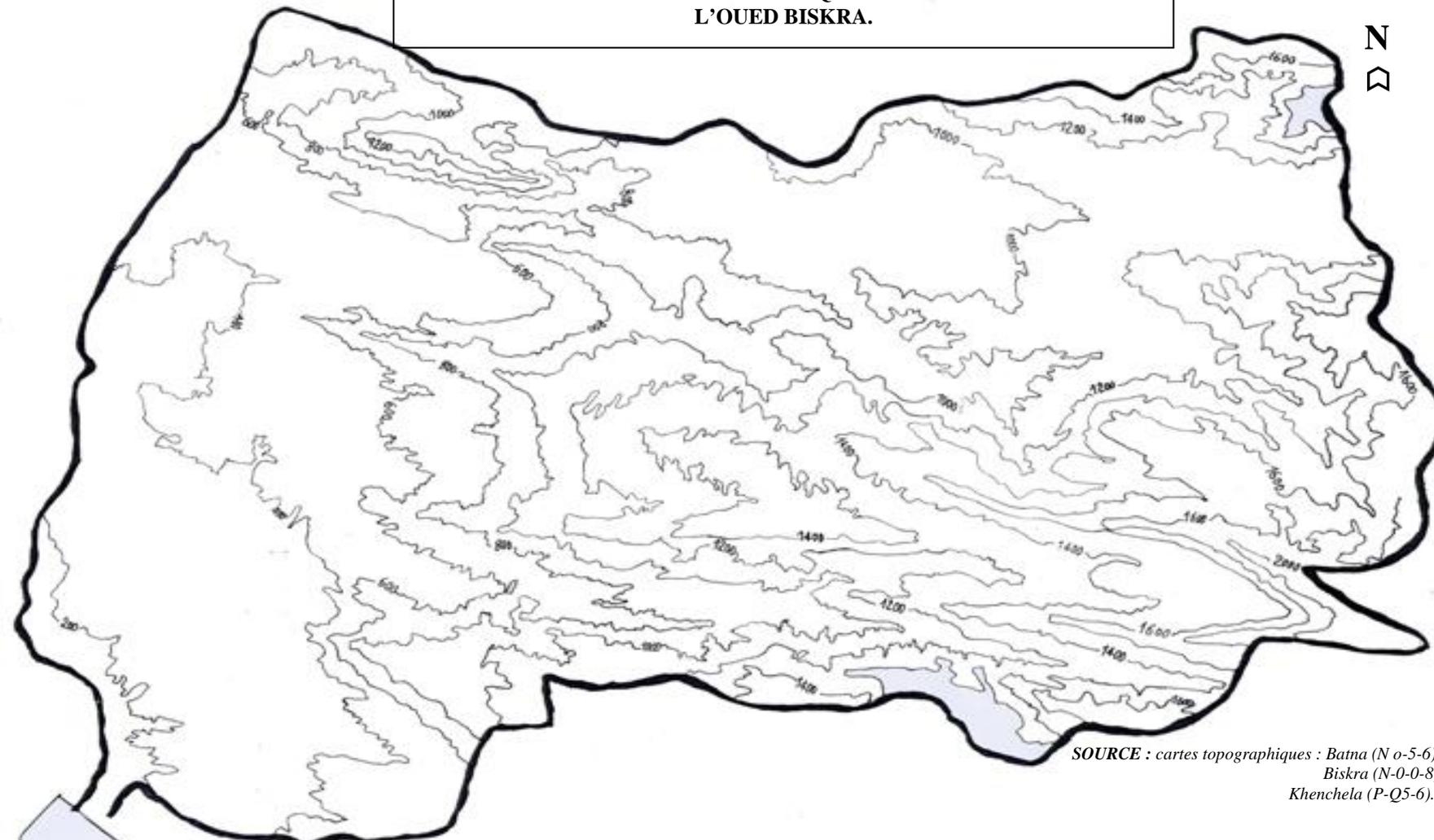
$S$  : surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

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

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

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

CARTE N°02 : CARTE HYSOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED BISKRA.



La ville de Biskra.

LEGENDE

	Limite du bassin versant.
	Courbe de niveau.
Equidistance =100m.	Echelle : 1/200.000

**Tableau n°02 : La 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 <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%						
2000-2321	1,60	0,09	1,60	0,09	14,06	1,55	14,06	1,55					15,66	0,562	15,66	0,562
1800-2000	29,20	1,63	30,80	1,72	7,114	0,785	21,174	2,335					36,314	1,303	51,974	1,865
1600-1800	122,00	6,82	152,80	8,54	7,78	0,86	28,954	3,195					129,78	4,657	181,754	2,522
1400-1600	166,40	9,31	319,20	17,85	140,23	15,48	169,184	18,675					306,63	11,00	488,834	17,522
1200-1400	136,40	7,63	455,60	25,48	210,458	23,23	379,642	41,905					346,858	12,445	835,242	29,967
1000-1200	320,80	17,94	776,40	43,42	157,173	17,348	536,815	59,253	1,239	1,33	1,239	1,33	479,212	17,195	1314,454	47,162
800-1000	386,802	21,63	1163,202	65,05	69,223	7,64	606,038	66,893	5,765	6,199	7,004	7,529	461,79	16,57	1776,244	63,732
600-800	199,188	11,14	1362,39	76,19	38,798	4,282	644,836	71,175	12,894	13,86	19,898	21,389	250,88	9,00	2027,124	72,732
400-600	240,039	13,425	1602,429	89,615	121,031	13,359	765,867	84,53	11,56	12,43	31,458	33,819	372,63	13,37	2399,754	86,102
200-400	178,524	9,88	1780,953	99,595	124,984	13,795	890,851	98,325	47,672	51,26	79,13	85,079	351,18	12,60	2750,934	98,702
150-200	7,141	0,399	1788	100,00	15,149	1,672	906	100,00	13,87	14,91	93,00	100,00	36,16	1,297	2787,09	100,00

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 sous bassin, elle est constituée par les sommets de Djebel El Mahmel, Azeg, Boutlarmine 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.

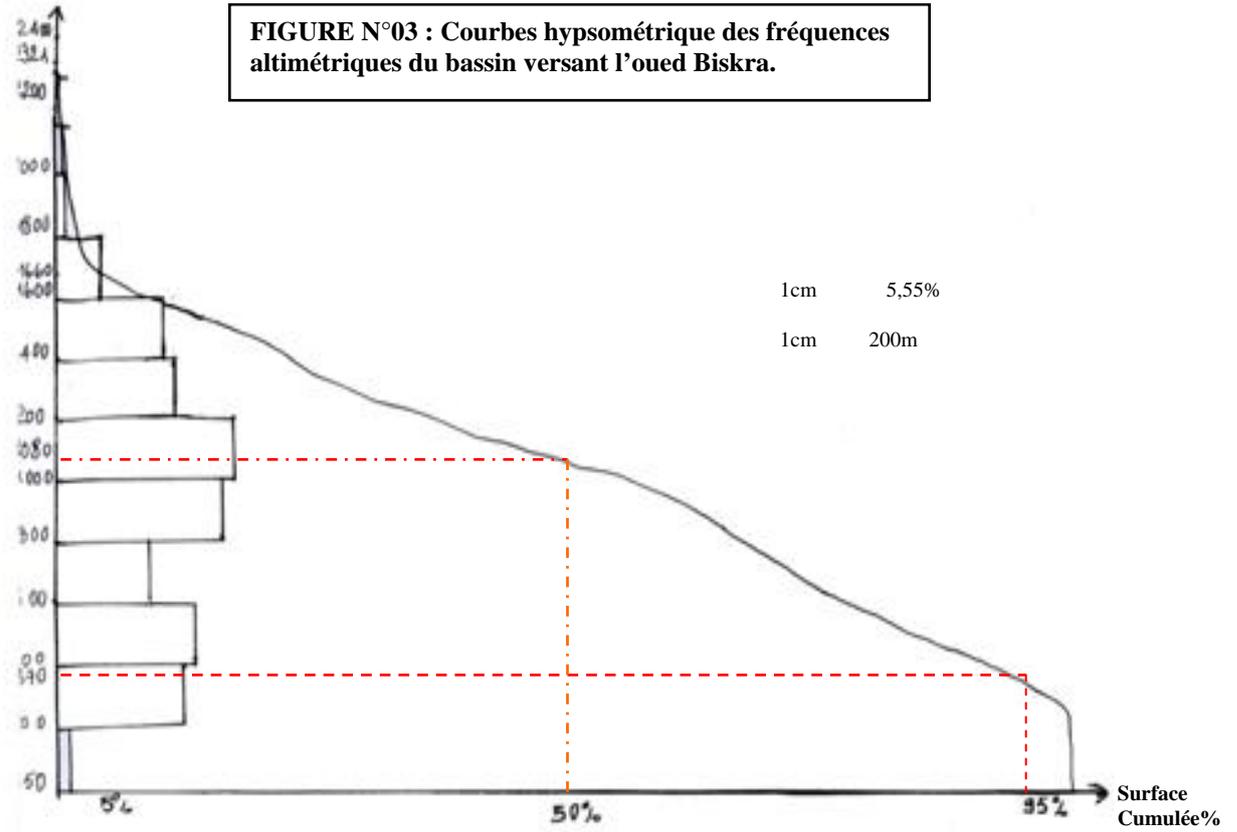
Dans le sous bassin de l'oued El Hai c'est la tranche 500-1000m, qui s'étend sur plus de 50% de la surface. Alors que dans le sous bassin de l'oued Djemoura à caractère montagneux c'est la tranche (1300m-1700m), qui s'étend sur plus de 56% de sa surface, ce qui implique une plus forte abondance des précipitations 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°03 : Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires de l'oued Biskra.**

Bassin	Altitudes caractéristiques en (m)						
	Hmax	Hmin	D=Hmax-Hmin	Hmoy	H <sub>50%</sub>	H <sub>5%</sub>	H <sub>95%</sub>
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

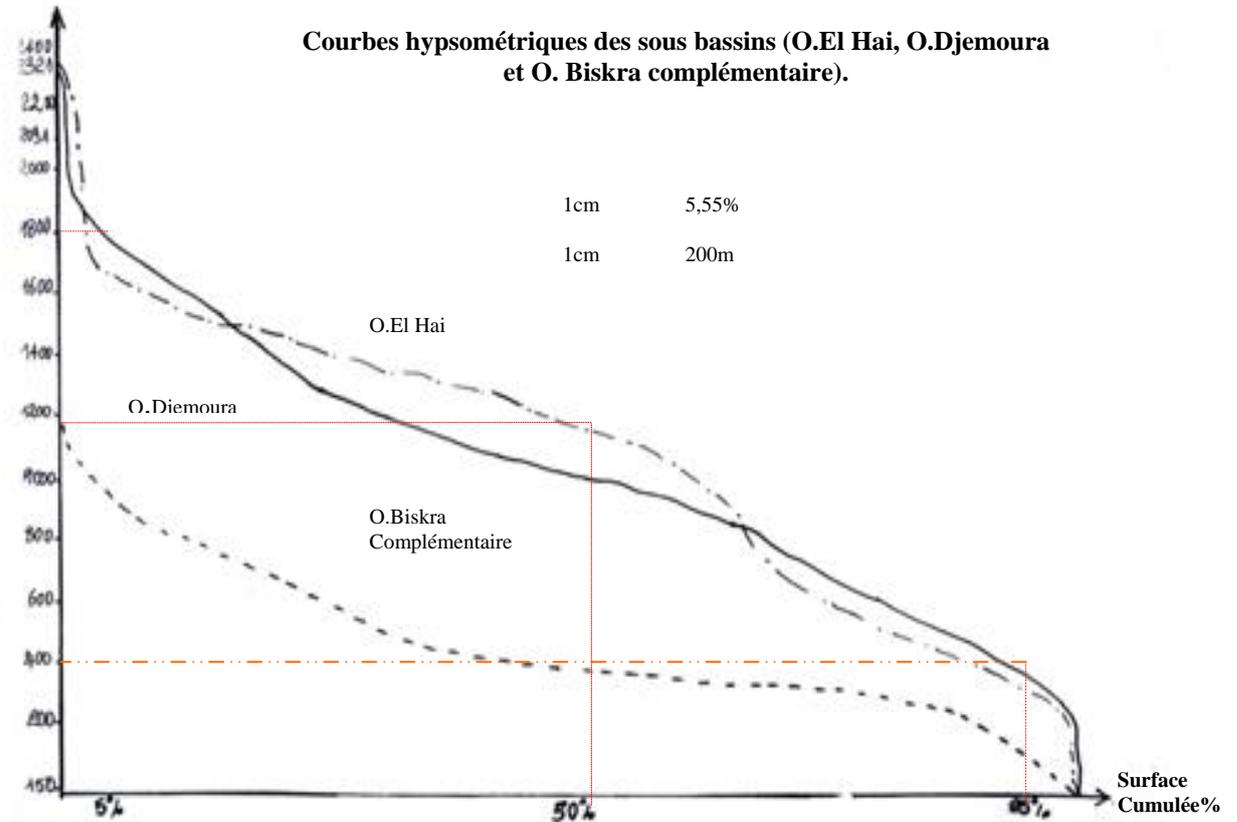
Altitude (m)

**FIGURE N°03 : Courbes hypsométrique des fréquences altimétriques du bassin versant l'oued Biskra.**



Altitude (m)

**Courbes hypsométriques des sous bassins (O.El Hai, O.Djemoura et O. Biskra complémentaire).**



### 1.3.3 La 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°04 : Indices de compacité pour les sous bassins de la région d'étude.**

Bassin	S. (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)	Indice de compacité Kc
El Hai	1788	229	1,52
Djemoura	906	184	1,71
Biskra.compl	93	99	2,87
Biskra	2787	250	1,33

Les résultats de calcul (tableau n°04) 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.

### 1-3.4) Le 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°05).

**Tableau n°05 : Indices des pentes pour les différents sous bassins.**

Bassin	Superficie (km <sup>2</sup> )	L (Km)	Ip <sup>(1)</sup>	Ig (m\km) <sup>(2)</sup>	Ds (m) <sup>(3)</sup>	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	0,130	16,985	163,80	Assez fort
Biskra	2787	95,22	0,140	14,49	764,96	Très fort

Les résultats consignés dans le tableau n°05 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.

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.

---

(1) : Ip : indice de pente de Roche ;  $I_p = \sum_1^n \sqrt{S_i \cdot H_i} / \sqrt{L}$

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

L : Longueur du rectangle équivalent en m.

$$L = \frac{\sqrt{S} \cdot c}{0.128} \left[ 1 + \sqrt{1 - (1.128/c)^2} \right]$$

C : Indice de compacité de Gravelius.

S : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).

(2) : Ig : Indice de pente globale ;  $I_g = \frac{H_u}{L}$  en (m/km).

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

(3) : Ds : Dénivelée spécifique ;  $D_s = I_g \sqrt{S}$

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 (carte n° 04).

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 (carte n°4) :

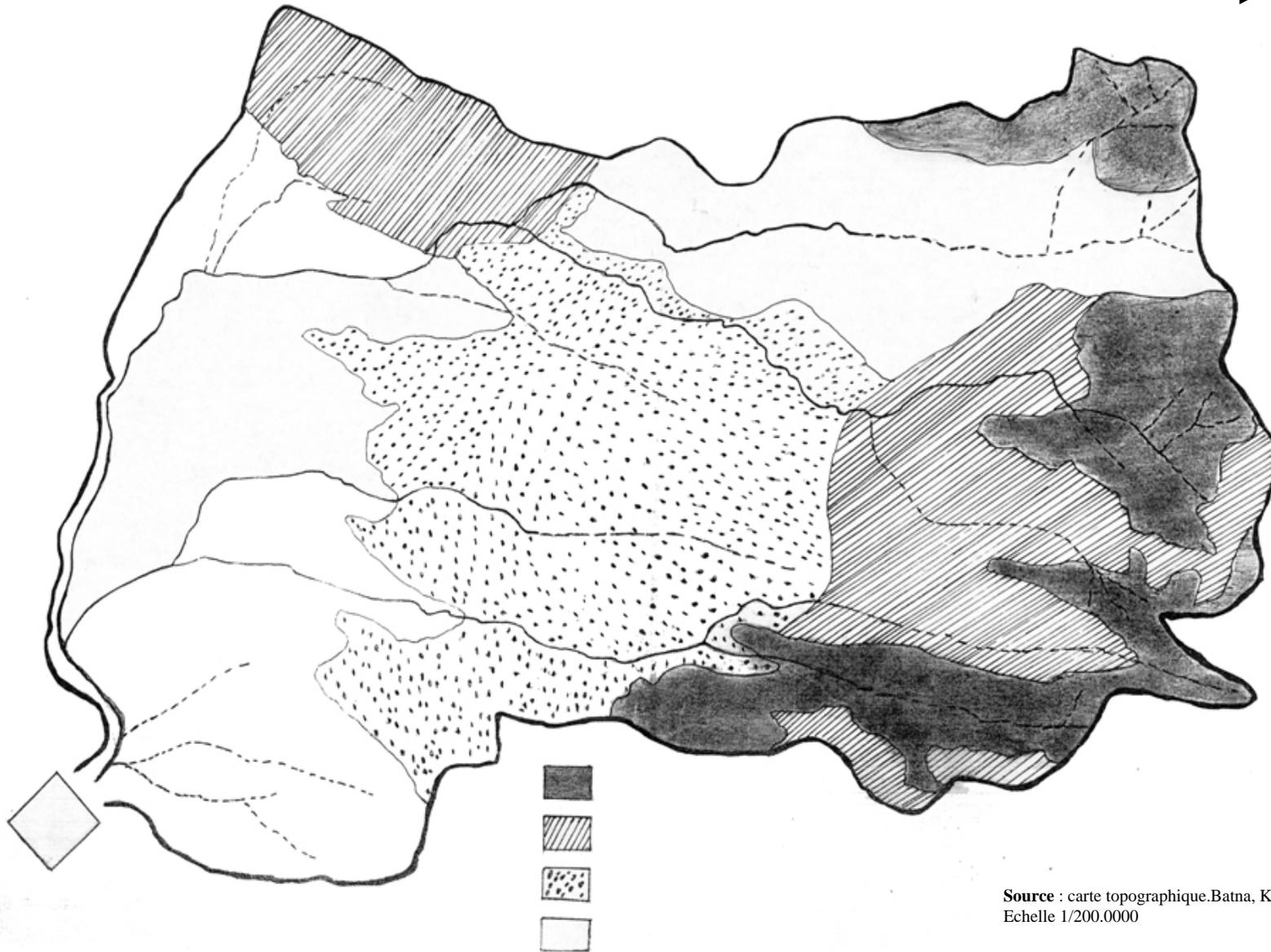
La classe des pentes (< 5%) est la plus prédominante, soit 50% de la surface du bassin elle s'étend dans la partie Sud du bassin versant l'oued Biskra et une partie au Nord-Est de celui-ci ; c'est un secteur de plaine, où les conditions sont favorables à l'écoulement superficiel.

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.

CARTE N°04 : ESQUISE DES PENTES DU BASSIN  
VERSANT DE L'OUED BISKRA.



Source : carte topographique. Batna, Khenchla, Biskra.  
Echelle 1/200.000

#### ***I-4) Le 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 km<sup>2</sup>, dont la confluence donne naissance à l'oued Biskra à une altitude de 200m (carte n°05).

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 Tiltou 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 Lafrah 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 Besbas, qui est un petit cours d'eau de moindre importance.

##### ***B. Tracé en plan :***

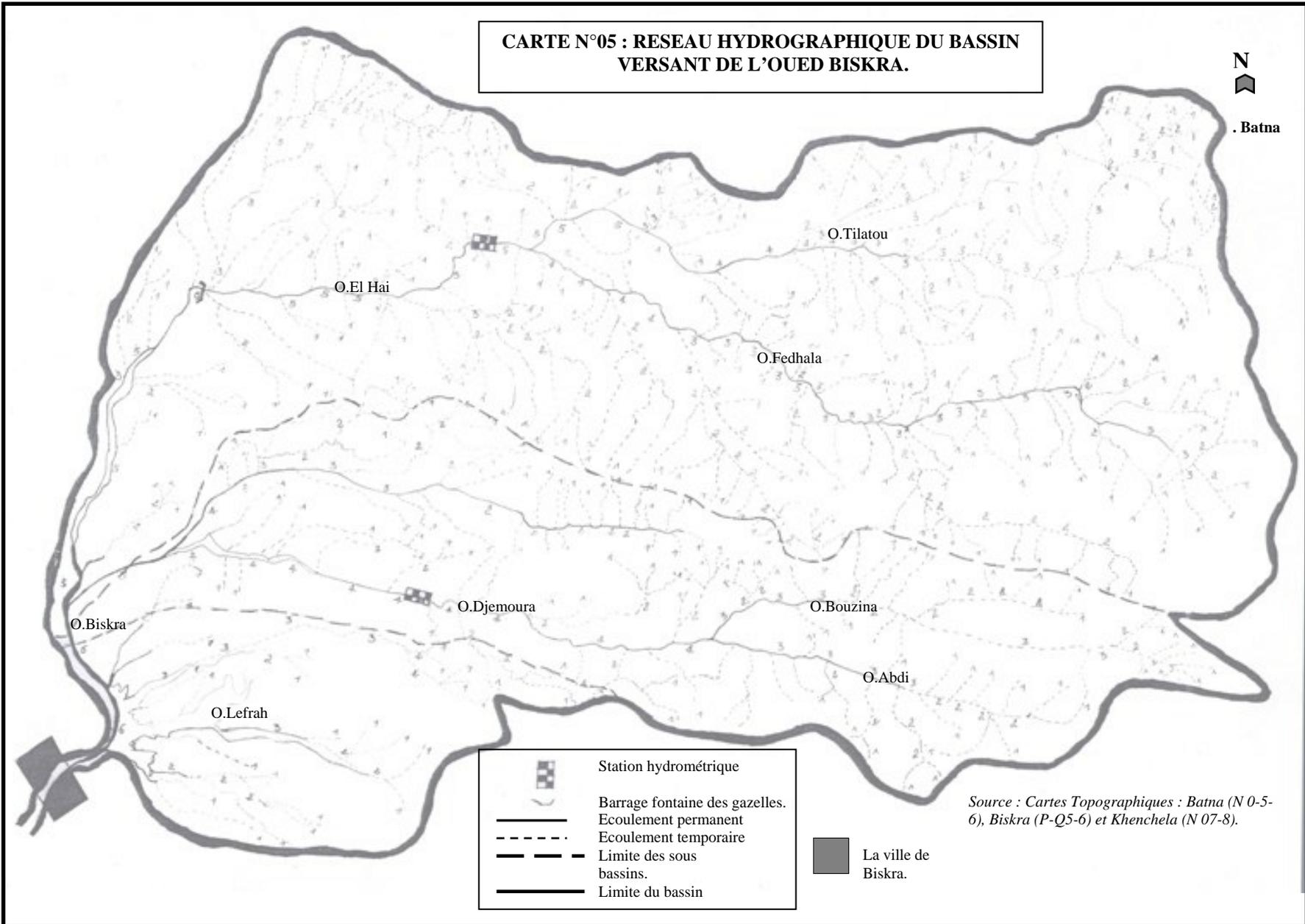
Le tracé de chevelu hydrographique d'un bassin est déterminé à partir des cartes topographiques.

Pour la classification des talwegs nous avons opté celle de Schum ; toute tronçon de rivière formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre  $x_i$ , un tronçon d'ordre  $x_{i+1}$  garde le même ordre de la rencontre d'un autre d'ordre  $x_i$  (voir tableau n° 06).

**CARTE N°05 : RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN  
VERSANT DE L'OUED BISKRA.**



. Batna



Source : Cartes Topographiques : Batna (N 0-5-6), Biskra (P-Q5-6) et Khenchela (N 07-8).

**Tableau n°06 : Classification, longueur et nombre des cours d'eau du bassin versant de l'oued Biskra et ses bassins élémentaires.**

x	B.V El Hai		B.V Djemoura		B. V Biskra comp		B.V Biskra	
	N <sub>x</sub>	L <sub>x</sub> (km)	N <sub>x</sub>	L <sub>x</sub> (km)	N <sub>x</sub>	L <sub>x</sub> (km)	N <sub>x</sub>	L <sub>x</sub> (km)
1	216	515,9	107	433,5	27	70,6	350	1020
2	73	203	51	106,2	17	46,8	141	356
3	41	81,2	19	54	07	38	67	173,2
4	14	40,5	16	42,5	01	03	31	86
5	13	51,6	01	11	-	-	14	62,6
6	-	-	-	-	01	13	01	13,00
<b>total</b>	<b>357</b>	<b>892,2</b>	<b>194</b>	<b>647,2</b>	<b>53</b>	<b>171,4</b>	<b>604</b>	<b>1710,8</b>

**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)<sup>(1)</sup>.

La mesure de ce paramètre suppose la reproduction de tous les affluents du bassin quel que soit leur ordre (carte n°05).

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°07).

**Tableau n°07 : Densité de drainage pour le bassin de l'oued Biskra et ces bassins élémentaires.**

Bassin versant	Surface (km <sup>2</sup> )	Lp (km)	Lt (km)	Dd (km/km <sup>2</sup> )	Dd <sub>p</sub> (km/km <sup>2</sup> )	Dd <sub>t</sub> (km/km <sup>2</sup> )
<b>El Hai</b>	1788	146	746,2	0,50	0,082	0,42
<b>Djemoura</b>	906	88,4	558,8	0,71	0,098	0,62
<b>Biskra.compl</b>	93	32	139,4	1,84	0,34	1,50
<b>Biskra</b>	2787	266,4	1444,4	0,61	0,096	0,52

Lp : Longueur des cours d'eau à écoulement permanent ; DdP : Densité de drainage permanente.

Lt : Longueur des cours d'eau à écoulement temporaire ; Dd<sub>t</sub> : Densité de drainage temporaire.

Dp : Densité de drainage totale.

(1) : la densité de drainage :  $Dd = \frac{L}{A}$  en (km/km<sup>2</sup>)

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

A : Surface du bassin versant en km<sup>2</sup>.

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/km<sup>2</sup>) 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/km<sup>2</sup>) 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/km<sup>2</sup>), 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 Lafrah et ses affluents forment un réseau de drainage moins dense (0,34 km/km<sup>2</sup>) quant à la densité de drainage temporaire est de 1,50 km/km<sup>2</sup> ; 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/km<sup>2</sup> et une densité de drainage permanente très faible (0,098 km/km<sup>2</sup>) 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. Le 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 <sup>(1)</sup> est largement utilisé, comme paramètre hydrologique de grande importance qui sert aussi à la comparaison des bassins différents.

---


$$(1) \quad T = \frac{4(S)^{1/2} + 1,5Lp}{0,8.(H)^{1/2}}$$

Tc : Temps de concentration en heure.

Lp : Longueur du talweg principal (km).

S : Superficie du bassin (km<sup>2</sup>).

H : Hmoy-Hmin en (m).

Hmoy : Altitude moyenne du bassin en (m).

Hmin : Altitude minimale du bassin (m).

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.

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 (carte n°05).

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 (tableau n°08 et figure n°05-a).

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 (tableau n°09 et figure n°05-b).

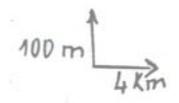
La forme du profil longitudinal est faiblement concavé, le rôle morphogénique est peu marqué les deux affluents principaux n'ont pas équilibré leur profil longitudinal ; ils se trouvent au stade de jeunesse de leur développement, possèdent une grande potentialité d'érosion latérale de fond et un grand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

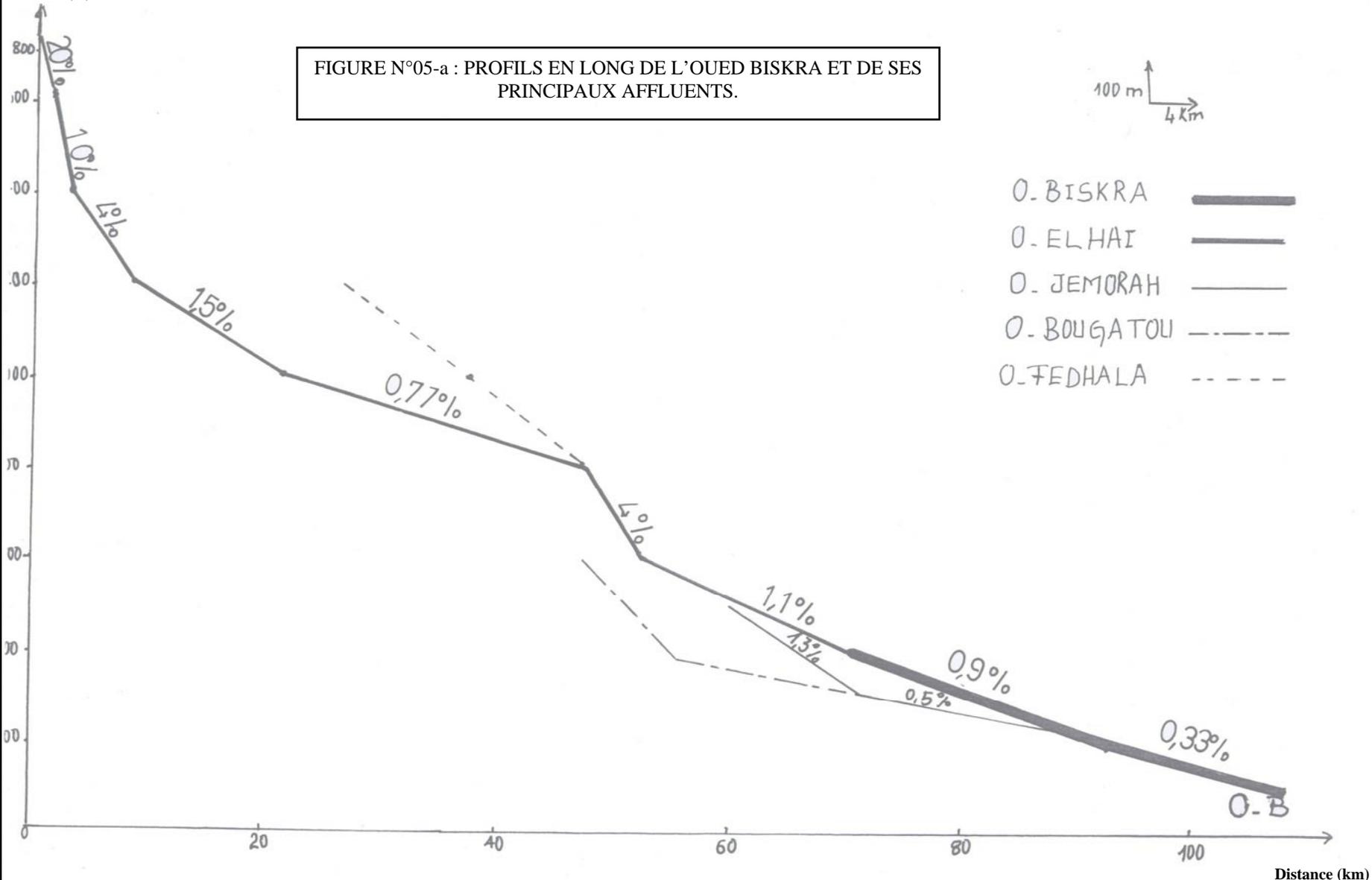
Un autre affluent (Bouguatou) 45km de longueur se prend naissance à une altitude de 1400m il présente un profil longitudinal faiblement concavé, exprimant sa jeunesse géologique et son potentiel morphologique élevé 2 à 8,5% à l'amont et 0,71 à 4,6% à l'aval. Ces pentes sont à l'origine de crues rapides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

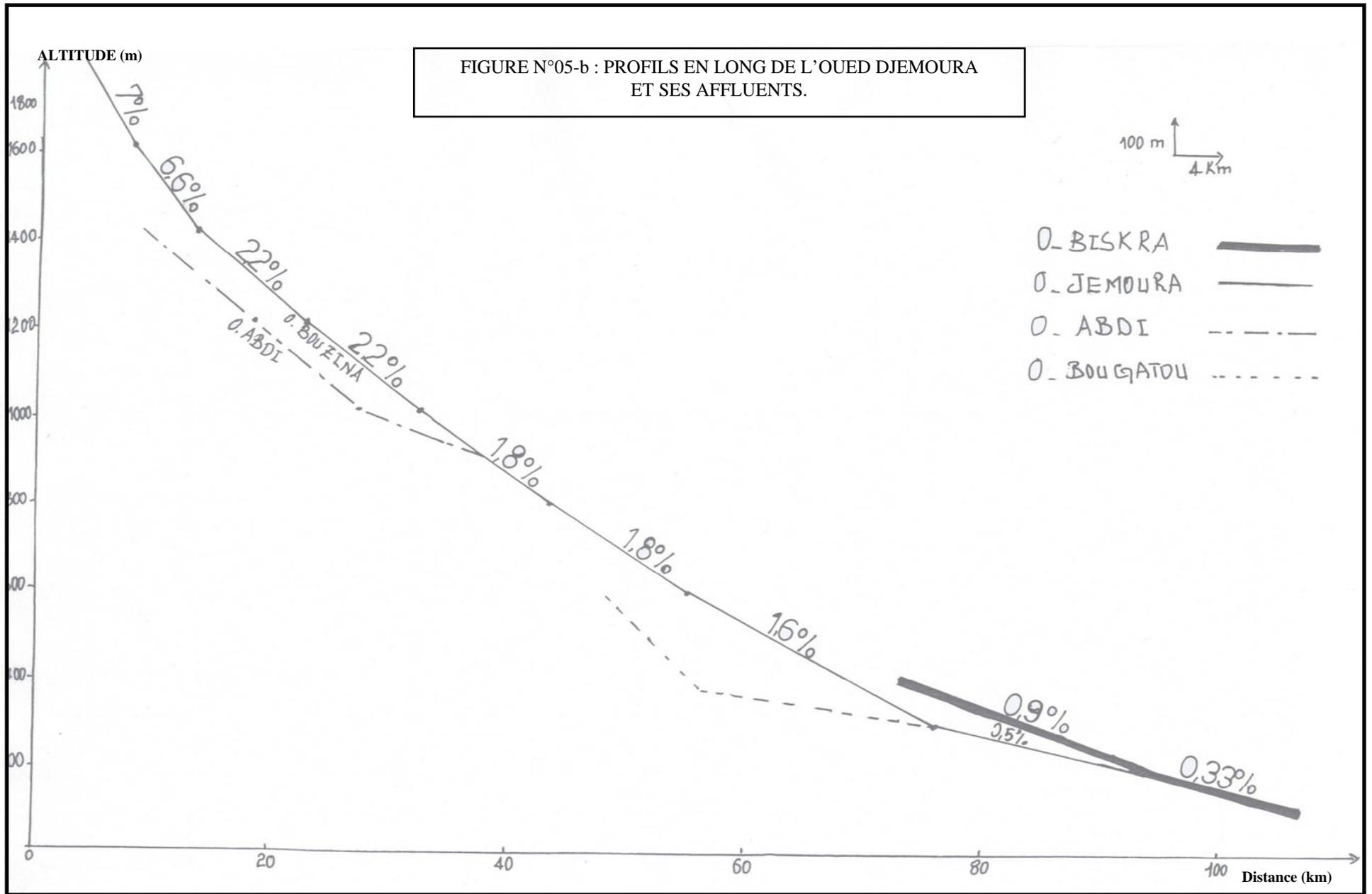
Altitude (m)

FIGURE N°05-a : PROFILS EN LONG DE L'OUED BISKRA ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS.



- O. BISKRA
- O. EL HAI
- O. JEMORAH
- O. BOUGATOU
- O. FEDHALA





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.

Et 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 50km 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. 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 (0,34km/km<sup>2</sup>).

**Tableau n°08 : Répartition des affluents principaux du sous bassin de l'oued El Hai d'après la pente de leur lit.**

<b>Tranche d'altitude</b>	<b>Valeur de pente (%)</b>	<b>Distance parti km</b>	<b>Distance cum (km)</b>
<b>150-200</b>	0,33	15,0	15,0
<b>200-400</b>	0,9	22,0	37,0
<b>400-600</b>	1,1	18,0	55,0
<b>600-800</b>	4,0	9,00	60,0
<b>800-1000</b>	0,77	26,0	86,0
<b>1000-1200</b>	1,50	13,0	99,0
<b>1200-1400</b>	4,0	6,00	105,0
<b>1400-1600</b>	20	1,00	106,0
<b>1600-1800</b>	10	2,20	108,0

**Tableau n°09 : Répartition des affluents principaux du sous bassin de l'oued Djemoura d'après la pente de leurs lits.**

Tranche d'altitude	Valeur de pente (%)	Distance parti km	Distance cum (km)
150-200	0,6	8,0	8,0
200-400	1,33	15,0	23,0
400-600	1,6	12,0	35,0
600-800	1,8	11,0	46,0
800-1000	1,8	11,0	57,0
1000-1200	2,2	9,0	66,0
1200-1400	2,2	9,0	75,0
1400-1600	6,6	3,0	78,0
1600-1800	5,00	4,0	82,0
1800-2000	10,0	2,0	84,0

**Tableau n°10 : Tableau récapitulatif des résultats.**

Paramètre	Unité	El Hai	Djemoura	Biskra. comp	Biskra
Surface du bassin	Km <sup>2</sup>	1788	906	93	2787
Périmètre du bassin	Km	229	184	99	250
Indice de compacité		1,52	1,71	2,87	1,33
Altitude maximale	m	2091	2321	1270	2321
Altitude moyenne	m	200	200	150	150
Altitude minimale	m	956	998	410	950
Altitude médiane	m	1060	1200	400	1080
Longueur du rectangle équivalent	m	95,17	79,92	47,10	95,22
Indice de pente de roche		0,315	0,146	1,30	0,14
Indice de pente globale		14,71	16,78	16,98	14,49
Dénivelée spécifique	m	622	505,07	163,797	764,957
Densité de drainage globale	Km/km <sup>2</sup>	0,50	0,71	1,84	0,61
Densité de drainage permanente	Km/km <sup>2</sup>	0,082	0,098	0,34	0,096
Densité de drainage temporaire	Km/km <sup>2</sup>	0,42	0,62	1,50	0,52
Longueur du talweg principal	m	107	93	57	108
Temps de concentration	heure	15	11,47	9,62	17

## 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 crues.

# CHAPITRE II

## Les Caractéristiques Géologiques Lithologiques Et Leur Impact Sur Les Crues

**Chapitre II*****Les caractéristiques géologiques, lithologiques et leur impact sur les crues.***

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 :

***II-1) La 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).

***II-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) (voir carte n°06).

***II-2-1) Le 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 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 Menaa, cette série est bien liée et attribuée au jurassique.

Alors que le crétacé supérieur qui s'étend du cénonanien 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 cénonanien-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.



**II-2-2) Le 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 :

- La première appartient au miocène inférieur, elle occupe les reliefs de Maafa, Djebel Mahmal et Kef Ed Darsa (au Sud d'El Kantara).

- 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.

- 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, verdâtre 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.

- 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.

- Le 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.

**II-2-3) Le Quaternaire** : les terrains quaternaires sont très répandus dans cette partie, ces formations sont caractérisées par des conglomérates épaisses, 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.

**II-3) Les 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 de la région ; les versants de la vallée à partir de Guerza jusqu'aux environs de Menaa 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 Menaa la lithologie devient assez variée on trouve à côtés des faciès marneux et calcaireux les faciès argilo-calcaires, en fait toute la localité de Menaa jusqu'aux environs d'Amentane est constituée des faciès diapiriques très errodables.

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 Menaa, toutes les zones cultivées en terrasses au

fond des oueds sont occupées par un matériel quaternaire constitué d'alluvions, qui ont été 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 approximativement 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 réduite : les masses de marnes associées aux conglomérats et calcaires sont représentées au Nord d'El Kantara.

En général, dans le bassin de l'oued Biskra on constate trois types de roches ou trois grands ensembles (voir carte n°07).

**1. Les 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 formations occupent 38% de la surface totale soit 1059km<sup>2</sup>, 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 km<sup>2</sup> et affleurent principalement en amont de Menaâ, les argiles rouges occupent toute la rive droite de l'oued Abdi et Biskra.

**2. Les formations à perméabilité moyenne :** Ces formations sont formées de calcaires du cénomanien supérieur et les formations dolomitiques, ainsi que les marnes du miocène. Elles apparaissent 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 caverneuse, 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 864km<sup>2</sup> de la surface du bassin soit 31%.

**3. Les 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.

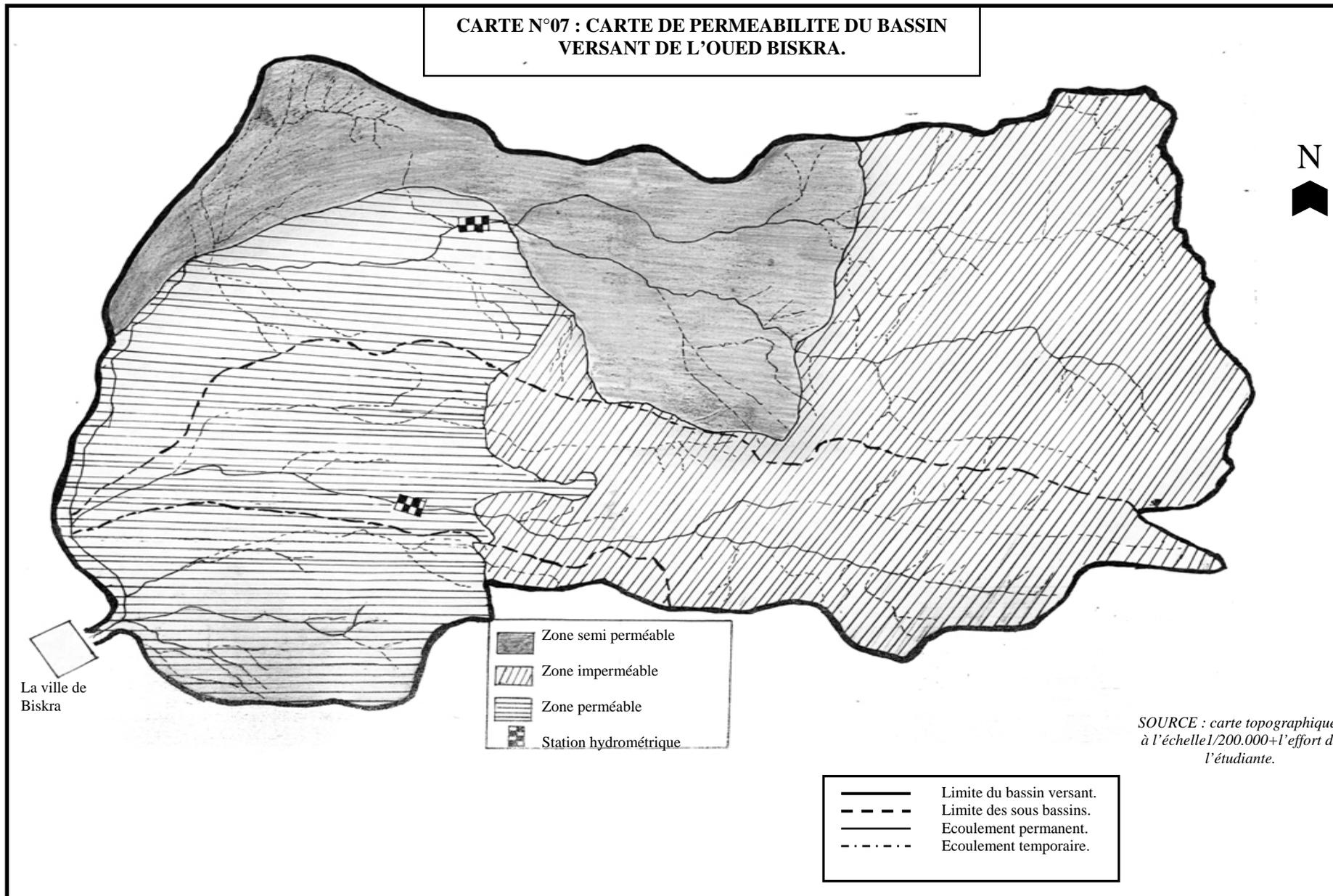
Ces terrains affleurent au Sud d'El Outaya, Ain Touta et le Nord des tamarins, ainsi que les pieds des montagnes ; leurs puissances peuvent atteindre 400m.

- 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.

- Les grés calcaireux très vacuolaires, qui correspondent aux marno-calcaires miocène et les divers recouvrements quaternaires, très peu consolidés formés de débris calcaires ou dolomitiques à taille variable, parfois arrondis, de limon sableux et caillouteux verts.

Ces divers terrains possédant une porosité relativement importante, peuvent donc permettre l'infiltration des précipitations et en fonction de leur épandage, le drainage des eaux vers les zones basses. Cette catégorie occupe 28% de la surface totale du bassin soit 780km<sup>2</sup>.

CARTE N°07 : CARTE DE PERMEABILITE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED BISKRA.



### 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 III

Le couvert végétal son état

Et son rôle sur les crues

Chapitre III***Le couvert végétale son état et son rôle  
sur les crues***

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.

***III-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.

***III-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.

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 soient 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. L'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 2001), 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°11).

**Tableau n°11 : Répartition des types de végétation.**

Type de végétation	Surface en hectare	Surface en pourcentage (%)
<b>Forêts et maquis</b>	75443,63	27,07
<b>Céréales, maraîchages et arboricultures,...</b>	16393	5,882
<b>Prairies naturelles</b>	273,13	0,098
<b>Steppes d'alfas</b>	186606	66,95

Source : statistiques agricoles 2001.

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

**Tableau n°12 : Répartition en % des types d'occupation du sol.**

1-Surfaces bien protégées		2- Surfaces incomplètement protégées	3- surfaces mal protégées ou nues
Forets 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

Source : statistiques agricoles 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 carte n°08).

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.

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 végétales 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 en 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.

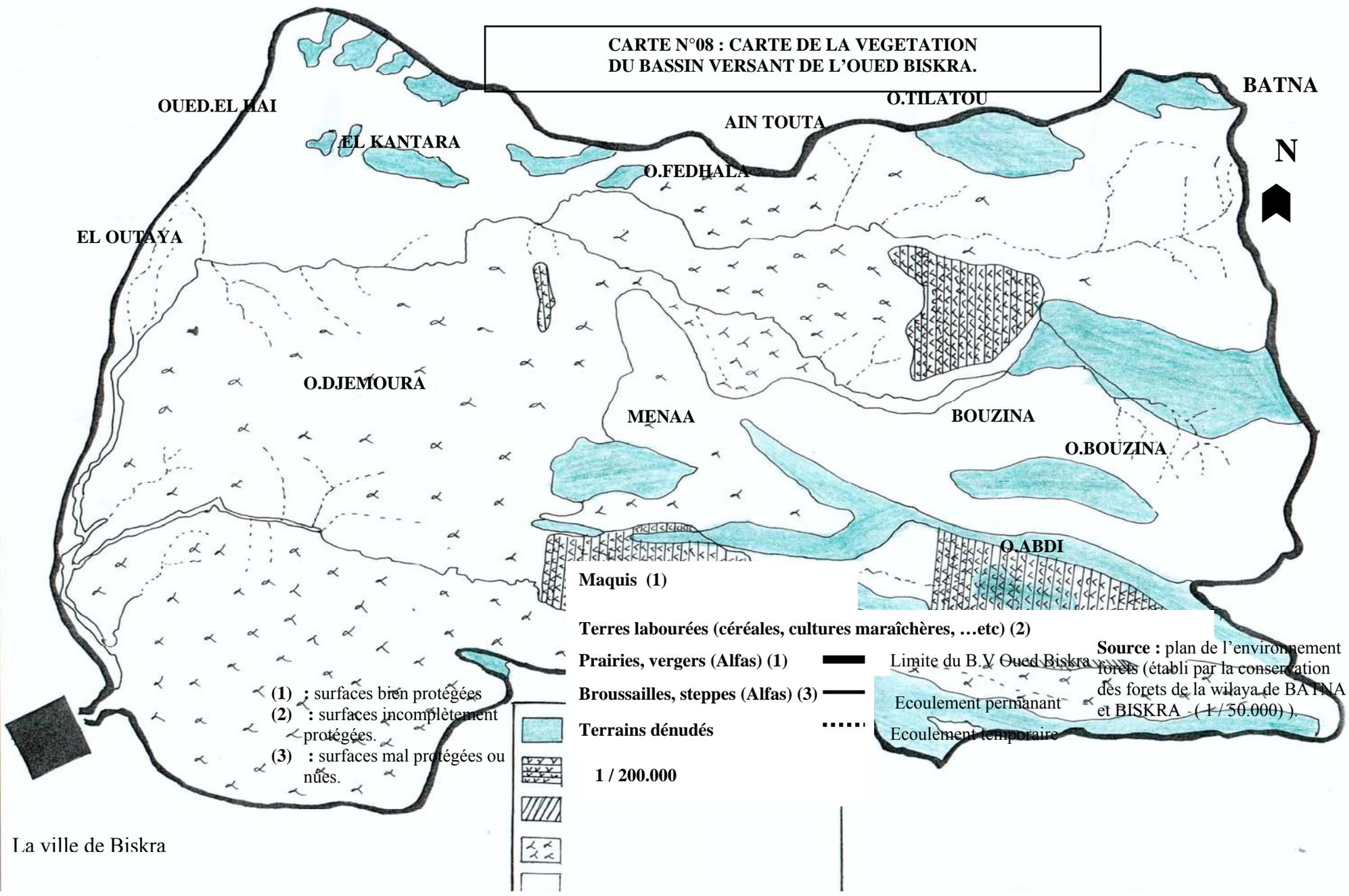
Malheureusement, cette barrière naturelle ne représente qu'à 27% du bassin de l'oued Biskra et se trouve généralement dans un état très dégradé, elle occupe les reliefs de Djebel Mahmel, Metlili et Asker.

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 sont 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.

**CARTE N°08 : CARTE DE LA VEGETATION  
DU BASSIN VERSANT DE L'OUED BISKRA.**



***III-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 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.

# CHAPITRE IV

## Etude Climatique

Chapitre IV**Etude climatique****IV-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.

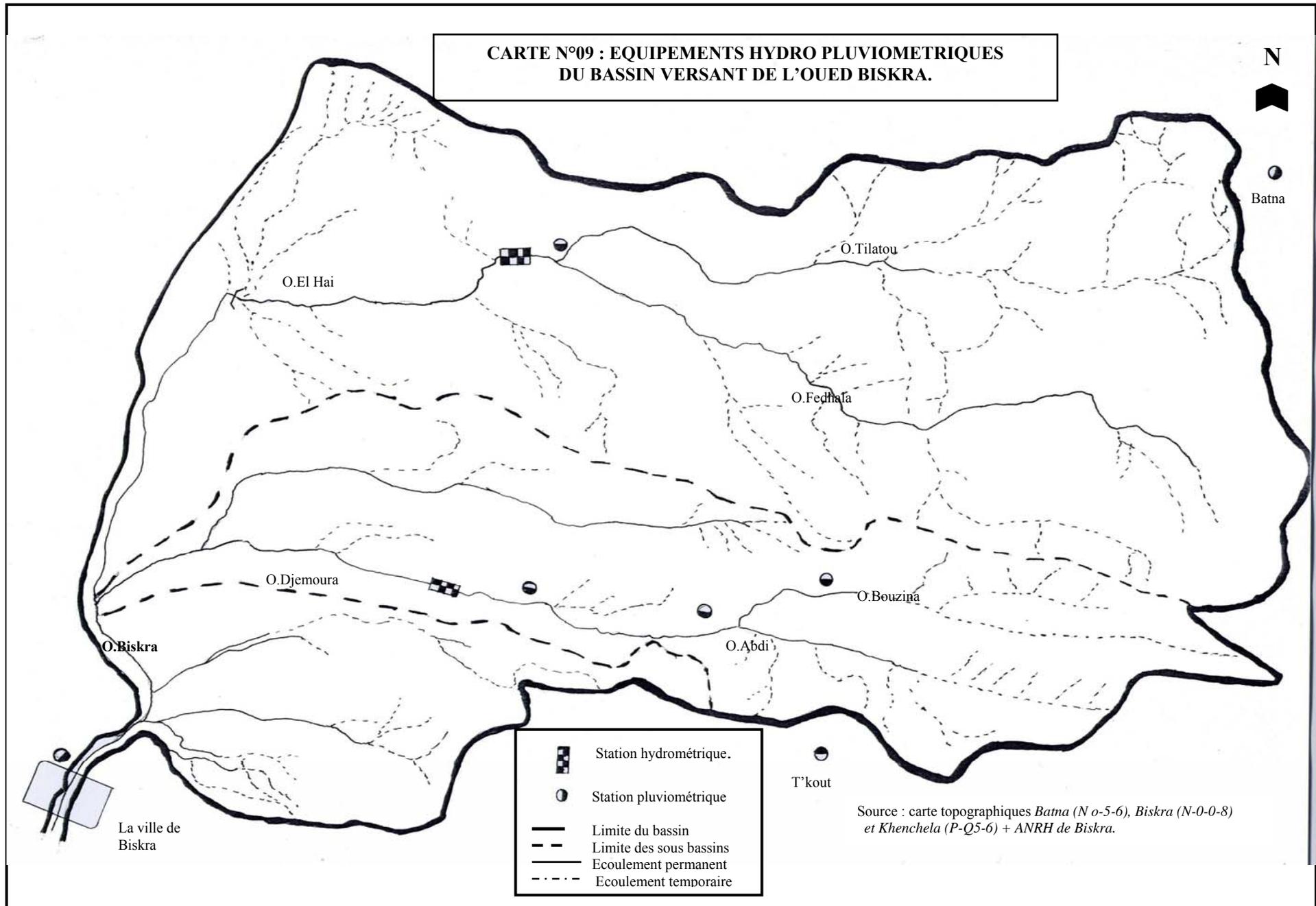
Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques : la température l'évaporation l'évapotranspiration, les vents et l'humidité aussi ; des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime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

**IV-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 plus part des stations connues 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 années de ces stations sont très utiles pour l'établissement des séries hydropluviométriques, qui vont être traitées ultérieurement (voir carte n°09).



**IV-2.1) Le 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°13 et carte n°09).

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 pluvieuse, 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.

**Tableau n°13 : Coordonnées des stations pluviométriques et leurs codes.**

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

ANRH (46 ans)

N°119<sup>(1)</sup> (37 ans)

Source : ANRH de Biskra.

**IV-2.2) Le 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.

(1) : Etude n°19, code 05-06, 07,12. Date : Juin 1979. Auteur : T.Bougnar.

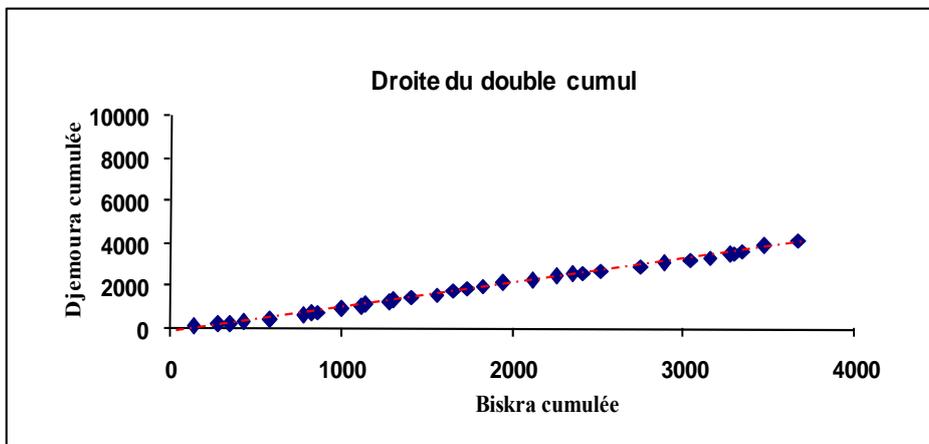
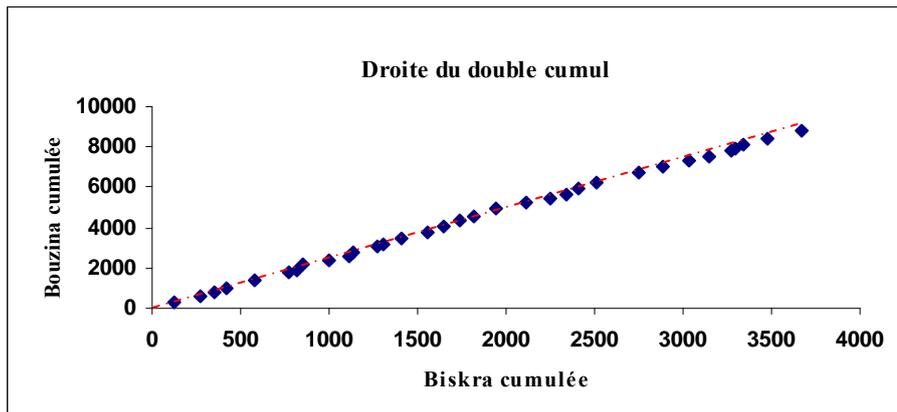
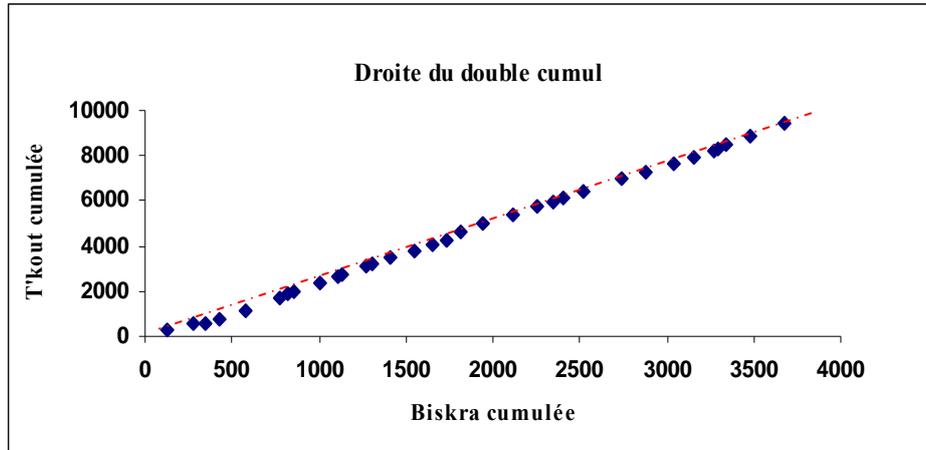
Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique. Service Hydraulique.

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°10), (annexe n°02).

Figure n° 10 : Critique des données pluviométriques par la méthode des doubles cumuls.



**IV-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°11).

**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.

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°14).

Figure n°11 : Régression à l'échelle mensuelle des précipitations.

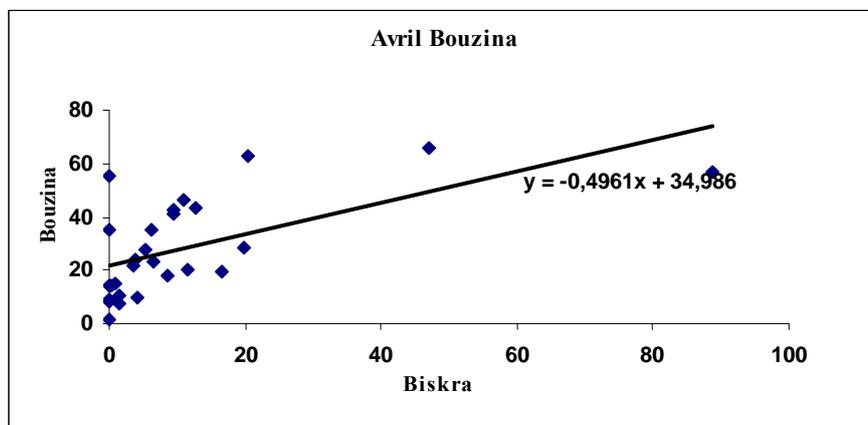
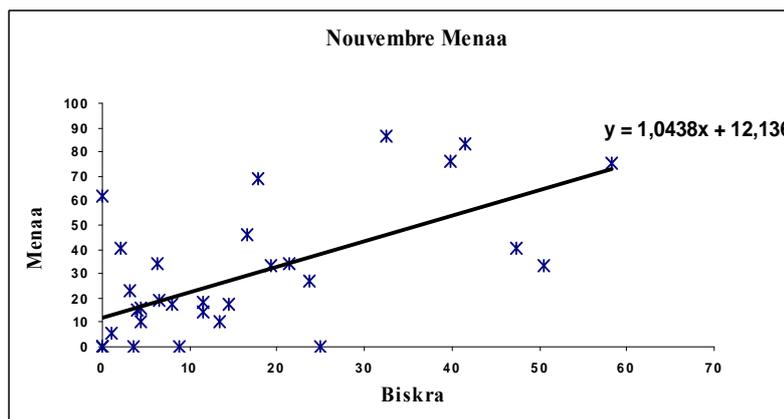
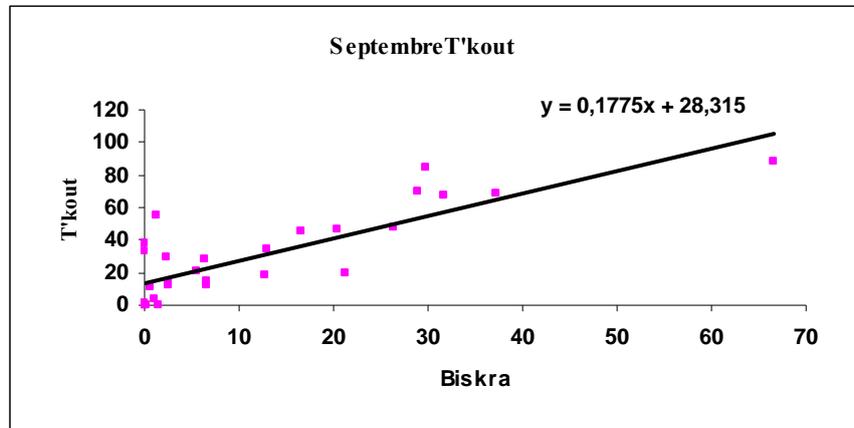


Tableau n°14 : Régression basée sur l'analyse par composante principales (ACP).

N°	Septembre Biskra	Septembre Bouzina	Septembre Djemoura	Septembre 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

#### IV-2.4) Les variations spatiales et temporelles sur le bassin :

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

Comme dans toute étude pluviométrique, nous sommes référés à une période d'observation qui s'étale du premier septembre 1971 au 31 août 2004 (33ans).

Plusieurs méthodes établies pour le calcul de la pluie moyenne annuelle précipitée sur le bassin versant dont on a choisi :

**a. La 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 :

$$P_m = \bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

$P_m$  : pluie moyenne annuelle (mm).

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

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

**Tableau n°15 : Application de la méthode de moyenne arithmétique au calcul de la pluie moyenne annuelle.**

Station	Batna	Bouzina	T'kout	Menna	Djemoura	Biskra	El Kantara
Pi (mm)	373	284	288	247	139	132	230
Nombre d'année d'observation	46	33	33	33	33	42	37
Observation	ANRH 1985	-	-	-	-	ANRH 1999	Etude n°19 <sup>(1)</sup>

Pour le bassin versant de l'oued Biskra la méthode de moyenne arithmétique a donné une pluie moyenne annuelle de  $\bar{P}=P_m=242$  mm.

**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 :

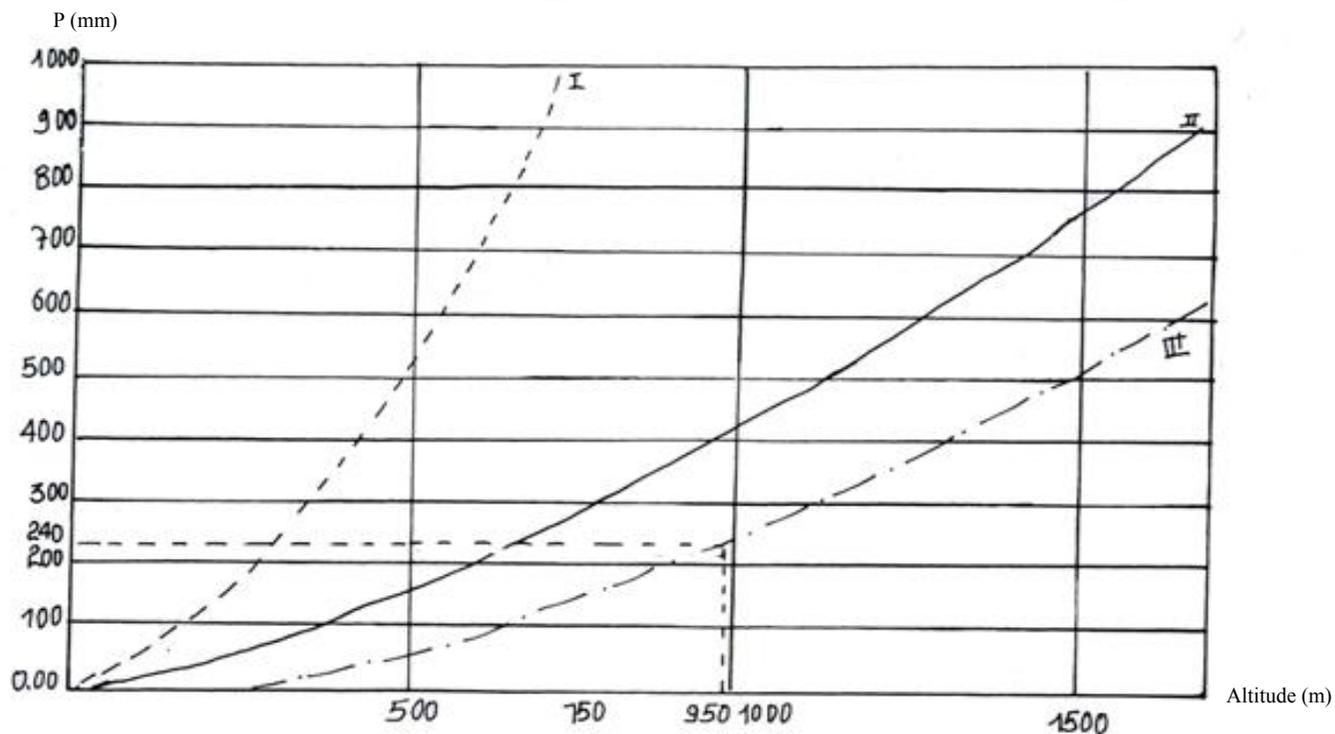
- La hauteur des pluies augmente de l'Ouest à l'Est.
- La pluie augmente avec l'altitude, celle-ci est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les versants sous les vents secs.
- La pluie diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

Une simple lecture sur le graphique correspondant à notre zone d'étude l'oued Biskra donne une valeur pluviométrique moyenne de 240mm (figure n°12).

(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.

FIGURE N°12 : GRAPHIQUE DE "P.SELTZER" LES TROIS LOIS DE L'ALGERIE.



Courbe I : Littoral.  
 Courbe II : Atlas Tellien Algérois-constantinois.  
 Courbe III : Atlas Tellien oranais-hautes plaines.  
 Atlas saharien, sahara.

**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 (carte n°13).

La construction est la suivante :

- Les stations disponibles étant reportées sur une carte.
- On trace une série de droite 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.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n SiPi}{St}$$

Avec :

$\bar{P}$  : Pluie moyenne sur l'ensemble du bassin (mm).

$Si$  : surface élémentaire d'égale précipitation (km<sup>2</sup>).

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

$St$  : surface totale du bassin (km<sup>2</sup>).

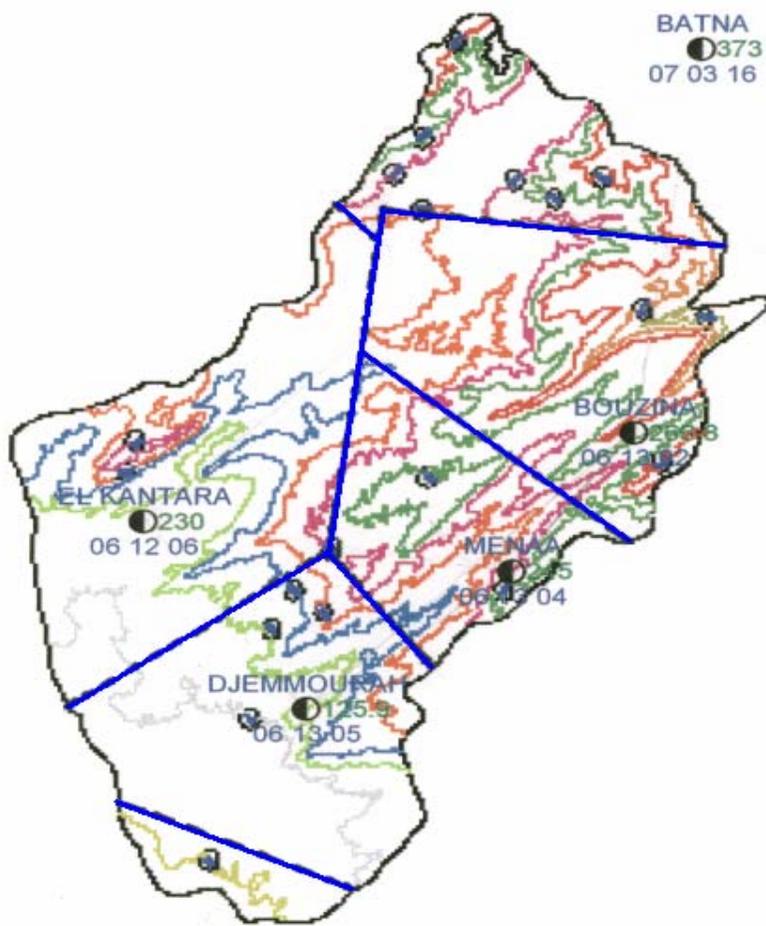
Les résultats sont répartis dans le tableau n°16.

**Tableau n°16 : Application de la méthode de Thiessen au calcul de la pluie moyenne annuelle**

Station	Précipitation Pi (mm)	Surface propre à chaque station Si (km <sup>2</sup> )	Pi × Si
<b>Batna</b>	373	356,965	133148,141
<b>Bouzina</b>	284	646,274	183541,9317
<b>T'kout</b>	288	0	0
<b>Mena</b>	247	367,374	90741,43725
<b>Djemoura</b>	139	595,832	82820,67249
<b>Biskra</b>	132	94,3456	12453,62643
<b>El kantara</b>	230	726,208	167027,8391
	TOTAL	2787	669733,648

La lame d'eau moyenne annuelle obtenue par cette méthode est égale à 240,3mm.

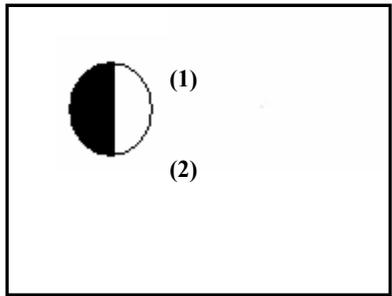
CARTE N°13 : DECOUPAGE DE LA SURFACE DU B.V DE L'OUED BISKRA SELON LA METHODE DE THIESSEN.



LEGENDE

- Limite du bassin
- (1) : pluie moyenne annuelle (mm).
- (2) : code de la station pluviométrique.

Echelle : 1/200.000



**d. Méthode des isohyètes :**

L'étude plus au moins précise des variations spatiales des précipitations annuelles moyennes passe par l'élaboration d'une carte d'isohyète, avec la série corrigée et homogénéisée (1971-2004).

On appelle isohyète les lignes d'égale hauteur de précipitation, l'utilisation des isohyètes est le procédé le plus rationnel et le plus précis, il tient compte de la réalité géographique et climatique de chaque région.

Si l'on dispose d'une carte de précipitations on l'utilise directement, sinon il faut tracer le réseau des isohyètes sur la carte du bassin (voir carte n°14).

Pour passer à la pluie moyenne ( $\bar{P}$ ) tombée sur la surface totale du bassin ( $S_t$ ), on planimètre chacune des surfaces élémentaires ( $S_i$ ) délimitées par les isohyètes ( $P_i$ ) et ( $P_{i+1}$ ). Comme le montre le tableau n°17.

On calcule ( $\bar{P}$ ) précipitée sur la surface du bassin en prenant la précipitation moyenne entre les deux isohyètes successives, par la surface comprise entre ces isohyètes, en totalisant ces produits et en divisant sur la surface totale du bassin versant.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S_t}$$

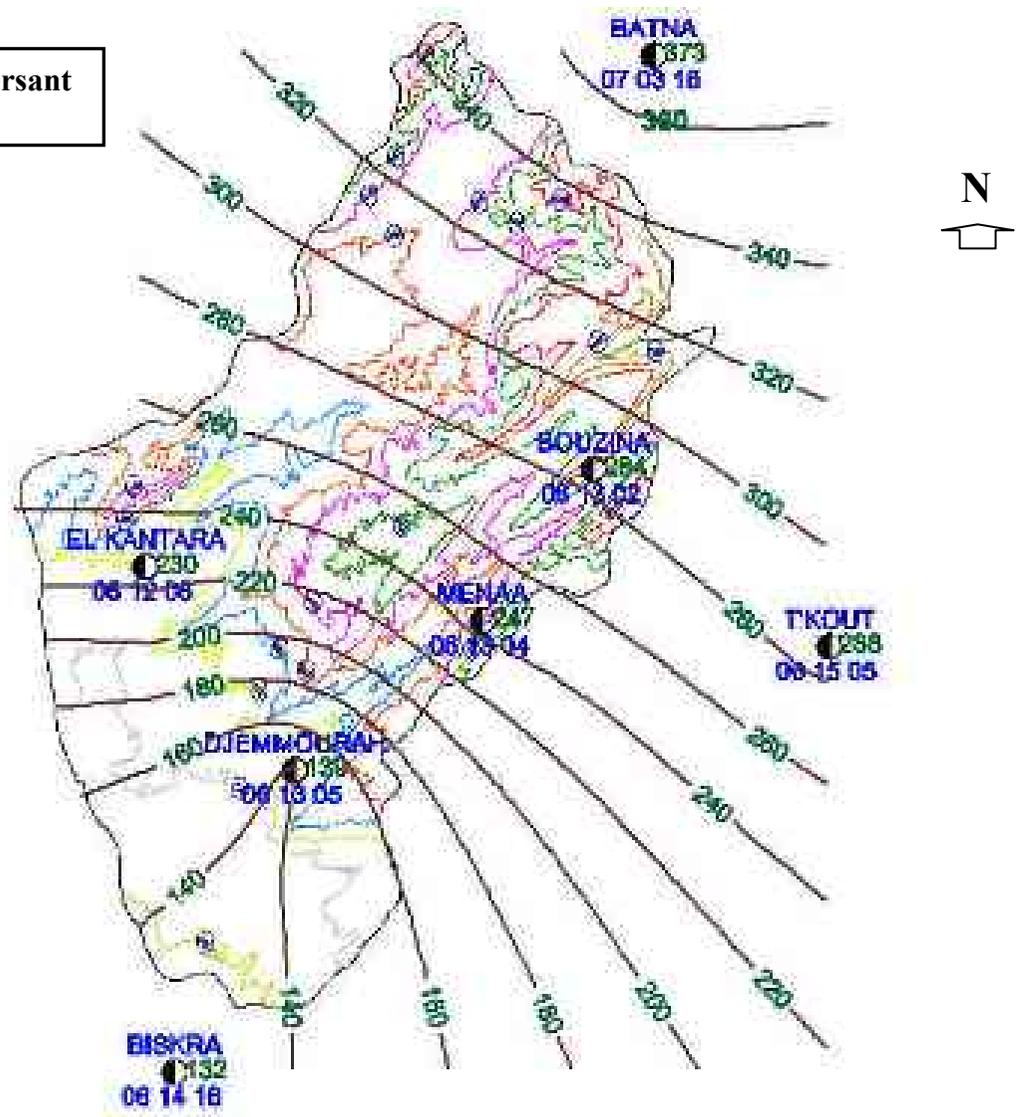
Avec :  $\bar{P}$  la pluie moyenne tombée sur le bassin (mm).

$P_i$  : précipitation moyenne entre les isohyètes successives (mm).

$S_i$  : surface comprise entre deux isohyètes successives (km<sup>2</sup>).

$S_t$  : surface totale du bassin versant (km<sup>2</sup>).

**Carte n° 14 : Carte des isohyètes du bassin versant de l'oued Biskra**



**LEGENDE**

-  300 Isohyète de pluie annuelle.
-  Poste pluviométrique.
- 300 : pluie moyenne annuelle.
- 06 14 16 : code de la station.
- Echelle : 1/200.000

Tableau n° 17 : La pluie moyenne annuelle calculée par la méthode des isohyètes.

Hauteur (mm)	Surface entre deux isohyètes Si (km <sup>2</sup> )	(P <sub>i</sub> +P <sub>i+1</sub> )/2	Si × (P <sub>i</sub> +P <sub>i+1</sub> )/2
<140	153,90	130	20010,53341
140-160	374,60	150	52143,65573
160-180	165,20	170	28084,84654
180-200	158,40	190	30095,86354
200-220	170,60	210	35827,99593
220-240	244,20	230	56154,74723
240-260	321,00	250	80250,52,71
260-280	308,2	270	83211,66651
280-300	299,4	290	86813,615447
300-320	283,0	310	87720,77496
320-340	254,2	330	83872,61987
340-360	81,4	350	28490,51951
	2787		672677,5794

Pour le bassin de l'oued Biskra ;  $\bar{P}=241,4\text{mm}$ .

A partir des valeurs des précipitations aux différentes stations, a été dressée une carte au 1/200.000 des isohyètes, avec un intervalle entre celles-ci de 20mm. Elle présente la répartition de pluies couvrantes la période 1971-2004.

Les valeurs extrêmes de la pluviométrie aux limites du bassin sont : 140mm à la partie Sud vers la station de Biskra et on peut observer une augmentation de la pluviométrie avec la topographie du bassin, elle dépasse 340mm dans la partie la plus élevée du versant ; où on trouve les altitudes dépassant 1900m (Djebel El Mahmel et les monts de Bellezma).

En général, la pluviométrie diminue du côté des versants vers l'oued principal, qui est l'oued Biskra du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

Presque la moitié de la superficie totale du bassin possède une pluviométrie inférieure à 280mm. Les tranches d'altitudes comprises entre 1200 à 2200m représentent 20% de la surface totale se caractérisent par un module pluviométrique supérieur à 280mm par an.

Tableau n°18 : Comparaison des hauteurs de pluies moyennes annuelles des différentes séries (mm).

Bassin / Méthode	Moyenne arithmétique <sup>(1)</sup>	Graphique de Seltzer <sup>(1)</sup>	Thissen <sup>(1)</sup>	Isohyetes <sup>(1)</sup>
L'oued Biskra et son ensemble	242 mm	240 mm	240,3 mm	241,4 mm

(1) : période variable d'un poste pluviométrique à l'autre.

### 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°19).

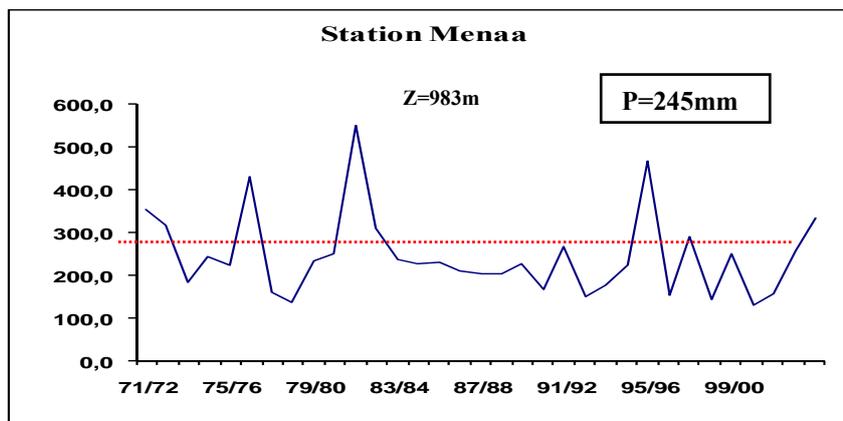
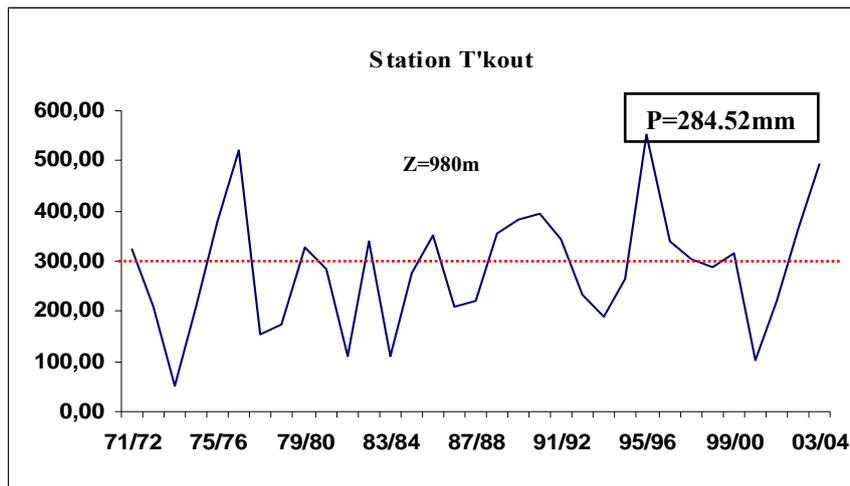
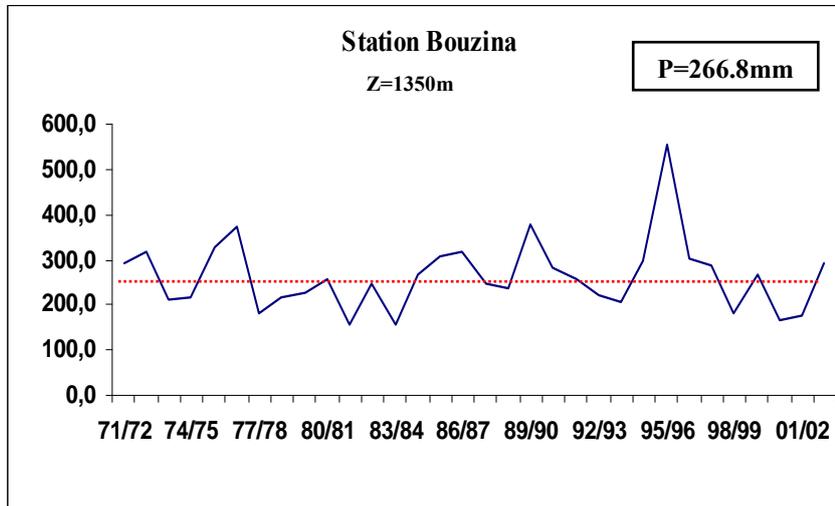
A fin de caractériser la pluviosité propre à chaque année, il convient de tenir compte de "l'écart type" correspondant à l'excédent, ou au déficit des précipitations de l'année considérée rapportée à la moyenne de 33 ans; nous avons relevé toutes les années pluviométriques extrêmes humides et sèches (voir la figure n°15) (tableau n°20).

A titre d'exemple, l'année la plus pluvieuse de la série est 1981/1982 à Menaâ avec un écart à la moyenne de 125% à Bouzina, avec un écart à la moyenne de 107% et à Biskra un écart à la moyenne de 106% de la série 95/96. 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%.

**Tableau n°19 : moyenne, écart type et coefficient de variation de la série pluviométrique (1971-2004).**

Station		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Année
Biskra	$\bar{P}$	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
	$\delta$	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	$\bar{P}$	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
	$\delta$	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	$\bar{P}$	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
	$\delta$	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
Menaâ	$\bar{P}$	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
	$\delta$	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	$\bar{P}$	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
	$\delta$	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	$\bar{P}$	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
	$\delta$	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

Figure n° 15 : Evolution annuelle des précipitations (1971/2004).



**Tableau n°20 : Ecart à la moyenne des précipitations annuelles extrêmes (1971-2004).**

Station	Moy-ann (1971-2004) (Pm)	Année humide (Pi)	Ecart à la moyenne $ei = \frac{Pi - Pm}{Pm} \times 100$	Année sèche (Si)	Ecart à la moyenne $ei = \frac{Pi - Pm}{Pm} \times 100$
<b>Biskra</b>	111,30	95/96	106%	00/01	-79%
<b>Bouzina</b>	266,80	95/96	107%	81/82	-42%
<b>Djemoura</b>	125,9	003/004	105%	73/74	-84%
<b>Menaâ</b>	245	81/82	125%	00/01	-47%
<b>T'kout</b>	284,52	95/96	94%	73/74	-82%
<b>Batna</b>	359	71/72	52%	93/94	-49%

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 <sup>(1)</sup>, 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°16 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 <sup>(2)</sup>.

---

(1) :  $F = \frac{i - 0.5}{N}$  ; i : rang, N : taille de l'échantillon.

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

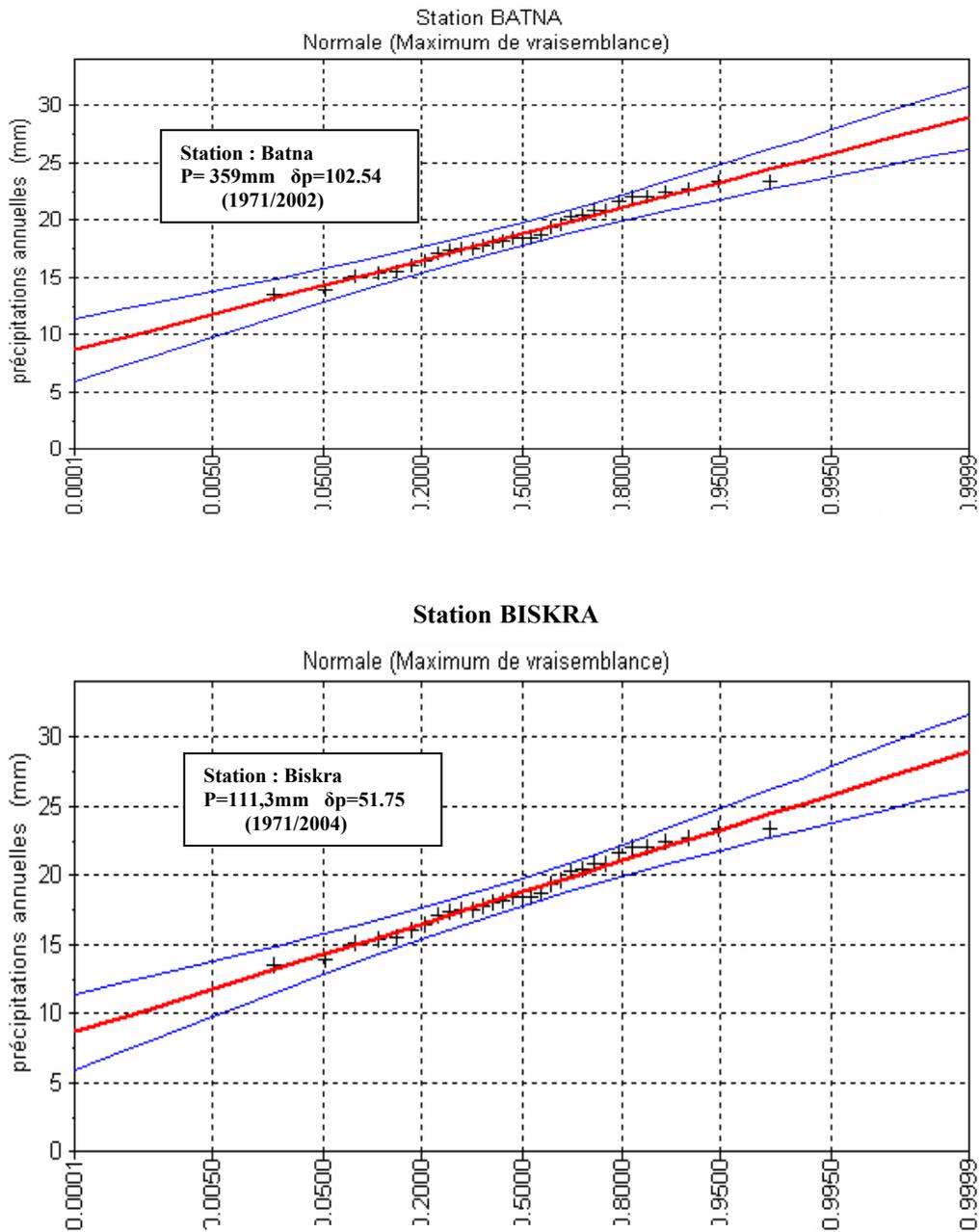
$$\bar{x} \pm \frac{t_{1-\alpha}}{2}, \frac{\delta}{\sqrt{N}} \text{ (Pour la moyenne).}$$

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

$\bar{x}$  : La moyenne annuelle sur une longue période (33ans).

$\delta$  : Écart type de la période considérée.

Figure n°16 : Ajustement des précipitations annuelles à une loi de Gauss.



Les intervalles de confiance correspondant aux degrés de confiance  $\alpha\%$  sont résumés dans le tableau n°21.

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

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  $\chi^2$  : 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  $\chi^2$ : 
$$\chi^2 = \sum_1^k \frac{(n_i - nP_i)^2}{nP_i}$$

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 paramètres à partir des valeurs expérimentales pour ajuster à la loi théorique.

k : nombre de classe.

**Tableau n°21 : Intervalle de confiance pour les différentes stations du bassin et teste de  $\chi^2$ .**

station	$\sum \chi^2$	Intervalle de confiance	
Biskra	4,09	95%	$93,64 \leq \bar{x} \leq 128,96$
		90%	$96,48 \leq \bar{x} \leq 126,12$
Bouzina	4,09	95%	$239,26 \leq \bar{x} \leq 294,34$
		90%	$243,69 \leq \bar{x} \leq 289,91$
Djemoura	5,55	95%	$107,30 \leq \bar{x} \leq 144,50$
		90%	$110,29 \leq \bar{x} \leq 141,51$
Mena	11,36	95%	$211,91 \leq \bar{x} \leq 278,08$
		90%	$217,23 \leq \bar{x} \leq 272,78$
Tkout	6,03	95%	$244,2 \leq \bar{x} \leq 324,84$
		90%	$250,68 \leq \bar{x} \leq 318,36$
Batna	4,00	95%	$322,90 \leq \bar{x} \leq 395,10$
		90%	$328,70 \leq \bar{x} \leq 389,30$

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<sup>(1)</sup>.

(1):  $P_t = \bar{P} + U_f \times \delta$ .

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

$\bar{P}$  : Pluie moyenne annuelle.

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 22.

**Tableau n°22 : Précipitations annuelles fréquentielles en (mm).**

Station	P (année humide)			$\bar{P}$	P (année sèche)		
	T=100ans f=0,99 U=2,327	T=50ans f=0,98 U=2,054	T=10ans f=0,90 U=1,282	T=2ans f=0,5 U=0,000	T=100ans f=0,10 U=-1,281	T=50ans f=0,02 U=-2,056	T=100ans f=0,010 U=-2,329
<b>Biskra</b>	269,91	246,55	186,02	104,39	46,17	22,40	16,04
<b>Bouzina</b>	468,46	441,13	368,06	261,37	172,92	128,41	114,28
<b>Djemoura</b>	278,62	256,64	199,26	120,03	60,80	34,71	27,24
<b>Mena</b>	488,10	454,03	364,16	236,94	136,94	89,83	75,57
<b>T'kout</b>	360,31	580,52	450,54	271,16	137,08	78,13	61,26
<b>Batna</b>	630,36	593,56	495,24	351,75	232,74	172,87	153,86

La période observée de 1971 à 2004 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 être atteinte ou dépassée 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 23).

**Tableau n°23 : 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)	$T = \frac{1}{f}$	Année extrême humide	P (mm)	$U_p = \frac{P - \bar{P}}{\delta}$	f	$T = \frac{1}{1 - f}$
<b>Biskra</b>	00/01	22,9	-1,708	0,044	23	95/96	229,4	2,282	0,989	91
<b>Bouzina</b>	81/82	154,8	-1,387	0,083	13	95/96	553,6	3,553	1,00	3113
<b>Djemoura</b>	73/74	20,2	-1,939	0,026	39	003/004	258,7	2,437	0,993	143
<b>Mena</b>	00/01	129	-1,196	0,116	9	81/82	551,7	3,162	0,999	1000
<b>T'kout</b>	73/74	51,5	-1,972	0,024	42	95/96	552,2	2,265	0,988	83
<b>Batna</b>	93/94	182	-1,726	0,042	24	71/72	545,5	1,819	0,966	29

#### IV-2.5) Les précipitations mensuelles et les régimes saisonniers :

L'étude de la variation intermensuelle et intersaisonnière des précipitations s'avère déterminante sur l'écoulement fluvial saisonnier et sur le comportement hydrologique annuel de l'oued.

##### A. Variabilité intermensuelle 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 Mena ce maximum est 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°19).

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. Le 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.

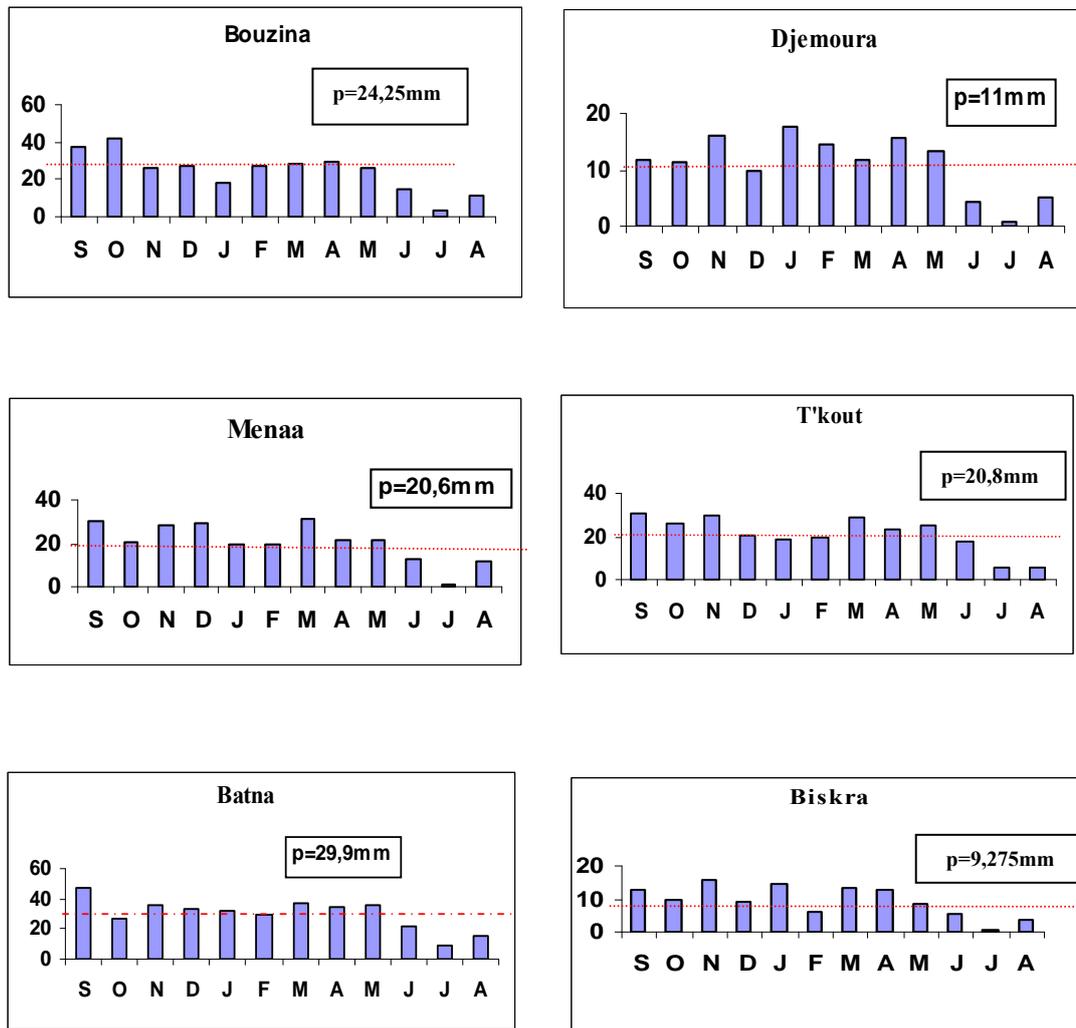
La valeur moyenne mensuelle pluviométrique relative à la période 1971-2004 représentée par des graphiques, traduisant clairement des variations mensuelles et saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle et permet de distinguer deux périodes (figure n°17).

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 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°24) 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.

**Figure n°17 : Variation mensuelle et saisonnière de la distribution des précipitations.**



**Tableau n°24 : 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)
<b>Biskra</b>	34%	26%	31%	9%
<b>Bouzina</b>	31%	27%	31%	11%
<b>Djemoura</b>	30%	32%	30%	8%
<b>Menaâ</b>	30%	28%	32%	10%
<b>T'kout</b>	30%	24%	32%	14%
<b>Batna</b>	30%	27%	31%	12%

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 la recherche d'une loi d'ajustement aboutit selon les essais déjà faites sur des bassins versants Algériens et en particulier 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°18).

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 <sup>(1)</sup>.

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°25).

---


$$(1) : Pt = \left( \sqrt{p} + Uf\delta\sqrt{P} \right)^2$$

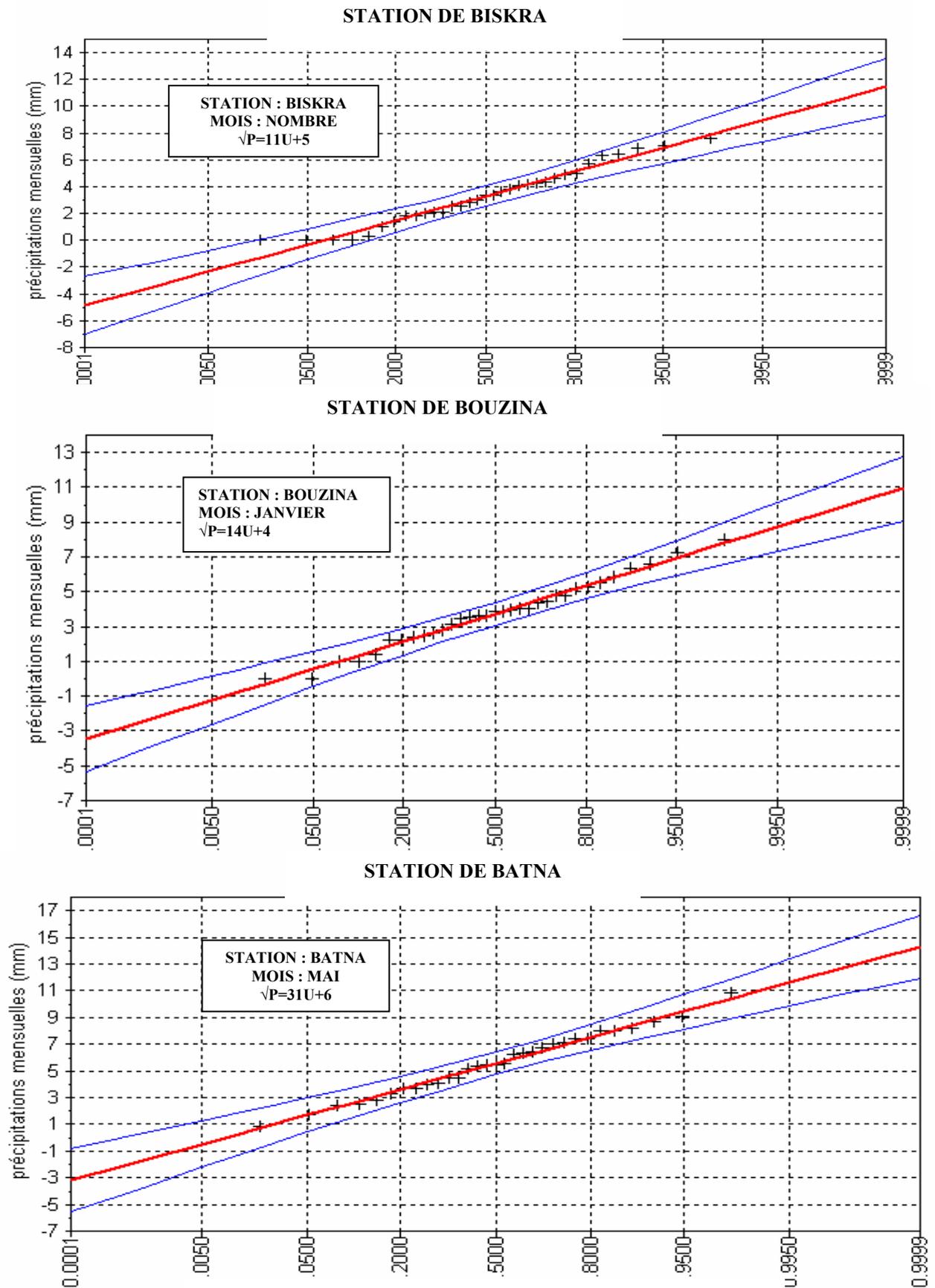
Avec :

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

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

Uf : la variable réduite de Gauss.

Figure n°18 : Ajustement des précipitations mensuelles à une loi de Gauss après une anamorphose en racine carrée pour la série (1971/2004).



**Tableau n°25 : précipitations mensuelles fréquentielles  
Pour les trois 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

#### **IV-2.6) Les 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, Menaa 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).

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 ce 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 <sup>(1)</sup>.
- Reporté les couples (Pjmax, Fx) sur papier à échelle de probabilité Gumbel.
- Calculé les paramètres d'ajustement <sup>(2)</sup>.
- Tracé la droite de Gumbel <sup>(3)</sup>.

La figure n°19 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 <sup>(4)</sup> et pour les probabilités de retour retenues sont présentés dans le tableau n°26.

---


$$(1) : Fx = \frac{n-0.5}{N}$$

$$(2) : \frac{1}{a} = 0.78\delta p ; \quad Pj \max \% = \overline{Pj \max} - \frac{1}{a} * 0.577$$

$$(3) : Y = a(\overline{Pj \max} - Pj \max \%)$$

$$(4) : \text{le calcul des quantiles se fait en appliquant l'équation de Gumbel :}$$

$$Y = -[\ln(1 - \ln Fx)]$$

Figure n° 19 : Ajustement des précipitations journalières maximales à la loi de Gumbel stations de Menaâ et T'kout (1971/1993).

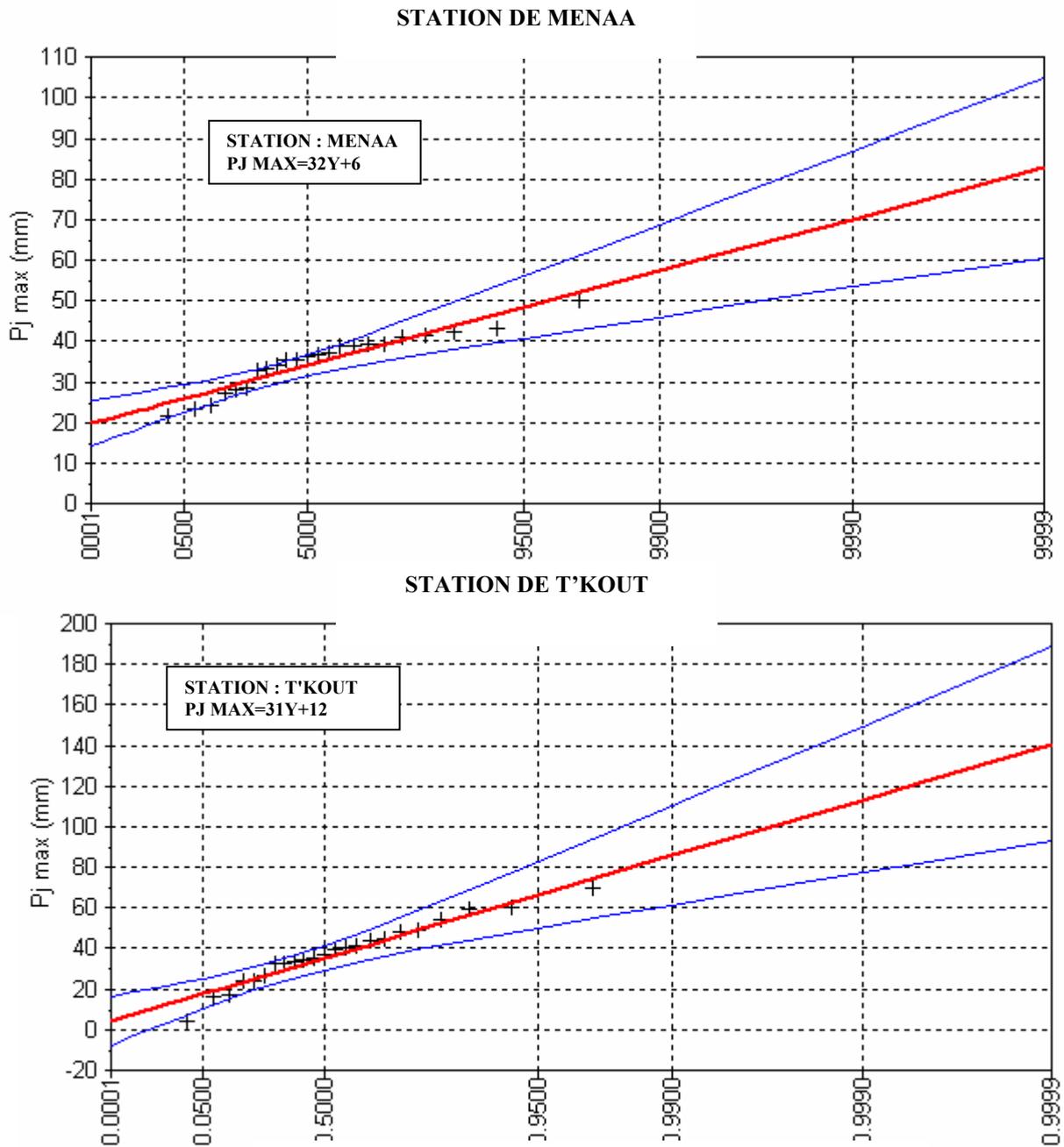
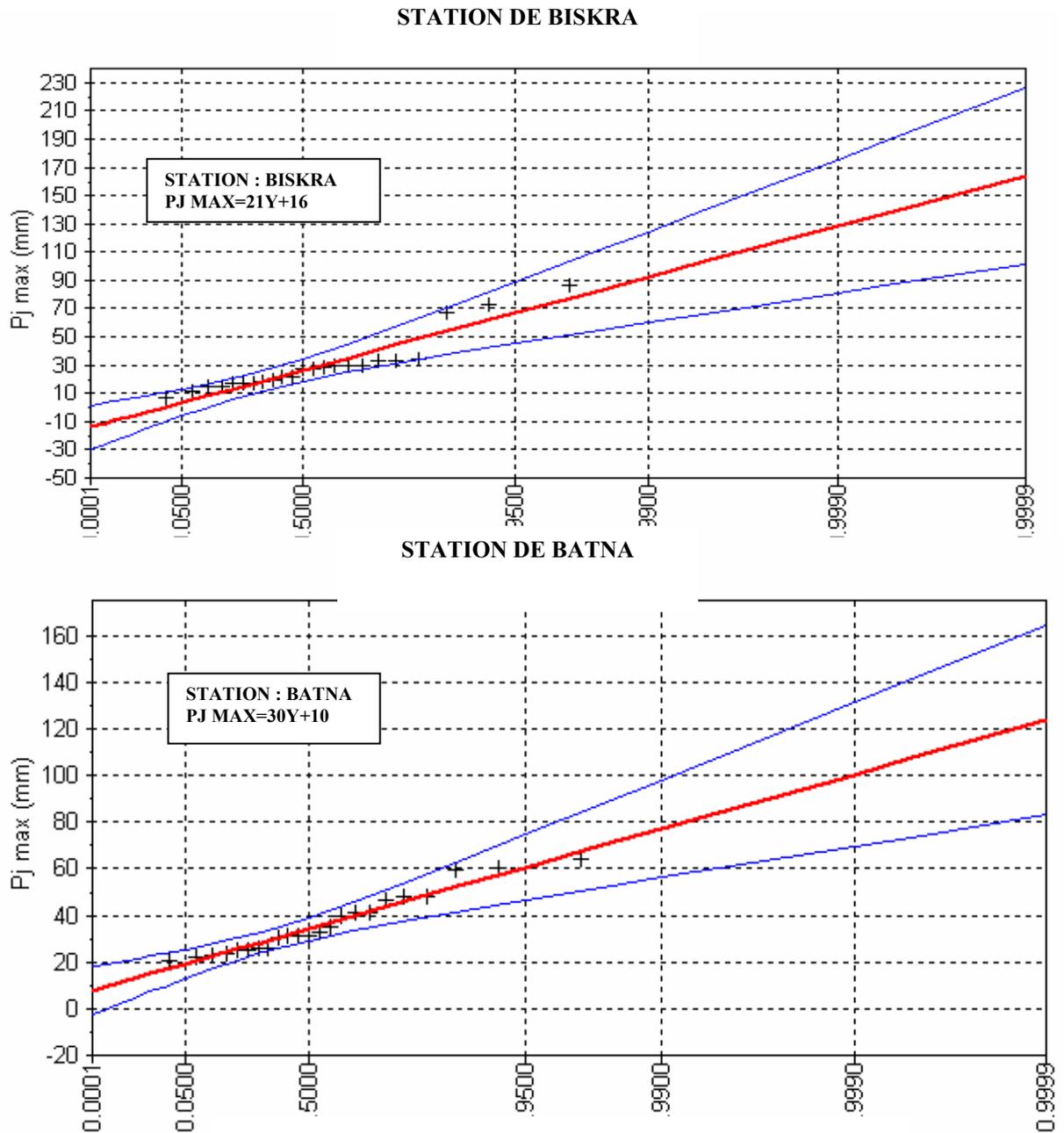


Figure n°19 : Ajustement des précipitations journalières maximales à la loi de Gumbel stations de Biskra et Batna (1971/1993).



**Tableau n°26 : Pluie maximale journalière fréquentielle, pour les quatre stations pluviométriques (1971/1993).**

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

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 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) <sup>(1)</sup>.

---

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

$P_{j \max \%}$  : pluie journalière de fréquence donnée en mm.

$b$  : exposant climatique (voir tableau n°27).

**Tableau n°27 : valeurs de l'exposant climatique pour les quatre stations pluviométriques de l'oued Biskra.**

Station	Pj max (mm)	Exposant climatique <sup>(1)</sup>
Biskra	29,50	0,22
Batna	36,20	0,27
Menaâ	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 le tableau n°28.

**Tableau n°28 : Pluie de courte durée pour les quatre stations Pluviométriques de l'oued Biskra.**

		2	5	10	50	100	1000
Station	t (h)	0,5	0,8	0,9	0,98	0,99	0,999
Biskra	0,5	11,19	18,72	23,7	34,68	39,32	54,64
	1	13,03	21,8	27,61	40,39	45,8	63,65
	2	15,18	25,39	32,16	47,04	53,34	74,14
	3	16,59	27,76	35,16	51,43	58,32	81,05
	4	17,68	29,58	37,45	54,79	62,13	83,35
	6	19,33	32,34	40,95	59,91	67,93	94,4
	12	22,51	37,66	47,69	69,78	79,12	109,96
	18	24,61	41,18	52,14	76,28	86,5	120,22
	24	26,22	43,87	55,55	81,27	92,15	128,07
Batna	0,5	11,98	16,02	18,69	24,57	27,06	35,28
	1	14,44	19,31	22,53	29,63	32,63	42,54
	2	17,41	23,29	27,17	35,72	39,34	51,3
	3	19,43	25,98	30,31	39,86	43,9	57,23
	4	21	28,08	32,76	43,08	47,44	61,85
	6	23,42	31,33	36,56	48,06	52,93	69,01
	12	28,25	37,78	44,08	57,95	63,82	83,21
	18	31,51	42,15	49,18	64,66	71,21	92,84
	24	34,06	45,55	53,15	69,88	76,96	100,34

$$(1) : b = 1 + \frac{\ln\left(\frac{Pj \max}{24}\right) - \ln(25)}{\ln(24) - \ln(0.5)}$$

<b>Mena</b>	0,5	12,42	14,7	16,21	19,54	20,95	25,6
	1	14,87	17,6	19,41	23,4	25,09	30,65
	2	17,8	21,08	23,25	28,02	30,04	36,71
	3	19,78	23,42	25,83	31,14	33,38	40,79
	4	21,32	25,24	27,84	33,56	35,97	43,95
	6	23,69	28,05	30,93	37,29	39,97	48,84
	12	28,37	33,59	37,04	44,65	47,87	58,49
	18	31,52	37,32	41,16	49,62	53,19	65
	24	33,97	40,22	44,36	53,47	57,32	70,037
<b>T'kout</b>	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
<b>Bassin (moyenne)</b>	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

Figure n°20 : Courbes intensités-durées-fréquences  
Stations Biskra et Batna.

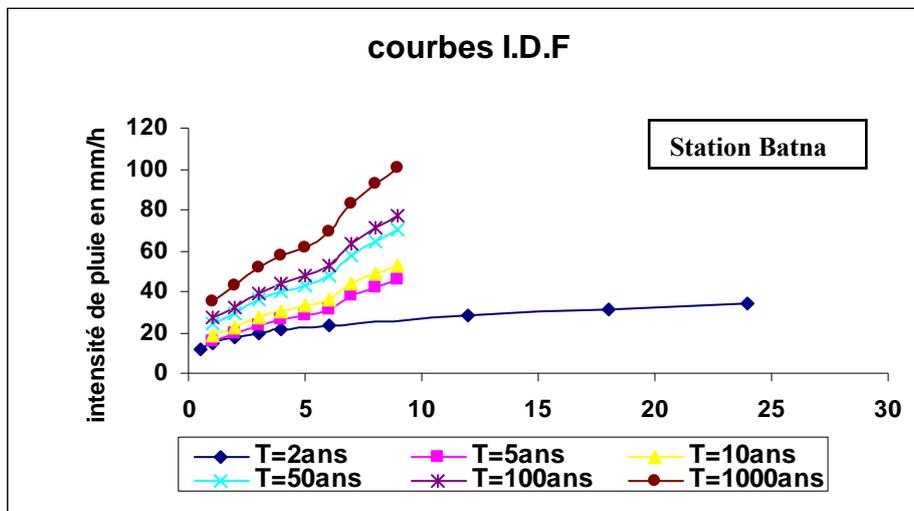
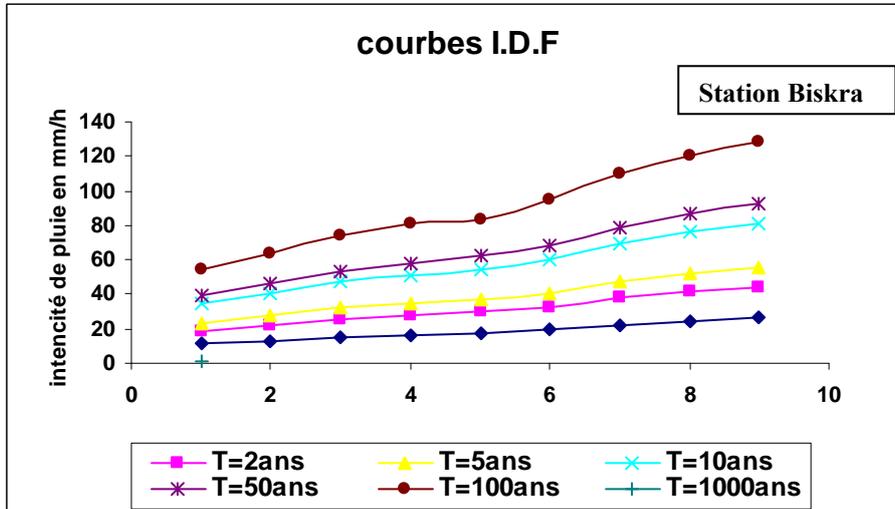
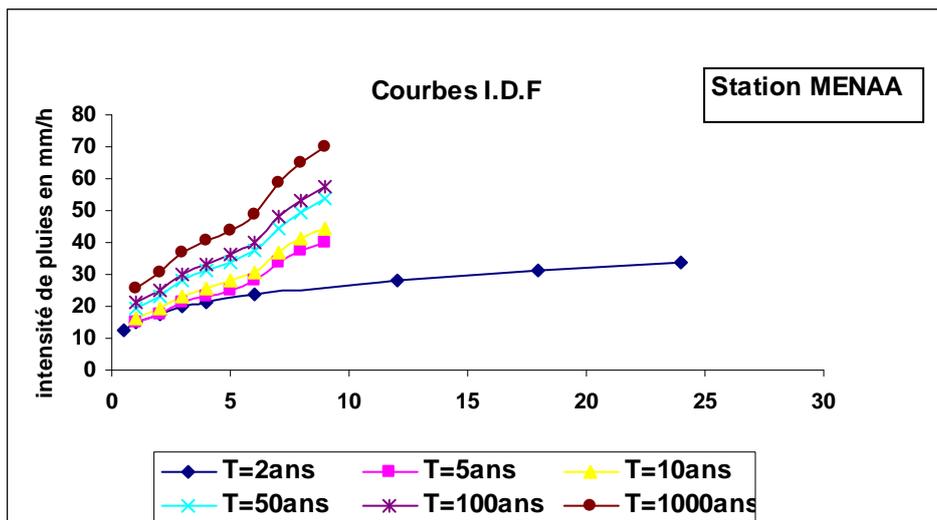
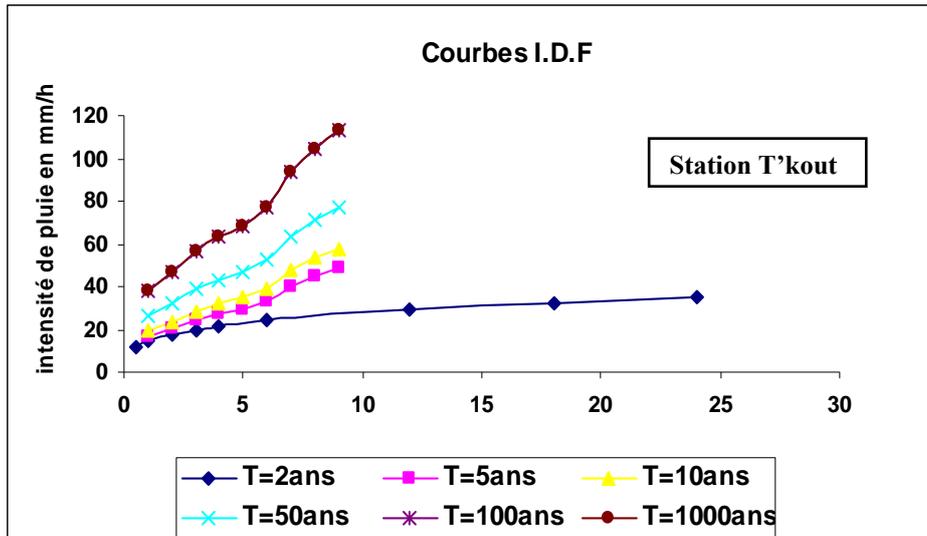


Figure n°20 : Courbes intensités-durées-fréquences Stations Menaa et T'kout.



**IV-2 Les températures :**

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 versants.

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° 29 et tableau n° 30).

La figure n°21, montre la variation des températures moyennes mensuelles interannuelles maximales et minimales.

**Tableau n°29 : les températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Biskra (1977-2002).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Température moyenne(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
Temp.moy.max. (C°)	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. (C°)	23,16	17,65	12,15	8,11	7,16	8,86	11,25	14,43	19,11	21,15	27,14	16,69

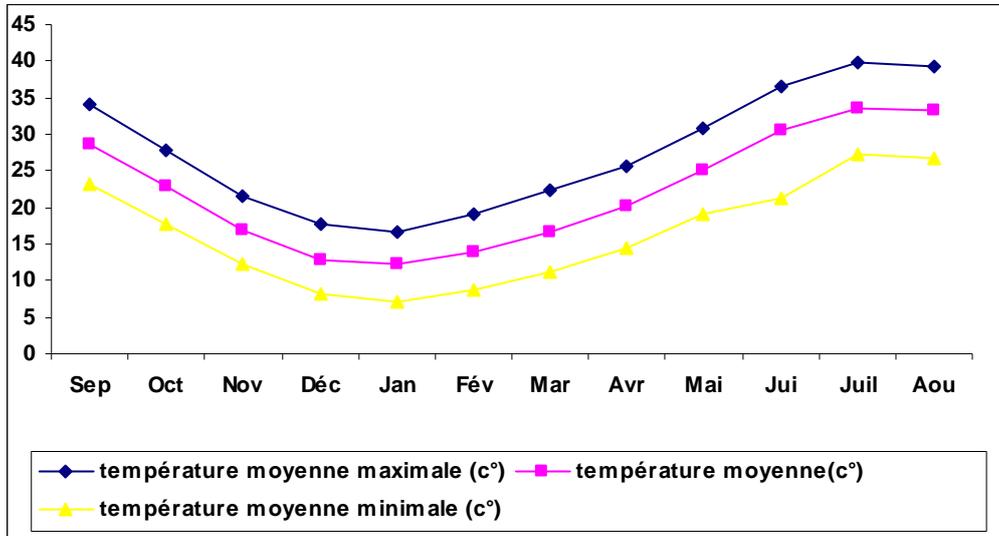
Source : A.N.R.H Biskra.

**Tableau n°30 : les températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Batna (1973-1998).**

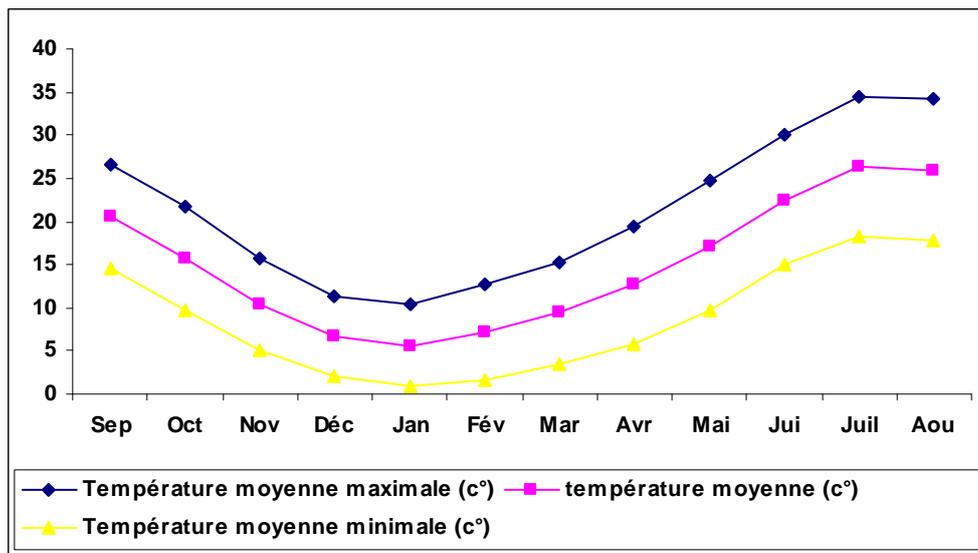
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Température moyenne(C°)	20,57	15,62	10,32	6,69	5,66	7,18	9,40	12,65	17,22	22,46	26,35	26
Temp.moy.max. (C°)	26,53	21,47	15,62	11,25	10,51	12,74	15,28	19,53	24,69	29,96	34,49	34,13
Temp.moy.min. (C°)	14,6	9,78	5,02	2,13	0,81	1,62	3,53	5,77	9,76	14,97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

Source : A.N.R.H.Batna

**Figure n°21 : Répartition des températures moyennes mensuelles maximales et minimales à la station de Biskra période (1979/2002).**



**Figure n° 21 : Répartition des températures moyennes mensuelles maximales et minimales à la station de Batna période (1973 /1998).**



D'après la figure n°21 et les tableaux n°29 et 30, 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 22c° pour la station de Biskra est 14c° à Batna. Avec un maximum en juillet ou août, qui atteint la valeur de 26c°, pour la station de Batna et 28c° à Biskra alors que la saison froide correspond à novembre et avril avec un minimum en janvier de 4,4c° pour la station de Batna et 5c°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 22c°pour la station de Batna et 17c° pour la station de Biskra ; ce qui confirme la continentalité marqué de ce bassin.

### ***IV.3 Les autres facteurs climatiques :***

Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eau alimentant un bassin versant.

Pour la station de Batna, les données d'observation des autres paramètres climatiques sont fournies par la station météorologique de Batna et pour une période de 10 ans (1975-1984)<sup>(1)</sup>. Pour la station de Biskra, elles sont fournies par l'ANRH de Biskra, pour une période de 10 ans (1990-2000).

Le tableau n°31 résume ces principales données qui complètent l'analyse climatique du bassin versant.

---

(1) : Guidoum, A : Etude hydrologique du bassin versant de l'oued Chemorah, thèse de magistère institut d'hydraulique, université de Batna, année2004.

**Tableau n°31 : Données d'observations des autres paramètres climatiques  
Pour les stations de Batna et Biskra.**

		Fréquence moyenne de gelée												
		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
Station de Batna période (1975-1984)  (Altitude = 1050m)		0,0	0,3	5,7	8,7	8,2	7,5	4,7	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2
	Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s)													
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Moyenne	
	3,1	3,5	3,5	4,5	4,1	4,2	4,1	4,0	4,0	3,8	4,2	3,8	3,9	
	Fréquence mensuelle de Siroco													
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	année	
	2,0	0,4	0,4	0,1	0,0	0,4	1,9	2,3	1,5	2,8	5,1	2,1	19	
	Humidité relative moyenne mensuelle (%)													
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Moyenne	
	58,6	64,2	72,4	72,9	71,3	71,4	63,3	63,2	59,0	49,9	39,7	44,4	60,9	
	Insolation moyenne mensuelle (heure)													
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	moyenne	
	327,5	263	197,5	160,5	162,6	148,8	217,3	250,9	382,4	403,7	480,4	402,7	339,7	
	Evaporation moyenne mensuelle (mm)													
Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année		
364	229,4	189,0	179,8	189,1	168	223,2	237,0	272,8	318,0	350,3	322,4	2943,0		
Fréquence moyenne mensuelle de neige														
Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	année		
0,0	0,0	1,1	2,4	2,9	2,6	1,7	0,6	0,1	0,0	0,1	0,1	11,6		
<i>Source O.N.M (1975-1984)</i>														
Station de Biskra Période (1990-2000)  (altitude=120m)	Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s)													
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	moyenne	
	5,02	5,06	5,10	5,14	4,76	5,77	5,88	5,98	5,61	5,31	4,85	4,33	5,24	
	Fréquence mensuelle de Siroco													
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année	
	1,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,8	0,7	1,8	1,1	1,2	8,00	
	Humidité relative moyenne mensuelle (%)													
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	moyenne	
	38,45	45,46	52,36	57,18	58,18	48,82	43,43	37,55	32,54	28,82	26,55	29,09	41,54	
	Insolation moyenne mensuelle (heure)													
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	moyenne	
	272	263	228	226	220	248	266	294	324	336	368	341	282,17	
	Evaporation moyenne mensuelle (mm)													
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	année	
329,18	246,45	163,6	123	119,09	156	205,9	293	354,64	413,2	450,9	412,2	3267,26		

Source : ANRH Biskra

Concernant la station de Batna, les vents dominants sont ceux du Sud-Ouest et du Nord-Est qui sont fréquents pendant la période hivernale, avec une vitesse moyenne maximale de 4 m/s, en décembre. Ils sont relayés par les vents du Sud (Sirocco) pendant la saison estivale (juin, juillet et août), ce vent chaud et sec au pouvoir desséchant, provoque une augmentation brutale de la température et abaissement simultané de l'humidité de l'air et par conséquent une augmentation de l'évaporation ; le terrain d'étude est affecté par le Siroco 19 jours/ans.

L'humidité relative<sup>(1)</sup> dépasse les 50% pendant 8 mois, avec un maximum de 73% en décembre alors qu'elle est inférieure à 50% pendant l'été (juin, juillet et août) avec un maximum en juillet (40%).

(1) : l'humidité relative est le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau à l'air humide et la pression de saturation, à la même température.

L'insolation mensuelle effective est au moyenne 283,11 heures, le maximum (480,36 heure) est enregistré en juillet et le minimum (148,78 heure) en février.

La gelée a une fréquence moyenne de 37 jours /an, avec un maximum au mois de décembre (environ 9 jours) et une absence totale de gelée pour la période mai-septembre.

En ce qui concerne la neige, les statistiques disponibles se limitent au nombre annuel de jours de chutes de neige et la durée de l'enneigement au sol (série P.Seltzer 1922/1930) et le nombre mensuel de jours où il a neigé (série O.N.M 1975/1984).

D'une manière générale, la durée de l'enneigement reste faible à l'échelle du bassin (8 jours à Batna).

L'évaporation est mesurée par évapomètre de type " Bac" elle atteint ses valeurs plafonds pendant la saison chaude, avec un maximum de 350 mm en juillet, l'évaporation moyenne annuelle pour la période (1975-1984) est de 2943mm ; ces valeurs concordent étroitement avec celles des autres facteurs climatiques.

Pour la station de Biskra, les vents sont caractérisés par leurs directions, leurs vitesses et leurs intensités, ils exercent une action destructrice ; augmentant l'évapotranspiration et les phénomènes érosifs, les vents dominants dans la partie Sud du bassin en hiver sont de direction Nord-Ouest venant de l'Atlantique du Nord chargés de l'humidité.

Ceux de l'été sont de direction Sud/Est -Nord/Ouest, sous forme de Sirocco asséchant les vents des sables caractéristiques dans cette partie de la région, sont fréquents pendant les mois de mars, avril et mai. Cependant, on peut noter leur apparition pendant les autres saisons avec une faible fréquence.

L'humidité relative, d'après la série de données des 10 années d'observations on constate que :

- La moyenne minimale annuelle est de 40,16%.
- La moyenne maximale annuelle est de 45,50%.

Sur le plan saisonnier, le total d'humidité maximale enregistré est de 71% (décembre) le total d'humidité minimale enregistré est de 24%(juillet).

Le nombre d'heures moyennes d'ensoleillement par jour est de 9,28 heures.

La valeur maximale est enregistrée au cours du mois de juillet (12 h/ jour).

La valeur minimale est enregistrée au cours du mois de janvier (7,09 h/ jour).

L'évapomètre piche est l'appareil le plus fréquemment utilisé dans les stations du réseau O.N.M en Algérie, ce qui est le cas de la station de Biskra.

L'évaporation est un paramètre étroitement lié à la température, la partie Sud du bassin versant de l'oued Biskra est située en zones à fortes températures, les quantiles d'eau évaporées sont aussi relativement importantes.

- ✓ L'évaporation moyenne mensuelle=300mm.
- ✓ L'évaporation moyenne maximale=323mm.
- ✓ L'évaporation moyenne minimale=215mm.

Cette différence de l'évaporation démontre que le phénomène de cette dernière doit être régi par un autre facteur autre que la température, tel que la vitesse de vent, le taux d'humidité, le taux d'ensoleillement et le couvert végétal.

#### ***IV-4 l'évaporation 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°21), 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°32.

**Tableau n°32 : Température moyennes mensuelles et précipitations moyennes mensuelles pour les deux stations.**

Station	Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	moyenne
Batna	T (C°)	20,5	15,62	10,32	6,69	5,66	7,18	9,4	12,63	17,22	22,46	26,3	26,0	15,01
	P (mm)	47,39	26,57	36,21	33,6	32,21	29,30	36,91	35,02	36,24	21,10	8,63	15,71	359,00
Biskra	T (C°)	28,7	22,78	16,88	12,8	12,35	14,03	16,76	20,11	25,02	30,45	33,5	33,28	22,23
	P (mm)	12,49	9,65	15,59	8,89	14,48	5,98	13,40	12,72	8,25	5,55	0,62	3,68	111,30

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°21).

Cette répartition n'est que moyenne, car les variations interannuelles des précipitations sont très grandes et certaines années réelles échappent à cette schématisation.

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.

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 températures 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.

Figure n°21 : Diagramme ombrothermique de la station de Biskra (1979/2002).

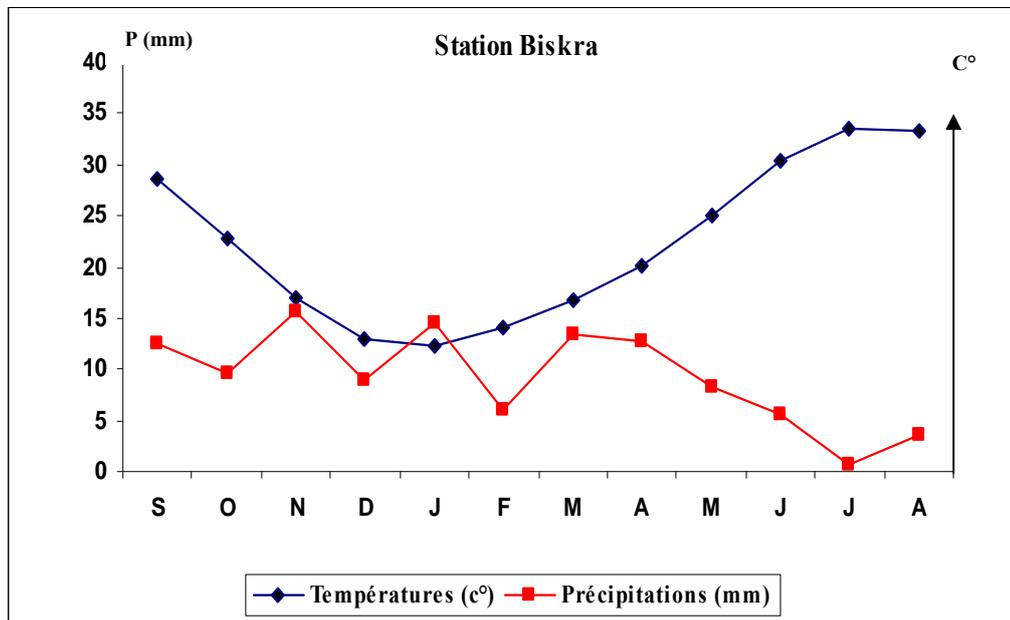
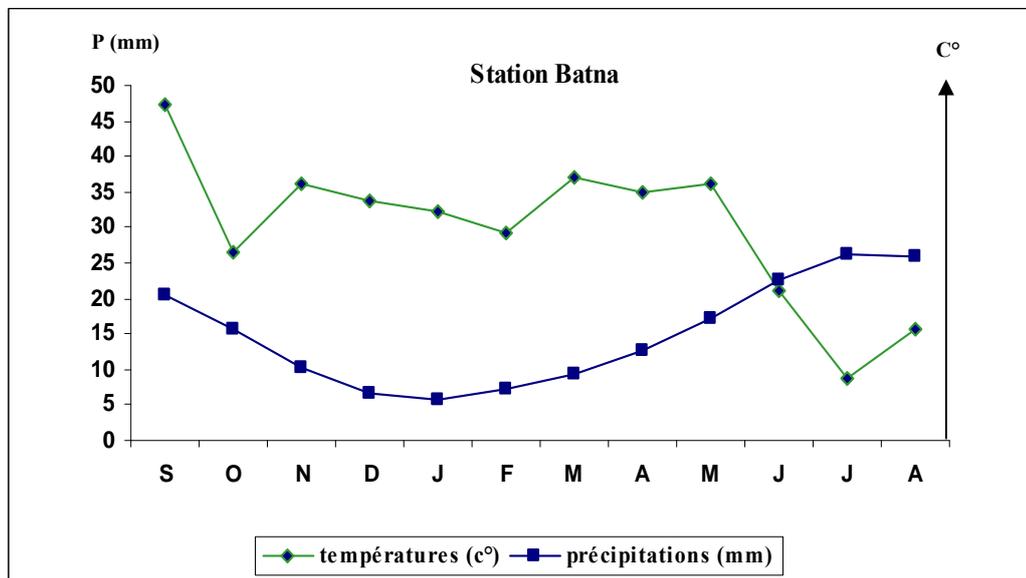


Figure n°21 : Diagramme ombrothermique de la station de Batna (1973/1998).



**V- L'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration : est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre quelque 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-1 Formule dite ANRH (1997) :**

ETPANRH-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 des ETP à partir de l'information thermométrique.

La formule est la suivante :

$$ETP_{ANRH} = K_r * K_m (H - 187) * (0.032t + 0.07)$$

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°33.

$K_m$  : c'est un coefficient mensuel dont les valeurs sont données dans le tableau n°34.

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°35.

T : la température moyenne mensuelle pour le mois considéré et exprimée en c°.

**Tableau n° 33 : Coefficient correctif "  $K_r$ ".**

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%	Maghnia	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°34 : Evolution du coefficient correctif mensuel " K<sub>m</sub> ".**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
<b>K<sub>m</sub></b>	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1,00	0,97	0,97	0,98	0,90	0,90	0,86

En fait, on se trouve avec deux paramètres saisonniers H et K<sub>m</sub>. 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 écart 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.

$$H_i = a_i Y + b_i$$

Les paramètres mensuels a<sub>i</sub> et b<sub>i</sub> sont donnés dans le tableau n°35.

**Tableau n°35 : Coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
<b>a<sub>i</sub></b>	-0,0218	-0,0110	-0,0012	0,0098	0,0201	0,0248	0,0230	0,0144	0,0031	-0,0081	-0,0185	-0,0246
<b>b<sub>i</sub></b>	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308

On remarque dans le tableau n° 35, que les gradients 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 retenir les valeurs suivantes du produit K<sub>m</sub> (H-187) :

**Tableau n°36 : Valeurs moyennes de K<sub>m</sub> (H-187).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
<b>K<sub>m</sub> (H-187)</b>	118	143	204	239	251	248	247	223	180	146	108	99

En procédant ainsi, on commet une erreur inférieure à 5% pour tous les mois et inférieure à 3% de février à octobre (inclus).

L'application à la station de Biskra (**K<sub>r</sub>=1,26**) est présentée dans le tableau n°37 :

Tableau n° 37 : résultats de la méthode dite ANRH Penman

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	année
<b>a<sub>i</sub></b>	-0,0218	-0,0110	-0,0012	0,0098	0,0201	0,0248	0,0230	0,0144	0,0031	-0,0081	-0,0185	-0,0246	-
<b>b<sub>i</sub></b>	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308	-
<b>H (h/mois)</b>	<b>311,12</b>	<b>305,04</b>	<b>370,79</b>	<b>390,74</b>	<b>432,58</b>	<b>433,41</b>	<b>440,09</b>	<b>416,56</b>	<b>370,55</b>	<b>349,56</b>	<b>307,71</b>	<b>303,32</b>	<b>4431,87</b>
<b>Km</b>	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1	0,97	0,97	0,98	0,9	0,9	0,86	-
<b>Km (H-187)</b>	<b>119,15</b>	<b>144,01</b>	<b>204,00</b>	<b>238,38</b>	<b>250,49</b>	<b>246,41</b>	<b>245,50</b>	<b>222,68</b>	<b>179,88</b>	<b>146,3</b>	<b>108,64</b>	<b>100,29</b>	<b>2205,74</b>
<b>t °C</b>	12,35	14,03	16,76	20,11	25,02	30,45	33,56	33,28	28,71	22,78	16,88	12,86	266,79
<b>ETP (mm/mois)</b>	<b>70,89</b>	<b>95,44</b>	<b>157,65</b>	<b>216,42</b>	<b>277,0</b>	<b>326,44</b>	<b>356,02</b>	<b>320,4</b>	<b>225,68</b>	<b>148,57</b>	<b>84,48</b>	<b>61,73</b>	<b>2340,72</b>

### Conclusion

L'étude des modalités de l'alimentation et de l'écoulement fluvial dans le bassin de l'oued Biskra, se heurte à une nette insuffisance de mesures climatiques, particulièrement en ce qui concerne les températures, l'évaporation 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 hydropluviométriques 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 (1971-2004) qui nous a permis de dégager d'une part des variations spatiotemporelles des précipitations dans le bassin et d'autre part l'établissement de l'esquisse des isohyètes de la série longue, afin d'aboutir à une esquisse d'écoulement moyen annuel du bassin.

Nous avons également souligné tout au long de cette présentation, des caractères généraux de la pluviométrie une nette opposition entre le bassin supérieure, moyen et inférieur.

L'analyse des températures mensuelles et annuelles moyennes, des deux seules postes disposant des données climatiques. Batna avec une série de 25 ans (1973-1998) et la station de Biskra (1977-2002) ont permis d'esquisser deux saisons thermiques : la saison chaude marquée par l'augmentation générale des températures, va généralement de juin à septembre, la saison froide caractérisée par des moyennes mensuelles inférieures à 17 °C pour la station de Batna et inférieures à 23 °C pour la station de Biskra s'étend de novembre à avril.

Quant à l'évapotranspiration elle évalue suivant les deux saisons thermiques, c'est-à-dire qu'elle est très élevée en été, ce qui accentue le déficit d'écoulement et faible en hiver où 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 l'oued Biskra.

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 première partie*

A travers les caractéristiques morphométriques et structuraux, 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 adaptées 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 ce 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 déterminante dans le comportement hydrologique des diverses unités du bassin.

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.

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.

Dans le bassin inférieur ; les précipitations s'affaiblissent, l'évaporation s'élève et le couvert végétal est absent à l'exception de quelques steppes d'alfas, ce qui engendre un écoulement de potentiel plus faible que celui du bassin supérieur.

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.

## *Deuxième partie*

### *Caractérisation de l'écoulement et prédominance des débits des crues.*

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 peu 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.

En effet, on doit étudier l'écoulement dans ses aspects fondamentaux :

- Les écoulements annuels et leur variation spatiotemporelle.
- L'intensité des extrêmes ; genèse des crues et leurs fréquences.
- L'étude des transports solides et leur variabilité.

# CHAPITRE I

Les écoulements annuels et  
leur variation spatiotemporelle.

**Chapitre I*****Les écoulements annuels et leur variation spatiotemporelle.***

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°09).

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-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 km<sup>2</sup> ; la série récente disponible couvre une période de 16 ans <sup>(1)</sup> (1980-1981/1994-1995). 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 km<sup>2</sup>, 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.

---

(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 marqué de cet ouvrage sur les mesures hydrométriques disponibles (ANAT 2002 : étude du schéma directeur des ressources en eau de la wilaya de Biskra).

**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°38).

**Tableau n°38 : La lame moyenne annuelle écoulée et l'apport moyen annuel (Estimation d'après les formules empiriques).**

Formules		L'oued El Hai		L'oued Djemoura	
		Le (mm)	A (hm <sup>3</sup> )	Le (mm)	A (hm <sup>3</sup> )
<b>Anrh</b>	$A=0.513 * P * Dd^{0.5} * S^{0.842}$ Le=S/A	2,18	3,618	3,41	2,00
<b>Sami</b>	$A=s/10^3 * P^2(293-2.2\sqrt{S})$ Le=S/A	10,76	18,585	13,75	8,059
<b>Deri I</b>	$A=0.915 * P^{2.684} * S^{0.842}$ Le=S/A	5,49	9,112	7,21	4,227
<b>Deri II</b>	$A=0.372 * 4.8 * P^{2.82} * S$ Le=S/A	5,90	9,799	6,62	3,878
<b>Chaumont</b>	$A=600 * P * S (1-10^{-0.36 * P^2})$ Le=S/A	5,92	9,828	6,67	3,91
<b>Algérienne</b>	$A=S * P (1-10^{-K * P^2})$ Le=S/A	2,95	7,891	3,65	2,139

P : pluie moyenne annuelle (mm) utilisée celle des isohyètes en raison de sa précision acceptable.  
S : surface du bassin en km<sup>2</sup>; K=0,18-0,11LogS.

On détermine les débits selon la relation suivante :

$$Q = \frac{le * S * 10^{-3}}{31.536}$$

Avec :

Q : le débit moyen annuel en l/s

Le : la lame d'eau annuelle écoulée en (mm)

S : surface du bassin versant km<sup>2</sup>.

Le calcul des débits moyens annuels par les différentes formules empiriques est présenté dans le tableau n° 39.

**Tableau n° 39 : Le 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
<b>El Hai</b>	0,015	0,566	0,290	0,310	0,311	0,165
<b>Djemoura</b>	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 ( $0.266 \text{ m}^3/\text{s}$ ) à cet effet on a adopté celle de Sami qui a donné une valeur proche ( $0.260 \text{ m}^3/\text{s}$ ) voir tableau n°40.

**Tableau n°40 : 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 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Débit moyen annuel selon la formule de Sami. ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
L'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 ( $0.310 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Voir tableau °41.

**Tableau n°41 : 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 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Débit moyen annuel selon la formule de Deri II. ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
L'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 :  $0,57 \text{ m}^3/\text{s}$ <sup>(1)</sup>,  $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$ <sup>(2)</sup>,  $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$ <sup>(3)</sup> et  $0,70 \text{ m}^3/\text{s}$ <sup>(4)</sup>.

(1) : le total des débits fournis par les deux stations hydrométriques d'El Kantara et Djemoura.

(2) : la valeur estimée par le formule de Deri II.

(3) : la valeur estimée par le formule de Sami.

(4) : l'absence total de station hydrométrique dans ce secteur, qui est le petit bassin de l'oued Biskra complémentaire, nous a conduit à utiliser la formule expérimentale suivante pour le calcul du débit moyen annuel.

$$Q_{O.Bis\ comp} = Q_{O.Djemoura} \left( \frac{S_{O.Djem}}{S_{O.Bcomp}} \right)^k$$

Avec :

k : pris égale à 0.54 par analogie.

**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 km<sup>2</sup>, 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 m<sup>3</sup>/s.

Le sous bassin de l'oued Djemoura ( 586 km<sup>2</sup> ), 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 m<sup>3</sup>/s), les précipitations sont importantes dans ce secteur (239,50mm). Ceci s'explique par des conditions thermiques défavorables à l'écoulement (ce qui a 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° 42).

Le bassin de l'oued Biskra se caractérise par une variation spatiale de débits spécifiques passant de 0,19 l/s/km<sup>2</sup> au sous bassin de l'oued El Hai, à la station d'El Kantara ; 0,44 l/s/km<sup>2</sup> 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°42 : Débits absolus, débits spécifiques et la lame d'eau écoulee dans les deux stations hydrométriques.**

Oued	Station	Superficie (km <sup>2</sup> )	Débit absolu (m <sup>3</sup> /s)	Débit spécifique (l/s/km <sup>2</sup> )	Lame écoulee (mm) <sup>(1)</sup>	Lame précipitée (mm) <sup>(2)</sup>
El Hai	El kantara	1660	0.310	0.19	5.89	230.00
Djemoura	Djemoura	586	0.260	0.44	13.99	239.50

$$(1) : \frac{Q(m^3 / s) * 31.45 * 10^3}{S(km^2)}$$

E : La lame d'eau annuelle écoulee.

S : La superficie du bassin (km<sup>2</sup>).

Q : Le débit absolu (m<sup>3</sup>/s).

(2) : La méthode utilisée pour l'évaluation de la lame d'eau précipitée est celle des isohyètes en raison de sa précision acceptable.

S<sub>T</sub> : Surface totale du bassin (km<sup>2</sup>).

Si : Surface élémentaire délimité par les isohyètes P<sub>i</sub> et P<sub>i+1</sub>.

P<sub>i</sub> : Hauteur moyenne des précipitations entre deux isohyètes i et i+1.

**I-3) Le 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 :

$$P=Le+D.$$

Avec :

P : la lame d'eau annuelle précipitée en mm.

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  $C = \frac{Le}{P} * 100$  , 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.

**Tableau n°43 : Le bilan hydrologique moyen annuel de l'écoulement pour les stations d'El Kantara et Djemoura.**

Sous bassin	Station	Superficie (km <sup>2</sup> )	Bilan hydrologique				
			P (mm)	Q (mm)	Le (mm)	D	C.E (%)
El Hai	El Kantara	1660	230.00	0.31	5.89	224.11	2.56
Djemoura	Djemoura	586	239.50	0.26	13.99	225.51	5.84

Les sous bassins caractérisant le bassin versant de l'oued Biskra présentent une lame d'eau écoulée 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 <sup>(1)</sup>.

---

(1) : Faute de données météorologiques insuffisantes, il n'est 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) L'hydraulicité 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 <sup>(1)</sup>, 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 ( $\sigma$ ) ou mieux le coefficient de variation (Cv) ainsi que le coefficient d'immodération (R) ; traduit par le rapport de modules extrêmes.

L'évolution de l'hydraulicité mise en évidence par le graphique correspondant ( figure n°22) montre de fortes fluctuations des débits d'une année à l'autre, ce qui témoigne de l'irrégularité de l'écoulement, qui est liée à l'alimentation essentiellement pluviale des cours d'eau.

La majorité des coefficients sont inférieurs à l'unité : 06 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 <sup>(2)</sup> ( $R = 25,7$ ).

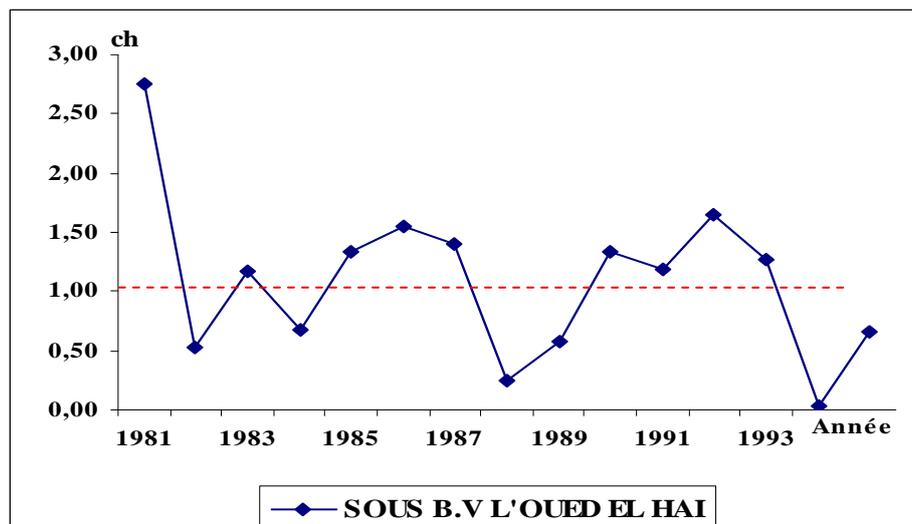
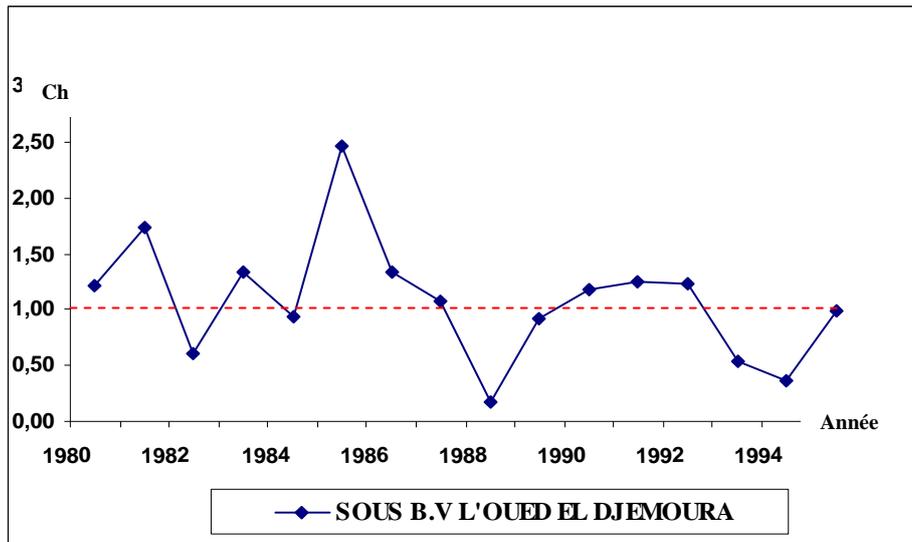
Pour la station d'El Kantara, le bilan de l'hydraulicité est équilibré 07 années sur 16 sont déficitaires, l'année de forte hydraulicité est l'année 1980/81 avec un  $ch = 2,76$  qui correspond à un débit de  $0,736\text{ m}^3/\text{s}$ , alors que l'année 1993/94 est l'année de faible hydraulicité avec 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°44.

---

(1) :  $ch = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$

(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°22 : Evaluation du coefficient d'hydraulicité.



**Tableau n°44 : 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	moyenne
El Hai	Qmoy	-	0,736	0,139	0,312	0,183	0,357	0,416	0,373	0,064	0,156	0,355	0,317	0,44	0,337	0,009	0,175	0,31
	Ch	-	2,76	0,52	1,17	0,68	1,34	1,56	1,40	0,20	0,58	1,33	1,19	1,65	1,26	0,03	0,66	1,09
	Cv	-	1,70	1,32	1,52	1,30	1,54	1,90	1,43	1,27	2,01	1,48	2,54	1,58	1,51	0,79	1,54	1,56
Djemoura	Qmoy	0,271	0,389	0,134	0,30	0,208	0,522	0,30	0,241	0,041	0,205	0,264	0,28	0,275	0,119	0,083	0,22	0,26
	Ch	1,21	1,74	0,60	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

Qmoy : débit moyen annuel (m<sup>3</sup>/s), Ch : coefficient d'hydraulicité, Cv : coefficient de variation

**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°45) laisse supposer une distribution dissymétrique des échantillons, on a ajusté les modules annuels de la station de Djemoura à la loi de Galton<sup>(1)</sup>, 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 :  $x = \sqrt{x}$  ; 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°23).

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°45).

**Tableau n°45 : Les débits moyens annuels et durée de récurrence  
Pour les deux station hydrométriques.**

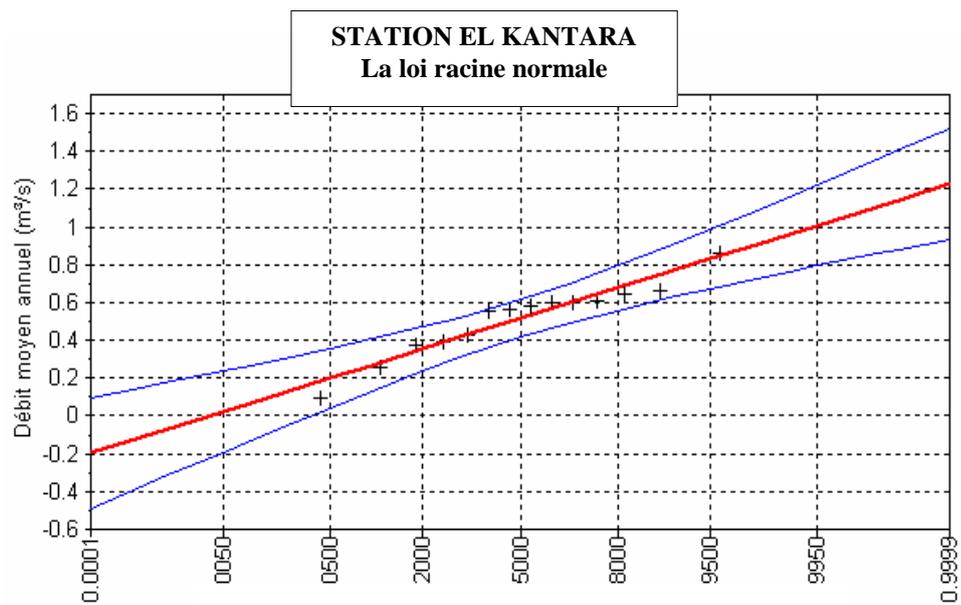
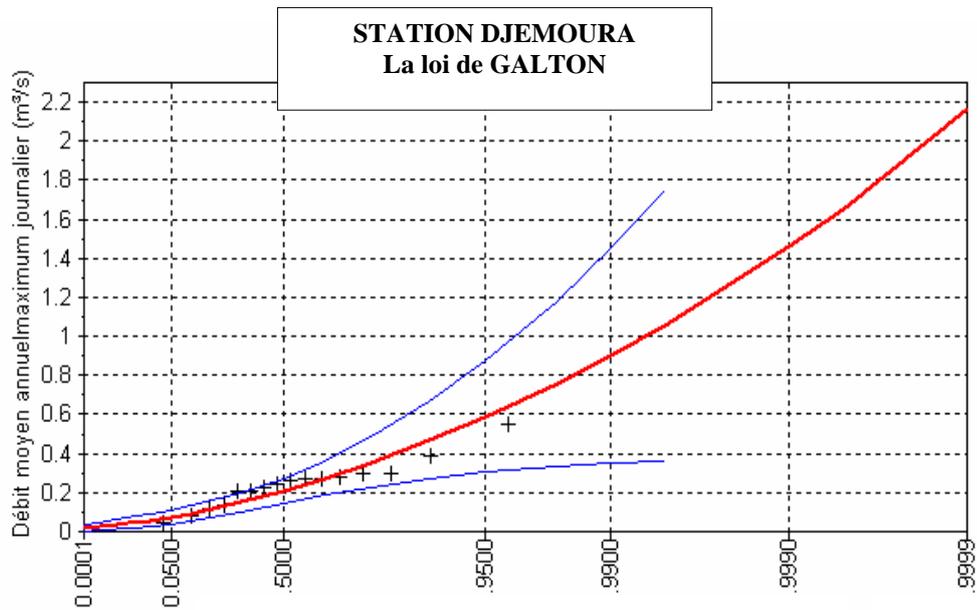
Oued	Surface du bassin (km <sup>2</sup> )	Paramètres d'ajustement de Galton	Année humide				Module médian T=2ans F= 0,5 U = 0,0	Année sèche			
			T=100ans F= 0,99 U=-2,32	T=50ans F= 0,98 U=-2,05	T=20ans F= 0,95 U=-1,65	T=10ans F= 0,9 U=-1,28		T=10 ans F= 0,1 U=1,28	T= 20 ans F=0,05 U=1,65	T= 10 ans F=0,02 U=2,05	T= 100 ans F= 0,01 U=2,32
El Hai	1660	a=10 b= 0,05 Q <sub>0</sub> = 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 <sub>0</sub> = 0	1,06	0,76	0,59	0,47	0,34	0,09	0,074	0,057	0,048

(1) : L'équation de Galton s'écrit alors :  $u = a \log(Q - Q_0) + b$

$$a \text{ et } b \text{ peuvent être représentée par : } a = \frac{1.517}{\sqrt{\log \left[ 1 + \frac{\delta * Q^2}{(Q - Q_0)^2} \right]}} ; b = \frac{1.1513}{a} - a \log(\bar{Q} - Q_0)$$

Q<sub>0</sub> : Paramètre de position estimé sur graphique.

**Figure n°23 : Ajustement graphique des débits moyens annuels pour la station de Djemoura et El Kantara.**



**I-6 Régime d'écoulement : les variations mensuelles des débits :**

Le débit moyen mensuel se caractérise par un minimum correspond au mois de juillet ( $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pour le sous bassin de Djemoura et en mois d'août ( $0,044 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pour le sous bassin de l'oued El Hai, alors que le maximum est situé en avril ( $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pour El Hai et en mois de mars ( $0,484 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pour Djemoura.

La figure n°24, 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.

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°25) 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 intermensuelle 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 cénomanien 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.

Figure n° 24 : Les variations mensuelles des débits moyens de l'oued El Hai et Djemoura.

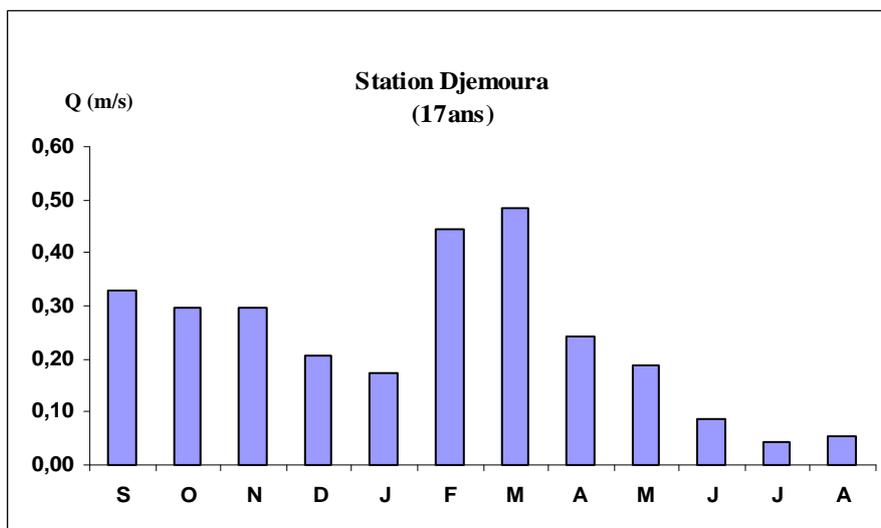
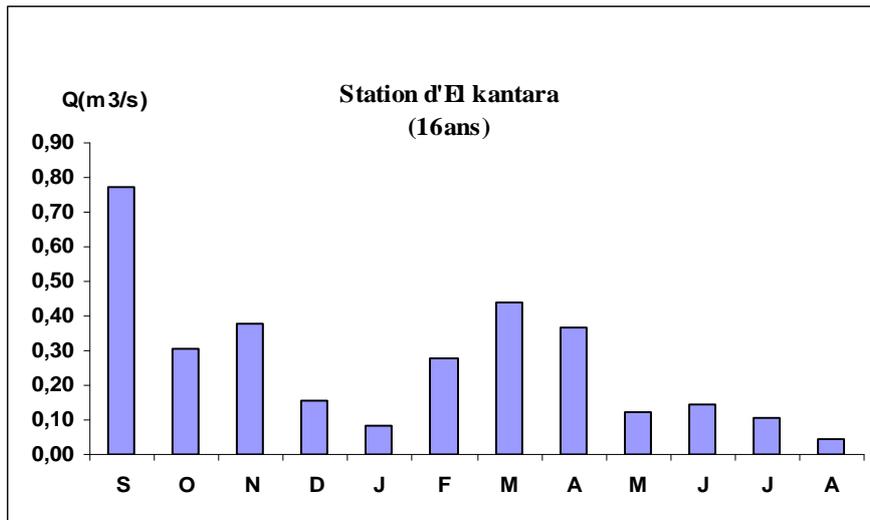
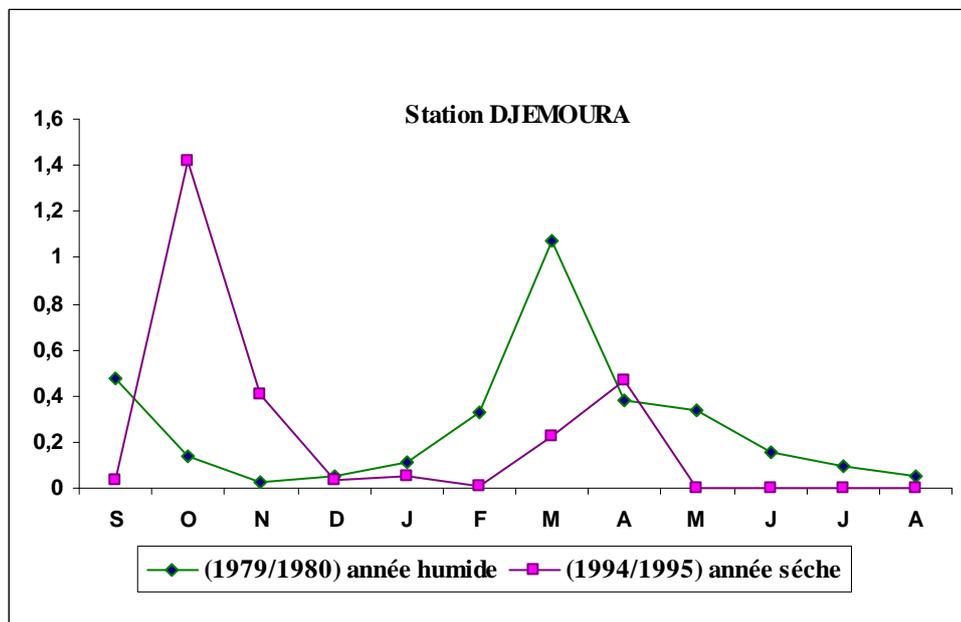
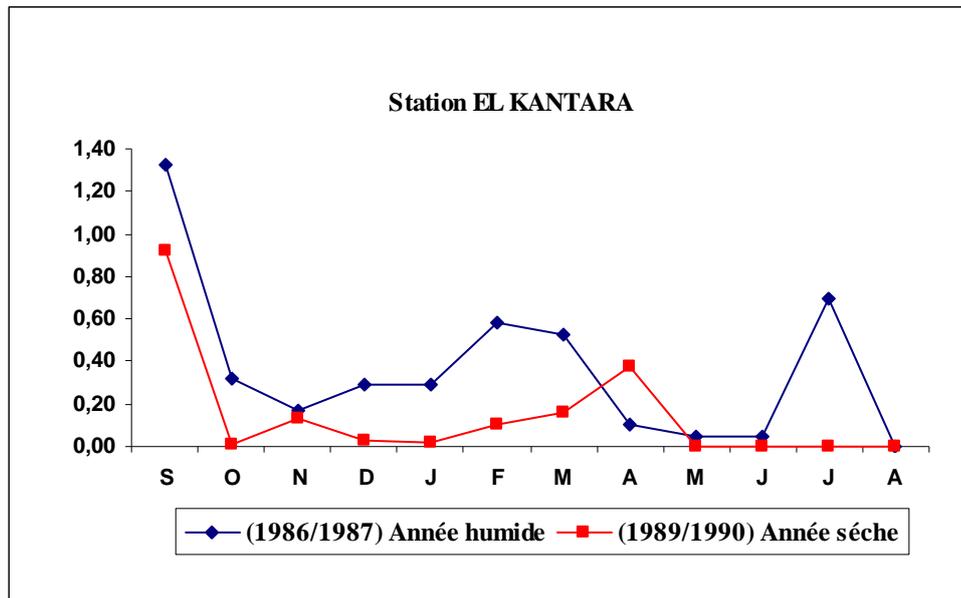


Figure n°25 : Hydrogramme de quelques années caractéristiques de l'écoulement à la station de Djemoura et El Kantara.



**I-7) L'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.

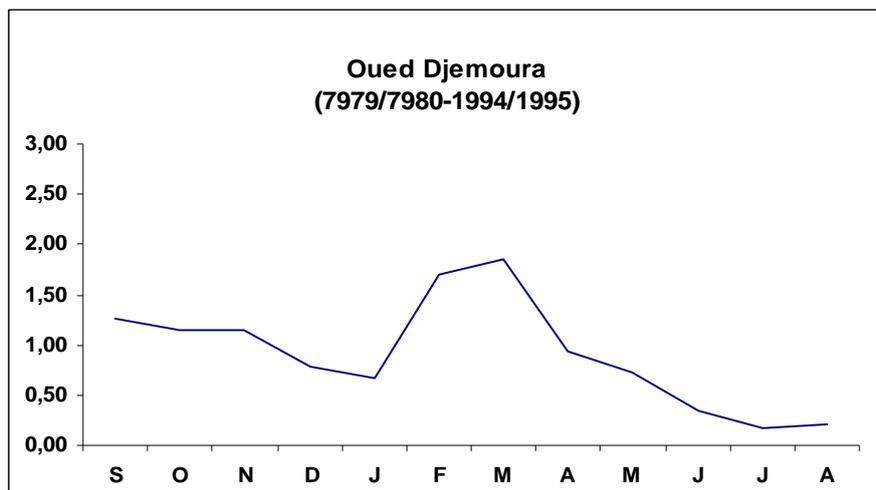
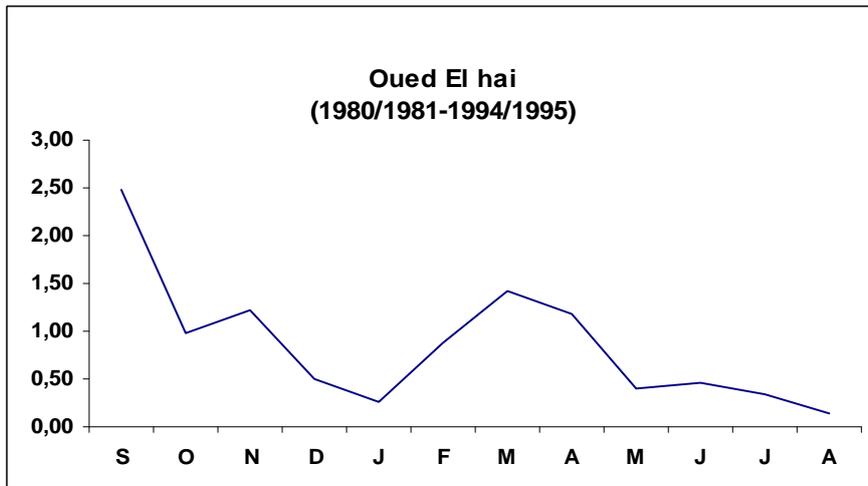
Les mois dont le coefficient mensuel de débits ou rapport de débit moyen mensuel au module de la période considérée est inférieur à l'unité représentent la période de basses eaux et les mois dont le C.M.D est supérieur à l'unité, correspondant à la période des hautes eaux.

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°26).

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.

Figure n°26 : courbes des coefficients mensuelles des débits.



### **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 à l'aval, il permet une alimentation des nappes phréatiques et un développement à l'irrigation par épandage des crues, mais l'impact le plus important est le phénomène d'inondation qui se produit en cette période de l'année.

# CHAPITRE II

Les formes extrêmes de  
l'écoulement : crues.

**Chapitre II****Les formes extrêmes de l'écoulement : crues.**

Les crues sont des gonflements hydrométriques exceptionnels débordant ou non, qui affectent sans périodicité le plus souvent l'écoulement <sup>(1)</sup>. Ce sont des événements 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 Les 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 protéger 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.

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) La genèse des crues et leur extension dans le temps et l'espace :****1. Les 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.

---

(1) : J.Loup, 1974.

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 1500m 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°46 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.

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) L'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 m<sup>3</sup>/s, avec une hauteur de 183 cm, cette valeur est de 101,6 m<sup>3</sup>/s, avec une hauteur de 192 cm dans la station de Djemoura (figure n°27).

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

Figure n°27 : Hydrogramme de la crue de la saison froide décembre 1981

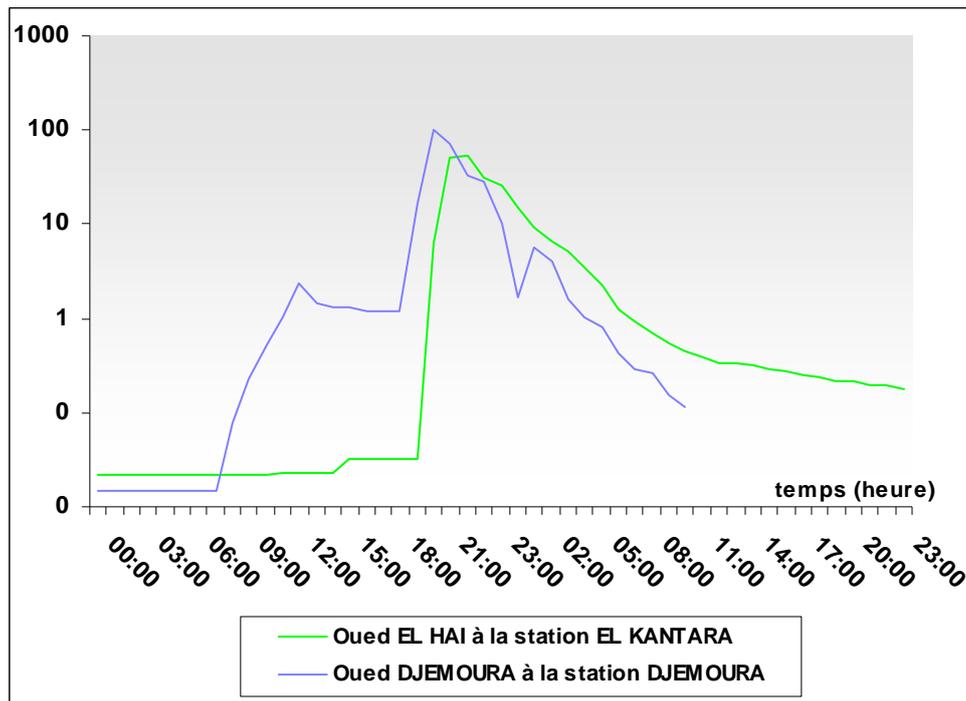
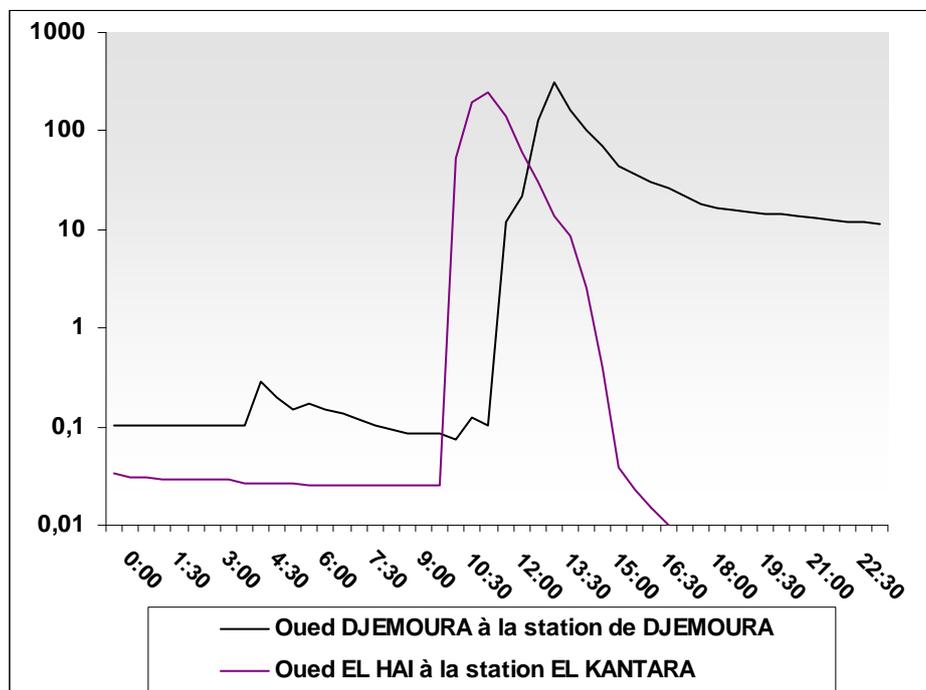


Figure n°27 : Hydrogramme de la crue de la saison chaude octobre 1982



## **2. Les 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 eaux, 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°46).

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  $100\text{m}^3/\text{s}$  comme celle 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 :**

#### **La 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 137,7mm à la station de Biskra 551,7mm à la station de Menaâ et 256,6mm 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°27).

Ces mêmes caractères se retrouvent, mais à un degré moindre au niveau de la phase de décrue.

Tableau n°46 : Débits journaliers des crues de l'oued El Hai et Djemoura.

Oued El Hai à la station d'El Kantara								Oued Djemoura à la station de Djemoura							
Saison froide				Saison chaude				Saison froide				Saison chaude			
Qmax (m <sup>3</sup> /s)	date	Hauteur (cm)	heure	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	date	Hauteur (cm)	heure	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	date	Hauteur (cm)	heure	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	date	Hauteur (cm)	heure
105,00	07/12/71	180	09h00	172	04/09/72	235	07h00	2,18	11/02/73	24	18h00	55,00	28/06/76	100	00h00
5,00	29/03/74	70	08h00	45,85	07/05/75	134	08h00	7,48	30/03/75	48	17h30	37,90	11/07/76	81	19h00
34,32	15/04/79	104	01h00	107,00	24/09/75	100	07h00	8,14	10/02/76	38	15h00	56,92	04/09/80	126	08h00
53,90	22/12/81	183	21h10	196,05	07/09/76	171	07h00	2,83	24/11/77	37	12h00	314,80	31/10/82	282	13h00
7,16	31/03/73	76	06h00	100,00	06/09/77	180	19h00	21,48	06/04/78	76	22h00	102,88	29/08/84	166	02h00
5,68	22/04/75	72	20h00	283,00	03/09/79	293	21h30	56,92	05/03/80	126	10h00	44,80	09/10/84	110	23h50
150,00	06/01/77	140	19h00	178,20	25/06/81	324	03h00	104,60	22/12/81	165	20h00	35,84	07/10/85	96	13h00
23,38	11/02/80	98	08h00	246,60	31/10/82	383	11h30	39,52	03/02/84	102	22h00	114,00	30/09/86	174	05h00
12,40	14/02/82	98	20h45	127,60	29/08/84	274	03h05	19,49	12/02/85	66	07h00	34,66	05/11/87	95	118h00
2,86	12/02/85	52	03h00	261,00	22/10/84	130	23h00	39,52	14/03/91	102	19h15	109,50	11/07/89	171	20h00
1,00	16/03/94	0,00	02h00	96,50	30/05/86	240	21h15	150,00	23/04/95	198	02h00	159,40	10/09/89	204	09h00
12,30	14/03/96	136	09h00	63,06	30/09/86	198	05h00	64,30	16/04/96	200	16h30	91,45	11/10/91	157	23h00
69,20	22/04/98	275	08h30	19,96	27/05/88	116	04h10	46,50	07/12/97	170	06h00	141,00	17/11/92	192	04h45
				83,31	20/06/89	225	05h00	55,70	22/04/98	186	18h05	23,86	01/11/93	74	21h25
				297,00	21/09/89	432	08h00					12,26	15/10/95	92	20h00
				1,00	19/08/92	0,00	06h00								
				5,50	07/11/92	60	05h00								
				1,27	02/11/93	09	00h00								
				10,30	12/05/95	90	08h30								
				218,00	03/09/95	500	01h30								
				42,60	02/08/97	220	06h00								
				230,00	17/09/97	360	11h30								

**II-1.2) Les 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°46).

**a) La 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 m<sup>3</sup>/s ce débit est de 297 m<sup>3</sup>/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°28).

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) La 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°29) la station d'El Kantara a enregistré 127,6 m<sup>3</sup>/s et Djemoura 102,88 m<sup>3</sup>/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°29) 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) La 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 m<sup>3</sup>/s, alors que la station de Djemoura n'a enregistré que 19,94 m<sup>3</sup>/s, 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 juxtaposés (figure n°30) la puissance de la crue a diminué de l'amont à l'aval du fait de la répartition des précipitations ainsi que la faiblesses 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°28 : Hydrogramme de la crue de septembre 1989

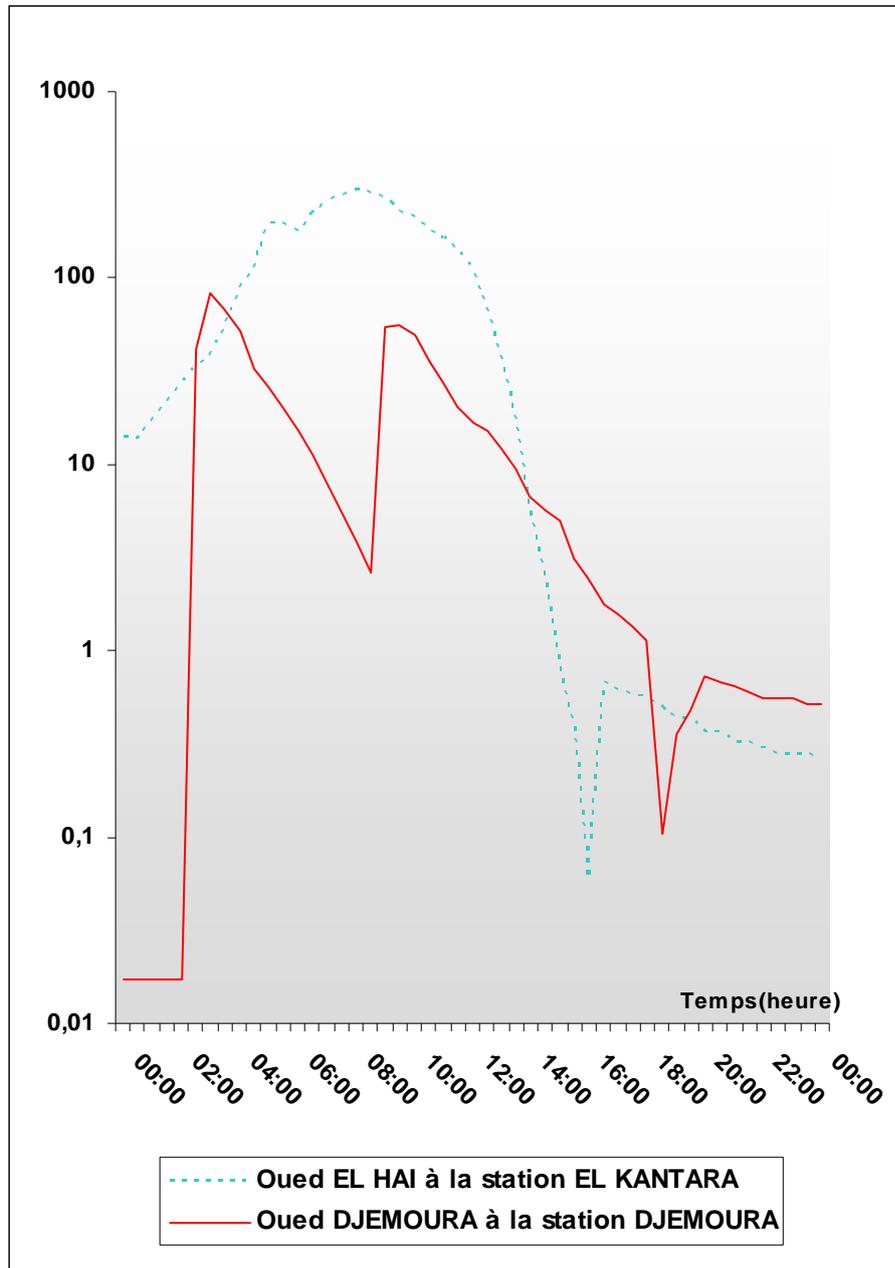


Figure n°29 : Hydrogramme de la crue d'août 1984

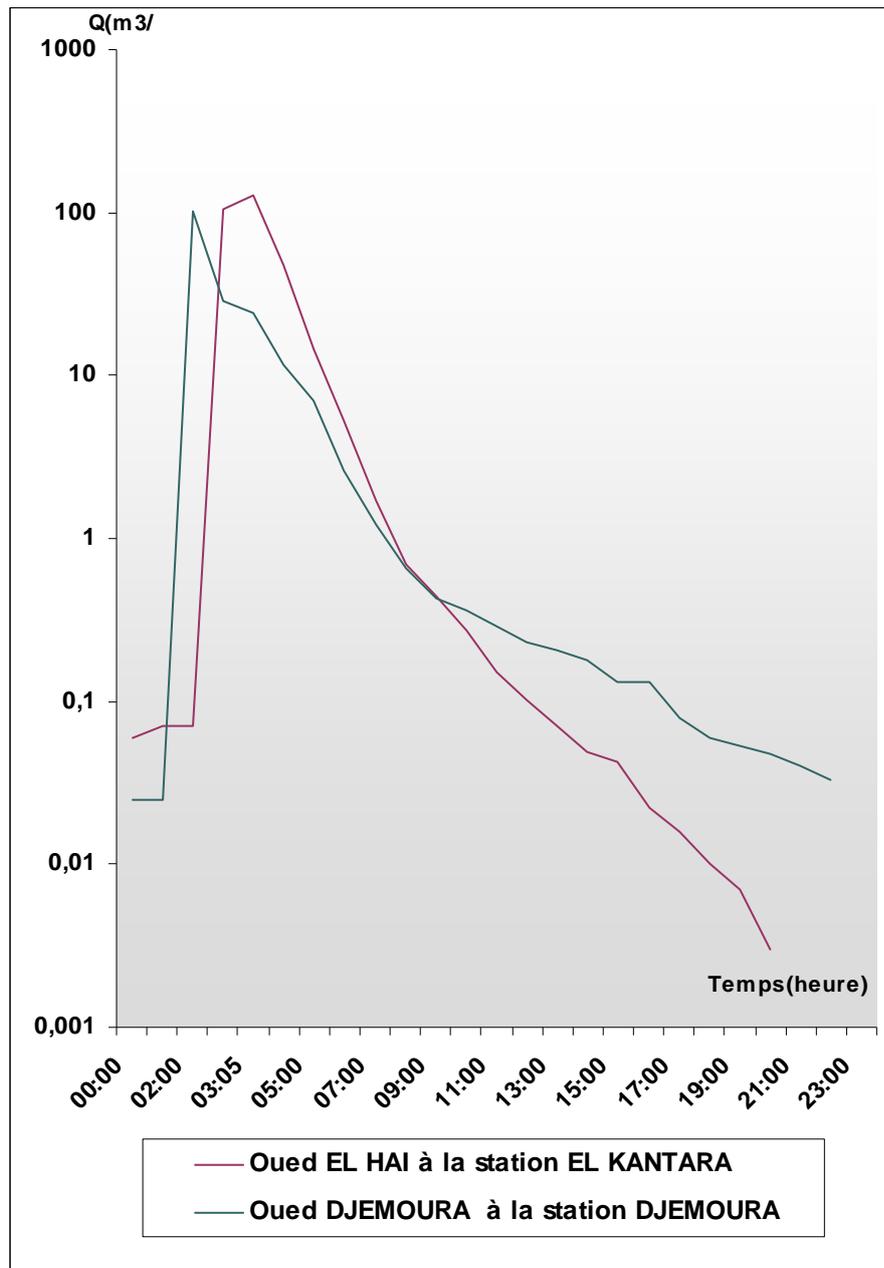
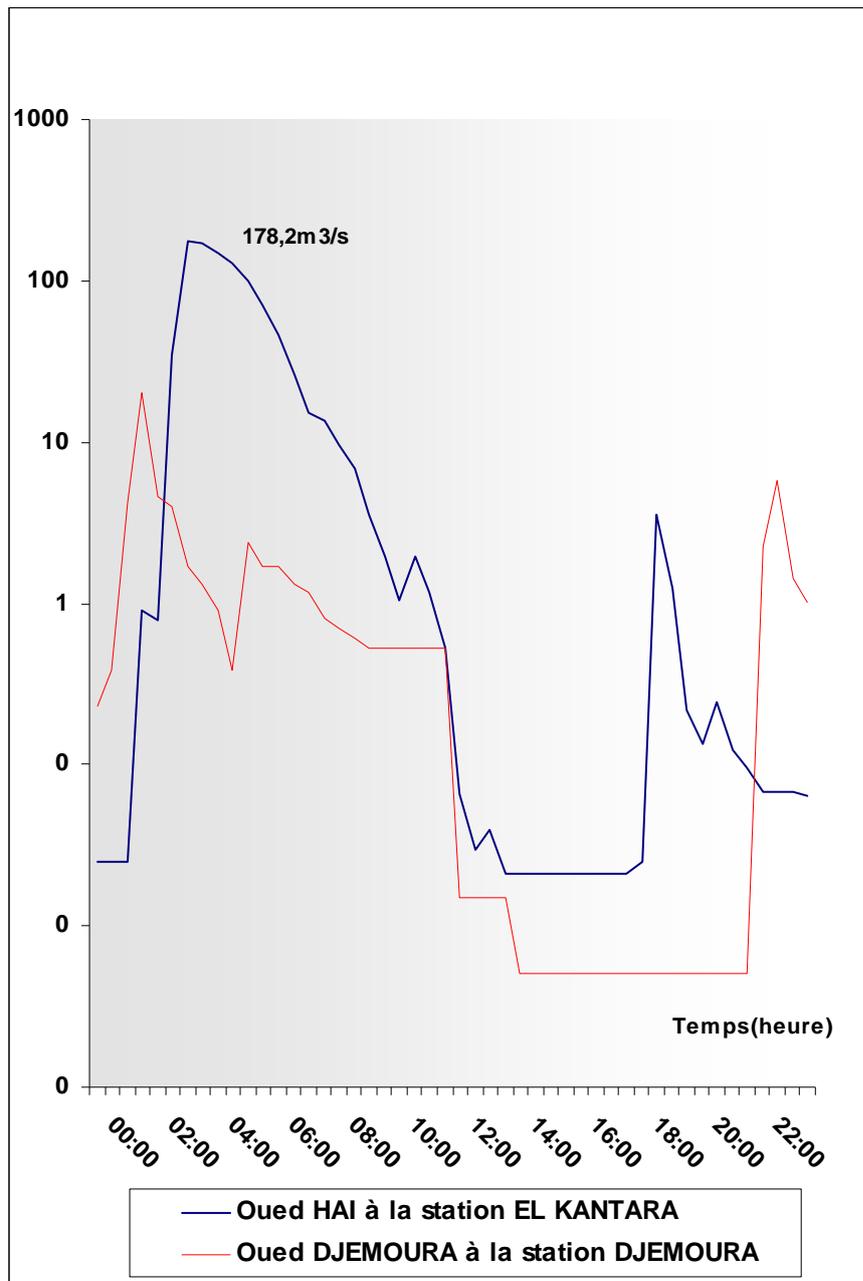


Figure n°30 : Hydrogramme de la crue de juin 1981



**Tableau n° 47 : Caractéristiques des principales crues de l'oued Biskra et ses principaux affluents.**

Oued	Date de maximum	Pluie moyenne annuelle (mm)	Pluie moyenne mensuelle (mm)	Pluie journalière maximale (mm)	Q moy annuel (m <sup>3</sup> )	Q moy mensuel (m <sup>3</sup> )	Q max (m <sup>3</sup> /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 <sup>(1)</sup>	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) Les apports de crues :

La plus forte crue enregistrée pour notre période d'observation a écoulé 271987.720 m<sup>3</sup> à Djemoura le 31/10/82, alors que l'oued El Hai a écoulé 20.960.640 m<sup>3</sup>. Pendant la crue du 22/12/1981 en saison froide ; l'apport d'El Kantara est important soit 15396.480 m<sup>3</sup> et seulement 8.778.240 m<sup>3</sup> à Djemoura. Quant à la crue de 29/08/1984, l'apport de Djemoura est de 8.888.832 m<sup>3</sup>, il est important à El Kantara : 11024640 m<sup>3</sup>.

Les valeurs des débits absolus et spécifiques regroupées dans le tableau n°48, 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 m<sup>3</sup>/s avec en débit spécifique de 537.20 l/s/km<sup>2</sup> à l'oued Djemoura, alors que l'oued El Hai a écoulé 242.60 m<sup>3</sup>/s avec un débit spécifique de 146.15 l/s/km<sup>2</sup>. C'est le contraire qui s'est produit le 21/09/89, cette crue a écoulé 297 m<sup>3</sup>/s avec un débit spécifique de 178.92 l/s/km<sup>2</sup> à El Hai, alors que la station de Djemoura n'a enregistré que 82.70 m<sup>3</sup>/s avec un débit spécifique de 141.13 l/s/km<sup>2</sup>. 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.

Tableau n°48 : les apports et les débits absolus, spécifiques des principales crues.

Oued	Date de crue	Débit max journalier		Volume total écoulé pendant 24 h de crue (m <sup>3</sup> )	Volume total écoulé en année moyenne (m <sup>3</sup> )
		Absolu (m <sup>3</sup> /s)	Spécifique (l/s/km <sup>2</sup> )		
Djemoura	22/12/81	101,60	173,38	8778240	3204058×10 <sup>3</sup>
	25/06/81	19,94	34,03	1722816	628828×10 <sup>3</sup>
	31/10/82	314,80	537,20	27198720	9927533×10 <sup>3</sup>
	29/08/84	102,88	175,56	8888832	3244424×10 <sup>3</sup>
	21/09/89	82,70	141,13	7145280	260827×10 <sup>3</sup>
El Hai	22/12/81	53,90	32,47	4656960	1699790×10 <sup>3</sup>
	25/06/81	178,20	107,35	15396480	5619715×10 <sup>3</sup>
	31/10/82	242,60	146,15	20960640	7650634×10 <sup>3</sup>
	29/08/84	127,60	76,87	11024640	4023994×10 <sup>3</sup>
	21/09/89	297,00	178,92	25660800	9366192×10 <sup>3</sup>

### II-2 Différentes méthodes d'estimation des débits des crues :

Dans une première phase d'évaluation des risques 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.

#### 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<sup>3</sup>/s, la pluie moyenne interannuelle " $\bar{P}$ " en mètre "S" la surface du bassin versant en km<sup>2</sup>, 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 <sup>(1)</sup> qui dépendent des caractéristiques topographiques, climatologiques et géologiques des bassins. Les résultats sont présentés dans le tableau n°49.

(1) : Sami 1962.

**Tableau n°49 : Calcul des débits des crues par la formule empirique issue des lois de Gilbert-Galton-Gauss**

Bassin	Surface (km <sup>2</sup> )	Longueur du bassin (km)	Pluie moyenne (mm)	$\gamma_{100}^{(1)}$	$Q_{100}^{(2)}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\gamma_{1000}^{(3)}$	$Q_{1000}^{(4)}$ (m <sup>3</sup> /s)
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 ( $Q_{t=100 \text{ ans}}=1038.84 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{t=1000 \text{ ans}}=2267.88 \text{ m}^3/\text{s}$ ) en raison de la grande superficie drainée par ce cours d'eau (2787 km<sup>2</sup>). De même pour le sous bassin de l'oued El Hai d'une superficie de 1788 km<sup>2</sup> 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.

$$(1) : \gamma_{100}=2.S^{-0.25} \times \sqrt{9 - \ln S} .$$

$$(2) : Q_{t=100\text{ans}} = \gamma_{100} \times S \times K \times \ln(1+A\bar{P}) \left(\frac{S}{L^2}\right)^{0.25} .$$

$$(3) : \gamma_{1000}=2.S^{-0.25} \times \sqrt{13 - \ln S} .$$

$$(4) : Q_{t=1000\text{ans}} = \gamma_{1000} \times S \times K \times \ln(1+A\bar{P}) \left(\frac{S}{L^2}\right)^{0.25} .$$

**II-2.2) Etude des crues maximales annuelles par analyse statistique :****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'emménagement ou d'évacuation.

Parmi les distributions statistiques généralisées, la loi de Gumbel<sup>(1)</sup> est fréquemment utilisée pour rendre compte de la distribution des valeurs extrêmes en hautes eaux.

De ce fait, la distribution statistique des Qmax du bassin versant de l'oued Biskra s'adapte bien à cette loi (voir figure n°31).

Ce qu'il est à signaler, 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°50) peut se faire soit par lecture directe du graphe soit d'après l'équation de la droite de Gumbel<sup>(2)</sup>.

**Tableau n°50 : Durée de récurrence des débits journaliers maximaux annuels**

oued	U	F	Période de retour (t)	Qmax (m <sup>3</sup> k)	Coefficient « k »
<b><u>Djemoura</u></b> <b>Qmax=45.09u+52.16</b>	0,3665	0,50	02	64,21	0,544
	1,5000	0,80	05	123,30	0,543
	2,2204	0,90	10	162,50	0,543
	2,9702	0,95	20	200,00	0,543
	3,9019	0,98	50	248,60	0,543
	4,6001	0,99	100	285,00	0,542
<b><u>El Hai</u></b> <b>Qmax=69.63U+80</b>	0,3665	0,50	02	98,95	0,544
	1,500	0,80	05	189,60	0,543
	2,2504	0,90	10	249,70	0,543
	2,9702	1,95	20	307,20	0,543
	3,9019	0,98	50	881,80	0,543
	4,6001	0,99	100	437,60	0,542

(1) : la loi de Gumbel adoptée :  $F(Q) = \ell^{-\ell^{-a(Q-Q_0)}}$ .

En adoptant "Q" comme représentation de variable.

Q<sub>0</sub> : paramètre de position :  $Q_0 = Q_m - (0.577 \times \frac{1}{a})$ .

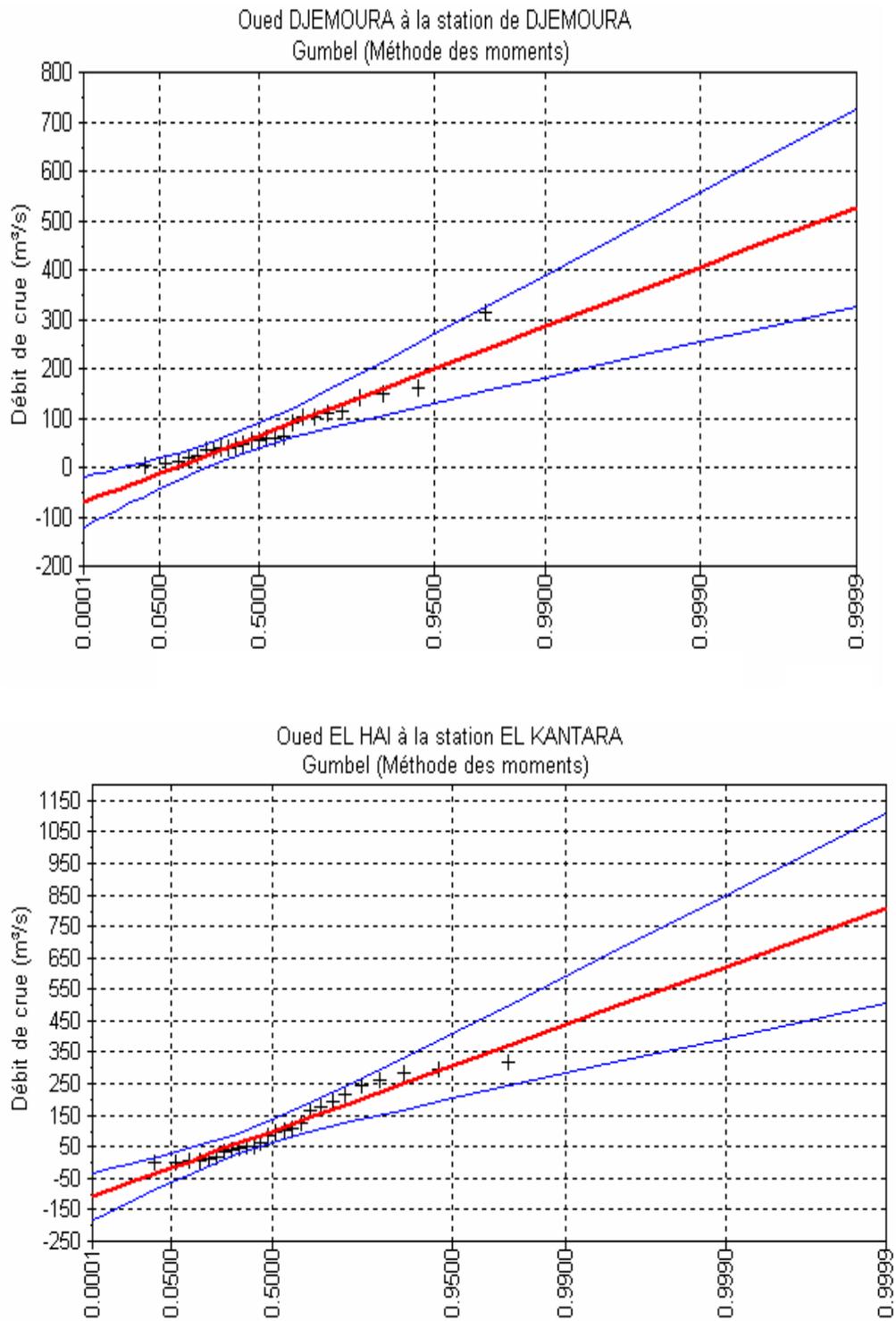
$\frac{1}{a}$  : Paramètre d'échelle :  $\frac{1}{a} = 0.780 \delta$ .

Q<sub>m</sub>,  $\delta$  : Sont respectivement la moyenne et l'écart type des échantillons.

(2) : l'équation de la droite de Gumbel.

$$U = (Q - Q_0).$$

**Figure n°31 : Ajustement des débits journaliers maximums à une loi de Gumbel (1970/1998)**



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 :

$$Q_{\text{crue.Biskra}} = Q_{\text{crue.O.El Hai}} \left( \frac{S.O.Biskra}{S.O.ElHai} \right)^K$$

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 :

$$Q_{\text{crue (T).ElHai}} = Q_{\text{crue (T).Djemoura}} \left( \frac{S.O.Biskra}{S.O.ElHai} \right)^K$$

$$\ln k = \ln \left( \frac{Q_{\text{crue (T).O.ElHai}}}{Q_{\text{crue (T).O.Djemoura}}} \right) - \ln \left( \frac{S.O.ELHAI}{S.O.DJEMOURA} \right)$$

Les valeurs de "K" sont présentées dans le tableau n°50 et les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau n°51.

**Tableau n°51 : Débits de crues pour le bassin de l'oued Biskra et son ensemble.**

Période de retour Qcrue (m <sup>3</sup> /s)	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 ( $Q_{\text{max}}=23.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et serait due à la forte capacité d'infiltration et d'évaporation du bassin, où le rapport pluviométrique est relativement faible.

- Cette valeur est relativement plus élevée sur l'oued Biskra ( $Q_{\text{max}}=113.17 \text{ m}^3/\text{s}$ ) 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 ( $93 \text{ km}^2$ ) 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 5000km<sup>2</sup>, dont le temps de concentration de ruissellement ou de l'écoulement rapide est compris entre 1 heure et 4 jours<sup>(1)</sup>.

#### **B. Application de la méthode du Gradex au bassin versant de l'oued Biskra et ses petits sous bassins :**

##### **Données de base :**

Tc : 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 Pjmax 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 Pjmax 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 Pjmax sont ajustées à une loi de Gumbel et la valeur de g Déduite est égale à : 29,22mm.

---

(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.

Concernant la station pluviométrique d'El Kantara, l'absence de série pluviométrique nous a conduit à calculer  $g$  comme suite :  $P_{j\max} \text{ El Kantara} = 32,8\text{mm}$  (Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie synthèse régional ANRH 1985).

Application de la méthode de Gumbel nous donne :  $g = 25,57\text{mm}$ .

$b$  : Exposant climatique.

$Q_{\max}$  (50ans) : Débit de pointe estimé par le formule de Gumbel.

$S$  : La surface du bassin versant en  $\text{km}^2$ .

Les résultats de ce calcul sont présentés dans les trois tableaux qui suivent :

**Tableau n°52 : Application de la méthode du Gradex sur le bassin versant de l'oued Biskra et son ensemble.**

bassin versant	Tc (heure)	Gradex g (mm)	b <sup>(1)</sup>	Qmax (50ans) (m <sup>3</sup> /s)	Surface (km <sup>2</sup> )	gt <sub>c</sub> <sup>(2)</sup> (mm)	r <sup>(3)</sup>	Débit de Pointe <sup>(4)</sup> de crue moy (m <sup>3</sup> /s)
El Hai	15	25,57	0,25	381,80	1788	22,74	1,2	318,17
Djemoura	11,47	33,26	0,26	248,60	906	27,45	1,22	203,77
Biskra comp	9,62	29,22	0,28	91,50	93	22,62	1,37	66,79
Biskra	17	20,43	0,22	505,86	2787	14,47	1,22	415,82

(1) : Exposant climatique ; pour les stations pluviométriques : Djemoura, T'kout et Biskra, il est calculé par la formule :

$$b = 1 + \frac{\ln(P_{j\max}/24) - \ln(25)}{\ln(24) - \ln(0.5)}$$

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  $t_c$  et sur la même étendue de la série d'observation, le Gradex correspondant est évalué par la relation de Montana :

$$gt_c = g \left( \frac{t_c}{24} \right)^b \text{ en mm.}$$

(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 crue moyen (T=50ans) est égale à :  $\frac{\text{débit de pointe}}{r}$  en (m<sup>3</sup>/s).

**Tableau n°53 : Débit de crue moyenne <sup>(1)</sup> pour l'oued Biskra et son ensemble.**

Période de retour	O.El Hai	O.Djemoura	O.Biskra comp	O.Biskra
<b>500</b>	3263,70	2559,90	304,40	3767,20
<b>1000</b>	3785,60	2977,40	346,50	4358,80
<b>5000</b>	4997,40	3946,80	444,30	5732,30
<b>10000</b>	5519,30	4364,20	486,40	6323,80

**Tableau n°54 : Résultats finales de l'application de la méthode du Gradex " débits de pointe des crues <sup>(2)</sup> ".**

Période de retour	O.El Hai	O.Djemoura	O.Biskra comp	O.Biskra
<b>500</b>	3916,46	3123,12	417,05	4445,33
<b>1000</b>	4542,74	3632,44	474,74	5143,34
<b>5000</b>	5996,93	4815,04	608,67	6764,08
<b>10000</b>	6623,21	5324,26	666,35	7462,09

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 opérationnelle a été appliquée depuis 20 ans, pour calculer les débits de crues millénaires et décennales de près de 180 bassins versants.

Cette méthode fait apparaître les résultats suivants :

$$(1) : Q_{\text{moy crue}}(t_c, T) = Q_{\text{moy crue}}(T_c, T = 50 \text{ans}) + (g_{t_c} \times S / 3.6 \times t_c) \times \ln\left(\frac{T}{10}\right).$$

D'où :  $Q_{\text{moy crue}}(t_c, T=50 \text{ans})$  : le débit moyen de crue ( $T=50 \text{ans}$ ) ; en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$g_{t_c}$  : Gradex pour une pluie de durée égale à  $t_c$  (mm).

$T_c$  : Temps caractéristique du bassin (heure).

$S$  : La surface du bassin versant en  $\text{km}^2$ .

$T$  : Période de retour.

(2) : Débit de pointe de crue ( $t_c, T$ ) calculé par la formule suivante :

$$Q_{\text{pointe crue}}(T_c, T) = r \times Q_{\text{moy crue}}(T_c, T).$$

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 modérée en fréquence rare, phénomène qui serait en rapport avec le faible accroissement de la torrencialité des averses.

#### **II.2.4) Méthode du transfert pluie-débit :**

##### **A. Méthode de renouvellement :**

Par opposition, la méthode du renouvellement, mise au point récemment comparativement aux autres méthodes est beaucoup plus difficile à mettre en œuvre, surtout dans les pays où les données sont insuffisantes.

Mais cette complexité traduit beaucoup d'avantages sur les autres méthodes (Miquel J, 1984) et qui peuvent se résumer en quatre points essentiels :

- La prise en compte de toutes les crues importantes à l'échelle de l'année, même celles qui ne représentent pas le maximum et par conséquent une prise en compte total de l'information oubliée.
- L'élimination des faibles de crues, même si elles constituent des crues max.
- L'imposition d'un seuil convenablement choisi au préalable (par tâtonnement successif) et de ce fait l'homogénéisation est vérifiée.
- La prise en compte, si les données existant de l'information historique, ce qui constitue à coup sûr une référence de taille.

Pour cette étude, nous avons appliqué la méthode de renouvellement, en se basant sur les données de pluies observées à la station pluviométrique de Biskra.

Donc avec cette méthode, en va traiter l'ensemble des données de pluie journalière dépassant un seuil choisi.

##### **Choix du seuil :**

Le seuil " $S_0$ " choisi est un compromis qui doit assurer une extension artificielle de l'échantillon donné et l'indépendance des variables en même temps.

Généralement, un seuil tel qu'il y ai trois pluies par an en moyenne est un compromis satisfaisant (J. P.Laborde), cette condition est assurée en prenant  $S_0=2$  fois la valeur minimale de la pluie journalière sur la période observée ; soit  $S_0=15\text{mm}$ .

L'échantillon formé de 139 valeurs sur 24 ans (1976/1999) est ajusté à la loi de Fréchet. Les résultats et le graphique de cet ajustement sont illustrés dans la figure n°32 et le tableau n°55.

Résultats d'ajustement :

Fréchet

Nombre d'observation : 139

Paramètres :

$U=3.010419$

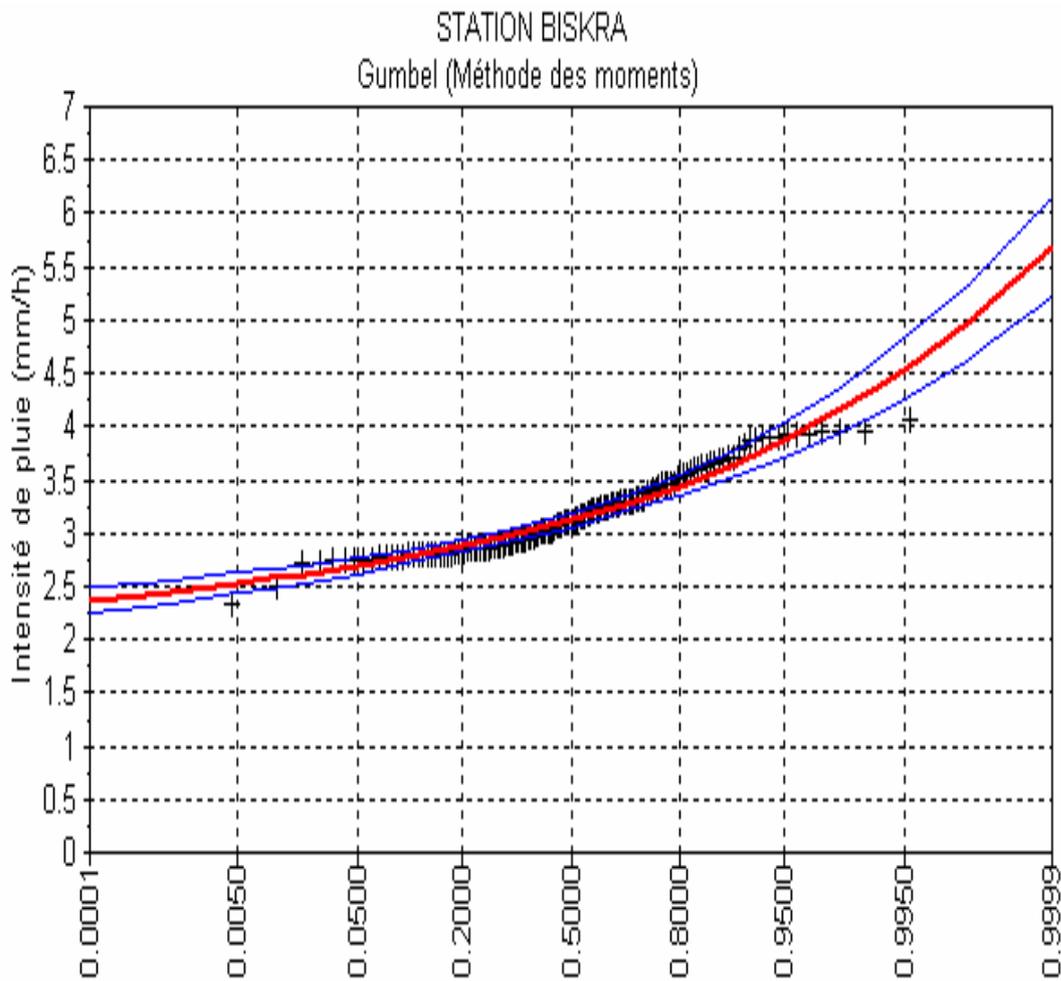
$\alpha=0.289296$

Quantiles :

$q=f(x)$  (probabilité de non dépassement).

$$T = \frac{1}{(1-q)}$$

**Figure n°32 : Ajustement des pluies qui dépassent un seuil égale à 15mm à la loi de Fréchet station de Biskra**



**Tableau n°55 : Ajustement à la loi de Fréchet des pluies qui dépassent un seuil égale à 15mm, à la station pluviométrique de Biskra.**

Période de retour	fréquence	Pluie de courte durée (mm)
1000	0,999	149,75
500	0,998	122,49
200	0,995	93,88
100	0,990	76,78
50	0,980	62,74
20	0,950	47,94
10	0,900	38,90
05	0,800	31,31

L'analyse statistique à pour objectif de déterminer les quantiles d'intensité pluvieuse à des différentes périodes de retour.

Cependant, le manque de données pour Tc=5mn, 10mn, 15mn, 20mn, 25mn et 30mn (absence des hytogrammes), nous a mené à faire nos calculs en se basant sur le modèle type Montana<sup>(1)</sup>.

Les intensités de pluie d'un pas de temps voulu, pour les différentes fréquences sont mentionnées dans le tableau n°56.

**Tableau n°56 : les intensités de pluie en mm/heure pour la station pluviométrique de Biskra**

Durée (heure)	05 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	200 ans	500 ans	1000 ans
	i (mm/h)							
0,5	62,62	77,80	95,88	125,48	153,56	187,76	244,98	299,50
01	31,31	38,90	47,94	62,74	76,78	93,88	122,49	149,75
02	15,65	19,45	23,97	31,37	38,39	46,94	61,25	74,88
03	10,44	12,97	15,98	20,91	25,59	31,29	40,83	49,92
04	7,82	9,72	11,99	15,69	19,20	23,47	30,62	37,44
06	5,21	6,48	7,99	10,46	12,80	15,65	20,42	24,96
12	2,61	3,24	3,99	5,23	6,40	7,82	10,21	12,48
18	1,74	2,16	2,66	3,49	4,27	5,22	6,81	8,32
24	1,30	1,62	1,99	2,61	3,20	3,91	5,10	6,24

La figure n°33, représente sous forme de courbes de niveaux les quantiles d'intensités pluvieuses pour l'ensemble des durées et de périodes de retour considérés sur le bassin versant de l'oued Biskra.

Cette figure montre que les valeurs des intensités de pluie croissent en fonction de la période de retour et décroissent en fonction de la durée.

$$(1) : P(t, T) = \left(\frac{t}{24}\right)^b ;$$

P(t, T) : Pluie de courte durée en mm.

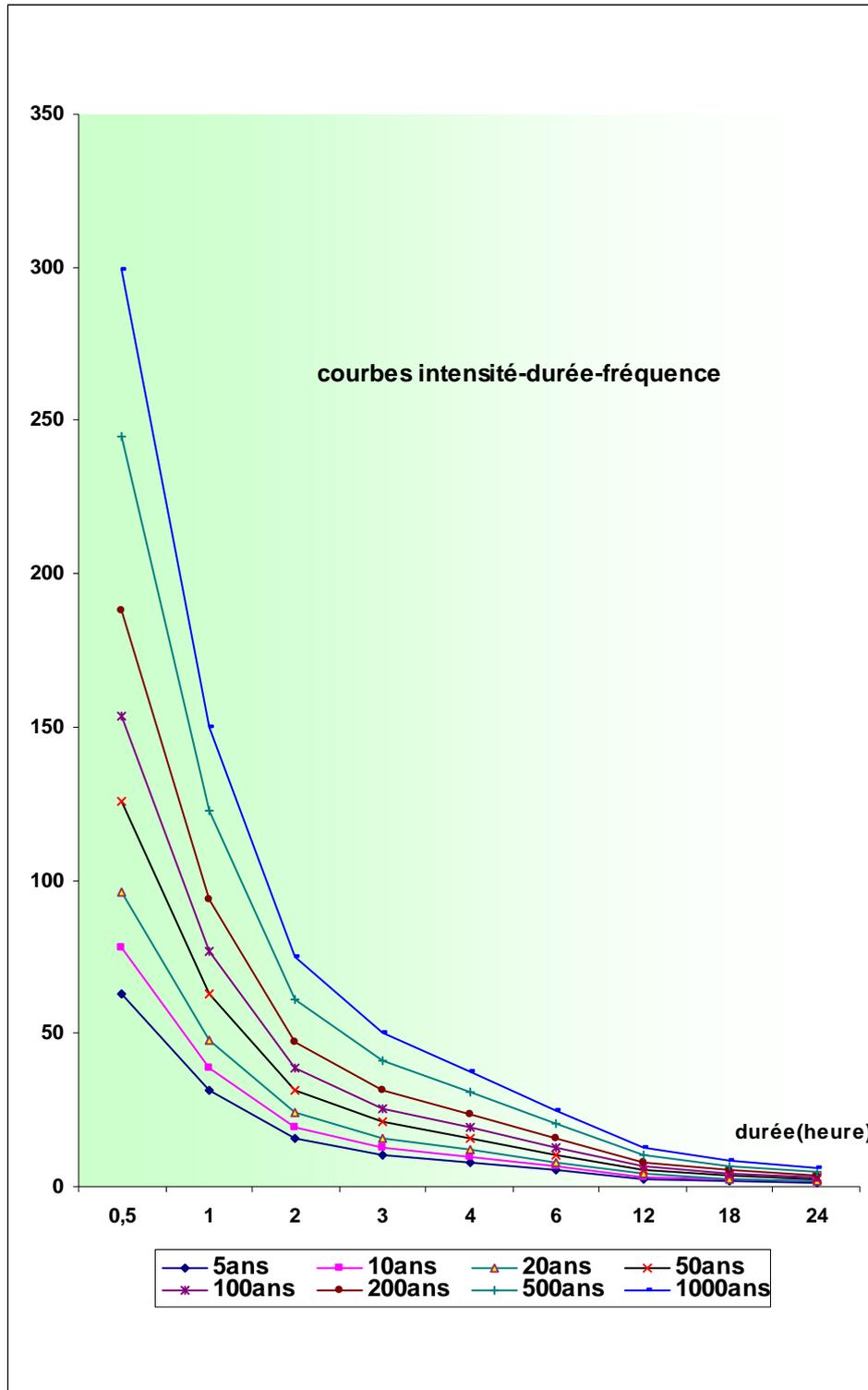
Pjmax : Pluie journalière de fréquence donnée et de période de retour T.

b : Exposant climatique supposé constant en fonction de T.

Pour Biskra ; b=0,22.

$i = \frac{P(t, T)}{t}$  ; I : Intensité de pluie, de durée t et de période de retour T en mm/ heure.

Figure n°33 : Courbes intensité-durée-fréquence à la station pluviométrique de Biskra.



**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<sup>(1)</sup>.

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).

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.

La méthode de renouvellement constitue une extension plus perfectionnée et plus robuste des méthodes précédentes utilisées, elle est longue mais ses résultats sont les meilleurs.

---

(1) : Voir l'introduction générale.

**II-3 La 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<sup>(1)</sup> est un indicateur souvent utilisé, il permet d'apprécier la puissance des crues sur des bassins d'étendues diverses, mais cet indice peut être 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°57).

**Tableau n°57 : La puissance des crues.**

Oued	Date du max	Q max (m <sup>3</sup> /s)	S (km <sup>2</sup> )	Q spécifique (l/s/km <sup>2</sup> )	La lame d'eau écoulée (mm)	Coefficient A	Hauteur d'eau dans le lit de l'oued (m)
<b>DJEMOURA</b>	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
<b>EI HAI</b>	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  $A = \frac{Q_{\max}}{\sqrt{S}}$  ; Q<sub>max</sub> : le débit maximal instantané ; S : surface réceptrice du bassin (km<sup>2</sup>).

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<sup>(1)</sup>, 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 m<sup>3</sup>/s enregistré à la station de Djemoura, soit un débit spécifique de 537,20 l/s/km<sup>2</sup>.

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/km<sup>2</sup> avec un débit journalier de 242,60 m<sup>3</sup>/s.

---

(1) : En raison de la brièveté de la série hydrologique disponible, ces valeurs sont évidemment beaucoup plus faibles que les valeurs- records absolues enregistrées en domaines méditerranéen (pouvant atteindre jusqu'à 100 à 150).

### **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 permis de confirmer le caractère d'irrégularité et d'immodération 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 cote de 1,66m à la station de Djemoura et 2,74m 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

**Chapitre III****Etude des transports solides dans le bassin versant de l'oued Biskra****Introduction :**

L'étude des transports solides du bassin versant de l'oued Biskra, se heurte à l'insuffisance des données, aussi bien qualitatives que quantitatives. Dans ce bassin caractérisé par l'irrégularité de la pluviométrie, des averses torrentielles, par un couvert végétal souvent discontinu, l'érosion est très active, essentiellement sur les pentes fortes et les berges des oueds.

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.

**III.1 Définition et types de transports solides :**

Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Il relève essentiellement du ruissellement et mis en jeu les diverses formes d'écoulement d'eau dans la nature. Le débit solide global d'un cours d'eau peut être divisé en trois types principaux :

**a. Le transport solide en suspension :**

Il concerne les éléments les plus fins du transport solide qui sont maintenus en suspension par la turbulence de l'eau, au sein de l'écoulement lui-même malgré leur densité supérieure à celle de l'eau.

**b. Le transport solide par charriage :**

Il concerne particulièrement les matières solides grossières qui contribuent à la formation et à l'équilibre du lit et principalement la pente. Ces matériaux glissent et roulent sur le fond sans pratiquement jamais quitter le lit.

**c. Le transport solide en dissolution :**

Il concerne les matières transportées en solution dans l'eau venant de l'érosion chimique des bassins versants, des pollutions anthropiques et des apports atmosphériques. Cette troisième partie ne représente qu'une infime partie de débit global solide.

Nous nous limiterons à l'étude des transports solides en suspension, qui représente de loin pour l'oued Biskra et les oueds Algériens en général, la part la plus importante de débit solide global.

**III.2 Problème de données :**

En raison des difficultés de la mesure des transports solides en suspension et par charriage, les données d'observation concernant ce paramètre à l'exutoire de petits bassins versants sont très rares.

Un certain nombre d'étude concernant le paramètre transport solide sont actuellement en cours d'élaboration dans les pays du Maghreb.

En attendant l'aboutissement de ces études, on aura recours à des formules empiriques ou abaques, en tenant compte toute fois que la plupart d'entre elles ont été mises au point à partir des données observées sur des grands bassins versants.

**III.3 Evaluation du transport solide :****III.3.1 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) <sup>(1)</sup> :**

Basée sur les données recueillies dans 32 bassins d'Algérie et 09 bassins Tunisiens, les superficies varient de 90 à 22300 km<sup>2</sup> et les observations portent sur une durée variante de 2 à 22 ans. Elle donne un taux d'abrasion de 131,45 t/km<sup>2</sup>/an pour El Hai ; 146,11 t/km<sup>2</sup>/an pour Djemoura et 136,08 t/km<sup>2</sup>/an à l'oued Biskra.

**B. Formule de Sogreah (1969) <sup>(2)</sup> :**

Basée sur les données recueillies dans 27 bassins d'Algérie, les superficies varient de 90 à 22300 km<sup>2</sup>.

Les relations de Sogreah inspirées des relations de Tixeront donnent les apports spécifiques "A" (t/km<sup>2</sup>/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/km<sup>2</sup>/an, le sous bassin de Djemoura donne une valeur de 104,36 t/km<sup>2</sup>/an et finalement, le bassin de l'oued Biskra donne un taux d'abrasion de 462,91 t/km<sup>2</sup>/an.

**III-3.2) Avec les données de mesures :****III-3-2.1) 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.

(1) :  $A = 92 \times R^{0.21}$  (Région de l'est Algérien).

A : Apports solides spécifiques moyens annuels (t/km<sup>2</sup>/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.

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°34 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  $K_2 = a$ ,  $K_1 = e^b$ .

Nous obtenons les résultats consignés dans le tableau n°58.

**Tableau n°58 : Recherche de relations saisonnières : Débit liquide-débit solide au pas de temps journalier.**

	Saisons	Nombre de points	Paramètres de la droite régression.			Coeff. de corrélation.	Relations.
			$K_2$	$b$	$K_1 = e^b$		
<b>El kantara</b>	01 (sep, oct, nov)	485	1,5105	1,6679	5,301	0,892	$Q_s = 5.301 Q_L^{1.51}$
	02 (dec, jan, fév)	196	1,4878	0,2292	1,258	0,669	$Q_s = 1.48 Q_L^{1.26}$
	03 (mar, avr, mai)	338	1,7724	0,537	1,711	0,855	$Q_s = 1.77 Q_L^{1.7}$
	04 (jui, juil, août)	162	1,4197	1,8413	6,305	0,839	$Q_s = 1.41 Q_L^{6.3}$
<b>Djemoura</b>	01 (sep, oct, nov)	209	1,3427	2,509	12,29	0,944	$Q_s = 12.92 Q_L^{1.34}$
	02 (dec, jan, fév)	24	1,207	2,0634	7,87	0,924	$Q_s = 7.78 Q_L^{1.21}$
	03 (mar, avr, mai)	53	1,5795	1,6987	5,47	0,940	$Q_s = 5.47 Q_L^{1.58}$
	04 (jui, juil, août)	42	1,4379	2,0669	7,90	0,972	$Q_s = 7.9 Q_L^{1.44}$

Figure n°34 : recherche d'une relation saisonnière débit liquide-débit solide pour la station de Djemoura.

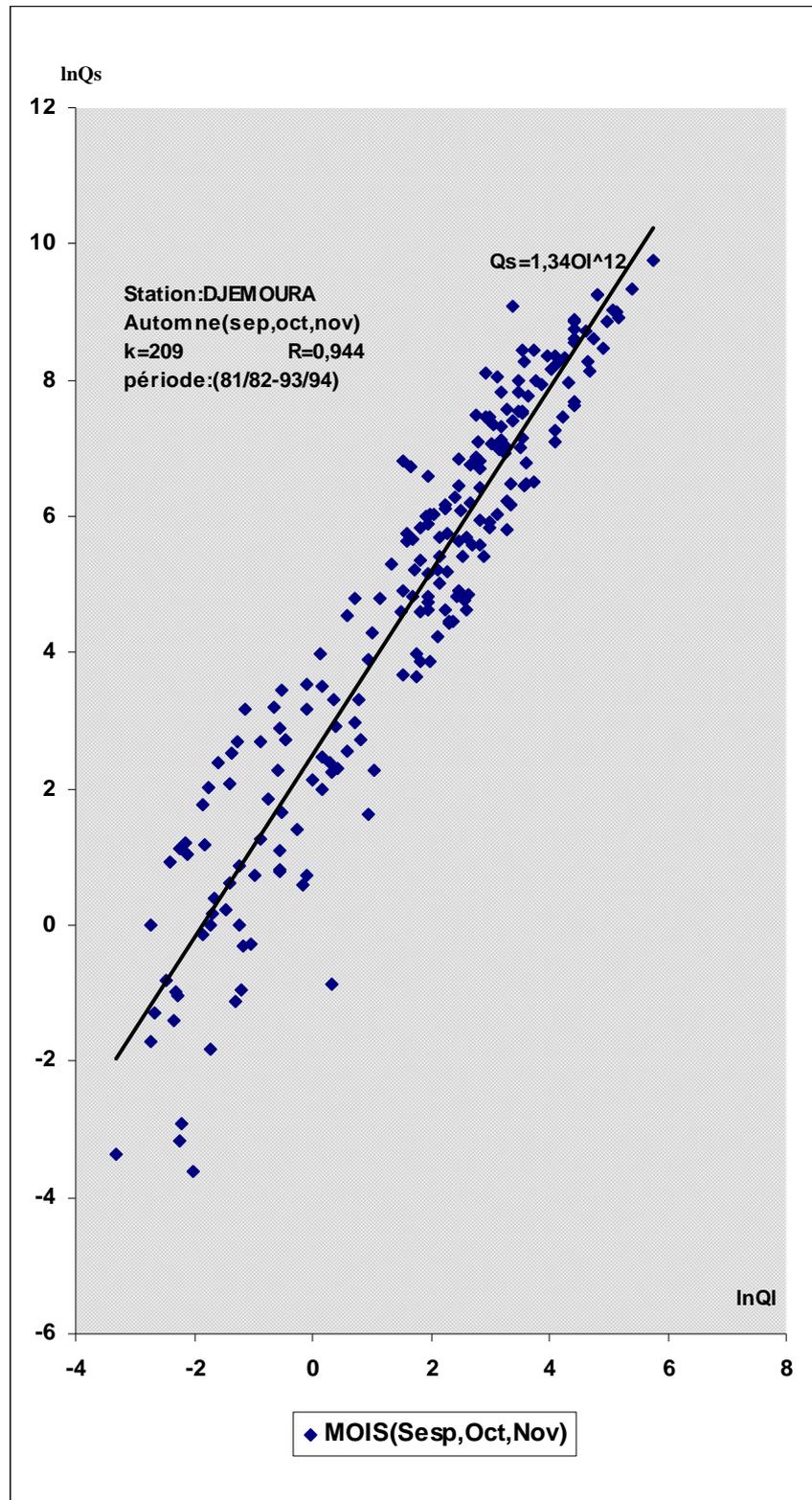
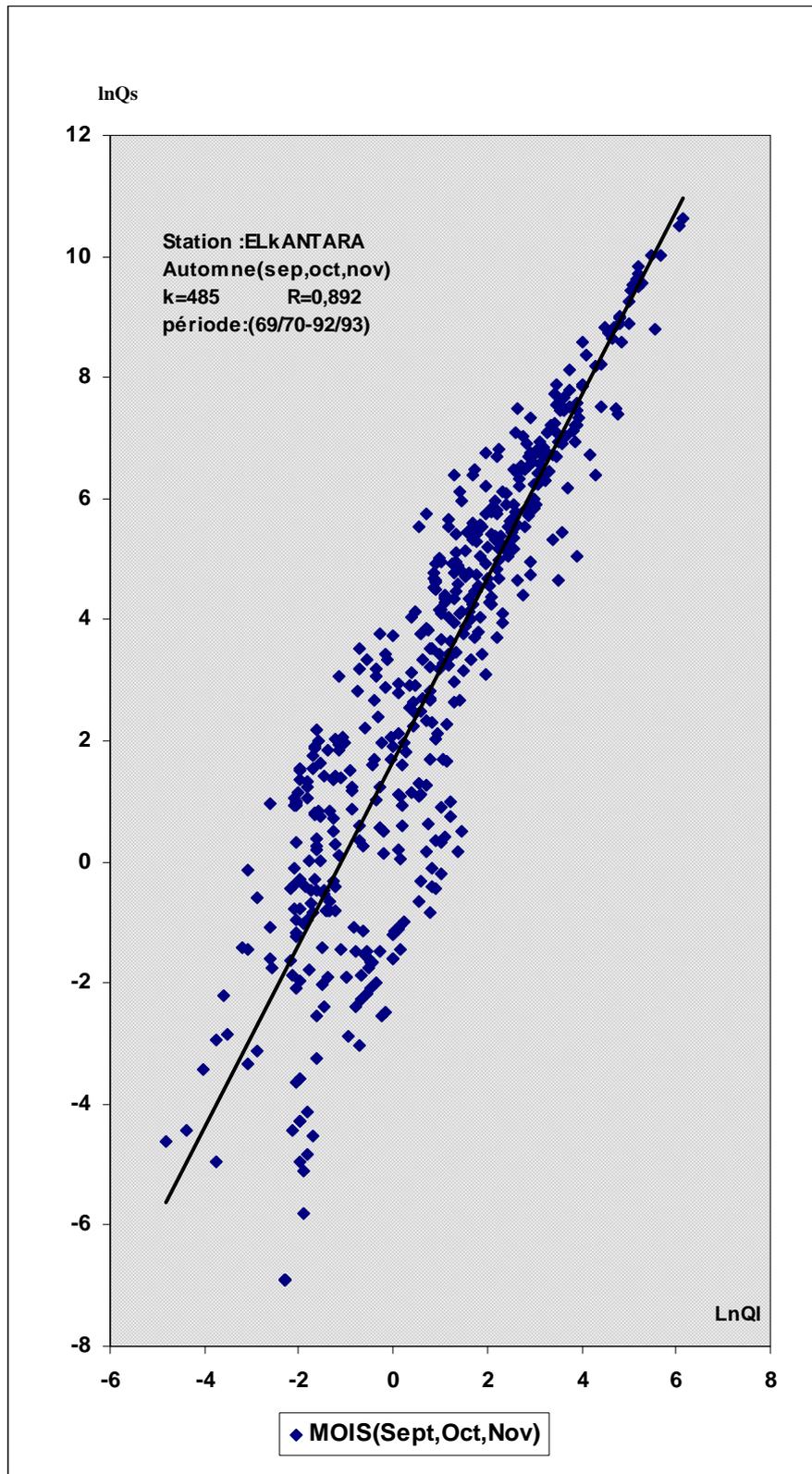


Figure n°34 : Recherche d'une relation saisonnière débits liquides- débits solides pour la station d'El Kantara.



**III-3.3) Les 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°35) et (tableau n°59).

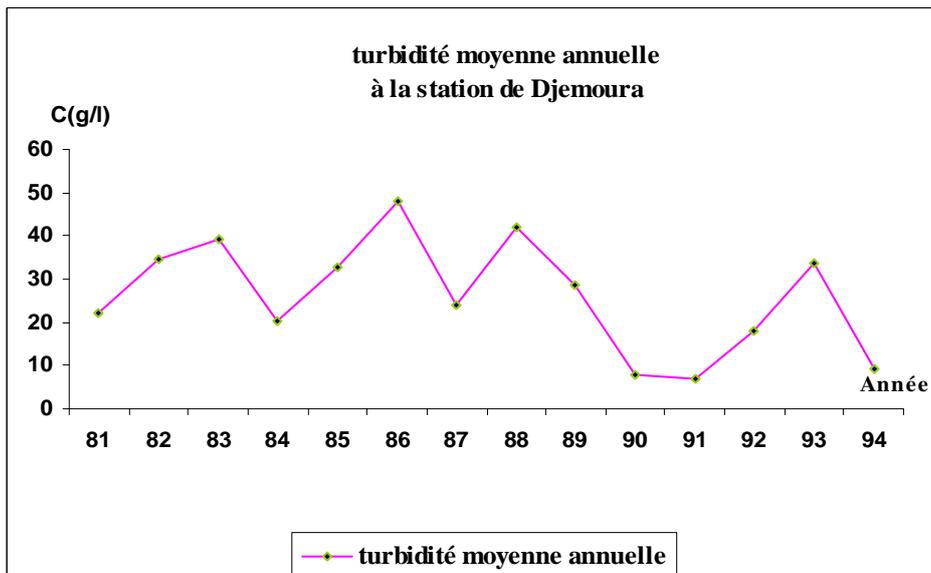
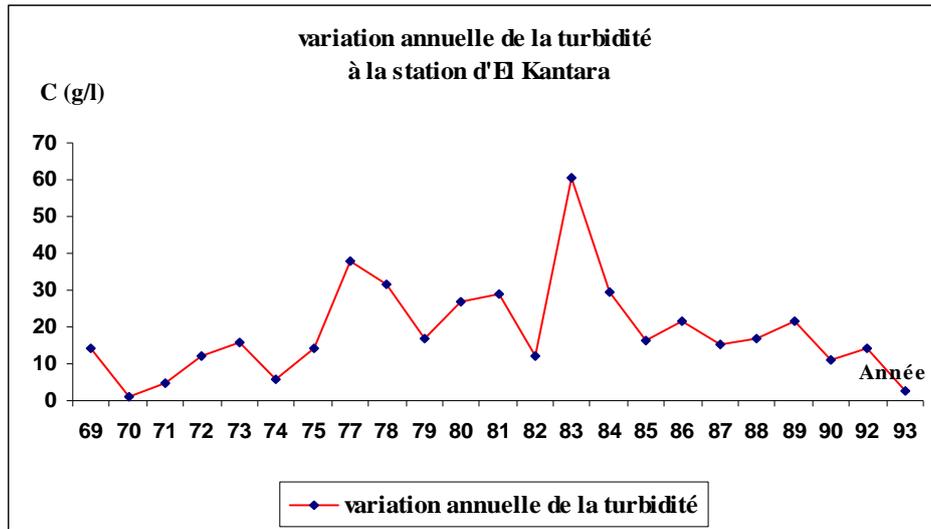
Ceci est probablement lié à la prédominance d'une couverture végétale saisonnière au bassin de l'oued El Hai et Djemoura, dont les terrains sont dénudés pendant les fortes crues d'automne, qui sont responsables de la quasi-totalité de transport solide ; les terrains du sous bassin de l'oued Djemoura sont le siège d'une érosion intense, surtout celles situées aux pieds du versants de Djebel El Mahmel et Boutlarmin. Ajouté à cela une couverture forestière très dégradée sur les relief 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 errodables (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.

Figure n°35 : Variations annuelles de la turbidité aux stations d'El Kantara et Djemoura



**Tableau n°59 : Turbidité annuelle moyenne en (g/l)**

Année	Station																Moyenne annuelle (g/l)										
	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84		84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94
<b>El kantara</b>	14,12	0,96	4,74	11,85	15,68	5,65	14,13	-	38,07	31,65	16,70	27,04	29,20	11,88	60,47	29,46	16,52	21,40	15,25	17,06	21,69	11,08	-	14,31	2,70	-	18,77
<b>Djemoura</b>													22,24	34,47	39,21	20,25	32,90	48,15	23,94	41,91	28,83	7,92	7,02	17,96	33,52	9,24	26,25

**III-3.4) Les 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 n°60, 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 hydraulité 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 hydraulité 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.

**Tableau n°60 : Apports annuels en transports solides en suspension sur El Hai et Djemoura en tonne.**

Oued	68/69	69/70	70/71	71-72	72-73	73-74	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	Moyenne.
El Hai	31758,21	6949,82	447,60	2334,88	16187,02	27110,04	1395,40	-	137,11	9722,82	18729	12953,10	731,03	98147,80	9449,30	9780,80	16704,70	27172,00	12644,70	17453,30	6682,74	3640,05	-	1577,10	7,089	-	13821,48
Djemoura													7314,30	70633,65	14633,80	22137,70	14326,40	61858,40	2057,00	22502,00	74706,22	148,37	69,74	8755,50	1042,30	192,517	23106,05

Source : ANRH d'Alger.

**III-3.5) Les variations saisonnières et mensuelles du T.S. en suspension :**

Le tableau n°61, 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°61 : Valeurs mensuelles de la turbidité des eaux de l'oued El Hai et Djemoura en g/l.**

Oued	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	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

Les variations saisonnières de la turbidité suivent généralement une évolution inverse de celle de l'écoulement (figure n°36), 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.

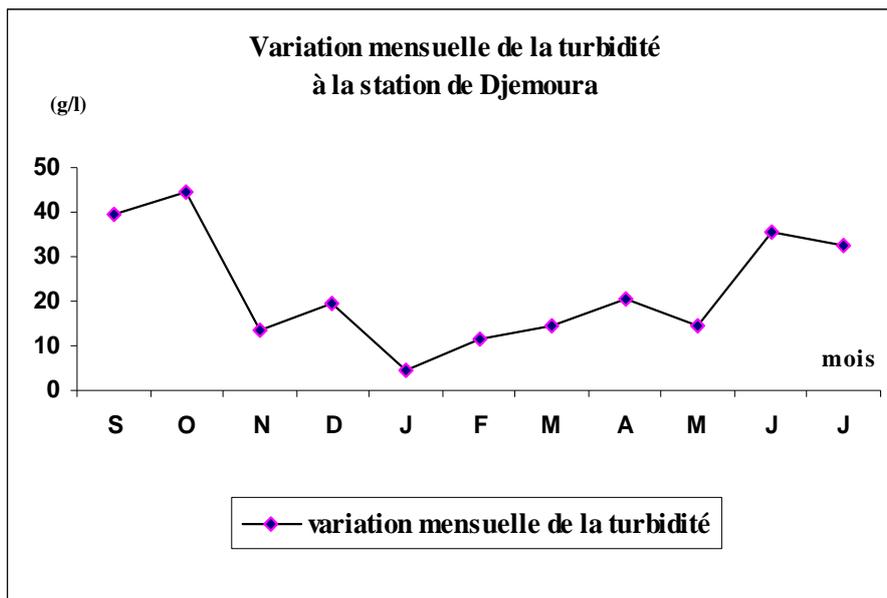
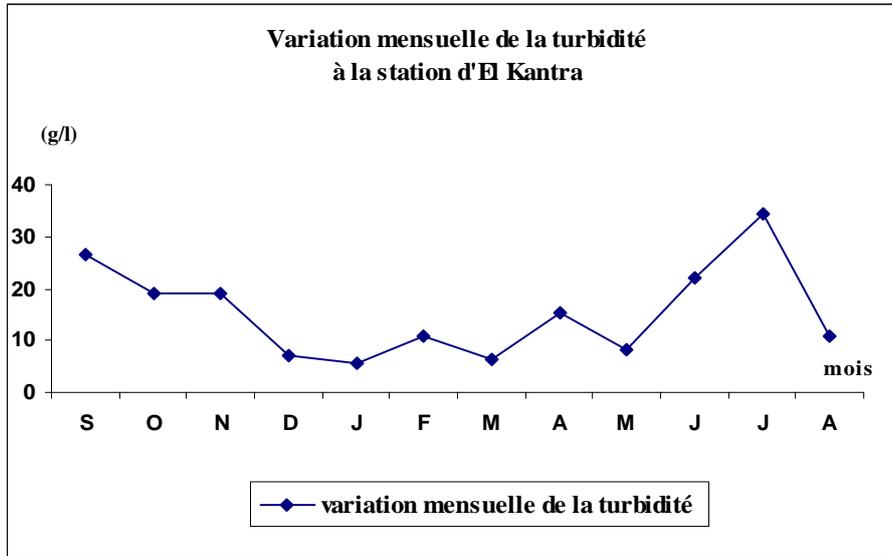
La turbidité mensuelle maximale de la période (1981-1994) sur l'oued Djemoura est de 44,33 g/l en octobre, elle est minimale en janvier (4,60g/l).

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°62).

**Tableau n°62 : Dégradation spécifique des bassins de El Hai et Djemoura en tonnes/km<sup>2</sup>.**

Bassins	Lithologie Dominante	surface	Caractéristiques hydro pluviométriques pendant les observations			Perte de Terre		
			Pmoy (mm)	Le (mm)	Débits moyen m <sup>3</sup> /s	Turbidité Moy ann (g/l)	Turbidité maximale (g/l)	Dégradation spécifique ann. (t/km <sup>2</sup> /an)
<b>El Hai (1969/1993)</b>	Calcaire marno-calcaire et marne.	1660	230	5,47	0,31	18,77	34,41	366,00
<b>Djemoura (1981/1994)</b>	Argile congloméra marno-calcaire.	586	239,50	9,05	0,26	26,25	44,33	1413,00

**Figure n° 36 : Variation mensuelle de la turbidité aux stations d'El Kantara et Djemoura.**



**III-3.6) Les 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 n° 63 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.

**Tableau n°63 : Potentialité de la turbidité journalière et instantanée aux Stations de d'El Kantara et Djemoura.**

	Date	N <sup>re</sup> de Prél.	C moyj (g/l)	Q moyj (m <sup>3</sup> /s)	C max. (g/l)	Q <sub>c</sub> max. (m <sup>3</sup> /s)	Heures	A <sub>sj</sub> · 10 <sup>3</sup> (tonne)
<b>El Kantara</b>	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	
<b>Djemoura</b>	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<sub>c</sub> max. : débit liquide maximal journalier.

A<sub>sj</sub> : Apport solide moyen journalier.

C'est l'oued El Hai qui connaît les teneurs en matériaux en suspension les plus élevées. Le 24/09/1981 à 6<sup>H</sup> : 00, la turbidité a été de 160,80 g/l, le débit de l'oued était de 18 m<sup>3</sup>/s, le 09/10/1982 la turbidité a baissé à 98,20 g/l qui correspond à un débit liquide de 18,28 m<sup>3</sup>/s à 18<sup>H</sup> : 00.

Les plus fortes turbidités ne correspondent pas toujours aux plus grands débits liquides : le 02/09/69 à 07<sup>H</sup> : 45, le débit de 1,73 m<sup>3</sup>/s a été enregistré pour une teneur de transport solide de 147,20 g/l, alors que le débit de 147 m<sup>3</sup>/s a 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 07<sup>H</sup> : 30 et de 194,40 g/l le 01/09/93 à 16<sup>H</sup> : 45, les débits liquides respectifs étaient de 32,30 m<sup>3</sup>/s et 4,65 m<sup>3</sup>/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 05 :45 à 07 :00 l'oued El Hai a évacué 255,24tonnes 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.

### 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 ( $Q_s = a \cdot Q_l^b$ ) 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/km<sup>2</sup>/an sur l'oued El Hai à 1413 tonnes/km<sup>2</sup>/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 l'envasement du barrage fontaine des gazelles qui sera sans nul doute la conséquence la plus dangereuse du phénomène.

## *Conclusion de la deuxième partie*

L'insuffisance de l'équipement hydrométrique et le manque de documentation hydrologique ont été largement ressentis dans la compréhension de certains phénomènes hydrologiques, particulièrement liés aux formes extrêmes de l'écoulement (les inondations). En dépit de données de débits souvent fragmentaires, nous avons pu néanmoins dégager les grands traits du régime de l'oued Biskra. L'étude 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 38% de son débit moyen annuel, les apports supplémentaires intermédiaires (l'oued Lafrah) sont faibles 07%.

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, qui traverse la ville : des crues violentes menaçant la ville de Biskra et ses quartier. A cet effet, une étude des caractéristiques physiques de cette dernière, avant de présenter l'exposition de cette ville au phénomène sera utile, pour évaluer les impacts de ces crues sur les zones urbanisées et leur évolution, ainsi que sur les biens et les personnes.

## Troisième partie

### *Impact des crues sur la ville de Biskra.*

Les processus de ruissellement superficiel, par refus d'infiltration semblent dominer en zone semi-aride, on a pu les mettre en évidence directement par l'observation et la mesure d'événement pluie-débit et indirectement à partir de l'analyse des facteurs morphologiques, géologiques lithologiques,...etc. Un exemple pris en climat semi- aride illustre cette hypothèse ; la ville de Biskra. Différents échelles spatiales sont abordées allant du sous bassin de l'oued El Hai, le sous bassin de l'oued Djemoura et le sous bassin de l'oued Biskra complémentaire, jusqu'à l'échelle globale de bassin versant : l'oued Biskra. Il est aussi possible de relier ces paramètres avec l'espace urbain et la genèse des crues.

L'inondation d'une agglomération résulte du débordement d'un cours d'eau qui traverse cette agglomération. Elle peut résulter du développement de la ville et de l'incapacité du réseau d'assainissement ou la conjonction des deux facteurs.

Après l'étude des crues de l'oued Biskra on étudiera les caractéristiques de cette ville et l'impact de ces caractéristiques sur le phénomène des inondations :

- Evolution de la population et de l'urbanisation de la ville de Biskra.
- Le réseau d'assainissement et son impact dans la genèse des crues.
- Exposition de la ville au risque des inondations et les moyens de protection.

# CHAPITRE I

Evolution de la population et  
de l'urbanisation de la ville de  
Biskra

**CHAPITRE I :*****Evolution de la population et de l'urbanisation de la ville de Biskra***

Les inondations sont une source de dommage importante lorsqu'elles se produisent dans les zones urbaines, comme le cas de la ville de Biskra ; ou les inondations dépendent essentiellement des facteurs physiques analysés précédemment (caractérisation du bassin versant climat, végétation lithologie,... etc) mais aussi des facteurs humaines : population, urbanisation, types d'aménagements,...etc.).

Dans les deux cas, à la topographie naturelle qui gouverne normalement, les écoulements viennent s'ajouter à une structure urbaine dont l'agencement doit être décrite de manière convenable pour en comprendre les caractéristiques hydrauliques.

***I-1 Présentation de la ville de Biskra :******A. situation et caractéristiques de la ville :***

D'une superficie de 127,55km<sup>2</sup><sup>(1)</sup> la ville de Biskra est limitée au Nord par la commune de Branis, au Nord Ouest par la commune d'El Outaya, à l'Est par la commune de Chetma, au Sud Est par la commune de Sidi Oukba, au sud Ouest par la commune d'oumache et à l'Ouest par la commune d'El Hadjeb.

Le bassin d'argile sur lequel se trouve la ville de Biskra est entouré à la partie Nord d'une chaîne de montagne rocheuse de Boumenkouche et des roches de Hamer Khadou appartenant à l'atlas saharien et à la partie Ouest des roches des hautes plateaux, la partie Sud de la ville se compose d'argile et de sable jusqu'à la partie basse de Chott Melghir.

Elle se présente en général, comme un piémont sans relief marqué qui relie par une pente douce les chaînes atlastiques aux étendues sahariennes Sud.

A l'Est, le relief est caractérisé par le développement d'une vaste plaine découpée par des lits d'oueds qui s'écoulent des monts de l'atlas et disparaissent dans la grande dépression fermée du Chott Melghir.

Toujours dans la partie Est de la ville de Biskra on trouve le grand "oued Biskra" alimenté à l'amont par plusieurs oueds entre autre on a :

- Oued Khalidj Ben Souidi.
- Oued Branis.
- Oued Lefrah.
- Oued Besbes.

A l'Ouest, on trouve oued Z'mor, il est alimenté en cours de son trajet par les affluents suivants :

- Oued Hammam.
- Oued Hassi Mabrouk.
- Oued Leham.

---

(1) : Etude du système d'épuration des eaux usées de la ville de Biskra. Phase 1, avant projet détaillé notice explicative. HPE 2005

**I-2 La population et son évolution :**

Par manque de données, l'analyse de l'évolution démographique de la ville de Biskra s'est limitée au quatre recensements qu'a connu le pays (RGPH de 1966, 1977, 1987 et 1998) et qui informe sur la situation de cette évolution et sa répartition spatiale (voir tableau n° 64 et figure n° 37).

**Tableau n°64 : Evolution de la population  
(1966-1977-1987-1998).**

	Population (hab)				Taux d'accroissement (%)		
	1966	1977	1987	1998	1966/77	1977/87	1987/98
<b>Centre ville</b>	52,519	96,988	128,281	177,088	3,89	5,23	2,94
<b>Commune</b>	58,561	90,471	128,924	178,064	4,44	3,60	2,94

Source : HPE Constantine 2005.

Cette évolution fait ressortir les principaux points suivants :

- Une population en rapide extension.
- Un taux d'accroissement encore plus élevé que la moyenne du pays (2,94% contre 2,15% entre 1987 et 1998).
- Et bien sur, cette évolution à une influence sur la croissance urbaine.

**\* Projection de la population aux horizons 2010-2020 :**

En ce qui concerne la situation future de l'agglomération, toutes les études réalisées à ce jour démontrent la complexité du problème et la ville ne peut en aucun cas dépasser un certain ordre de grandeur.

**Tableau n° 65 : Evolution de la population attendue à 2010-2020  
selon les différentes hypothèses.**

Hypothèses	Projection population		Taux d'accroissement (%)	
	2010	2020	2000 /2010	2010/2020
<b>PAW</b>	271.303	314.860	3,62	1,50
<b>PDAU</b>	330.862	453.361	5,34	3,20
<b>MCU*</b>	200.000	220.000	1,02	0,95
<b>Hypothèse extrapolée</b>	235.000	280.900	2,34	1,08

Source : HPE Constantine 2005.

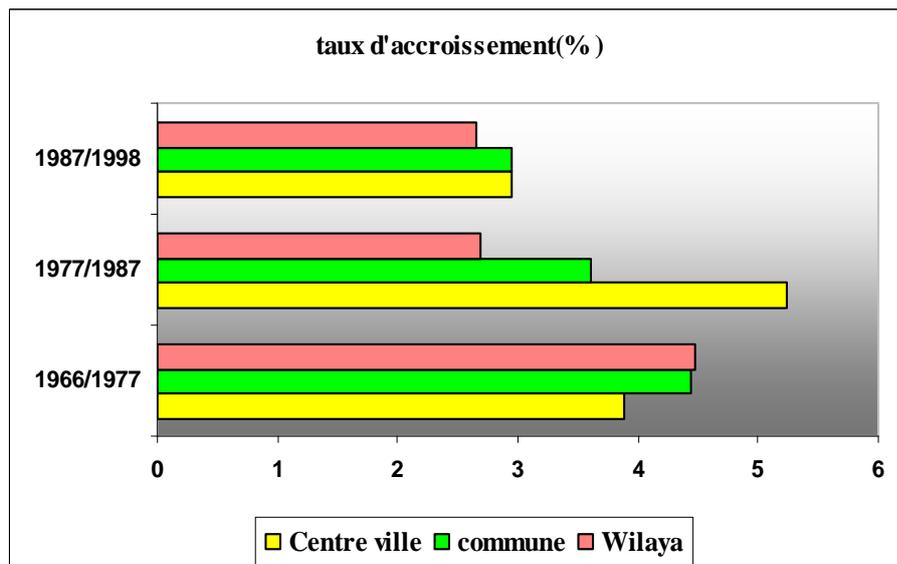
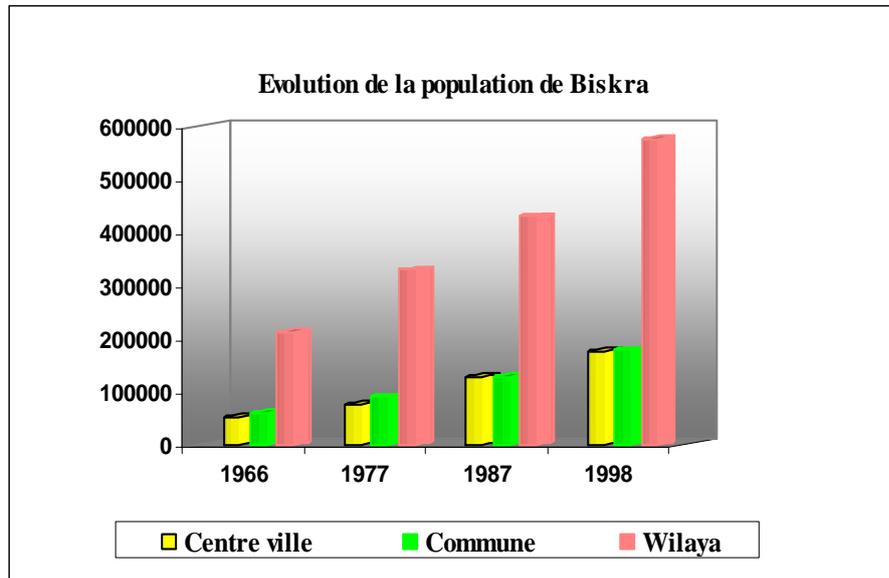
PAW : Plan d'aménagement de la ville achevé en 1989.

PDAU : Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme.

MCU\* : Maîtrise de la croissance urbaine de la ville de Biskra réalisée en 1998.

Partant de cet état de fait tout en sachant que la ville de Biskra ne peut en aucun cas aller au delà d'un seuil maximal, tout en préservant un cadre de vie acceptable. Le but attendu de cette estimation future est de limiter le volume des dégâts causés par les inondations permettent de planifier les actions à entreprendre pour la réalisation des équipements, des accompagnements ayant trait à l'amélioration du cadre du vie, des besoins en logements et en équipements de l'agglomération de Biskra.

**Figure n° 37 : Evolution de la population de la ville de Biskra. (1966, 1977, 1987 et 1998).**



**I.3 Les principes étapes de l'urbanisation de Biskra <sup>(1)</sup> :**

L'homme a de tous temps su créer sur place un environnement adapté à ses besoins et répandant aux contraintes climatiques, comme c'était le cas pour la ville de Biskra.

En absence de plans ou d'études d'extension de la ville, l'urbanisation s'est effectuée de manière anarchique et désordonnée en continuité avec les tissus déjà existants.

Cet état s'est perpétué jusqu'à l'apparition de textes de lois relatifs au foncier et ses mesures ou règles d'accompagnement (permis de lotir, permis de construire...).

De plus les inondations de l'année 1969 ont aggravé la situation par la destruction d'une part non négligeable du parc logement déjà très précaire.

Actuellement, la ville de Biskra présente d'une manière générale, une armature urbaine fortement déséquilibrée se traduisant par une forte polarisation et une forte pression sur le centre de la ville « Biskra ».

**I-3-1 Le réseau urbain durant la période des turcs :**

Avec l'arrivée des turcs, la ville de Biskra à l'intérieur de l'oasis (connue actuellement sous le nom de vieux Biskra) a vu s'introduire un nouveau aspect urbain représenté par sept quartiers conçus sous forme de groupement compact au tour de deux éléments générateurs (mosquée et seguia) il s'agit de : M'cid, Bab Darb, Kora, Guedacha, Bab El Fath, Mejeniche et Ras El Gueriah.

Un tracé régulateur articule les constructions entre elles et dont la structure n'est autre que celle des cours d'eau. Ce schéma constitue le caractère urbain fondamental du vieux Biskra, qui repose sur une coexistence entre l'habitat et la palmeraie. Il est l'image d'une organisation spatiale basée sur un mode d'urbanisation faisant toujours appel aux techniques vernaculaires.

A cette époque, la palmeraie représente environ 80% par rapport à l'espace bâti, à ce stade, les inondations sont rares et à degré très faible.

**I-3-2 Le réseau urbain durant la période coloniale :**

Avec l'occupation française et en 1847, date de l'intervention militaire, un nouveau tissu urbain a été créé et allait de paire avec une politique d'inégalité sociale et économique.

Cela a eu par conséquence, l'apparition d'une ville à l'opposé du vieux Biskra basée sur un tracé parcellaire en damier. Cette ville située au Nord de la palmeraie était destinée surtout aux européens.

La structure de cette organisation urbaine sous forme d'îlots réguliers a subi l'empreinte d'une époque peu artistique et la frappe de fondateurs militaires. Elle est caractérisée surtout par la présence du « Fort Sain Germain » pour contrôler les sources d'eau et se détacher physiquement de la ville indigène.

Cette période a connu l'apparition de la rue rectiligne carrossable, de la rue en galerie couverte et des décors d'arabes faisant référence à une architecture locale. Cet apport urbain a vu la palmeraie ne représenter que 70% et ce malgré la réalisation de jardin public, de jardin London et des placettes (monument aux morts, place Ben M'hidi, jardin du 20 Août...).

En 1932, la ville de Biskra a connu son premier plan d'aménagement (plan dervaux) dont l'objectif de relier la ville européenne à la ville indigène pour réorganiser la circulation mécanique et de faire de la ville une véritable attraction touristique (grand jardin public, golf de 18 trous, station thermale, grands boulevards,...). Ce projet n'a pu être réalisé d'une manière globale, vu les difficultés rencontrées en matière de gestion de foncier, du coût et de l'ampleur, de l'opération ainsi que pour les considérations historiques (guerres).

---

(1) : PDAU Biskra 1997, phase 1, rapport final modifié et complété, première, deuxième et troisième partie.

Les années cinquante ont constitué la période de l'extension naturelle vers le Sud en dehors du damier. En voulant s'inspirer du damier, mais sans respecter la régularité de son tracé, cette croissance urbaine a donné naissance à des îlots de morphologie très variée.

En 1952, la ville de Biskra a connu l'apparition d'un nouveau plan (plan de Constantine) qui consiste la réalisation de programmes de logements sociaux et d'autres à caractère d'urgence.

A ce moment, la palmeraie plus les espaces verts ne présentent plus qu'environ 60%.

### ***I-3-3 Le réseau urbain après l'indépendance :***

Après l'indépendance, deux phases ont marqué l'évolution urbaine de la ville de Biskra. La phase 1962-1974 a été caractérisée par une urbanisation non contrôlée. Les différentes extensions de la ville ont été réalisées sans schémas ni outils d'urbanisation, de référence et une absence flagrante des structures de contrôle et de gestion urbaine.

En 1969, un événement naturel important a été l'origine de la désertification des anciens quartiers, provoquant un chargement radical, quant aux attitudes sociales, des nouveaux occupants d'origine rurales sont attirés par le prix d'achat dérisoires des anciens constructions traditionnelles (pisé) ont été abandonnées au profit du béton.

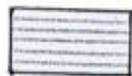
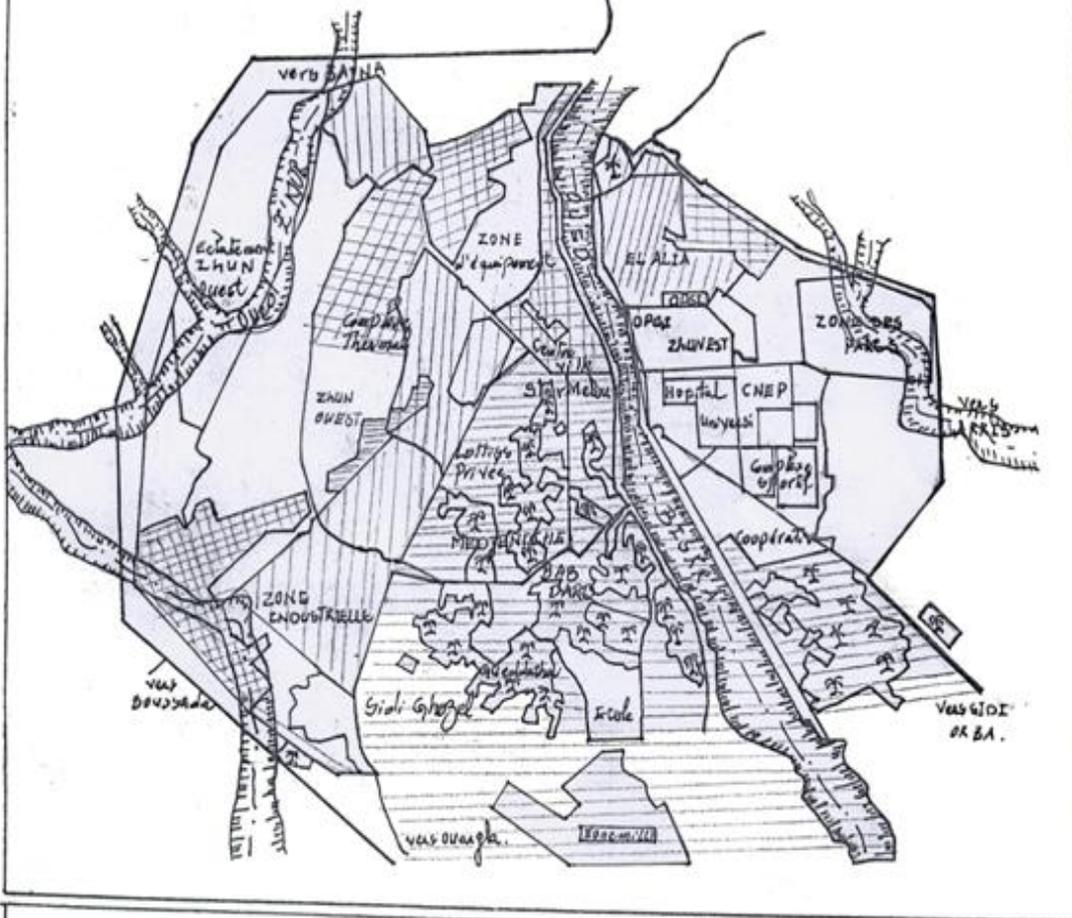
En 1974, date coïncidant avec sa promotion au rang de centre de la wilaya, la ville de Biskra a été marquée par une urbanisation très rapide, basée sur l'apparition des lois concernant la constitution des réserves foncières (ordonnance du 26.09.1975).

Le changement de statut a occasionné la reconversion de la ville d'un centre touristique et agricole vers un centre industriel et de service. L'urbanisation rapide et non contrôlée de la ville a été la conséquence d'une approche quantitative basée sur les outils d'aménagement (Dud, Zhun) qui ont négligé toute dimension d'un développement durable.

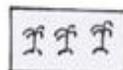
Cette approche d'urbanisation a donné l'image actuelle de la ville de Biskra qui dépend de la vieille ville de la ville européenne et de palmeraie.

Les problèmes liés à la dégradation de la palmeraie, de l'espace vert et la disparition de l'écosystème oasien ont commencé à cette période pour aboutir à la catastrophe écologique actuelle. La carte n°38 synthétise les différentes étapes de l'évolution de l'urbanisation de la ville de Biskra.

CARTE N°38 : EVOLUTION DU TISSU URBAIN DE LA VILLE DE BISKRA.



BISKRA en 1883.



Palmier.



BISKRA en 1959.



Limite de la ville.



BISKRA en 1972.



Oued.



BISKRA en 1996.

**Conclusion :**

Ce chapitre s'intéresse à la phase de prévention, d'analyse à posteriori d'évènements historiques. Le suivi de l'urbanisation de la ville de Biskra à partir des données spatiales, propose une vision des carences en matière d'aménagement et de prise en compte d'aléas naturels connus.

L'utilisation du recensement national a été l'occasion de s'intéresser aux impacts des inondations sur la concentration de la population. La description et le suivi de l'évolution du paysage urbain et de la population en terme d'occupation du sol ; voir l'utilisation du sol sont susceptibles d'apporter une information pertinente à l'étude de l'impact des inondations sur la ville de Biskra.

En accédant à une description plus au moins détaillée du paysage urbain, les données d'observation de ceci ainsi que, celles de l'évolution de la population offrent une vision de la densité de la ville de Biskra et la possibilité d'évaluer le nombre de personnes concernées par une inondation.

Des 1972, on constate en effet le renforcement d'une urbanisation tentaculaire engagée vers la palmeraie et surtout vers le Sud ; puisque la conurbation est déjà faite, avec les vieux noyaux traditionnels intérieurs à la palmeraie.

Cette évolution anarchique de Biskra, qui prend l'allure d'un « désastre urbain » a induit une dégradation avancée du couvert végétal et menace durablement l'équilibre fragile de cette ville.

En fait, il apparaît que généralement plusieurs facteurs interfèrent pour former ces inondations : l'intensité et la répartition des pluies, la pente du bassin, sa géologie, sa lithologie ses conditions climatiques et sa couverture végétale ; qui accélèrent les écoulement. Un autre facteur qui est l'action de l'homme : le déboisement, l'imperméabilisation due au développement de la ville et l'évolution de sa population ; l'eau ne s'infiltré plus et surcharge les systèmes d'évacuation.

# CHAPITRE II

Le réseau d'assainissement et son impact dans la genèse des crues dans la ville de Biskra

**Chapitre II :**

***Le réseau d'assainissement et son impact dans la genèse des crues dans la ville de Biskra.***

La multiplication des inondations dans la ville de Biskra, au cours des dernières années due à la croissance de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols a montré les limites de performances du réseau d'assainissement.

Ce chapitre vise à mieux connaître l'état du réseau, son dimensionnement, sa capacité, les rejets et mieux évaluer les impacts réels sur les milieux récepteurs et sur la genèse de ces inondations.

Les inondations en zone urbaine se traduisent par des écoulements dans les rues, qui peuvent être dangereux du fait des vitesses fortes de l'écoulement. En générale, l'eau s'écoule dans le réseau d'assainissement, mais lors des événements extrêmes, il peut y avoir débordement. Ce débordement est souvent dû à l'insuffisance de la capacité du réseau, qui ne peut recueillir l'ensemble du volume d'eau de pluie tombé, mais parfois aussi, par remontée dans le réseau d'assainissement du fait du blocage au niveau des déversoirs d'orage.

***II-1 présentation du réseau d'assainissement de l'agglomération de Biskra :***

***II.1.1 L'état ancien du réseau d'assainissement <sup>(1)</sup> :***

L'examen de la situation sera fait par zone :

***Centre ville :*** Le damier colonial est assaini par le système unitaire du collecteur ovoïde, repris en buse de Ø700mm à 1000mm à proximité de l'hôtel Okba, pour se jeter sur un terrain agricole situé entre M'cid et l'oued Biskra.

***Zone Sud Biskra :*** Elle est drainée par des collecteurs de diamètres variant entre Ø 250mm et Ø 1000 mm rejoignant le rejet sus citer.

***Zone Ouest :*** Elle était initialement dotée d'un système séparatif eaux usées /eaux pluviales.

-Les eaux usées : drainées dans des collecteurs de Ø200mm à Ø300mm.

-Eaux pluviales : drainées quant à elles dans des collecteurs de Ø300mm à Ø100mm dans une fosse pluviale.

***Zone industrielle :*** les eaux pluviales sont collectées dans des canaux ouverts, les eaux usées sont drainées dans des conduites de diamètres Ø 250mm à Ø 300mm. Le rejet s'effectue dans les terres agricoles au Nord Ouest.

***Z.H.U.N Est +Alia :*** elles sont dotées de collecteurs de diamètres Ø 250mm à Ø 1200mm à proximité de l'université. Le rejet s'effectue dans l'oued Mellah.

***Zone des parcs :*** Elle est drainée par des collecteurs de diamètres Ø 250mm à Ø 1200mm, le rejet est le même que celui cité précédemment.

***FELIACHE :*** est assainie par des collecteurs de diamètres Ø 300mm à Ø 500mm, le rejet s'effectue vers l'oued Biskra.

Suite à ce constat, on souligne la nécessité impérieuse de la prise en charge affective du problème de l'assainissement dans la ville et ce par rapport :

-A proximité des zones de rejets des zones d'habitats (foyers d'infection).

---

(1) : PDAU Biskra, 1979, phase 1, rapport final modifié et complété (première partie).

-Du danger des rejets sur des terrains agricoles ou dans la nature, provoquant ainsi la contamination des nappes d'eau sous-jacentes, les risques de la pratique de l'irrigation par simple pompage de ces eaux usées (zone de M'cid).

-L'insuffisance du niveau et qualité d'assainissement de l'agglomération. Cette insuffisance se démontre à travers :

- L'absence quasi-totale d'un réseau d'assainissement dans certains quartiers (El Alia, vieux Biskra, Sidi Ghezal...) ou le recours aux fosses septiques et rejets en pleine nature constituent une atteinte à la santé publique.
- Le réseau de la ville connaît de nombreuses et fréquentes ruptures dues aux cassures et affaissements ou autres obstructions (multiplications des mares d'eaux usées, avec propagation de gaz, problèmes de circulation routière ...).

Ces conséquences portent à atteinte la santé publique d'une part et au cadre d'environnement général urbain d'autre part.

Depuis, l'urbanisation intensive et l'extension de la zone Ouest, une partie des eaux usées est drainée dans le dalot du système des eaux pluviales.

Le rejet final s'effectue sur les terres agricoles dans la commune d'El Hadjeb située au Nord Ouest de Sidi Ghezal et de l'oued Z'mor.

### **II.1.2. Etat actuel du réseau d'assainissement :**

Suivant la dernière étude des schémas directeurs du réseau d'assainissement de la ville de Biskra, qu'a été établie en 2002 par le bureau d'étude HPE (carte n°39).

Le réseau d'assainissement est de type unitaire, où l'ensemble des eaux usées et pluviales sont évacuées dans le même réseau, composant de six collecteurs principaux, en béton armé qui sont indiqués comme suit :

#### **II.1.2.1 Collecteur n°01(Sidi Ghezal) :**

Regroupe la totalité des eaux usées et pluviales de la zone Ouest et Sud Ouest de Biskra y compris les eaux usées du complexe Hammam Salihine, vers oued Z'mor dimensionné par  $\varnothing$  1500mm et une pente  $i=1.5\%$  à l'exutoire du collecteur.

#### **II.1.2.2 Collection n°02(centre ville) :**

Il débute du centre ville, comporte les eaux de la zone Sud Ouest de Biskra qu'il se raccorde avec le collecteur n°03.

#### **II.1.2.3 Collection n°03(centre ville) :**

Reçoit les eaux de la zone Sud du centre ville et raccorde avec le collecteur n°02. Qui rejette dans l'oued Z'mor, avec un diamètre de  $\varnothing =1500\text{mm}$  et une pente de  $i=2.5\%$ .

#### **II.1.2.4 Collecteur n°04(centre ville) :**

Evacuer les eaux prévenant du centre ville, son rejet est l'oued Biskra, à la rive droite de l'oued au niveau du point de rejet du collecteur 03 est prévu pour brancher au collecteur n°03, avec un diamètre  $\varnothing =1000\text{mm}$  et  $i=7.45\%$ .

#### **II.1.2.5 Collecteur n°05(zone Sud Ouest) :**

Il a été réalisé pour évacuer les eaux de la zone de Sidi Ghozal et la zone basse de la zone industrielle vers le rejet de Sidi Ghozal, actuellement ce collecteur est raccordé avec le collecteur n°01 ; son diamètre est de  $\varnothing=1500\text{mm}$ .

#### **II.1.2.6 Collecteur n° 06 :**

Utilisé pour évacuer toutes les eaux de la zone d'El Alia drainée par les trois collecteurs (04, 05 et 06) avec un diamètre  $\varnothing =1500\text{mm}$  ; qui rejettera dans la rive gauche de l'oued Biskra mais actuellement sa réalisation n'est pas terminée et le collecteur rejette dans l'oued Chetma.

## ***Carte n 39***

## **II.2 Evaluation des eaux à évacuer :**

### **II.2.1 Les eaux usées (domestiques et industrielles) :**

#### **A. Méthodologie :**

La plus grande partie des eaux usées d'origine domestiques proviennent de se qui reste de la consommation après usages. On désigne souvent ce débit des eaux usées par l'expression retour à l'égout. Les eaux de consommations utilisées pour arroser, éteindre les incendies, laver les rues et refroidir les équipements industriels s'écoulent éventuellement par les égouts pluviaux. Une perte par évaporation ou infiltration dans le sol, le volume d'eau usées domestiques déversé dans le réseau d'assainissement représente donc en général de 60 à 80% du volume total des eaux de consommation distribuées.

Dans les régions sèches (la ville de Biskra) une proportion importante des eaux usées peu fuir par les joints défectueux ou les bris du réseau pour s'infiltrer dans le sol.

#### **B. Volume à évacuer :**

On exprime en générale, les débits d'origine domestique totaux en mètres cubes par jour lorsqu'on les utilise pour concevoir une station d'épuration et en mètres cubes par seconde lorsqu'on les utilise pour concevoir un réseau d'assainissement.

La méthode la plus utilisée pour le calcul de ce débit est la suivante :

$$Q_{udom} = 0.8Nb * D$$

Avec :

$Q_{udom}$  : Débit des eaux usées domestiques ( $m^3/s$ ).

Nb : Nombre d'habitant ; pour la ville de Biskra Nb= 231769 habitant en 2005 <sup>(1)</sup>.

D : La dotation ; prise égale à 200 l/j/hab <sup>(2)</sup>.

AN:

$$Q_{udom}=0.8*231769*200$$

$$Q_{udom}= 3708.04 m^3/j.$$

### **II.2.2 Les eaux usées pluviales et la difficulté de leur évaluation :**

#### **A. Méthodologie :**

L'urbanisation progressive de la ville de Biskra entraîne un accroissement considérable de l'imperméabilisation de la surface (accroissement dû aux rues asphaltées, aux toitures,...etc.).La conséquence d'une telle situation et la diminution lors de pluies du volume d'eau, qui pénètre dans le sol et l'augmentation de celui, qui ruisselle en surface qu'on désigne par les eaux de ruissellement.

Pour tout bassin versant, qu'il soit situé en milieu urbain ou non, on calcul le volume et le débit des eaux de ruissellement en tenant compte :

- Des caractéristiques des pluies (intensité, durée et répartition spatio-temporelle).
- Des caractéristiques de la surface du bassin versant, ou la surface urbanisée de la ville (nature, degré de perméabilité, pente et aménagement).
- Des lois hydrauliques relatives aux écoulements à surface libre.

---

(1) : Recensement général population et habitat (1998).

(2) : Recommandation de l'administration de la ville de biskra.

**B. Volume à évacuer :**

On dispose d'une vaste gamme de calcul des débits de ruissellement en milieu urbain, la méthode de calcul dite « rationnelle » qui permet de calculer le débit de ruissellement maximal jouit encore d'une très grande popularité. Les ingénieurs ont pu élaborer des modèles informatiques, qui permettent de calculer les caractéristiques des hydrogrammes de ruissellement et de tracer rapidement ces derniers, grâce à ces outils on peut plus efficacement calculer le volume des eaux usées pluviales et le temps d'écoulement dans les conduites.

**Formulation de l'équation rationnelle :**

L'équation est la suivante :

$$Q_{usépluvial} = C * I * A .$$

L'équation rationnelle et son utilisation sont fondées sur les hypothèses suivantes :

- a) L'intensité de la pluie est constante durant toute la durée de celle-ci. Pour notre cas : Si on choisi une pluie qui a lieu en moyenne une fois tous les 10 ans la durée t=1 heure et l'intensité I=38,9mm/h≈40mm/h (voir la deuxième partie chapitre étude des crues ; calcul des intensités des pluies).
- b) Le coefficient de ruissellement est une valeur constante durant toute la durée de la pluie ou, au contraire que sa valeur varie selon la nature du terrain et l'intensité de la pluie.

Pour la ville de Biskra, le coefficient de ruissellement « C » est pris égale à 0,4 (constant) <sup>(1)</sup>.

A : C'est la surface de la ville de Biskra (jusqu'à l'exutoire) A=127,55 km<sup>2</sup> <sup>(2)</sup>.

AN :  $Q_{usépluvial} = 0,4 * 40 * 127,55$

$$Q_{usépluvial} = 2040,80 \text{ m}^3/\text{heure}.$$

**Tableau n°66 : débits totaux des eaux usées et pluviales aux différentes horizons pour l'agglomération de Biskra.**

Horizon de calcul	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /j)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>max</sub> (l/s)
<b>2005</b>			
Eaux domestiques	58934,0	3708,00	429,00
Eaux pluviales	211152,0	8798,0	2444,0
<b>Qtotal2005</b>	<b>270086,0</b>	<b>11254,0</b>	<b>3126,0</b>
<b>2010</b>			
Eaux domestiques	66330,0	2764,0	768,0
Eaux pluviales	221162,0	8898,0	2549,0
<b>Qtotal 2010</b>	<b>277482,0</b>	<b>11562,0</b>	<b>3212,0</b>
<b>2015</b>			
Eaux domestiques	74638,0	3110,0	864,0
Eaux pluviales	252326,0	9115,0	2786,0
<b>Qtotal 2015</b>	<b>326964</b>	<b>12225</b>	<b>11426</b>
<b>2020</b>			
Eaux domestiques	75888,0	4558,0	914,0
Eaux pluviales	297384,0	9526,0	2897,0
<b>Qtotal2020</b>	<b>373272</b>	<b>14084</b>	<b>3811</b>
<b>2025</b>			
Eaux domestiques	77859,0	3911,0	1086,0
Eaux pluviales	288464	9339,0	3145,0
<b>Qtotal 2025</b>	<b>366323</b>	<b>11789</b>	<b>4231</b>
<b>2030</b>			
Eaux domestiques	105567,0	4399,0	1222,0
Eaux pluviales	303461,0	9664,0	3249,0
<b>Qtotal 2030</b>	<b>409028</b>	<b>14063</b>	<b>4471</b>

Source : Notice explicative 2005 (HPE Constantine).

(1) et (2) : Etablies par la recommandation de l'administration de la ville de Biskra.

On comparant notre propre calcul pour l'estimation des eaux usées domestiques et pluviales avec le calcul fait par l'HPE on observe ceci :

Les débits de calcul des eaux usées domestiques résultants sont presque les mêmes, mais les résultats obtenus pour le volume des eaux usées pluviales sont différents, cela du faite de la difficulté de l'évaluation des eaux usées pluviales.

### ***II.3 Adaptation/inadaptation du réseau d'assainissement aux volumes des eaux usées :***

La ville de Biskra est dotée d'un réseau d'assainissement relevant en totalité en système unitaire, ce réseau actuel couvre presque la totalité du périmètre urbain, à l'exception de quelques vieux quartiers (vieux Biskra, Nord d'El Alia et Sud de Sidi Ghezel), où les inondations trouvent leur chemin vue l'insuffisance ou le problème d'entretien du réseau.

Bref, l'entretien du réseau d'assainissement dans la ville de Biskra et son adéquation à la gestion des crues représentent actuellement des problèmes majeures. En effet, la majorité des bouches d'égouts sont colmatées et provoquent ainsi des inondations par temps d'orage.

Le problème du réseau d'assainissement de la ville de Biskra ne s'adapte pas avec son urbanisation anarchique et donc, il aggrave le risque d'inondation dans cette ville en périodes d'averses.

### **Conclusion :**

Les inondations urbaines par crues rapides ont provoqué à Biskra de nombreux accidents graves ces dernières années, les ruissellements sur les surfaces urbanisées et l'utilisation systématique du réseau de collecte concernant les flux des centres urbaines, contribuent dans de nombreux cas à aggraver ce type de phénomène.

Les informations recueillies sur l'état du réseau d'assainissement de la ville de Biskra s'appuient sur l'étude du schéma directeur du réseau d'assainissement de la ville de Biskra établie en 2002, par le bureau d'étude HPE. C'est un réseau de type unitaire, où les eaux usées et pluviales sont évacuées dans le même réseau, comprenant six (06) collecteurs principaux en béton armé. L'exutoire naturel (oued Biskra) se situe en aval, à environ 500m.

La connaissance des différents flux hydrauliques (débits et volumes) évacués par le réseau d'assainissement, ces flux doivent être connus à différentes échelles de temps et de l'espace en fonction de l'urbanisation et de l'occupation des sols, afin de pouvoir évaluer leurs impacts sur les milieux naturels.

La méthodologie proposée simple et acceptable pour l'évaluation des débits usés et pluviales compte tenu du développement de la ville de Biskra, les débits ont été calculés jusqu'à l'horizon 2030 la norme dotation en eau et le coefficient de ruissellement, ainsi que la surface de la ville ont été retenues d'après la recommandation de l'administration de la wilaya de Biskra.

Le réseau d'assainissement actuel ne supportera pas ces énormes volumes, vue son mauvais état et son absence total dans certains périphériques de la ville.

L'assainissement est fortement lié à la santé public, en raison de nombreuses maladies liées à un mauvais assainissement, est aussi un composant essentiel de l'urbanisme et doit idéalement être inclus dès la planification d'une nouvelle partie de la ville.

L'inexistence et l'insuffisance du système d'assainissement à des conséquences graves sur la ville : les eaux de ruissellement peuvent entraîner des inondations et une détérioration rapide des routes puisque la plus grande surface de la ville est imperméable et ne permet pas l'infiltration.

# CHAPITRE III

Exposition de la ville de Biskra  
au risque d'inondation et les  
moyens de protection

### **Chapitre III**

***Exposition de la ville de Biskra au risque d'inondation  
et les moyens de protection.***

Parmi les conclusions tirées à travers les chapitres précédents ; la genèse du risque hydrologique, dans la ville de Biskra résulte d'une diversité des facteurs interactifs. Le type de climat influe certes, mais pour la genèse des crues inondantes, il est indissociable des autres paramètres, qui accentuent son impact. Il s'agit notamment, des paramètres morphométriques géologiques, lithologiques et environnementaux tels que l'état de la couverture végétale, l'évolution de l'urbanisation et de la population, le colmatage du réseau d'assainissement est fort probable dans ce type de situations.

Ces paramètres sont efficaces pour obtenir des informations sur l'aléa des inondations utilisables tant avant que pendant l'évènement, c'est notamment parce qu'elles ont prouvé leur pertinence pour la description de l'occupation du sol. Ces informations fournissent les éléments nécessaires à la localisation des zones à risque.

L'étude des moyens de protection des zones inondables de la ville de Biskra est le principal objectif de cette étude.

Les actions de lutte doivent toucher aussi bien, le bassin versant de l'oued Biskra et la ville de Biskra en particulier.

#### ***III-1 les plans d'exposition aux risques des inondations (PERI) :***

L'un des meilleurs moyens de prévention contre les risques d'inondation est d'éviter d'urbaniser les zones exposées à ce risque. C'est grâce à la loi du 13 juillet 1982<sup>(1)</sup> relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, que les pays ont mis en œuvre une politique active de prévention des risques naturels probables (en matière de risque d'inondation les PERI ; plans d'exposition aux risques d'inondation) actuellement, le PERI est parmi les anciens documents définissant les zones inconstructibles et des zones constructibles sous réserves de respecter certaines prescriptions. Le champ d'action de ces PERI porte nom seulement sur l'urbanisation future, mais aussi sur les constructions existantes (effet rétroactif) c'est un élément innovant par rapport aux autres outils. Sur les plans techniques et réglementaires, l'année 1982 représente donc, une date charnière à partir de laquelle la cartographie des risques, ainsi que les réglementations de contrôle de l'occupation du sol et des constructions deviennent des outils privilégiés de la politique de prévention des inondations<sup>(2)</sup>.

#### ***III-2 Esquisse d'un PERI de la ville de Biskra***

##### ***III-2-1) Méthodologie :***

La réalisation d'une carte d'exposition aux risques d'inondation de la ville de Biskra a pour but de limiter les zones exposées à ce risque, afin de prévenir les habitants et les autorités.

---

(1) : Berthier. I, aux sources du droit. diagonal, février 1995, 3p.

(2) : Bravard.J.P, la dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux : quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières ? la houille blanche.

Cette carte a été réalisée au 1/7500 sur la base des données suivantes :

- a) Carte hydrographique comprenant les différents oueds au 1/200.000.
- b) Photo aérienne de l'oued Biskra (voir annexe n°05).
- c) Le P.O.S <sup>(1)</sup> de la ville.
- d) Les archives de la protection civile de la ville de Biskra.
- e) Les inondations historiques, prenant l'exemple surtout celle de 1949 et tenir compte de l'évolution de la ville.

**III-2-2) La crue du mois d'avril 1949 : choix, caractéristiques et impacts de cette crue :**

L'étude et la délimitation des impacts de la crue du mois d'avril 1949 est une approche prise comme exemple du phénomène d'inondation dans la ville de Biskra, afin d'arriver à délimiter les zones à risque à partir de l'étude des lits des oueds, et les conclusions tirées de cette inondation en prenant compte l'évolution de l'urbanisation de la ville.

La ville de Biskra a connu plusieurs inondations, leur importance est très variable <sup>(2)</sup> les grandes crues remplissent le chenal de l'oued Biskra sur 400 m de large. Parmi les plus forts écoulements qui a été produits, nous signalerons ceux de juin 1940, octobre 1948 et surtout celui de 24 avril 1949 qui causa des dégâts sérieux aux habitants de la rive droite de l'oued.

Les causes principales de cette dernière, sont la nature lithologique à forte perméabilité, le site de la ville qui est entouré par des montagnes, comme la chaîne de montagnes rocheuse de Boumenkouche au Nord, la violence des précipitations orageuses, la présence d'un réseau hydrographique relativement dense traversant la ville de Biskra, l'insuffisance du niveau et qualité d'assainissement de l'agglomération et les fortes pentes du terrain ; qui ont une influence directe sur le renforcement des crues.

La photo aérienne ci-jointe, laisse deviner la faible hauteur des berges et les risques de débordement (annexe n° 05).

La crue importante d'avril 1949, dont le débit a été estimé à 1000 m<sup>3</sup>/s environ, à une période de retour égale à 10.000 ans <sup>(3)</sup>, a écoulé pendant trois jours sans interruption, inonda certains quartiers de la ville de Biskra situés sur les rives de l'oued.

Les impacts engendrés par l'inondation de mois d'avril 1949 et quelques exemples des inondations frappant la ville de Biskra, sont résumés dans le tableau n° 67.

---

(1) : Plan d'occupation des sols.

(2) : Bertin.M, Duquesroy.M, 1956 : Protection de la ville de Biskra contre les inondations, service de la colonisation et de l'hydraulique.

(3) : En comparant le débit et la période de retour de cette crue, avec les résultats trouvés dans le chapitre d'étude des crues, en remarque qu'un tel débit ce produira une fois tous les 10.000 ans.

**Tableau n°67 : Les impacts de l'inondation du mois d'avril 1949 et quelques exemples des inondations frappant la ville de Biskra.**

Dates des inondations	Quartiers, zones ou secteur touchés	Dégâts			Les caractéristiques hydroclimatiques	
		Humaine (morts et blessés)	Sinistrés	Matériels	Pluie en (mm) et la durée	Période de retour
<b>24 Avril 1949</b>	Bab darb, Feliache, El Houda, Sidi Ghozal, Gueddacha et Sidi berkat.	26 morts 44 blessés 02 disparus	6538 familles 34869 personnes	107 Maison. 23883 habitations. 450 Compteurs électriques, 2,5 Km Câble électricité et 07 Km Câble téléphonique	299,9 mm 3 jours Q= 1500 m <sup>3</sup> /s	10 ans
<b>26 Novembre 1971</b>	Commune de Biskra, Centre ville, Feliache Bouchagrone et Sidi okba.	3 morts 14 blessés	360 familles	110 Tonnes de produits dattiers. 600 Hectare de terres agricole 2,5 Km de route reliant la ville et quartier Feliache. 4 Station de pompage.	1 Jours	
<b>Mai 1976</b>	Bab El Fath, Sidi Ghozal, Centre ville et Feliache.	30 blessés 4 disparus	500 familles	2,5 Km de routes. 4 pompes à eau. 500 Hectare de terres, 50 Palmiers. Les ponts.	36.5 mm	
<b>Août 1989</b>	Centre ville, Sidi Barket, Bab El Darb et Majeniche.	16 blessés	40 familles	435 Maisons 5km Câble électrique 10 km Câble téléphonique. 21 Habitations		
<b>2004</b>	El Alia, Sidi Ghozal, Zhun Est, centre Ville, Star Melok et M'cid.	03 morts 09 blessés	126 familles 59 maisons	10 sociétés. 119 Constructions. 543 Habitations. 1,5 Km de câbles électriques. 3 Km de routes.	70,7mm moi d'avril 34 mm mois de mai 197,9 mm durant l'année.	

Source : Protection civile de la ville de Biskra.

**III-2-3) Le zonage : Réalisation de la carte des risques des inondations :**

En se basant sur les éléments du cadre physique, les facteurs humains qui caractérisent la ville de Biskra et après la consultation documentaire des cartes topographiques, suite à l'analyse de la photo aérienne disponible, on a pu réaliser la carte d'exposition aux risques d'inondation de la ville de Biskra (voir carte n°40).

Le degré du risque d'inondation dans la ville de Biskra a été délimité en trois catégories :

Première catégorie : C'est la zone à grand ou fréquent risque mentionnée par une couleur rouge. Elle est caractérisée par :

- L'oued Biskra qui est un oued à grand risque.
- Le lit moyen de l'oued Z'mor.
- Les zones situées à proximité des lits d'oueds.

Deuxième catégorie : C'est la zone à risque moyen présentée sur la carte n°40 par la couleur orange. Elle se compose des zones situées à l'Ouest et Sud-Est de la ville.

Troisième catégorie : C'est la zone où le risque d'inondation est très faible, ou il n'y a pas de risque. Cette zone est présentée sur la carte par la couleur verte.

D'après cette carte, nos enquêtes et les archives de la protection civile de la ville de Biskra, nous avons dressé le tableau n° 68, qui résume les zones et les quartiers menacés par le risque des inondations. Une certaine classification des espaces étudiés peut être proposée en se basant sur le critère de leur vulnérabilité au risque d'inondation (tableau n°69).

**Tableau n° 68 : Les zones exposées aux risques d'inondation dans la ville de Biskra.**

Les Zones inondables	Les oueds menaçant ou autres causes
Quartier Sidi Ghozal	Oued Z'mor
Vieux Biskra	Eaux pluviales
Route de Tougourt	Eaux pluviales
Clinique Razi	Eaux pluviales
Haret El Oued	Débordement de l'oued Z'mor + eaux pluviales
Quartier 726	Eaux pluviales
Villas de cadres	Oued Z'mor
Quartier Feliach	Oued Biskra
Bab Dareb	Oued Biskra

Source : Protection civile de Biskra

**Tableau n° 69 : Classifications des zones inondables dans la ville de Biskra.**

Classification des milieux	%	Zones et quartiers
Milieux menacés par le risque d'inondation.	58	Centre Ville, Sidi Ghozal, vieux Biskra, Bab El Dareb, Bab El Fateh, quartier de la rive droite de l'oued Biskra, Centre ville quartier Feliache et El Houda
Milieux à risque d'inondation modéré.	30	Quartier 726, Haret El Oued, Route de Tougourt, Sidi Barket, Zhun Est et zones d'équipement.
Milieux relativement non inondables.	12	Ben Badis, Al Alia, quartier Salem quartier Dalia, Zhun Ouest et cité El Outaya.



**Commentaire :**

La cartographie des risques établie pour la ville de Biskra, son objectif est de présenter les risques des inondations dans cette ville.

La carte montre que le fond des vallées et les lits des oueds traversant la ville, sont des zones où les risques d'inondation sont élevés, car l'aléa et la vulnérabilité y sont forts. Dans ces milieux, le risque accentué à cause d'une occupation du sol incompatible avec l'aléa. La probabilité d'occurrence des inondations est élevée au point qu'il n'existe pas de mesures de protection, autres que le déguerpissement ou l'inconstructibilité.

En revanche, les terrasses alluviales et les zones situées à l'Ouest, ainsi que le Sud-Est de la ville de Biskra sont des zones moyennement exposées à ce risque. Cette zone est considérée comme constructible avec certaines conditions, les zones à risque faible sont des zones où il n'y a pas de risque pour les habitants.

En terme de risques liés aux inondations ; la ville de Biskra est particulièrement concernée par les secteurs inondables par les crues torrentielles, il s'agit notamment de l'oued Biskra et l'oued Z'mor, dont les régimes hydrologiques sont très fortement influencés par l'imperméabilisation. En période de crue, les rejets d'eau de drainage dans les émissaires apparaissent comme une cause de formation d'inondation, car ceci est due à l'incapacité du réseau d'assainissement. Il existe également une vulnérabilité socio-économique due à une occupation parfois imprudente des secteurs à risques.

Cette carte et ses documents (tableaux n°68 et 69) doit être repris dans le plan d'occupation des sols, régissent l'aménagement de la ville. Ainsi les autorités pourront imposer des mesures de constructions aux quelles chacun devra se soumettre notamment, dans les permis de construire.

Dans ce contexte, plusieurs actions ont été déjà entrepris pour la protection de la ville de Biskra contre les inondations.

**A) Au niveau de la ville :**

Plusieurs techniques déjà prises pour la protection de la ville de Biskra et ses quartiers contre le phénomène d'inondation :

- Aménagement d'un canal à ciel ouvert en béton armé dans la zone urbaine cité des 100 logements pour recevoir les inondations les plus fréquentes (annexe n°06).
- Dans le quartier de Sidi Ghazel ; aménagement de l'oued Z'mor en reconstituent les berges avec des ceintures de gabions de part et d'autres.
- Le réaménagement de divers axes de circulation, qui ont été détruites par les inondations, dont notamment, le boulevard de Seddik Ben Yahya et les allées de frères Manani.
- Aménagement des quartiers M'cid et El Alia.
- Rénovation du réseau d'assainissement au niveau du centre ville et quartier Bab El Darb, en augmentant le diamètre de 600 mm à 1200 mm.
- Proposition des avaloires dans les quartiers exposés au grand risque.
- Projection d'un collecteur Ø1200, pour la partie de Hammam Salhine, qui verse dans l'oued Z'mor.
- Une autre action vise à la collecte de tous les rejets des eaux usées et leur cheminement vers la STEP (station d'épuration).

Le choix de site de cette dernière (figure n°41) s'est fait loin de la ville de Biskra, elle se trouve dans la partie sud ; sur la rive droite de l'oued Biskra.

Le site choisi comme exutoire de convergence des affluents de la ville présente un certain nombre d'avantages, il s'agit principalement des points suivants :

1. Absence des zones d'habitations aux alentours de la STEP.

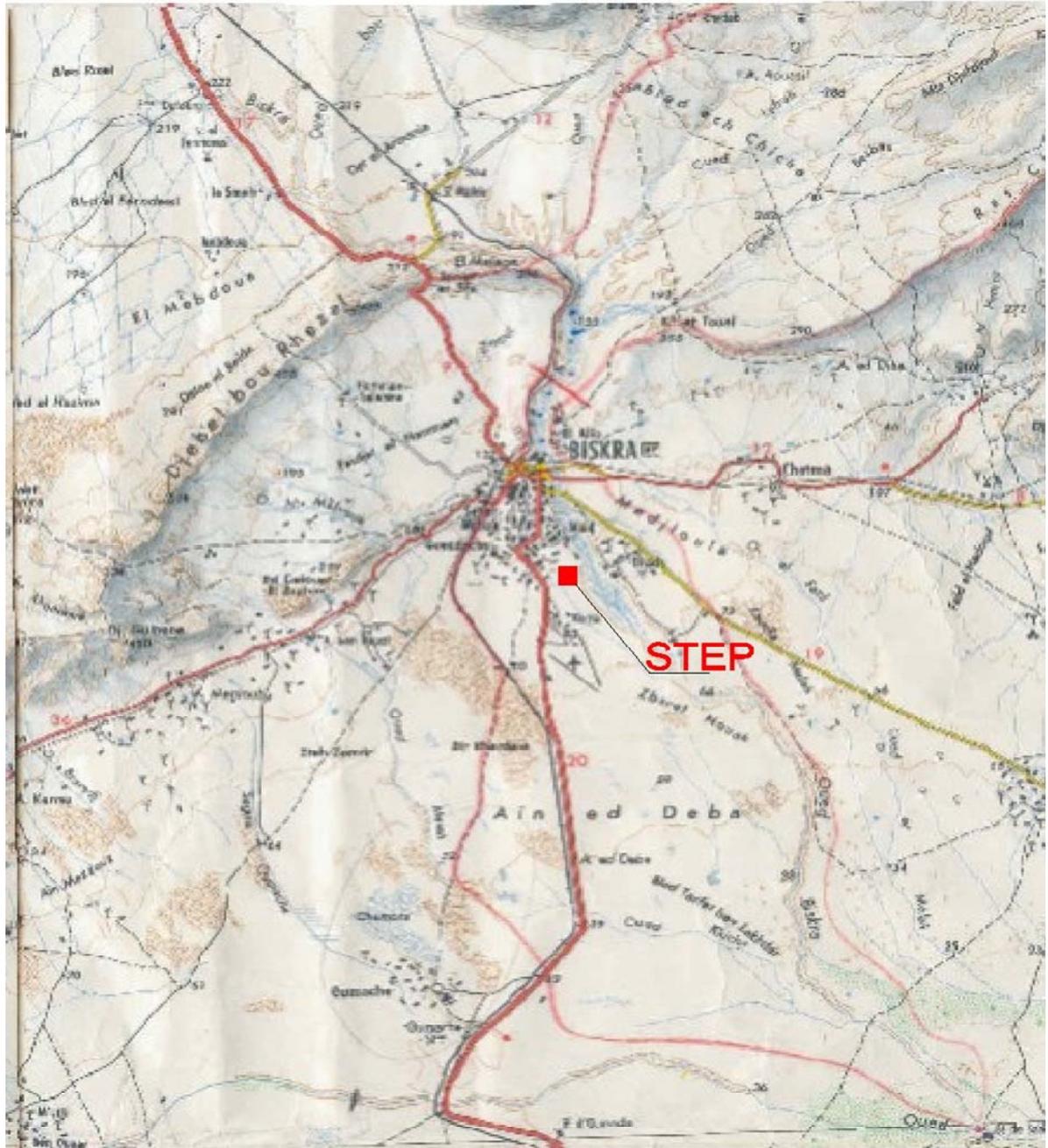


Figure n°39 : Situation de la nouvelle STEP pour la collecte des rejets de la ville de BISKRA.

2. Meilleure position géographique, pour une rétention des eaux traitées et leur éventuelle distribution aux agriculteurs pour l'irrigation.

3. Située à un endroit, où il est aisé de raccorder tous les rejets de la ville de Biskra.

- Fossé de protection de la ville : c'est un fossé de protection de la ville contre les ruissellements sur les versants situés à l'Est de la ville, ce fossé va jusqu'à l'oued Biskra.

**B) Au niveau du bassin versant de l'oued Biskra<sup>(1)</sup> :**

Sur le bassin versant de l'oued de la ville de Biskra en particulier, un mur de protection de la berge rive droite a été exécuté vers 1931, en amont de la ville de Biskra. Mais ce mur affouillé à son pied a été bouleversé, en de nombreux points et la berge n'est pratiquement plus protégée.

Pour l'aménagement de l'oued Biskra, la reconstruction des bergers avec des remblais naturelles compactées (diguettes) de part et d'autre. Au nord de la ville, en raison de la destruction de l'ancien mur de protection en maçonnerie, qui n'assure plus de protection de la rive droite, bien au contraire il augmente le risque d'inondation. Au sud de la ville, jusqu'au gué bétonné de la piste Biskra-Arris en raison des risques de débordement ; une protection contre les inondations paraît nécessaire et urgente.

Le dispositif de protection prévu est classique. Il consiste essentiellement en une digue en gabions arasée au dessus du niveau des plus hautes eaux de l'oued, s'étendant tout le long de la berge rive droite.

L'ouvrage est protégé des affouillements qui ne manqueraient pas de se produire à son pied par des épis transversaux, également en gabions, orientés à contre courant.

L'effet bien connu de tels épis aura pour conséquence de créer, entre chacun d'eux, des zones mortes ou de ralentissement où les vitesses d'écoulement des eaux tomberont à des valeurs faibles favorisant l'accumulation des matériaux charriés par l'oued et partant, le renforcement du dispositif de protection mis en place.

L'expérience acquise lors de la mise en place des ouvrages de protection de jardin Baccar en amont de la protection envisagée, les épis transversaux sur une longueur de 15m, espacés de 5m environ et inclinés de 70° sur la direction de la digue.

La longueur totale de la protection est de 327 m de berge. Dans cette longueur sont inclus certains tronçons de l'ancien mur en maçonnerie (130 m environ) qui, en assez bon état peuvent être conservés. Il s'efforce de protéger leur pied par des épis transversaux.

La digue de protection de la berge est implantée à l'intérieur des limites du domaine public fluvial. Les dispositifs prévus au plan d'urbanisme de la ville de Biskra, concernant l'aménagement d'un boulevard de ceinture extérieure, qui longera la digue de protection sur une grande partie de son tracé sont respectées.

---

(1) : Bertin (M) – Duquesroy (M) 1956 : Protection de Biskra contre les inondations. Service de la colonisation et de l'hydraulique.

**C) L'impact de ces actions :**

Au sens large, ces opérations peuvent inclure des mesures de secours faisant partie de la protection contre les inondations. Dans la majorité des cas, ces dispositifs aggravent la situation au moment de la crue ; c'est le cas de ce mur de protection, qui s'est affouillé à son pied et a été bouleversé, en de nombreux points et la berge n'est plus protégée. Les digues, qui constituent le moyen de protection le plus ancien et le plus répandu, mais le fait qu'elle est surtout en terre, elle sujette à rupture et nécessite une vigilance continuelle, pour que les premiers signes de défectuosité puissent être neutralisés par des mesures rapides. Les causes de défectuosité sont essentiellement l'érosion et l'infiltration.

### Conclusion

La situation géographique de la ville de Biskra, à la confluence de l'oued El Hai et l'oued Djemoura (l'oued Biskra), avec la présence de l'oued Z'mor et autres petits cours d'eau traversant la ville ; en cas de forte pluies, les débits de ces cours d'eau s'ajoutent les uns aux autres et inonda cette agglomération. Amplifier par l'action de l'homme, que ce soit construction ou réseau d'assainissement.

La cartographie à pour objet d'identifier le risque d'inondation dans cette agglomération pour éviter la création d'installations sensibles dans les zones soumises à ce risque.

La réalisation d'un PERI de la ville de Biskra consiste à examiner de nombreux documents, tel que : cartes topographiques, photo aérienne, les archives de la protection civile, la crue de référence du mois d'avril 1949 et ses impacts, en prenant compte tous les facteurs intervenant dans les causes du déclenchement du phénomène, son extension probable et son intensité ; c'est-à-dire tout facteur qui échappe à l'œil profane mais qui une fois révélé, permet d'avertir l'aménageur des contraintes réelles du site. La synthèse de ces étapes conduit à dresser une carte de trois niveaux ; fort, moyen et à risque faible. Cette carte est ensuite traduite en zonage réglementaire : zones inconstructibles ou constructibles sous réserves. Les zones exposées au grand risque d'inondation sont surtout le centre ville et les zones situées à proximités de l'oued Biskra et l'oued Z'mor, avec les zones à moyen risque, ces zones présentent 88% de la surface totale, ce chiffre montre à quel point cette ville nécessite des moyens de protection contre ce phénomène.

Après les crues du 1940, 1948 et surtout celle du 1949, des programmes de construction des barrages ont été réalisés. Par ailleurs, des protections locales ont été construites : digues et murettes (calées sur la crue de 1949). Ces digues anciennes généralement en terre, sont rendues plus fragiles par la remontée des niveaux des crues et peuvent être ouvertes par brèches au cours d'une inondation, les zones internes qu'elles protègent sont alors inondées. Des épis diminuant la vitesse des courants et favorisent donc la sédimentation à l'emplacement de ces épis, pouvant provoquer une érosion intense dans ces zones.

Autres actions destinées à préparer la population en transformant l'acceptation de l'endommagement, en prise de conscience des mesures de protection efficaces et l'amélioration des anciens dispositifs.

### *Conclusion de la Troisième Partie*

La ville de Biskra connaît deux types d'inondations : par débordement direct de l'oued Biskra et ses confluents et par débordement indirect ; par stagnation des eaux pluviales ou ruissellement liée à une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau d'assainissement lors des pluies anormales.

A ces caractéristiques climatiques, morphologiques et hydrologiques favorisant le phénomène d'inondation, la végétation assez dégradée est un agent favorable à ce type de phénomène, qui est l'un des risques majeurs à la ville de Biskra.

Cependant, l'urbanisation accélérée de la ville de Biskra a augmenté l'imperméabilisation des sols par les bâtiments et les infrastructures, et donc d'accélérer le ruissellement en surface et la genèse des crues inondantes.

Le réseau d'assainissement de la ville de Biskra connaît de nombreuses et fréquentes ruptures dues aux cassures, ainsi l'absence presque totale du réseau dans certains quartiers, en l'absence d'entretien a aggravé le risque d'inondation dans cette ville.

La carte des zones inondables fait apparaître les zones susceptibles d'être envahis par les eaux lors d'une inondation, mais ils ne vont pas jusqu'à interdire de construire dans toutes les zones exposées au risque : seules les plus exposées à grand risque sont inconstructibles.

Pour remédier à cette situation, pour assainir la ville, des kilomètres de canalisations ont été réalisés. Aussi afin d'éviter les nuances des eaux usées sur la population, les rejets se trouvent très éloignés de l'agglomération avec la nouvelle station d'épuration (STEP).

A Biskra, les digues, les épis transversaux et les canaux de protection sont les seuls moyens de protection contre les inondations, mais certains d'entre eux ont augmenté le risque dans cette ville comme les digues construites depuis 1949.

Tout aménagement, toute pratique susceptible d'aggraver les inondations (même dans l'intérêt louable de protéger des vies humaines) fasse à l'objet d'une compensation à l'égard de ceux dont la sécurité est diminuée au besoin financier. Un tel dispositif doit permettre, s'il est économiquement optimal de dissuader les aménagements pénalisants, tout en favorisant les actions de nature à diminuer les risques d'inondation.

### **- Conclusion Générale -**

Du définitif, on entend bien qu'une étude d'hydrologie ne peut jamais être définitive au sens précis du terme. Puisque toute année ajoutée, toute série nouvelle d'observation et de mesure sont de nature à modifier quelque peu les conclusions provisoires acquises et les prévisions qu'on peut en tirer.

Nous pensons avoir contribué à cerner un risque naturel d'un bassin versant qui fait parti du grand bassin Chott Melghir à climat semi-aride et où l'originalité physique présente une dissymétrie entre la partie amont à caractère montagneux, qui est riche en précipitation et la partie aval correspond au Sahara à faible pluviosité. Malgré ça, le Sahara possède encore des régions, où le phénomène de ruissellement est important et alimente un réseau d'oueds encore actif comme l'oued Biskra.

Limité à Biskra, ce bassin couvre une superficie de 2787 Km<sup>2</sup>, dont la presque totalité appartient au domaine des versants ruisselants. L'oued Biskra est formé par la réunion des deux grands oueds ; El Hai et Djemoura, il prend sa source dans la région de Zeb (Aurès occidentale) par 2091 m d'altitude, il se jette dans le Melghir à 25 m au dessus du niveau de la mer, après un parcours de 194 km environ. Son profil à pente très forte jusqu'à El Kantara est celui d'un oued relativement jeune. Plus en aval, la pente diminue et le profil présente des anomalies, en particulier il devient concave dans la plaine d'El Outaya, convexe entre cette région et Biskra.

Ce bassin se caractérise par une réelle dissymétrie topographique, qui se traduit par : le secteur montagneux qui présente les caractéristiques morphométriques favorables à la genèse et la propagation des crues, le secteur des piedmonts à degré moindre, alors que le secteur de plaines sont le siège d'une accumulation des dépôts détritiques, où les conditions d'écoulements sont favorables au ruissellement.

Cette dissymétrie reflète bien la disposition du réseau hydrographique, dont l'oued Biskra est le principal, qui draine le bassin de même nom (2787 Km<sup>2</sup>), l'oued El Hai (1788 Km<sup>2</sup>), Djemoura draine une superficie de (906 Km<sup>2</sup>). Prennent leur naissance respectivement de la limite montagneuse Nord du sous bassin d'El Hai et la limite Nord-Est du sous bassin de Djemoura, la présence d'un petit sous bassin d'une superficie de (93 Km<sup>2</sup>) drainant les eaux de plusieurs ravins et affluents (oued Lafrah), même il est de superficie modeste, il drain vers les quartiers de la ville d'importants débits en périodes d'averses aléatoires et violentes provoquant des inondations importantes dans ces quartiers.

La diversité lithologique, qui obligatoirement entraîne des conséquences sur la stabilité du régime les eaux superficielles est une autre caractéristique de ce bassin : la partie Nord du bassin donc la plus arrosée, correspond aux terrains à dominance imperméables ; roches marneuses et argileuses, la partie méridionale du bassin ; les formations de ces terrains sont perméables à caractère marno-calcaires du crétacé occupant malheureusement 28 % de la surface totale du bassin.

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 des crues et la genèse des inondations dans la ville de Biskra.

La diversité topographique du bassin de l'oued Biskra a un impact évident sur le climat et sur l'écoulement : les facteurs climatiques notamment, les précipitations, les températures et l'évaporation varient avec l'orographie et ils sont très nuancés sur le plan spatial.

En raison de cette spécificité géographique et climatique, l'irrégularité aussi bien interannuelle que mensuelle des précipitations et les variations saisonnières des températures, l'évolution annuelle moyenne de ces deux derniers paramètres illustrés par les diagrammes ombrothermiques, a permis de distinguer une période chaude et sèche, une période froide et humide, alors que ces périodes sont mobiles et leur durée est très variable d'une année à l'autre.

L'analyse du complexe physique du bassin a permis de montrer que les caractéristiques aussi bien morphométriques, lithologiques, couvert végétal, ...etc sont très nuancés sur le plan géographique

et par conséquent déterminent des différences sensibles dans l'aptitude des terrains à l'écoulement, ce dernier, comme les précipitations se caractérisent par leur irrégularité, aussi bien annuelle que saisonnière. En automne ces précipitations sont intenses, au plan de l'hydrologie, ces pluies donnent lieu à des crues violentes et rapides à très fort impact socio-économique.

L'étude du régime des oueds basée sur les débits moyens annuels, mensuels et journaliers qui est une donnée abstraite, occultée de la réalité de l'écoulement dans les oueds, car ses valeurs moyennes liment les fluctuations des débits.

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 de l'oued Biskra et ses affluents succèdent de grosses crues caractérisées par des fréquences relativement importantes, et des puissances élevées, qui sont la cause principale du phénomène des inondations de la ville de Biskra.

L'écoulement solide dans le bassin de l'oued Biskra constitue un phénomène irrégulier complexe et aléatoire, la charge en suspension des oueds prend toute son ampleur lors des fortes crues. L'analyse statistique des données de la turbidité permet de conclure que cette dernière s'accroît du Sud au Nord, elle est de 26,25 g/l à Djemoura et 18,77 g/l à El Kantara le phénomène érosif est plus important dans le bassin moyen et le danger d'inondation peut altérer totalement à n'importe quel moment.

La ville de Biskra a connu une poussée démographique importante durant ces dernières années qui a entraîné une extension urbaine anarchique et une densification du tissu urbain, où les systèmes d'assainissement sont inexistantes ou ne répondent pas fonctionnellement et quantitativement au déficit de l'urbanisation.

En outre, soumise à un climat semi-aride à forte variabilité spatiale et surtout temporelle, la ville de Biskra dispose d'un réseau hydrographique relativement dense, traversant la ville, dont le principal est l'oued Biskra, avec un débit moyen annuel de  $0,57\text{m}^3/\text{s}$ .

Tous ces paramètres favorisent et accentuent le phénomène d'inondation, dont les dommages causés sont multiples, ils prennent souvent un caractère dramatique à la ville située au fond des vallées de l'oued Biskra.

Les inondations sont le plus souvent causées par les crues du cours d'eau, elles peuvent aussi résulter d'une lenteur, voir une absence d'infiltration dans des espaces soumis à des averses de forte intensité, que les conditions accidentelles de l'accumulation seules ou réunies soient d'ordre orographiques, topographiques, météorologiques ou anthropiques, avec une insuffisance des systèmes d'évacuation, suite à l'urbanisation anarchique de la ville de Biskra.

L'évolution de la situation hydrographique de l'oued Biskra, en rapport avec les risques majeurs d'inondations, nécessite une batterie de mesure pour protéger les établissements humains et les terres agricoles. « Ces mesures ne saurait cependant être, si elles ne sont pas insérées dans une stratégie globale volontariste axée sur des éléments structurants ».

Ces mesures concernent l'évolution globale des événements hydrologiques et hydrométéorologiques au cours des années passées, et leur mise en perspective, pour en tirer les renseignements nécessaires. La mise en oeuvre d'un programme cohérent d'aménagement anti-inondations, par les infrastructures de protection, des réseaux d'assainissement et des systèmes de drainage des eaux pluviales, ainsi que la restructuration de l'habitat dans le cadre d'un plan d'urbanisme ou d'un plan d'aménagement et d'occupation du sol.

Les principes mentionnés dans cette étude constituent un système de contraintes, dont il est indispensable de tenir compte à l'amont de tout projet d'aménagement, au même titre que d'autres préoccupations économiques ou sociales. Ils contribuent globalement à une prévention du risque d'inondations s'appuyant sur la compréhension des phénomènes et à l'adaptation de leur existence ce qui traduit un changement par rapport à des pratiques plus anciennes, fondées sur le mythe, de la maîtrise humaine du risque, leur respect sur le long terme est seul capable de garantir un mieux-être économique et social en matière d'inondations.

Un des meilleurs moyens de prévention contre le risque des inondations dans la ville de Biskra est d'éviter d'urbaniser les zones exposées à ce risque. L'entretien des cours d'eau (curage, enlèvement d'embâcles,...etc), sa régularisation par les barrages, le traitement biologique du bassin versant ; que se soient le reboisement, banquettes, ...etc, sont nécessaires pour lutter contre les inondations.

# ANNEXES

## RISQUES NATURELS **Une bombe à retardement à Biskra**

Le directeur de l'environnement de Biskra a saisi l'opportunité de la tenue de la journée de prévention des risques majeurs à laquelle ont été conviées toutes les institutions administratives, économiques et de sûreté pour rappeler aux participants en général, et aux autorités locales en particulier, que Biskra n'est pas à l'abri, entre autres, d'une catastrophe majeure, genre Bab El Oued.

D'ailleurs, le directeur de la Protection civile a indiqué que les risques naturels majeurs auxquels est toujours confrontée l'agglomération de Biskra, et ce, depuis la nuit des temps, sont les crues de l'oued Sidi Zarzour et les inondations catastrophiques causées par les débordements de l'Oued Zmor qui, tous deux, cernent le chef-lieu de wilaya de toutes parts et risquent un jour de l'engloutir sous leurs flots tumultueux. Bien sûr, le premier responsable de la Protection civile n'a pas oublié de faire le bilan des victimes des principales inondations qui ont défrayé la chronique ces 40 dernières années et s'est appesanti sur les modalités de mise en œuvre du plan Orsec. Or, personne au cours de cette journée, pourtant consacrée à la prévention, n'a envisagé le pire, le scénario catastrophe qui pourrait venir sous la forme inattendue de la rupture accidentelle de la digue en terre du barrage de fontaine des Gazelles.

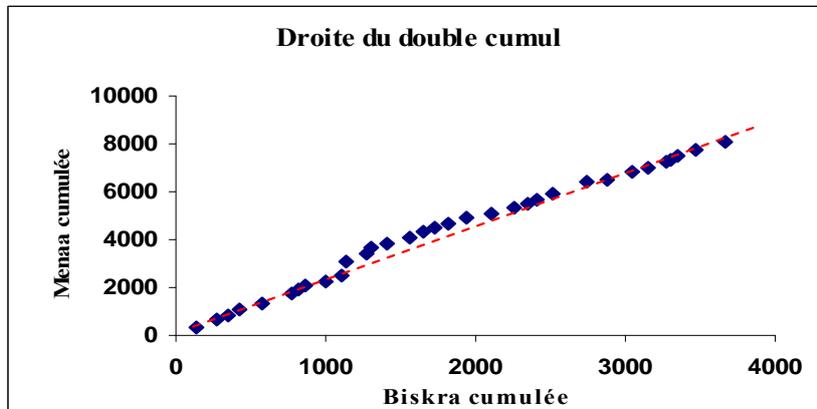
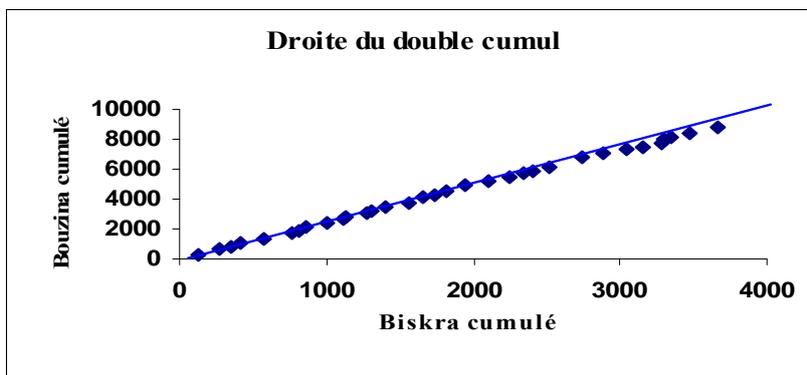
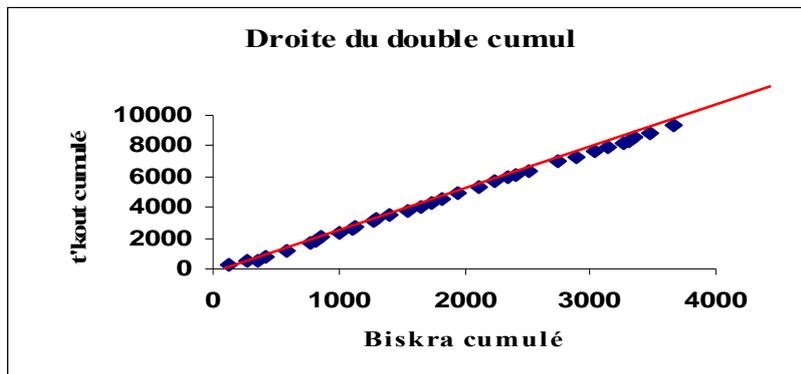
En tout et pour tout, selon ce scénario, les calculs de probabilités n'excluent guère pour moult raisons, les autorités locales auront à peine trois quarts d'heure pour informer et faire évacuer toute la population de Biskra avant l'arrivée du tsunami dévastateur représenté par 70 millions de mètres cubes d'eau et de boue libérées d'un seul coup.

Dans ce cas précis, la réussite de l'évacuation d'urgence d'une population menacée nécessite la réquisition de moyens de transport colossaux, exige que l'opération démarre au quart de tour et qu'elle soit précédée d'opérations de secours rodées, puisque expérimentées à l'avance sur le terrain. Cela fait partie également de la prévention !

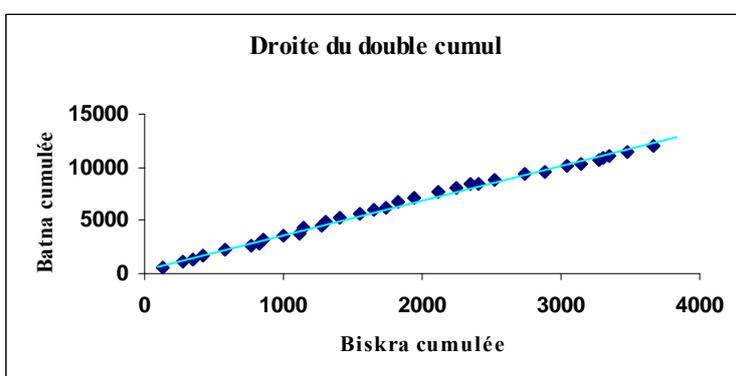
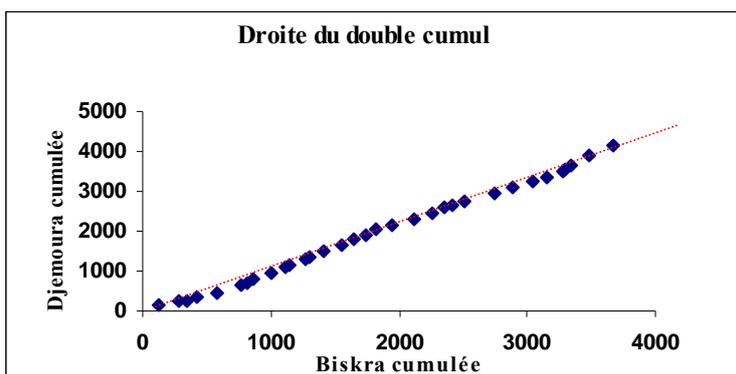
Une autre catastrophe majeure qui menace une partie de la population de la zone ouest de Biskra, mais que l'on peut prévenir dès demain en... appliquant seulement la loi sur l'environnement, c'est la délocalisation en extrême urgence du centre de remplissage de bonbonnes de gaz de Naftal, vers un site approprié, sinon ses immenses citernes de gaz liquéfié, de véritables bombes à retardement qui, si elles venaient un jour à exploser à l'instar d'AZF de Toulouse, risquent de réduire en cendre la totalité des constructions illicites du quartier Bentaleb et leurs 5000 habitants, en plus d'une grosse partie des entreprises de la zone industrielle de Biskra où le centre de remplissage de bouteilles de gaz est implanté.

*Bachir Mebarek*

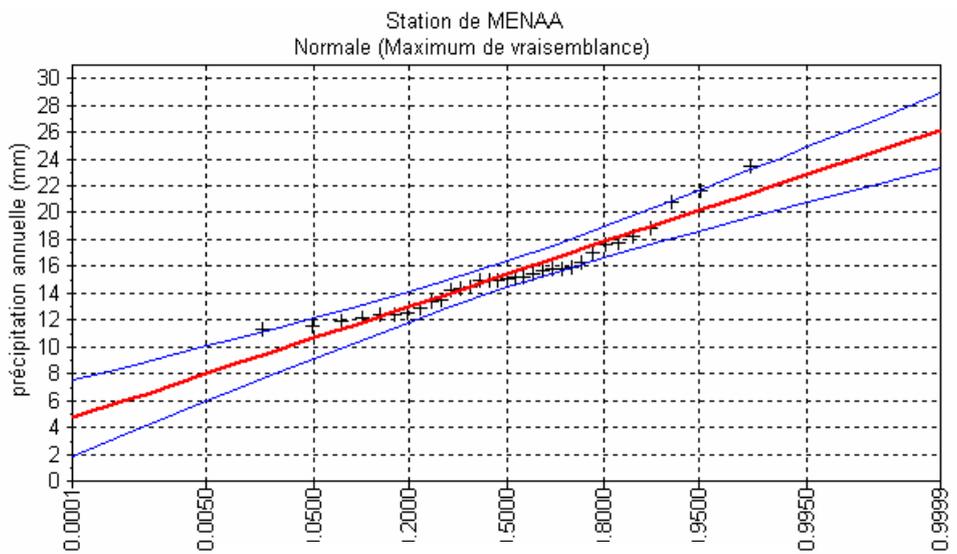
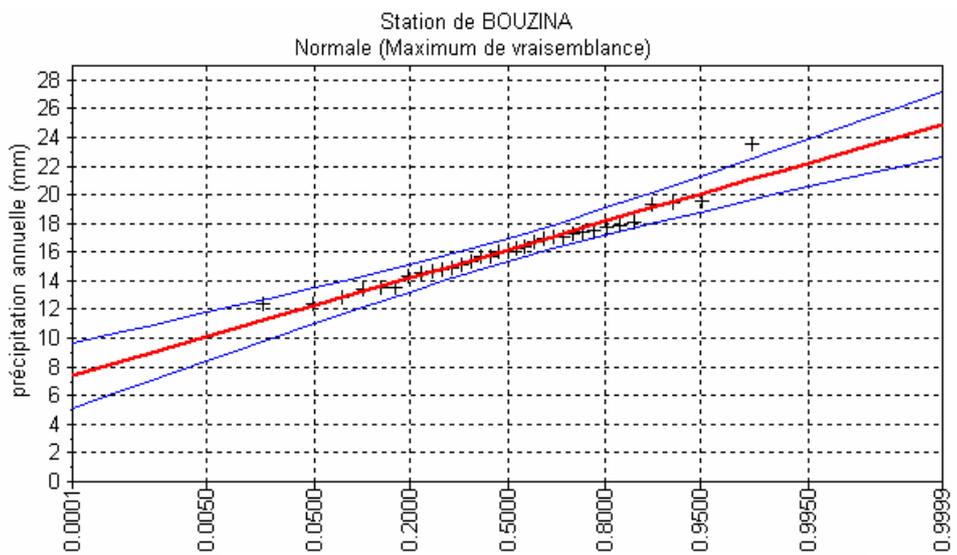
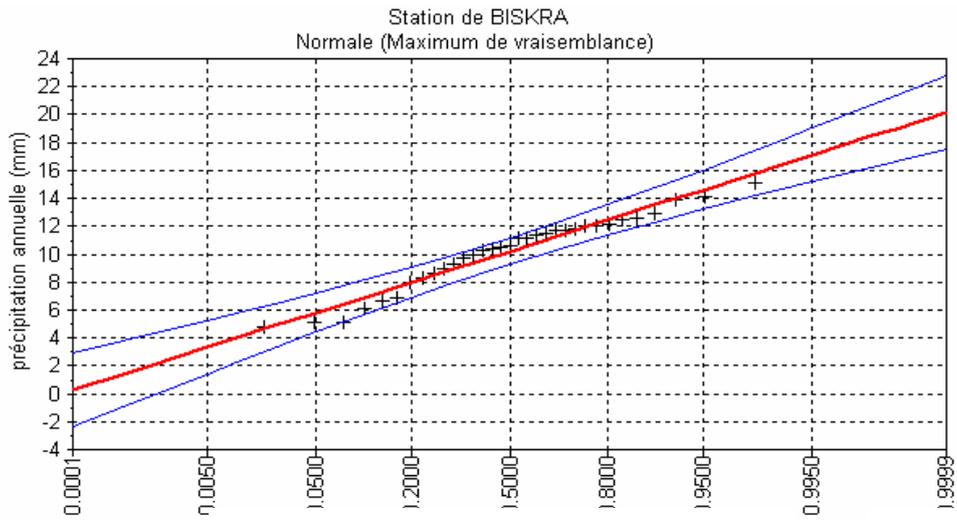
Annexe n °02 : Critique des données pluviométriques par la méthode des doubles cumulés.



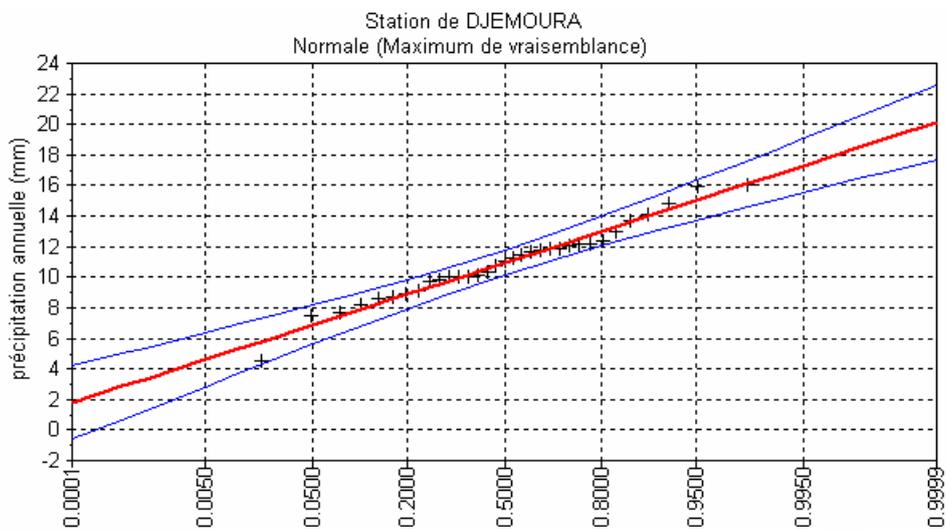
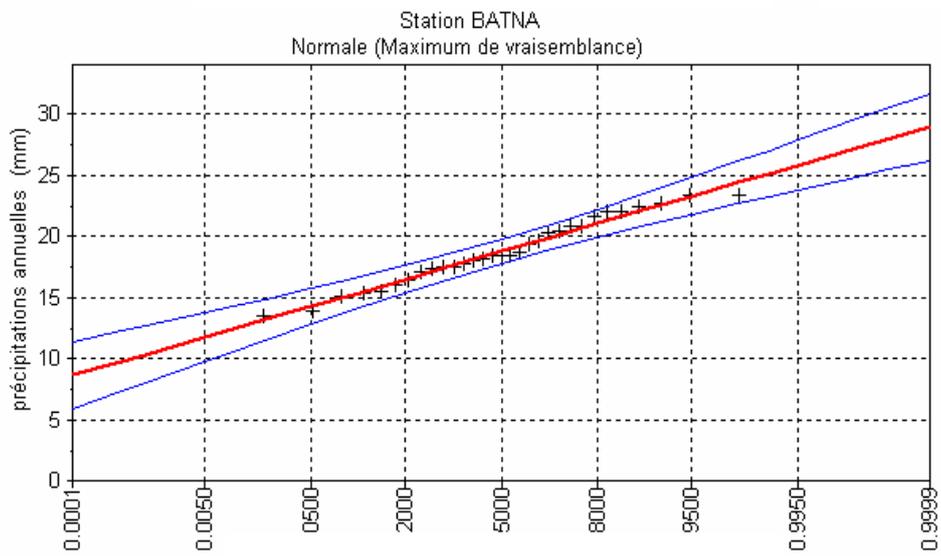
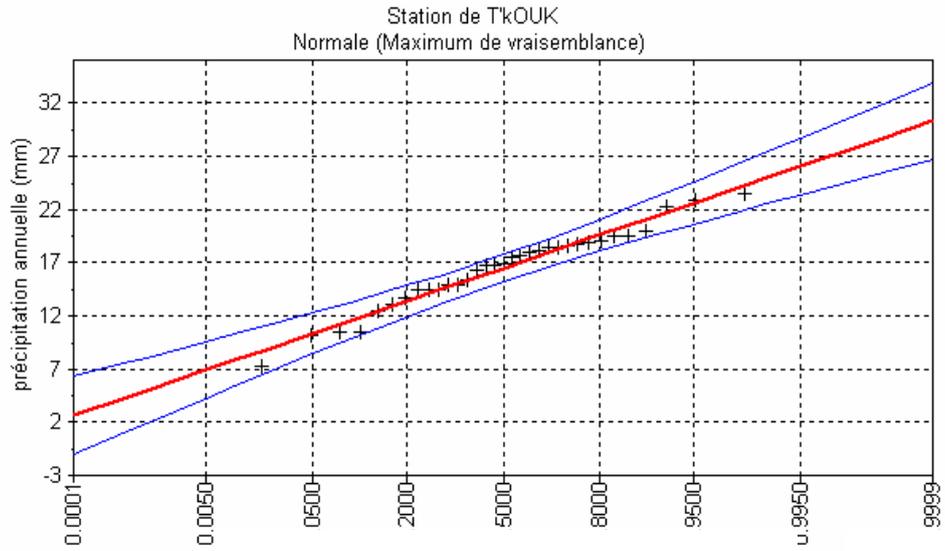
Suite d'annexe n°02.



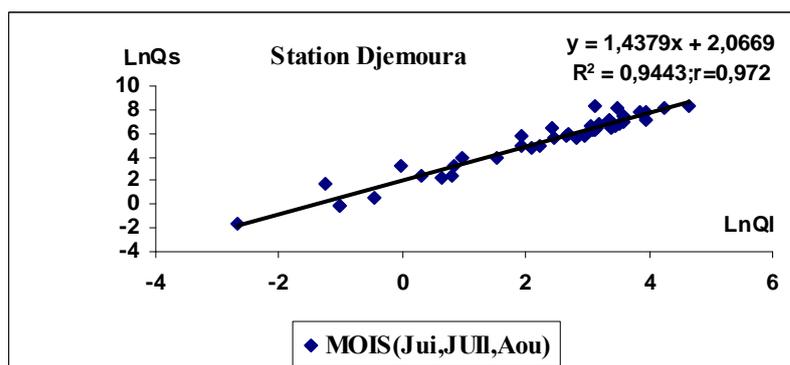
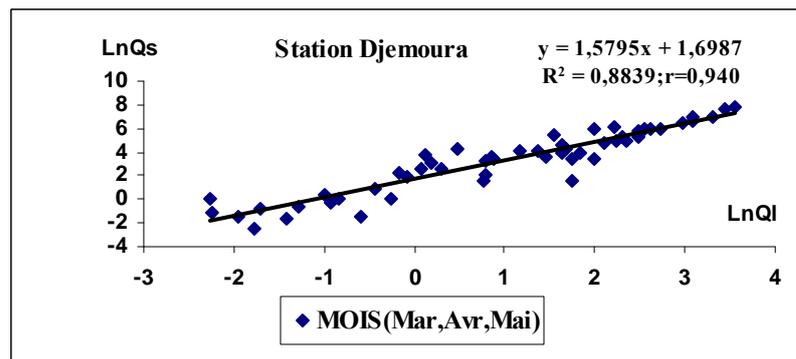
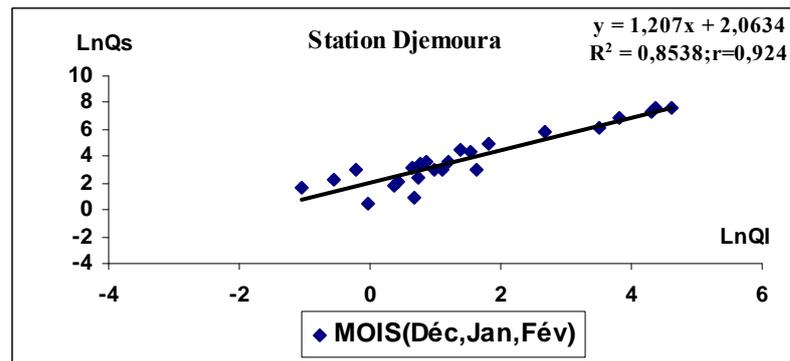
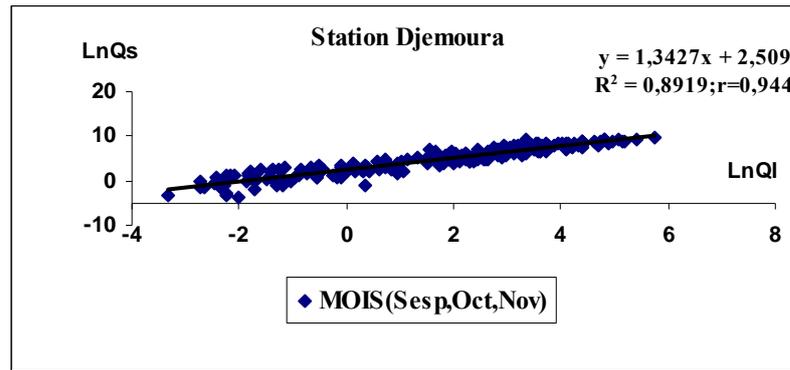
**Annexe n°03 : Ajustement des précipitations annuelles à une loi de Gauss.**



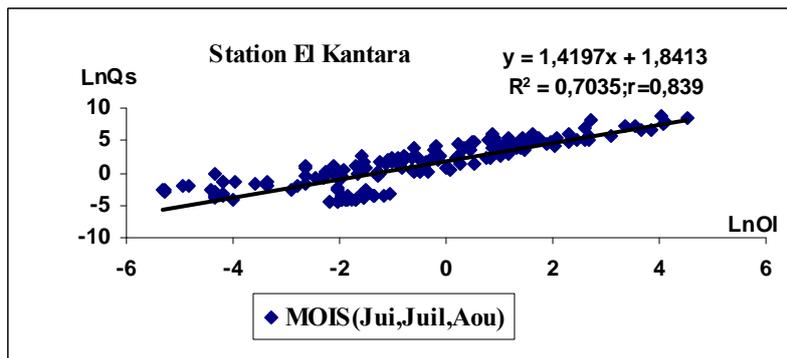
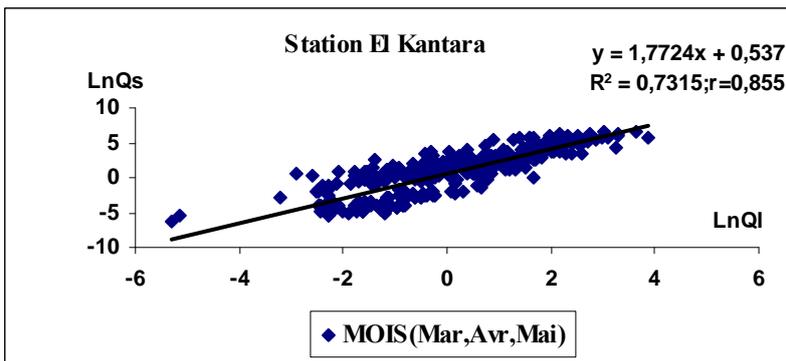
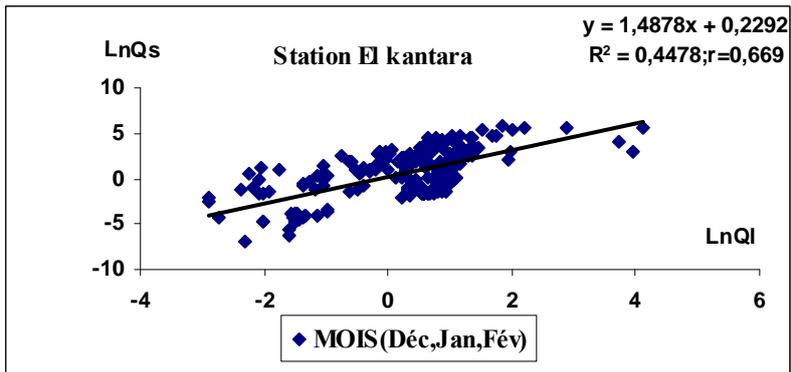
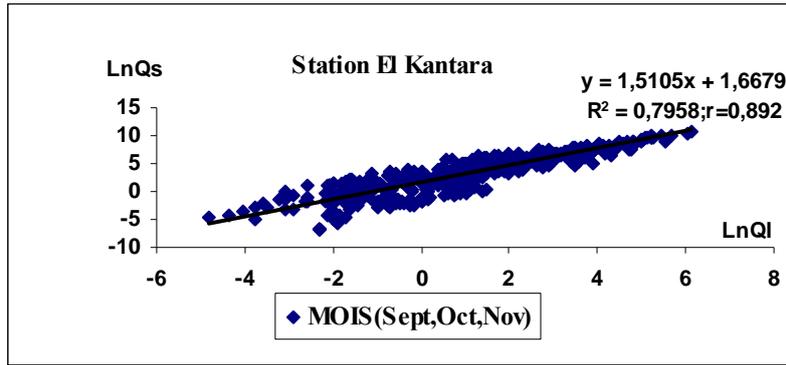
### Suite annexe n°03.



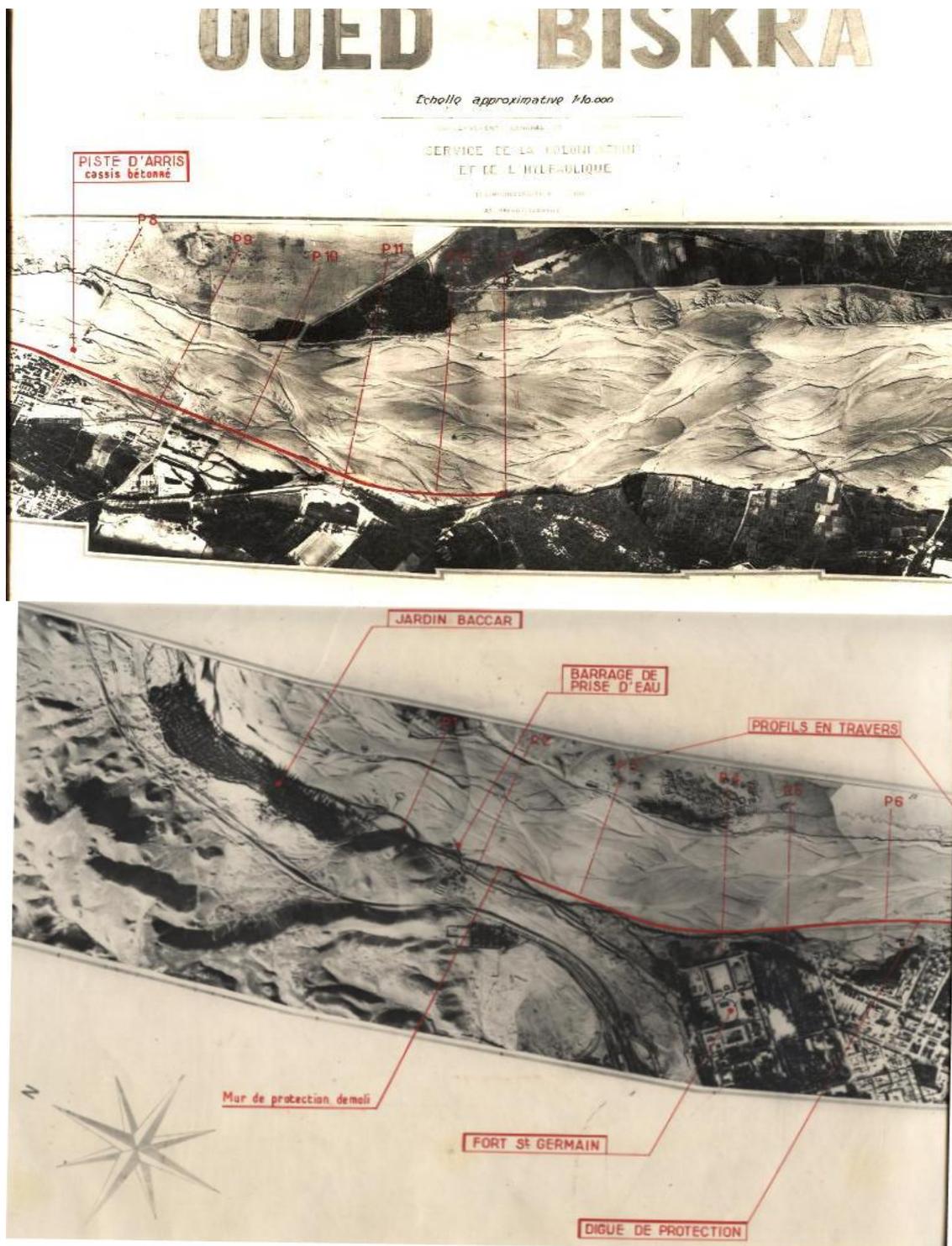
Annexe n°04 : Recherche d'une relation saisonnière débit liquide-débit solide.



Suite annexe n°04.



Annexe n°05 : Photo aérienne de l'oued Biskra prise lors de l'inondation du mois d'avril 1949.



**Annexe n°06 : Canal de protection de la ville de Biskra.**



## Annexe n°07 : Quelques prise de vues sur site.



Photo1 (HPE). Champ de blé mur (rejet Ouest) (17 avril 2006)

*Le champ de blé situé à la lisière de la palmeraie a été irrigué avec les eaux usées du rejet Ouest du réseau d'assainissement de la ville de Biskra au lieu dit Z'mor. L'exploitant pour irriguer son champ a carrément obstrué la canalisation d'évacuation des eaux usées par une tôle rectangulaire afin de créer un bassin d'accumulation facilitant ainsi l'irrigation par gravité de son champ. Ce procédé illicite a permis l'irrigation d'un champ de plus de 2ha. D'ailleurs, lors de notre enquête, l'exploitant a commencé l'opération de récolte et qui s'annonce déjà fructueuse.*



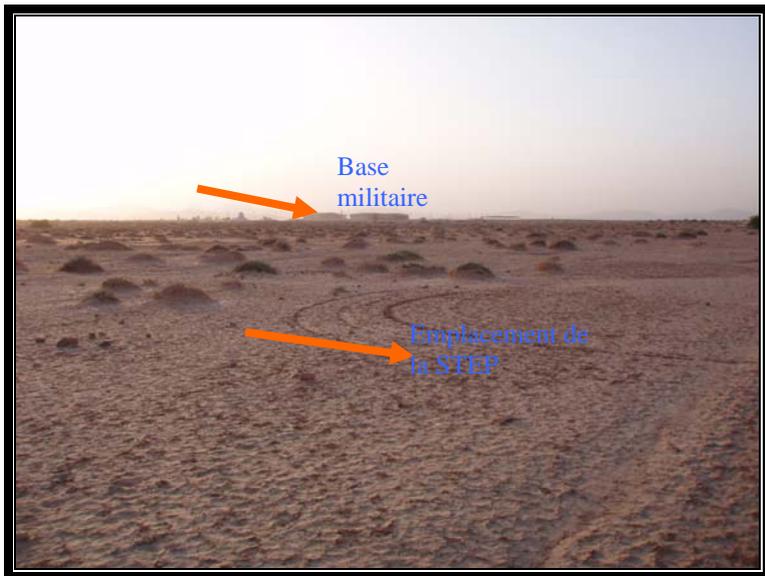
Photo 2 (HPE) Rejet Ouest Biskra obstrué (17 avril 2006)

*On remarque sur cette photo, le développement aux alentours de la canalisation du réseau d'assainissement d'un bassin d'accumulation entouré de roseaux et qui est exploité par les riverains pour irriguer leurs cultures. D'ailleurs, le jour de notre enquête, un exploitant, en colère et tenant une fourche, nous a suivi jusqu'à ce rejet et sachant que la rétention des eaux usées pour l'irrigation est illicite à retirer devant nous la tôle qui servait de barrage pour la retenue des eaux usées.*



**Photo 3.(HPE). Eaux usées stagnantes (route de Touggourt)  
(17 avril 2006)**

*La mare d'eau que l'on aperçoit sur cette photo se trouve au bord de la route de Touggourt. Ce déversement d'une partie des eaux usées de la ville de Biskra à cet endroit n'est que le résultat du blocage de l'écoulement des eaux usées du réseau d'assainissement. Cette rétention d'eaux usées profite à un ensemble d'agriculteurs riverains de ce collecteur pour irriguer leurs cultures. L'endroit que nous avons visité est devenu, en quelque sorte, une zone humide. D'ailleurs nous avons aperçu des cigognes se reposant à cet endroit.*



**Photo 4 (HPE) Emplacement du site de la STEP de Biskra  
(17 avril 2006)**

*L'emplacement du site de la STEP de Biskra se trouve éloigné de toute agglomération.*

*L'endroit choisi se trouve à l'Est de la base militaire que l'on voit à l'horizon dans la photo.*

*L'exutoire naturel (oued Biskra) se situe, en aval, à environ 500 m du site*



Photo 5.(HPE) Oued Biskra charriant les eaux usées (17 avril 2006)

*Cette photo a été prise près du rejet centre de la ville de Biskra. Le plan d'eau que nous voyons sur la photo se trouve dans le lit d'oued Biskra. Il montre une accumulation des eaux usées s'écoulant très lentement, vers l'Oued Djeddi.*

*On remarque sur la photo le pompage de ces eaux par un irrigant. Son dispositif de pompage de l'eau a été placé au bord de l'oued*



Photo 6. (HPE). Rejet de l'aéroport (17 avril 2006)

*Le rejet de l'aéroport de Biskra d'un diamètre de 500 mm déverse en l'état ses eaux usées dans l'oued Biskra. Le jour de notre visite sur le terrain, nous avons constaté que la canalisation était à sec. Cela peut s'expliquer, par le peu de voyageurs qui fréquente cet aéroport.*



**Photo 7. (HPE) 1 Collecteur de Biskra (rejet  $\phi = 1500$  mm)  
(18 avril 2006)**

*Le rejet centre de Biskra d'un diamètre de 1500 mm a été éventré par les riverains pour pouvoir irriguer leurs terres. Sur la photo, on voit aux alentours le développement d'une jeune plantation de palmiers et du maraîchage (céleri)*



**Photo 8. (HPE) champ de céleri irrigué par les eaux usées (18 avril 2006)**

*La photo montre un champ de céleri dense, résultat d'une irrigation abondante d'eaux usées par la canalisation du rejet de Biskra.*

**Annexe n° 08 : Quelques prise de vues sur les inondations du 22/02/2006.**



**Liste des figures**

N°		
1	Courbe hypsométrique des fréquences altimétriques du bassin versant de l'oued Biskra.....	14
2	Profils en long de l'oued Biskra et de ses principaux affluents.....	24
3	Profils en long de l'oued Djemoura et ses affluents.....	25
4	Critique des données pluviométriques par la méthode des doubles cumuls.....	45
5	Régression a l'échelle mensuelle des précipitations.....	47
6	Graphique de P. Seltzer "Les trois lois d'Algérie".....	50
7	Evolution annuelle des précipitations (1971-2004).....	57
8	Ajustement des précipitations annuelles à une loi de Gauss.....	59
9	Variation mensuelle et saisonnière de la distribution des précipitations.....	63
10	Ajustement des précipitations mensuelles à une loi de Gauss après une anamorphose en racine carrée pour la série (1971-2004).....	65
11	Ajustement des précipitations journalières max. à la loi de Gumbel (1971/1993)....	68
12	Courbes intensités –durées- fréquences.....	73
13	Répartition des températures moyennes mensuelles max. et min. à la station de Biskra période (1977/2002).....	76
14	Répartition des températures moyennes mensuelles max. et min. à la station de Batna période (1973/1998).....	76
15	Diagrammes ombrothermique de la station Batna et Biskra .....	81
16	Evaluation du coefficient d'hydraulicité.....	94
17	Ajustement graphique des débits moyens annuels.....	97
18	Les variations mensuelles des débits moyen de l'oued El Hai et Djemoura.....	99
19	Hydrogramme de quelques années caractéristiques de l'écoulement à la station de Djemoura et El Kantara.....	100
20	Courbes des coefficients mensuelles des débits.....	102
21	Hydrogramme de la crue de la saison froide décembre 1981.....	106
22	Hydrogramme de la crue de la saison chaude octobre 1982.....	106
23	Hydrogramme de la crue de septembre 1989.....	110
24	Hydrogramme de la crue d'août 1984.....	111
25	Hydrogramme de la crue de juin 1981.....	112
26	Ajustement des débits journalières max. à une loi de Gumbel (1970/1998).....	117
27	Ajustement des pluies qui dépassent un seuil égale à 15mm à la loi Frechet station de Biskra.....	123
28	Courbes intensités-durées-fréquences à la station pluviométrique de Biskra....	125
29	Recherche de relation saisonnière : débit liquide-débit solide au pas de temps journalier station Djemoura.....	133
30	Recherche de relation saisonnière : débit liquide débit-solide au pas de temps journalier station d'El Kantara.....	134
31	Variation annuelle de la turbidité aux stations d'El Kantara et Djemoura....	136
32	Variation mensuelle de la turbidité aux stations d'El Kantara et Djemoura....	140
33	Evolution de la population de la ville de Biskra.....	148
34	Situation de la nouvelle STEP.....	166

**Liste des cartes**

N°		
1	Situation du bassin versant de l'oued Biskra.....	04
2	Carte hypsométrique du bassin versant de l'oued Biskra .....	11
3	Esquisse des pentes du bassin de l'oued Biskra .....	18
4	Réseau hydrographique du bassin de l'oued Biskra.....	20
5	Carte géologique du bassin versant de l'oued Biskra .....	30
6	Esquisse de perméabilité du bassin versant de l'oued Biskra.....	34
7	Carte de la végétation du bassin de l'oued Biskra .....	39
8	Equipement hydro-pluviométrique du bassin versant de l'oued Biskra .....	42
9	Découpage de la surface du bassin de l'oued Biskra Selon la méthode deThiesse...	52
10	Carte des isohyètes du bassin versant de l'oued Biskra.....	54
11	Evolution du tissu urbain de la ville de Biskra.....	151
12	Réseau d'assainissement de la ville de Biskra.....	155
13	Carte des risques des inondations dans ville de Biskra.....	164

**Liste des tableaux**

N°		
1	Superficie du bassin versant de l'oued Biskra .....	10
2	La répartition altimétrique du bassin de l'oued Biskra et ses bassins élémentaires.....	12
3	Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires de l'oued Biskra .....	13
4	Indices de compacité pour les sous bassins de la région d'étude.....	15
5	Indices des pentes pour les différents sous bassins .....	16
6	Classification, longueur et nombre des cours d'eau du bassin de l'oued Biskra.....	21
7	Densité de drainage pour le bassin de l'oued Biskra et ses bassins élémentaires.....	21
8	Répartition des affluents principaux du sous bassin de l'oued El Hai d'après la pente de leurs lits.....	26
9	Répartition des affluents principaux du sous bassin de l'oued Djemoura d'après la pente de leurs lits.....	27
10	Tableau récapitulatif des résultats.....	27
11	Répartition des types de végétation.....	37
12	Répartition en % des types d'occupation du sol.....	37
13	Coordonnées des stations pluviométriques et leurs codes.....	43
14	Régression basée sur l'analyse des composantes principales (ACP).....	48
15	Application de la méthode de moyenne arithmétique au calcul de la pluie moyenne annuelle.....	49
16	Application de la méthode de Thiessen au calcul de la pluie moyenne annuelle.....	51
17	La pluie moyenne annuelle calculée par la méthode des isohyètes.....	55
18	Comparaison des hauteurs de pluie annuelle des différentes séries (mm).....	55
19	Moyenne, écart type et coefficient de variation de la série pluviométrique (1971-2004).....	56
20	Ecart à la moyenne des précipitations annuelles extrêmes (1971-2004).....	58
21	Intervalle de confiance pour les différentes stations du bassin et teste de $X^2$ .....	60
22	Précipitations annuelles fréquentielles (mm).....	61
23	Fréquence théorique des pluies moyennes annuelles et extrêmes pour les différentes stations de l'oued Biskra.....	61
24	Répartition saisonnière des pluies dans les stations du bassin de l'oued Biskra.....	64
25	Précipitations mensuelles fréquentielles pour les trois stations caractéristiques....	66
26	Pluie maximale journalière fréquentielle pour les quatre stations pluviométriques du bassin ( 1971-1993 ).....	70
27	Valeurs de l'exposant climatique pour les quatre stations pluviométrique de l'oued Biskra.....	71
28	Pluie de courte durée pour les quatre stations pluviométriques de l'oued Biskra.....	71
29	Températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Biskra (1977-2002)	75
30	Températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Batna (1973-1998)...	75
31	Données d'observation des autres paramètres climatiques .....	78
32	Températures moyennes mensuelles et précipitations moyennes mensuelles pour les deux stations pluviométriques. ....	80
33	Coefficient correctif "k <sub>r</sub> ".....	82
34	Evolution du coefficient correctif mensuel "k <sub>m</sub> ".....	83
35	Coefficient d'évaluation des durées théoriques d'insolation.....	83
36	Valeurs moyennes de k <sub>m</sub> (H-187).....	83
37	Résultats de la méthode dite ANRH Penman.....	84
38	La lame moyenne annuelle écoulée et l'apport moyen annuel.....	89

39	Calcul du débit moyen annuel par les différentes formules empiriques.....	89
40	Débit moyen annuel observé, débit moyen annuel selon la formule de Sami pour le bassin de l'oued Djemoura.....	90
41	Débit moyen annuel observé, débit moyen annuel selon la formule de Deri II pour le bassin de l'oued El Hai.....	90
42	Débits absolus, débits spécifiques et la lame d'eau écoulée dans les deux stations hydrométriques.....	91
43	Bilan hydrologique moyen annuel de l'écoulement.....	92
44	Débits moyens annuels, coefficient de l'hydraulicité et coefficient de variation...	95
45	Les débits moyens annuels et durés de récurrence pour les deux stations hydrométriques. ....	96
46	Débits journalier des crues de l'oued El Hai et Djemoura.....	108
47	Caractéristiques des principales crues de l'oued Biskra et ses principaux affluents...	113
48	Les apports, les débits absolus et spécifiques des principales crues.....	114
49	Calcul des débits des crues par les formules empiriques issues des lois Gilbert-Galton-Gauss. ....	115
50	Durée de récurrence des débits journaliers maximaux annuels.....	116
51	Débits des crues pour l'oued Biskra et son ensemble .....	118
52	Application de la méthode du Gradex sur le bassin de l'oued Biskra et son ensemble...	120
53	Débit de crue moyenne pour l'oued Biskra et son ensemble .....	121
54	Résultats finales de l'application de la méthode du Gradex sur le bassin .....	121
55	Ajustement à la loi de Frechet des pluies qui dépassent un seuil égale à 15mm, à la station pluviométrique de Biskra.....	124
56	Les intensités de pluies en mm/heures pour la station de Biskra.....	124
57	La puissance des crues.....	127
58	Recherche de la relation saisonnière : Débit liquide-débit solide au pas de temps journalier.....	132
59	Turbidité moyenne annuelle en (g/l).....	137
60	Apports annuels des transports solides en suspension sur El Hai et Djemoura.....	138
61	Valeurs mensuelles de la turbidité des eaux de l'oued El Hai et Djemoura en g/l .....	138
62	Dégradation spécifique des bassins d'El Hai et Djemoura en tonne/km <sup>2</sup> /an.....	139
63	Potentialité de la turbidité journalière et instantanée aux stations d'El Kantara et Djemoura .....	141
64	Evolution de la population de la ville de Biskra (1966-1977-1987-1998).....	147
65	Evolution de la population attendue à 2010-2020 selon les différentes hypothèses.....	147
66	Débits totaux des eaux usées et pluviales aux différentes horizons Pour l'agglomération de Biskra.....	157
67	Les impacts de l'inondation du mois d'avril 1949 et quelques exemples des inondations frappant la ville de Biskra.....	162
68	Les zones exposées aux risques d'inondation dans la ville de Biskra.....	163
69	Classification des zones inondables dans la ville de Biskra.....	163

## *Liste d'annexes*

Annexe n°1 :	Risques naturels : Une Bombe à retardement à Biskra.....	174
Annexe n°2 :	Critique des données pluviométriques par la méthode des doubles cumulées.....	175
Annexe n°3 :	Ajustement des précipitations annuelles à une loi de Gauss.....	177
Annexe n°4 :	Recherche d'une relation saisonnière débit liquide-débit solide .....	179
Annexe n°5 :	Photo aérienne de l'oued Biskra prise lors de l'inondation du mois d'avril .....	181
Annexe n°6 :	Canal de protection de la ville de Biskra .....	182
Annexe n°7 :	Quelques prise de vues sur site.....	183
Annexe n°8 :	Quelque prise de vues sur les inondations du 22/02/2006.....	187

## **BIBLIOGRAPHIE**

**ANAT 2002 :**

Etude schéma directeur des ressources en eau de la wilaya de Biskra.

Dossier : Agro-pédagogique.

**ANAT 2001 :**

Etude schéma directeur des ressources en eau de la wilaya de Biskra.

Dossier : Les eaux souterraines.

**ANAT 2002 :**

Etude schéma directeur des ressources en eau de la wilaya de Biskra.

Dossier : Les potentialités en eau superficielles.

**ANAT 2005 :**

Etude perspective sur la valorisation des atouts locaux de la wilaya de Biskra.

**Annuaire pluviométrique de l'Algérie :**

Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique sous direction des ressources en eau, service hydrologie année 1972 – 1973.

**Baazi (H) 2002 :**

Etude de la faisabilité d'un ouvrage de substitution dans la vallée de l'oued El Biod.

Thèse de Magister. Inst d'hydraulique, univ. Batna.

**Bella (N) 2005 :**

Aptitude aux écoulements dans l'impluvium de la ville de Batna et les problèmes d'inondations.

Thèse de Magister. Inst science de la terre, univ de Batna.

**Belloum (A) –Dekhil (S) 2000 :**

Approche hydrologique comparée des crues en Algérie I.F.T.S.A Skikda.

**Bendjamaa (F) 2000 :**

Etude géomorphologique de la terminaison occidentale des amonts de Bellezma (Algérie orientale).

Thèse de Magister. Inst. d'aménagement, univ de Constantine.

**Bertin (M) – Duquesroy (M) 1956 :**

Protection de Biskra contre les inondations. Service de la colonisation et de l'hydraulique.

**Boudjeniba (H)- Guidoum (A) 1999 :**

Etude hydrologique du bassin versant de Cheria et le problème des inondations.

Mémoire d'ingénieur d'état. Inst. D'hyd, Univ de Batna.

**Bureau du coordinateur des inondations pour les secours en cas de catastrophes UNDRO.**

L'eau : Une richesse et un danger.

**Chemam (A)- Djoudi (S) 1989 :**

Etude des filtrations par méthodes numériques appliquées au barrage fontaine des gazelles wilaya de Biskra

Mémoire d'ingénieur d'état. Inst. D'hyd, Univ de Biskra.

**Chenofi (S), Chaouch (H) 2003 :**

Etude de la variation optimale du chimisme des eaux de la nappe mio-pliocène de la région de Biskra.

Mémoire d'ingénieur d'état. Inst. d'hyd, univ de Biskra.

**Djebabra (S) :**

Régularisation des débits de l'oued El Hai au site du barrage fontaine des gazelles wilaya de Biskra.

Mémoire d'ingénieur d'état Inst. D'hyd, Univ de Biskra.

**Djebri (T) 1995 :**

Etude hydrologique de la nappe alluviale de Biskra et essai de simulation numérique.

Mémoire d'ingénieur d'état. Inst. D'hyd, Univ de Biskra.

**Duban (D) – Michel (C) - Garros (S) – Astier (G) 1988 :**

Evolution des crues extrêmes et de la crue de projet par la méthode du Gradex (polycopie).

**Dubief (J) 1955 :**

Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara société des études hydrauliques de Ouargla.

Tome 1 : Généralités.

Tome 3 : Bassin de Melghir.

Tome 5 : Résultats Généraux.

**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.

**El Hafid (D) – Gille (E) – Akdim (B) : 2004**

Echelle spatiale et genèse des risques hydrologiques en milieu urbain et péri-urbain : Cas de la ville de Oujda (Maroc).

Revue des études appliquées en science de la terre géographique et aménagement.

**Ghachi (A) 1986 :**

Hydrologie et utilisation des ressources en eau en Algérie "le bassin de la Seybouse".O.P.U Alger.

**H.P.E 2005 :**

Étude de schéma directeur du réseau d'assainissement de la ville de Biskra ; notice de calcul.

**H.P.E 2005 :**

Étude de recalibrage de l'oued Z'mor et ses affluents en tissu urbain ; notice explicative.

**H.P.E 2005 :**

Biskra ; étude d'impact sur l'environnement.

**H.P.E 2005 :**

Étude du système d'épuration des eaux usées de la ville de Biskra, wilaya de Biskra.

Phase 1 : avant projet détaillé ; notice explicative.

**Lafite (R) 1939 :**

Étude géologique de l'Aurès.

**La huile blanche 2003 :**

Gestion du risque d'eau en pays semi-arides.

Genèse des crues et inondation

Année internationale de l'eau douce.

Revue internationale de l'eau.

**Mébarck (A) 1984 :**

Ressources en eau et aménagement en Algérie. " bassin de Kbir Rhumel" O.P.U. Alger.

**Midinger (G) 1959 :**

Transport solide des oueds algériens, annuaire hydrologique 1958-1959, Alger S.E.S. PP530.

**Midinger (G) 1960 :**

Transport solide des oueds algériens, annuaire hydrologique de l'Algérie 1950-1959  
Mars 1960.

**Mimeche (L) 1999 :**

Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de Biskra.

Thèse de magister. Inst.d'hy.univ. de Batna.

**Miquel (J) 1984 :**

Guide pratique d'estimation des probabilités des crues.

Direction des études et recherches d'électricité de France.

**Miziani (A) 1991 :**

Etude hydraulique du bassin versant l'oued Abdi.

Mémoire d'ingénieur d'état. Inst.d'hy. univ. de Batna .

**Mossin (M)-Rodriguez (F)- Andrieu (H) :**

Propriétés statistiques de la réponse hydrologique d'un petit bassin urbanisé ; application au site expérimental de Rezé.

**Nations unis :**

Prévention et atténuation des catastrophes 1978 :

Volume 5 : aspects relatifs à l'occupation du sol.

Prévention et atténuation des catastrophes 1976 :

Volume 2: aspects hydrologiques. New York.

Plan d'exposition au risque 1988 :

La catalographique des plans d'exposition au risque d'inondation. Documentation française.

**P.D.A.U BISKRA 1997 :**

Phase A, Rapport final modifié et complété : première, deuxième et troisième partie.

**Pierre (R) 2003 :**

Genèse des crues et des inondations, les crues en zones urbaines la seine Saint Denis et Marseille.

**P.N.U.DO.P.R 1987 :**

Ressources en eau dans les pays d'Afrique du nord ' projet RAB /80/011).

**Seltzer (P) 1946 :**

Le climat de l'Algérie, travail institut météorologique et physique globe, Algérie

**Zebiri (A) 2002 :**

Etude des fonctionnements pluviales et risque d'inondation dans le Rhumel- Boumerzoug (amont et aval de Constantine).

Thèse de magister. Uni de Constantine.

Tables des matière
--------------------

Avant propos  
Introduction générale

**Première partie**

Les facteurs conditionnels de l'écoulement de crues dans le bassin versant de l'oued  
Biskra.

**Chapitre I : Le cadre orographique et le réseau hydrographique.**

I-1) Introduction .....	08
I-2) Les grands ensembles physiques .....	08
A. Les montagnes .....	08
B. Les piedmonts .....	08
C. Les plaines .....	08
A. Le bassin supérieur .....	09
B. Le bassin moyen .....	09
C. Le bassin inférieur.....	09
I-3) Les caractéristiques morphométriques du bassin .....	09
1-3.1) La superficie du bassin.....	09
1-3.2) L'orographie.....	10
1.3.3 La forme des bassins.....	15
1-3.4) Le système des pentes.....	15
I-4) Le réseau hydrographique .....	19
A. Présentation.....	19
B. Tracé en plan.....	19
C. Type et densité de drainage.....	21
D. Le temps de concentration .....	22
E. Profils en long.....	23
Conclusion.....	28

**Chapitre II : Les caractéristiques géologiques et lithologiques et leur impact sur les crues.**

II-1) La structure du bassin .....	<u>29</u>
II-2) Stratigraphie et aperçu lithologique global .....	<u>29</u>
II-2-1) Le Crétacé.....	29
II-2-2) Le Tertiaire .....	31
II-2-3) Le Quaternaire .....	31
II-3) Les caractéristiques lithologiques et la perméabilité des roches des sous bassins versants.....	31
1. les formations imperméables.....	32
2. formations à perméabilité moyenne .....	32
3. les formations à forte perméabilité .....	32
Conclusion.....	35

**Chapitre III : Le couvert végétale son état et son rôle sur les crues.**

III-1) Rôle du couvert végétal.....	36
III-2) Méthodes d'approches et classification de la végétation .....	36
A. L'approche numérique.....	37

B. Approche cartographique .....	37
III-3 Impact de cette végétation sur les crues.....	40

**Chapitre IV : Etude climatique**

IV-1 Introduction .....	41
IV-2 Etude de la pluviométrie .....	41
IV-2.1) Le réseau pluviométrique et les séries d'observations .....	43
IV-2.2) Le réseau pluviométrique et les séries d'observations.....	43
IV-2.3) Comblement des lacunes d'observations .....	46
IV-2.4) Les variations spatiales et temporelles sur le bassin .....	48
A. Evaluation de la pluie moyenne annuelle précipitée sur le bassin.....	48
a. La moyenne arithmétique.....	49
b. Utilisation des graphiques (les trois lois de l'Algérie).....	49
c. Méthode de Thiessen.....	51
d. Méthode de isohyètes .....	53
A. Répartition pluviométrique interannuelle .....	56
B. Distribution statistique des pluies annuelles .....	58
IV-2.5) Les précipitations mensuelles et les régimes saisonniers.....	61
A. Variabilité intermensuelle des précipitations.....	61
B. Le régime pluviométrique saisonnier de l'oued Biskra.....	62
IV-2.6) Les précipitations extrêmes et les averses, facteur générateur des crues.....	66
IV-2.7) Les températures.....	75
IV-3 Les autres facteurs climatiques .....	77
IV-4 l'évaporation annuelle des précipitations et des températures et le régime climatique du bassin .....	79
V .L'évapotranspiration .....	82
V-1 Formule dite ANRH (1997) .....	82
Conclusion.....	85
Conclusion de la première partie.....	86

**Deuxième partie**

Caractérisation de l'écoulement et prédominance des débits des crues.

**Chapitre I Les écoulements annuels et leurs variations spatiotemporelles.**

I-1) Equipement hydrométrique du bassin .....	88
I-2) Critique des données et homogénéisation.....	88
I-3) Ecoulement moyen annuel et ses nuances.....	89
I-3.1) Evaluation de l'écoulement avec les formules empiriques .....	89
I-3.2 Evaluation de l'écoulement avec les données de mesure.....	91
I-4) Le bilan hydrologique et le déficit d'écoulement.....	92
I-5) L'hydraulicité et la variabilité interannuelle de l'écoulement.....	93
I-6) Analyse statistique des apports liquides .....	96
I-7) Régime d'écoulement : les variations mensuelles des débits.....	98
I-8) L'approche classique du régime : méthode des CMD.....	101
Conclusion.....	103

## Chapitre I : Les formes extrêmes de l'écoulement : crues

II.1 Les maximums annuels : les crues.....	104
II-1.1) La genèse des crues et leur extension dans le temps et l'espace.....	104
1- Les crues de la saison froide.....	104
a. Leur genèse.....	104
b. Leur répartition temporelle.....	105
c. Leur répartition dans l'espace.....	105
d. L'exemple de la crue de la saison froide du mois de décembre 1981.....	105
2- Les crues de la saison chaude .....	107
2-a. Exemple de la crue de la saison chaude du mois d'octobre 1982.....	107
II-1.2) Les crues de l'oued Biskra et ses affluents.....	109
a. la crue de septembre 1989.....	109
b. les crues d'Août 1984.....	109
c. les crues de Juin 1981 .....	109
II-1.3) Les apports de crues.....	113
II-2 Différentes méthodes d'estimation des débits des crues .....	114
II-2.1) Formule empirique régionale.....	114
II-2.2) Etude des crues maximales annuelles par analyse statistique.....	116
Ajustement à la loi de Gumbel .....	116
II.2.3) Méthode faisant intervenir la connaissance des pluies.....	119
A. Méthode du Gradex .....	119
B. Application de la méthode du Gradex au bassin versant de l'oued Biskra et ses petits sous bassins.....	119
II.2.4) Méthode du transfert pluie-débit .....	122
A- Méthode de renouvellement .....	122
B- Choix du seuil.....	122
C- Comparaison entre les méthodes .....	126
II-3 La puissance des crues.....	127
Conclusion.....	129

## Chapitre III : Etude des transports solides dans le bassin versant de l'oued Biskra

Introduction.....	130
III.2 Définition et type de transports solides .....	130
a. Le transport solide en suspension .....	130
b. Le transport solide par charriage.....	130
c. Le transport solide en dissolution .....	130
III.3 Problème de données .....	130
III.4 Evaluation du transport solide .....	131
III.4.1 Evaluation du transport solide par les formules empiriques.....	131
A) Formule de Tixeront (1960).....	131
B) Formule de Sogreah (1969).....	131
III-4.2) Avec les données de mesures .....	131
III-4-2.1) Recherche de relations entre débits solides en suspension et débits liquides.....	131
III-4.3) Les valeurs annuelles moyennes et leur variation spatiale .....	135
III4.4) Les variations interannuelles de l'apport solide en suspension .....	138

III-4.5) Les variations saisonnières et mensuelles du T.S. en suspension .....	138
III-4.6) Les variations journalières de la turbidité et ses liens avec l'écoulement des crues .....	141
Conclusion.....	143
Conclusion de la deuxième partie.....	144

*Troisième partie*  
Impact des crues sur la ville de Biskra.

CHAPITRE I : *Evolution de la population et de l'urbanisation de la ville de Biskra.*

I-1 Présentation de la ville de Biskra .....	146
A. Situation et caractéristiques de la ville .....	146
I-2 La population et son évolution .....	147
I.3 Les principes étapes du l'urbanisation de Biskra .....	149
I-3-1 Le réseau urbain durant la période des turcs .....	149
I-3-2 Le réseau urbain durant la période coloniale .....	149
I-3-3 Le réseau urbain après l'indépendance .....	150
Conclusion .....	152

CHAPITRE II : *Le réseau d'assainissement et son impact dans la genèse des crues dans la ville de Biskra.*

II-1 Présentation du réseau d'assainissement de l'agglomération de Biskra .....	153
II.1.1 L'état ancien du réseau d'assainissement .....	153
II.1.2. Etat actuel du réseau d'assainissement .....	154
II.1.2.1 Collecteur n° 01(Sidi Ghezel) .....	154
II.1.2.2 Collection n°02(centre ville) .....	154
II.1.2.3 Collection n°03(centre ville) .....	154
II.1.2.4 Collecteur n°04(centre ville) .....	154
II.1.2.5 Collecteur n°05(zone Sud Ouest) .....	154
II.1.2.6 Collecteur n°06 .....	154
II.2 Evaluation des eaux à évacuer .....	154
II.2.1 Les eaux usées (domestiques et industrielles) .....	156
A- Méthodologie .....	156
B- Volume à évacuer .....	156
II.2.2 Les eaux usées pluviales et la difficulté de leur évaluation .....	156
A- Méthodologie .....	156
B- Volume à évacuer .....	157
II.3 Adaptation/inadaptation du réseau d'assainissement aux volumes des eaux usées.....	158
Conclusion .....	159

**Chapitre III : Exposition de la ville de Biskra au risque d'inondation.**

<b>III-1</b> les plan d'exposition au risque d'inondation (PARI) .....	<b>160</b>
<b>III-2</b> Esquisse d'un PERI de la ville de Biskra .....	<b>160</b>
<b>III-2-1</b> Méthodologie .....	<b>160</b>
<b>III-2-2</b> La crue du mois d'avril 1949 : choix, caractéristiques et impacts de cette crue .....	<b>161</b>
<b>III-2-3</b> Le zonage : Réalisation de la carte des risques des inondations.....	<b>163</b>
Commentaire de la carte (PERI) de Biskra .....	<b>165</b>
A) Au niveau de la ville de Biskra .....	<b>165</b>
B) Au niveau du bassin versant de l' oued Biskra.....	<b>167</b>
C) L'impact de ces actions.....	<b>168</b>
Conclusion .....	<b>169</b>
Conclusion de la Troisième partie .....	<b>170</b>
Conclusion Générale .....	<b>171</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>174</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>188</b>
<b>Liste des cartes</b> .....	<b>189</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>190</b>
<b>Listes d'annexes</b> .....	<b>192</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>193</b>
<b>Carte et plans de bases</b> .....	<b>197</b>