

## REMERCIEMENT

*Je remercie en premier lieu dieu de m'avoir donné la force et la patience de terminer ce travail, je souhaiterais adresser aussi mes vifs remerciements à certaines personnes qui m'ont aidé au cours de ces deux dernières années.*

*Je voudrais remercier très chaleureusement monsieur **ABED EL KADER BEN KHALED**, maître de conférences au département de génie civil et hydraulique de BISKRA, mon promoteur, pour les précieux conseils qu'elle a pue me donner pour élaborer ce travail.*

*Je tiens à remercier les membres de jury qui ont honoré de leur présence :*

*Monsieur B , Achour , maître de conférences au département de génie civil et hydraulique de l'université de BISKRA., notre enseignant en post-graduation et qui nous a toujours éclairé par ses conseils.*

*Madame L . Youssef , Professeur au département de génie civil et hydraulique de l'université de BISKRA.*

*Monsieur L. Houichi , maître de conférences au département d'hydraulique de l'université de BATNA.*

*J'adresse fortement mes vifs remerciements à madame **CHARHABIL SONIA**, maître assistante au département de génie civil et hydraulique de l'université de BISKRA, pour le temps qu'elle a sue me consacrer, l'aide et les conseils précieux qu'elle m'a apporté pendant l'élaboration de ce travail.*

*Je tiens également à remercier monsieur **DBEBECHE MAHMOUD** Professeur au département de génie civil et hydraulique de l'université de BISKRA.*

*J'adresse aussi mes remerciements à monsieur **BOUZIANE MOHAMMED TOUFIK** directeur et maître de conférences au département de génie civil et hydraulique de l'université de BISKRA .*

*Je voudrai également remercier fortement mes parents : mon père et ma mère, mes sœurs et frères sans oublier Adel.*

*J'associe à ces remerciements les responsables de l'A.N.B.T (BISKRA) et l'A.N.R.H(BISKRA).*

## ملخص

لأكثر من 50 عاماً، شهد وادي الابيض أحداث هيدرولوجية استثنائية . والدراسة تتناول خصائص فيزيائية و هيدرولوجية من الفيضانات التي سجلت في سد فم الخرزة ، والهدف هو تحديد تصنيف الفيضانات لوادي الابيض النهر الرئيسي لهذا الحوض الشبه قاحل . هذا التحديد صعب نوعا ما بسبب العشوائية وعدم ال يقن من الأحداث الهيدرولوجية. و قدمت دراسة أولية لاختيار الفيضانات التي تم تحليلها في وقت لاحق وفقا لمعايير عدة، بما في ذلك زمن الصعود ، وشكل الرسم الهيازي، والتغير في سرعة المياه منسوبها خلال الفيضانات وما إلى ذلك. إن كل الفيضانات ذا شكل حاد جدا حدثت في سبتمبر. وقد ساعدت المعاملات الإحصائية مثل الانحراف والتفرطح لتحديد شكل الفيضانات المسجلة. ودرسنا ديناميكية الفيضانات من خلال تحديد نموذج مهيم من ارتفاع منحنيات وانخفاض الرسم الهيازي . ويلخص النموذج الاسي أكثر من 50% من العلاقات.

## كلمات البحث:

الفيض - الرسم الهيازي - توصيف فيضان - ديناميكية الفيضانات - النموذج الاس الوادي الابيض - سد فم الغرزة

## Résumé

Depuis plus de 50 ans, oued Abiod a connu des évènements hydrologiques exceptionnels.. L'étude traite des caractéristiques hydrologiques et physiques des crues enregistrées au droit du barrage de Fom El Gherza, dont le but de dresser une typologie. La détermination du type des crues de oued Abiod, cours d'eau principal de ce bassin semi-aride est assez délicate en raison du caractère aléatoire et incertain des évènements hydrométéorologiques vécus. Une étude préliminaire a été faite pour la sélection des crues qui ont été par la suite analysées selon plusieurs critères dont le temps de montée, la forme de l'hydrogramme, la variation du plan d'eau, la vitesse des eaux durant la crue, etc. La totalité des crues de forme très aigue se sont produites en Septembre. Les paramètres statistiques tels le coefficient d'asymétrie et le coefficient d'aplatissement ont aidé à l'identification de la forme des crues enregistrées. La dynamique des crues a été également étudiée par la détermination du modèle dominant des courbes de montée et de décrue. Le modèle puissance résume plus de 50 % des relations établies pour les crues.

## Mots clés :

Crue - Hydrogramme de crue - Caractérisation des crues - Dynamique des crues – Modèle de puissance oued Abiod - Barrage de Fom el Gherza .

## Summary

For over 50 years, Wadi Abiod has experienced exceptional hydrological events. The study deals with the physical and hydrological characteristics of floods recorded at the dam of Fom El Gherza, which aims to define a typology. Determining the type of river flood Abiod, main river of this basin is semiarid rather difficult due to the randomness and uncertainty experienced hydrometeorological events. A preliminary study was made for the selection of floods that were subsequently analyzed according to several criteria, including the rise time, the shape of the hydrograph, the change in water level, water velocity during the flood, etc.. The whole flood of very acute form occurred in September. Statistical parameters such as skewness and kurtosis have helped to identify the form of floods recorded. Flood dynamics

was also studied by determining the dominant model curves rise and decline. Power model summarizes the output more than 50% of relationships for floods.

**Keywords:**

Flood - Flood Hydrograph - Characterization flood - flood dynamics - Model Power- wadi Abiod - Foum el Gherza Dam.

# TABLE DES MATIERES

Résumé

Sommaire

Remerciement

liste des figures

liste des tableaux

Introduction générale et problématique

## Chapitre 1 Considérations générales sur les Processus Hydrologiques

1.1. Généralités

1.2. Définitions de quelques termes utilisés dans le mémoire

1.2.1. Crue

1.2.2. Hydrogramme de crue

1.3. Origine de la formation des crues

1.4. Les types de crues

1.4.1. Crues de type torrentiel ou éclair

1.4.2. Crues de plaine ou fluviales

1.4.3. Les ruissellements en secteur urbain

## Chapitre 2 Fonctionnement d'un bassin versant en période de crues

2.1. Introduction

2.2. Les écoulements superficiels

2.2.1. La battance

2.2.2. Ruissellement hortonien

2.2.3. Ruissellement par saturation (sur surfaces saturées)

2.3. Les écoulements subsuperficiels ou hypodermiques

2.3.1. Les écoulements par macropores

2.3.2. L'intumescence de nappe

2.4. Les écoulements souterrains

2.5. Ecoulements lors des crues éclair

## Chapitre 3 Caractérisation des crues

### 3.1. L'Hydrogramme de crue

#### 3.1.2. La montée de la crue

#### 3.1.3. La pointe de la crue

#### 3.1.4. Courbes de décrue et de tarissement

#### 3.1.5. Le niveau de base

### 3.2. Facteurs d'influence sur l'hydrogramme de crue

#### 3.2.1. Caractéristiques hydrologiques

#### 3.2.2. Caractéristiques géométriques

#### 3.2.3. Stokage ou emmegasinement

#### 3.2.4. Couvert végétal

#### 3.2.5. La nature du sol

## Chapitre 4 Bassin d'étude

### 4.1. Situation géographique

### 4.2. Relief

### 4.3. Géologie

### 4.4. Végétation

### 4.5 Climat

#### 4.5.1 Le réseau pluviométrique

#### 4.5.2 Pluviométrie du bassin

#### 4.5.3. Evapotranspiration

### 4.6 Hydrologie

## Chapitre 5 Analyse préliminaire des données de crues

### 5.1. Collecte des données de débits

### 5.2. Méthodologie

### 5.3. Constitution de la chronique des débits

### 5.4. Traitement préliminaire de la chronique des débits de crues

#### 5.4.1. Variation du nombre de crues par années

- 5.4.2. Variation du nombre de crues par mois
- 5.4.3. Variation du nombre de crues par saison
- 5.4.4. Variation du nombre de crues par classe de débits

## Chapitre 6 Caractérisation des crues de oued Abiod

- 6.1. Paramètres statistiques de la chronique des débits max
  
- 6.2. Analyse des caractéristiques des crues de oued Abiod
  - 6.2.1. Analyse du temps de montée
  - 6.2.2. Analyse de la forme des hydrogrammes de crues
  - 6.2.3. Analyse du rapport  $Q_{\max}/Q_{\text{moyen}}$
  - 6.2.4. Analyse de la variation du plan d'eau
  
  - 6.2.5. Analyse de la vitesse des eaux durant les crues
  - 6.2.6. Analyse de l'évolution des débits par décade
  - 6.2.7. Analyse des lames ruisselées
- 6.3. Relation Apport – débit max
- 6.4. Analyse des courbes de montée et de décrue

## LISTE DES FIGURE

Figure 1.1. Présentation du cycle de l'eau (illustration de l'USGS)	5
Figure 1.2 . Identification spéciale des systèmes hydrologiques (d'après .....)	6
Figure 1.3. Formes de crues : (a) simple et (b) complexe	8
Figure 1.4. Crue du 26 au 30/09/1969 : évolution de l'écoulement journalier en fonction des pluies journalières.	10
Figure 1.5. Photo montrant l'inondation du centre ville de Biskra le 29 -30 Octobre 2011	11
Figure 1.6. Photo montrant l'ampleur des dégâts et le caractère torrentiel de l'inondation du 10/11/2001	11
Figure. 2.1. Exemple de décomposition chimique d'un hydrogramme	14
Figure.2.2 : Stades de dégradation de la surface du sol	15
Figure.2.3. Ecoulement Hortonien	16
Figure.2.4. Ruissellement hortonien	17
Figure. 2. 5. Exemple de ruissellement Hortonien dans la région de Biskra lors de l'événement du 29 Octobre 2011	17
Figure. 2.6. Suivi de l'évolution des surfaces saturées au cours d'un épisode pluvieux dans un petit bassin versant japonais de 2.2 hectares	19
Figure. 2.7. Ecoulement par macropores	21
Figure. 2.8. Ecoulement par intumescence de nappe	22
Figure. 2.9. Schématisation de la relation entre nappe et cours d'eau dans le cas d'une nappe contributive	22
Figure. 2.10. Exemple de crue à contribution essentiellement souterraine	23
Figure 3.1. Schématisation d'un hydrogramme	26
Figure 3.2. Représentation schématique du bassin versant	29
Figure 3.3. Influence de la durée de l'averse sur la réponse hydrologique d'un bassin versant	30
Figure 3.4. Influence de la distribution spatiale de l'averse sur la réponse hydrologique d'un bassin versant	31
Figure 3.5. Influence des variations d'intensité de l'averse sur la réponse hydrologique d'un	31
Figure 3.6. Influence des conditions antécédentes d'humidité sur le comportement hydrologique d'un bassin versant	32
Figure 3.7. Influence de la forme du bassin versant sur l'hydrogramme de crue	34
Figure 3.8. Influence de la pente du bassin versant sur l'hydrogramme de crue	35
Figure 4.1. Situation géographique	38
Figure 4.2. Carte des pentes du bassin	39
Figure 4.3. Carte hypsométrique du bassin	40
Figure 4.4. Carte de la géologie du bassin	41
Figure 4.5. Carte d'utilisation du sol et des formations végétales	42
Figure 4.6. Carte du réseau pluviométrique du bassin	43
Figure 4.7. Loi de pluviosité au bassin de oued Abiod	44
Figure 4.8. Variation interannuelle de la pluie à trois stations	45
Figure 4.9. Variation mensuelle de la pluie aux stations de Medina, T'kout et Foug El Gherza	45
Figure 4.10. Carte d'évapotranspiration de la zone d'étude (encadré en bleu)	46
Figure 4.11. Bassin versant et réseau hydrographique de oued Abiod	47

Figure 4.12 Profil en long de Oued Abiod.	48
Figure 4.13. Précipitations et apports du bassin de oued Abiod	49
Figure 5.1. Chronologie des débits moyens journaliers de la période 1950 - 2009	55
Figure 5.2. Chronologie des débits max instantanés des crues de la période 1950 - 2009	56
Figure 5.3. Chroniques simultanées des débits moyens journaliers des débits max instantanés des crues de la période 1950 - 2009	57
Figure 5.4. Nombre de crues par année (Période de 1950 à 2010)	59
Figure 5.5. Cumul du nombre de crues sur la période de 1950 à 2010	59
Figure 5.6. Nombre de crues par mois (Période de 1950 à 2010)	60
Figure 5.7. Pourcentage de réalisation des crues en Septembre par année (Période de 1950 à 2010)	62
Figure 5.8. Variation du nombre de crues en par saison (Période de 1950 à 2010)	63
Figure 5.9. Variation du nombre de crues par classe de débit	64
Figure 6.1. Coefficients de variation des crues (Période 1950-2010)	67
Figure 6.2. Coefficients d'asymétrie et d'aplatissement e variation des crues (Période 1950-2010)	67
Figure 6.3. Coefficients de variation annuelle (Période 1950-2010)	70
Figure 6.4. Coefficients d'asymétrie et d'aplatissement annuels (Période 1950-2010)	70
Figure 6.5. Chronologie des débits max instantanés des crues sélectionnées (Période 1950 – 2009)	71
Figure 6.6. Hydrogrammes de crues	75
Figure 6.7. Histogrammes de variation des temps de montée et de base	76
Figure 6.8. Variation du rapport Tbase /Tmontée	77
Figure 6.9. Hydrogrammes résultants de quelques crues	78
Figure 6.10. Hydrogrammes types des crues de oued Abiod	81
Figure 6.11. Hydrogramme de la crue historique du 10 Octobre 1966	82
Figure 6.12. Variation du rapport Qmax inst / Qmoy	83
Figure 6.13. Variation du plan d'eau avant et après la crue	84
Figure 6.14. Variation de la cote dans la retenue du barrage	84
Figure 6.15. Variation du plan d'eau pour l'ensemble des évènements enregistrés	85
Figure 6.16. Courbe de remplissage de la retenue de Foum El Gherza pour le mois d'Octobre 1966	85
Figure 6.17. Courbe de remplissage de la retenue de Foum El Gherza pour le mois d'Avril 1995	86
Figure 6.18. Courbe de remplissage de la retenue de Foum El Gherza pour le mois de Mai 2006	87
Figure 6.19. Variation des vitesses des eaux durant les crues	87
Figure 6.20. Variation des débits max instantané et moyen par décade (Période 1950-2010)	88
Figure 6.21. Variation des lames ruisselées et précipitées du bassin de oued Abiod au droit du barrage de Foum El Gherza (Période 1950-2010)	89
Figure 6.22. Coefficients de ruissellements du bassin de oued Abiod au droit du barrage de Foum El Gherza (Période 1950-2010)	90
Figure 6.23. Relation Volume de crue – Débit max de crue	91
Figure 6.24. Courbes d'ajustement de la montée et de la décrue	94

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 : Pentés du bassin de oued Abiod	39
Tableau 4.2 : Coordonnées des stations pluviométriques du bassin de oued Abiod	43
Tableau 4.3 : récapitulatif des résultats	47
Tableau 5.1: Observations sur quelques crues de la période 1935-1950	52
Tableau 5.2. Observations sur la crue de 06/09/1953	52
Tableau 5.3. Observations sur la crue du 05-06/12/2004 avec un rapport complémentaire.	53
Tableau 5.4. Exemple de rapport complémentaire sur les crues de oued Abiod	54
Tableau 5.5 : Variation du nombre de crues par année	57
Tableau 5.6 : Variation du nombre de crues par mois.	60
Tableau 5.7 : Variation du pourcentage de réalisation des crues en Septembre par année.	61
Tableau 5.8 : Variation du nombre de crues en par saison	63
Tableau 5.9: Variation du nombre mensuel de crues supérieures à 10 (m <sup>3</sup> /s)	64
Tableau 6.1 : Statistiques générales des crues de oued Abiod	66
Tableau 6.2 : les paramètres statistique	68
Tableau 6.3 : Statistiques générales des crues sélectionnées de oued Abiod	72
Tableau 6.4 : Formes des Hydrogrammes des crues	79
Tableau 6.5 : Caractéristiques des crues types de oued Abiod	82
Tableau 6.6 : Equations de montées et de décrues des crues de oued Abiod	92
Tableau 6.7 : Equations de montées et de décrues des hydrogrammes types de oued Abiod	93

# *Introduction générale et problématique*

## *Introduction générale et problématique*

Les risques naturels (inondation, séisme, glissement de terrain, éruption volcanique,...) s'inscrivent, aujourd'hui d'une façon fréquente, à travers tout le globe terrestre, menaçant en permanence l'existence humaine, et provoquant des dégâts matériels immenses, ce qui handicape toutes les opérations de développement.

L'Algérie est l'un des pays, qui est confrontée aux effets néfastes de certains de ces catastrophes naturelles, surtout celles du à la dynamique fluviale, telle que les inondations et l'érosion. Ces deux dernières catastrophes sont des risques majeurs recensés, à cause de leur fréquence dans le temps et l'espace. Plusieurs régions dans notre pays ont souffert de ces deux catastrophes telle que, Biskra, Sidi Bel Abbès, Skikda, Annaba, Constantine, Batna, etc..

L'étude des crues est un sujet qui suscite de plus en plus d'intérêt dans le domaine des sciences de l'eau. Malgré leur faible pluviosité, les bassins des régions semi arides à arides forment un ensemble où les phénomènes de ruissellement sont importants et alimentent un réseau d'oueds très actifs. L'activité de ces oueds est loin d'être négligeable tant au point de vue de la fréquence des crues que de l'importance quantitative de celle – ci. On observe sur ces cours d'eau des écoulements exceptionnels qui parfois, surprennent par leur ampleur.

L'oued Abiod est un cours d'eau très représentatif de ces bassins. Sur plus de 50 ans d'observations, des événements hydrologiques extrêmes se sont produits sur l'oued Abiod. Ces crues sont intéressantes à analyser tant sur l'aspect forme que sur l'aspect de leur dynamique.

Dans ce mémoire, nous allons fournir quelques éléments de réponse à la problématique des crues.

Le premier chapitre se rapporte à des considérations générales sur les processus hydrologiques, Puis, nous présentons dans le chapitre 2, le fonctionnement d'un bassin versant en période de crues. Le troisième chapitre rapporte les principales caractéristiques des crues et leur influence sur la forme des hydrogrammes. Le chapitre 4 examine les principales caractéristiques du bassin versant de oued Abiod, qui a été choisi comme bassin d'application pour la diversité et la disponibilité des données, malgré le nombre limité d'études. De plus, on présente les données du milieu physique

disponibles et l'interprétation que nous pouvons en faire relativement au fonctionnement hydrologique de ce bassin versant. Dans le chapitre 5, une analyse préliminaire des données d'étude est effectuée dans le but d'avoir des informations générales sur la fréquence des crues dans le bassin considéré. L'étude est finalisée à travers un sixième chapitre qui présente une analyse détaillée de la dynamique des crues dans le but d'identifier les plus fortes crues enregistrées sur oued Abiod.

Enfin une conclusion générale rapportera les principaux résultats.

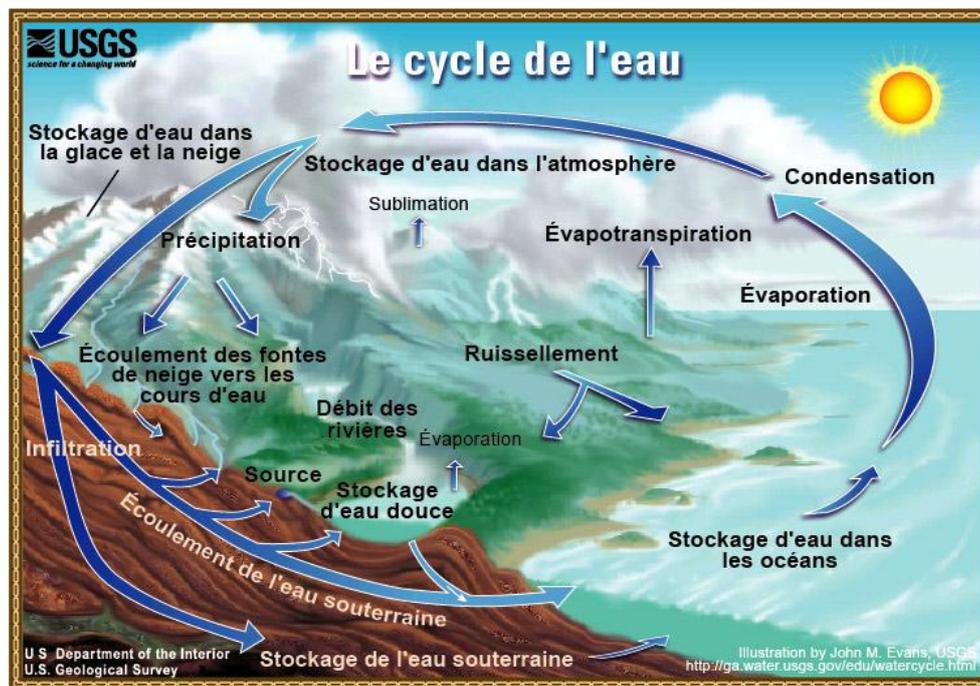
*Chapitre 1*

*Considérations générales sur  
les Processus Hydrologiques*

## 1.1. Généralités

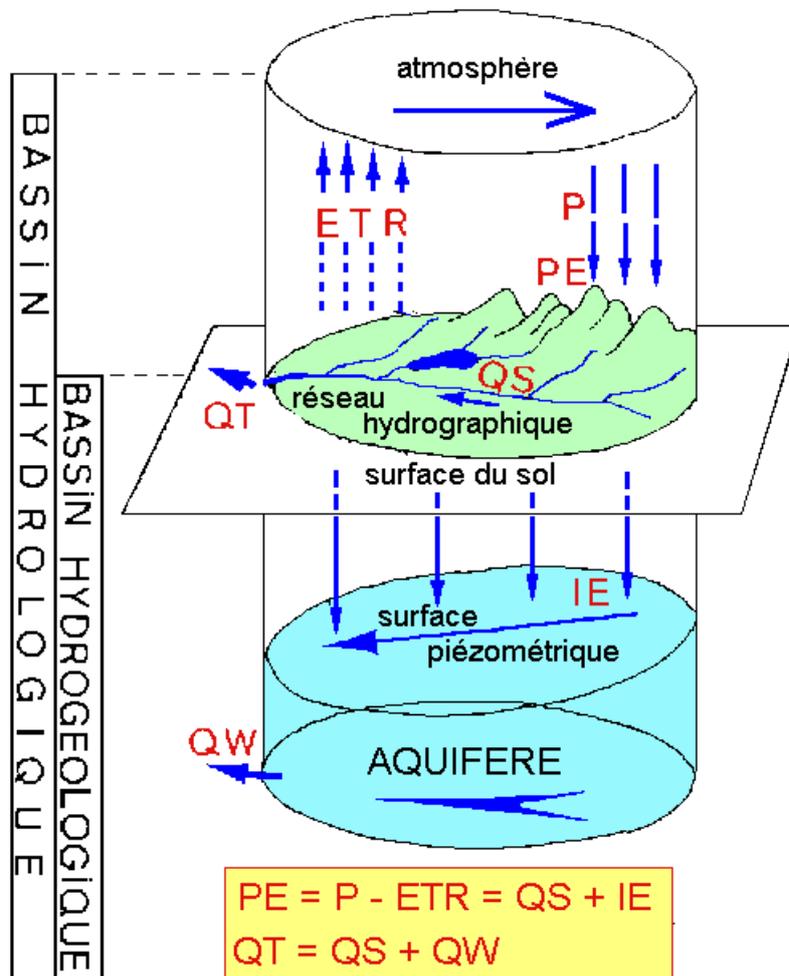
La circulation de l'eau à la surface de la terre (figure 1.1) assure les échanges entre les quantités d'eau stockées sous 3 états, vapeur, liquide et solide au sein des grands réservoirs que constituent l'hydrosphère (océans, eaux continentales, glaces), l'atmosphère (vapeur d'eau) et la biosphère (eau présente chez les êtres vivants). Ce cycle, mis en mouvement par l'énergie solaire et la force de gravité, s'avère relativement stable dans le temps, c'est à dire que toute perte dans l'un des compartiments terrestres est compensée par un gain dans l'un ou l'autre des compartiments.

A l'échelle mondiale, les experts estiment que 65 % des précipitations qui arrivent sur la terre s'évaporent, 24 % ruissellent et 11% s'infiltrent, chiffres qui vont subir bien évidemment des variations significatives selon les latitudes .



**Figure 1.1.** Présentation du cycle de l'eau (illustration de l'USGS)

Ce cycle de l'eau s'il est planétaire peut et doit s'analyser à l'échelle des systèmes hydrologiques, identifiés par des caractéristiques spatiales et temporelles. Ainsi, à l'échelle locale, on distingue 3 systèmes hydrologiques interdépendants, le bassin hydrologique, le bassin hydrogéologique et l'aquifère (figure 1.2).



**Figure 1.2 .** Identification spéciale des systèmes hydrologiques .

Dans les systèmes hydrologiques, les précipitations génèrent trois types d'écoulement : des écoulements de surface, l'infiltration dans la zone non saturée et des écoulements souterrains en milieu saturés. Selon Moore et Foster (1990), l'écoulement de surface peut être généré par deux mécanismes :

- Par l'écoulement Hortonien qui se produit quand l'intensité de pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol (Horton, 1933 ; Freeze, 1972 ; Dunne, 1983).

- Par l'écoulement saturé en surface dû à la remontée de la nappe phréatique qui atteint la surface du sol. Lorsqu'une nappe affleure la surface du sol, la capacité d'infiltration de ce dernier devient quasi-nulle ; une intensité pluviométrique très faible pourra donc générer du ruissellement. Le ruissellement ainsi engendré peut également être alimenté par des exfiltrations d'eau provenant de nappes affleurantes « return flow » (Dunne and Black, 1970).

## 1.2. Définitions de quelques termes utilisés dans le mémoire

### 1.2.1 Crue

Plusieurs définitions sont proposées dans la littérature spécifique.

- D'après le Glossaire international d'hydrologie (OMM, 1992) : « la crue, phénomène hydrologique de base, est l'augmentation plus ou moins brutale du débit, quel que soit ce débit (typiquement, la crue provoquée par un orage) ; et par conséquent de la hauteur d'un cours d'eau. La crue est la croissance du débit exprimée par la partie montante de l'hydrogramme, durant laquelle le débit dépasse un certain multiple du débit moyen annuel ».
- Une crue correspond à une augmentation relativement brutale du débit et par conséquent de la hauteur du cours d'eau, suite à un apport important en eau consécutif à une période exceptionnelle de précipitations ou de fonte de neige.
- Une autre définition plus explicite est donnée : une crue correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau au delà d'un certain seuil auquel toute analyse doit faire référence. Elle est décrite à partir de trois paramètres : le débit, la hauteur d'eau et la vitesse du courant. En fonction de l'importance des débits, une crue peut être contenue dans le lit ordinaire, dénommé lit mineur, ou déborder dans son lit moyen ou majeur (Touchart,)
- d'après Loup (1996) : « Le phénomène de la crue est une haute eau particulièrement accentuée. Les graphiques du débit en fonction du temps, dits hydrogramme de crue, montrent une montée rapide des eaux (la courbe de concentration), un pic de crue, une descente plus lente. On a l'habitude d'utiliser le coefficient A, qui est le quotient du débit brut du pic de crue (en mètre cubes par seconde) par la racine carrée de la superficie d'alimentation (en kilomètre carré) »

### 1.2.2 Hydrogramme de crue

- d'après Reméniéras (1960), l'hydrogramme de crue est : « la courbe  $Q(t)$  des débits en fonction du temps dans une section d'un cours d'eau, résultante des diverses formes d'écoulement existant dans le bassin ».
- Le Dictionnaire français d'hydrologie de surface (M. Roche, 1986) rapporte : « l'hydrogramme de crue est le graphique de variation des débits en fonction du temps. »
- Dans le Glossaire International d'Hydrologie (OMM, 1992) on lit : « Expression ou représentation graphique ou non de la variation des débits dans le temps. Note : le sens est moins général qu'en anglais (hydrograph) Une expression de la variation des hauteurs s'appelle 'limnigramme ».

D'une manière plus synthétique, l'hydrogramme de crue est l'expression des débits en fonction du temps, se rapportant à une station donnée et au cours d'une période déterminée. Il est habituellement représenté sous forme graphique.

Les crues sont dites simples ou monogéniques et sont plus faciles à étudier. Elles ne comportent qu'une seule montée et elles présentent une seule pointe. Les crues sont dites complexes si elles présentent plusieurs pointes, hausses et plusieurs baisses qui témoignent de la pluralité responsable de la crue, comme montrées en figure 1.3

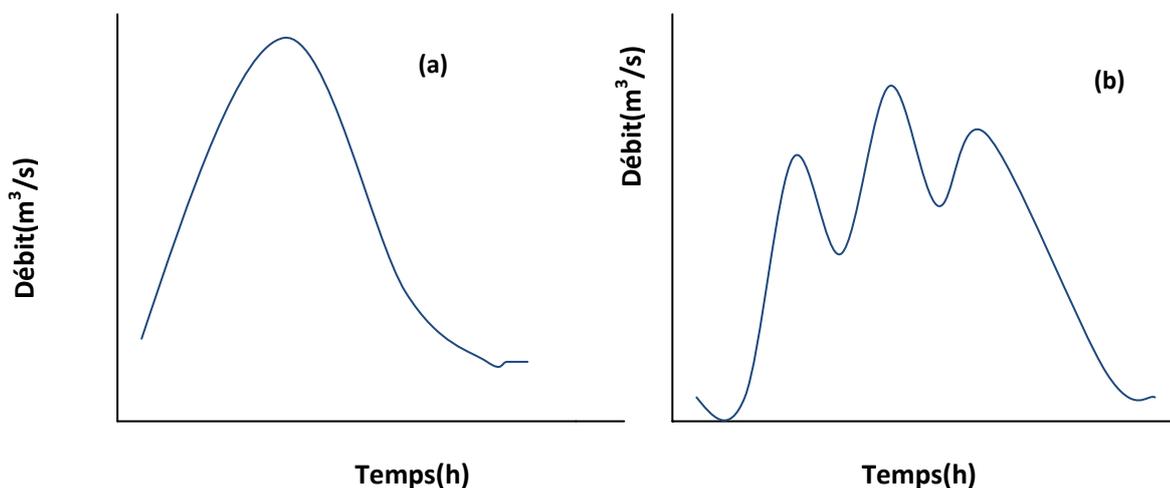


Figure 1.3. Formes de crues : (a) simple et (b) complexe

### **1.3. Origine de la formation des crues**

Plusieurs origines des crues sont possibles issues de différentes situations :

a) Evénements hydro-météorologiques intrinsèques ou combinés :

Précipitations extraordinaires (liquides ou solides) en intensité et/ou en durée.

Fonte extraordinaire de neige ou de glace (due à des températures tout aussi extraordinaire, ou fonte « normale » mais combinée avec d'autres événements (précipitation)

b) Embâcle ou débâcle de glace, de matériaux flottants (bois) :

Les crues d'embâcle ou débâcle de glace sont provoquées par le dégel printanier dans les régions où les cours d'eau gèlent durant l'hiver. Cette situation est caractéristique des régions froides comme la Sibérie ou le Canada.

### **1.4. Les types de crues**

Selon les caractéristiques des crues, leurs étendues, et leurs durées, les crues sont de trois types :

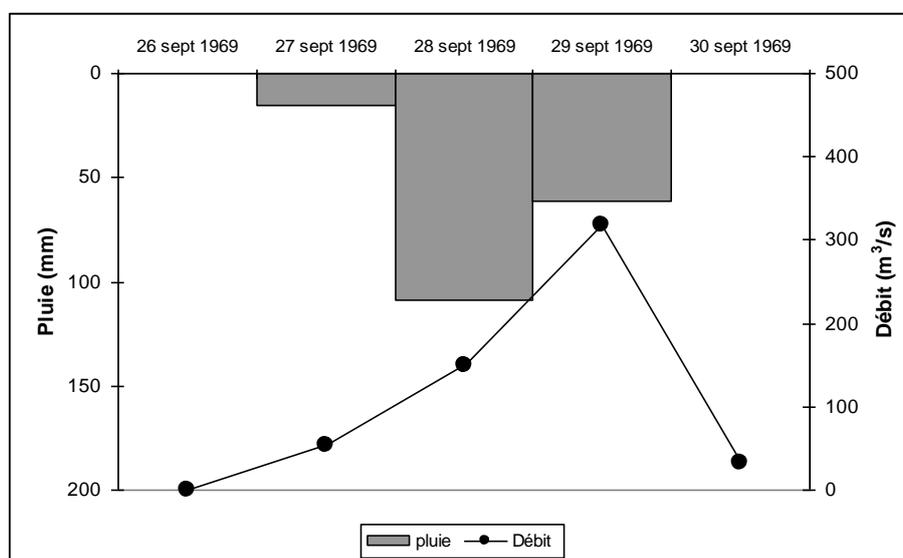
#### **1.4.1. Crues de type torrentiel ou éclair**

Dès que les cours d'eau ont une pente plus forte, en zone montagneuse, ou à l'aval immédiat des reliefs marqués, l'écoulement des rivières en crue est beaucoup plus rapide et peut charrier des volumes importants de matériaux. Ces crues sont souvent la conséquence d'orages violents qui affectent des petits bassins versants de quelques dizaines de Km<sup>2</sup> sont particulièrement dangereuses et les délais de prévision, souvent trop courts, laissent très peu de temps pour réagir.

Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de la soudaineté et de la rapidité avec lesquelles elles se produisent, les ruissellements extrêmement rapides et violents peuvent intervenir moins d'une heure après la pluie et les débits des oueds passent de quelques m<sup>3</sup>/s à plusieurs milliers de m<sup>3</sup>/s en 02 ou 03 heures seulement. L'inondation de la ville de Oued R'hiou (le 20 octobre 1993) est l'exemple parfait de ce type d'inondation ou 20 minutes de pluies ont fait : 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus.

### 1.4.2. Crues de plaine ou fluviales

Elles se caractérisent par des montées relativement lentes des eaux et peuvent être prévues plusieurs heures, voire plusieurs jours à l'avance. En dépit de leur évolution lente, les crues de plaine peuvent être accompagnées localement de phénomènes très dangereux, notamment lors d'une débâcle, c'est à dire lors de la rupture d'un obstacle d'un cours d'eau, après que l'écoulement des flots ait été bloqué par des embâcles (amoncellement de débris) sous les ponts. C'est le cas des inondations de grands bassins versants. Elles résultent le plus souvent des précipitations importantes généralisées sur de grandes étendues et caractérisées par leurs quantités et leurs durées qui peuvent atteindre 10 à 15 jours. Les crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisible sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides. L'inondation de la ville de Biskra en septembre 1969 est l'exemple parfait de ce type d'inondation où le cumul pluviométrique (300 mm) a fait : 26 morts, 44 blessés et 02 disparus. En plus 6538 familles et 34869 personnes ont été déclarés sinistrées. Les dégâts matériels se résument à : 107 maisons, 450 compteurs électriques, 69% de récolte agricole, 4800 palmiers.



**Figure 1.4. Crue du 26 au 30/09/1969 : évolution de l'écoulement journalier en fonction des pluies journalières.**

### **1.4.3. Les ruissellements en secteur urbain**

En secteur urbain, des orages intenses peuvent occasionner un très fort ruissellement en dehors des lits des cours d'eau proprement dit, lorsque l'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses comme c'est le cas de l'inondation récente à Biskra (figure 1.5). Ce fut aussi le cas des inondations de Bâb El Oued du 10 novembre 2001, Des pluies exceptionnelles et intenses, sur une étendue de 40 km<sup>2</sup>, de l'ordre de 214 mm pendant 24h, ont causé 750 morts et 120 personnes disparues et plus de 10000 familles sinistrées (figure 1.6).



**Figure 1.5. Photo montrant l'inondation du centre ville de Biskra le 29 -30 Octobre 2011**



**Figure 1.6. Photo montrant l'ampleur des dégâts et le caractère torrentiel  
de l'inondation du 10/11/2001**

## *Chapitre 2*

# *Fonctionnement d'un bassin versant en période de crues*

## 2.1. Introduction

Le concept de la genèse des débits de crues des cours d'eau proposé par Horton (1933) a long temps séduit les hydrologues, en particulier les modélisateurs, par sa simplicité. Les écoulements rapides - écoulements de crues - seraient essentiellement dus au dépassement des capacités d'infiltration des sols d'un bassin versant, ces capacités d'infiltration évoluant en fonction du degré de saturation des sols au cours d'un événement pluvieux.

Si le modèle de Horton semble pouvoir être appliqué dans le cas de bassins versants arides dont les sols sont souvent couverts d'une croûte de surface relativement imperméable et qui sont soumis à des pluies intenses ( Esteves et al., 2000; Peugeot et al., 1997 ), cette conception de la genèse des écoulements a été rapidement remise en question pour les bassins versants tempérés. En effet, le ruissellement superficiel direct est rarement observé. S'il existe, il est, sauf cas extrême, très localisé et ne peut expliquer à lui seul les volumes d'écoulement générés lors des crues : « les secteurs sur lesquels le ruissellement « hortonien » est susceptible d'apparaître ne représentent pas plus de 10% de la surface totale d'un bassin versant, le plus souvent de 1 à 3%, et sur ces secteurs seule une proportion assez limitée des pluies incidentes ne s'infilte pas et ruisselle » ( traduit de Freeze, 1974 ). Par ailleurs, des crues sont observées lorsque les intensités de pluie sont faibles et nettement inférieures à la conductivité hydraulique à saturation des sols les moins perméables des bassins versants. Enfin, la plupart des expérimentations de traçage géochimique suggèrent qu'une proportion importante (de 20% à 80%) des écoulements lors de crues modestes et moyennes sur de petits bassins versants a transité par le sol ( Iorgulescu, 1997; Hubert, 1989 ). La figure 2.1 donne un exemple de décomposition chimique d'un hydrogramme.

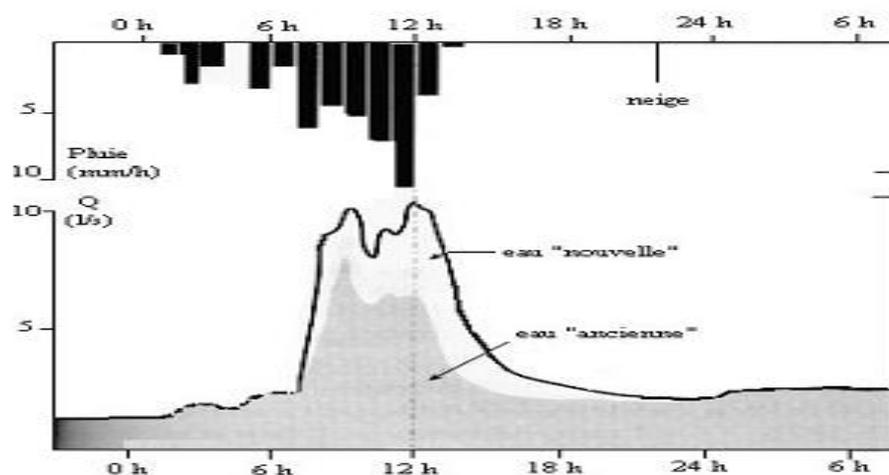


Figure. 2.1. Exemple de décomposition chimique d'un hydrogramme

( d'après Loye-Pilot et Jusserand, 1990 )

## 2.2. Les écoulements superficiels

### 2.2.1. La battance

Lorsque le sol est peu couvert par la végétation, la pluie peut provoquer une déstructuration de la surface du sol, sous forme d' « organisations pelliculaires superficielles ».

La pluie provoque un tassement de la surface du sol, un éclatement des agrégats (effet « splash ») et une redistribution des particules les plus fines à la surface. Ce processus aboutit à la fermeture progressive des pores et à l'imperméabilisation du sol. Le sol passe d'un état meuble et poreux à un état plus compact. La couche superficielle s'individualise par rapport au reste du profil et forme une croûte de battance qui diminue considérablement la perméabilité du sol. Ce n'est plus la conductivité hydraulique du sol qui constitue la limite à l'infiltration mais celle de la couche superficielle qui peut se modifier très rapidement. Ceci conduit à une intensification du ruissellement. Boiffin (1982) a étudié les stades de dégradation d'un sol ; il estime que la capacité d'infiltration d'un sol initialement de 30 à 60 mm/h peut atteindre 2 à 6 mm/h une fois que l'effet splash a formé la croûte de battance (Figure. 2.2) .

Ce processus est spécifique des sols nus ou quasi-nus ( Hillel, 1984 ) (sols agricoles travaillés, sols des régions arides et semi-arides) car l'interception de la couverture végétale diminue l'effet déstructurant de l'impact des gouttes de pluie et les racines contribuent à stabiliser le sol.

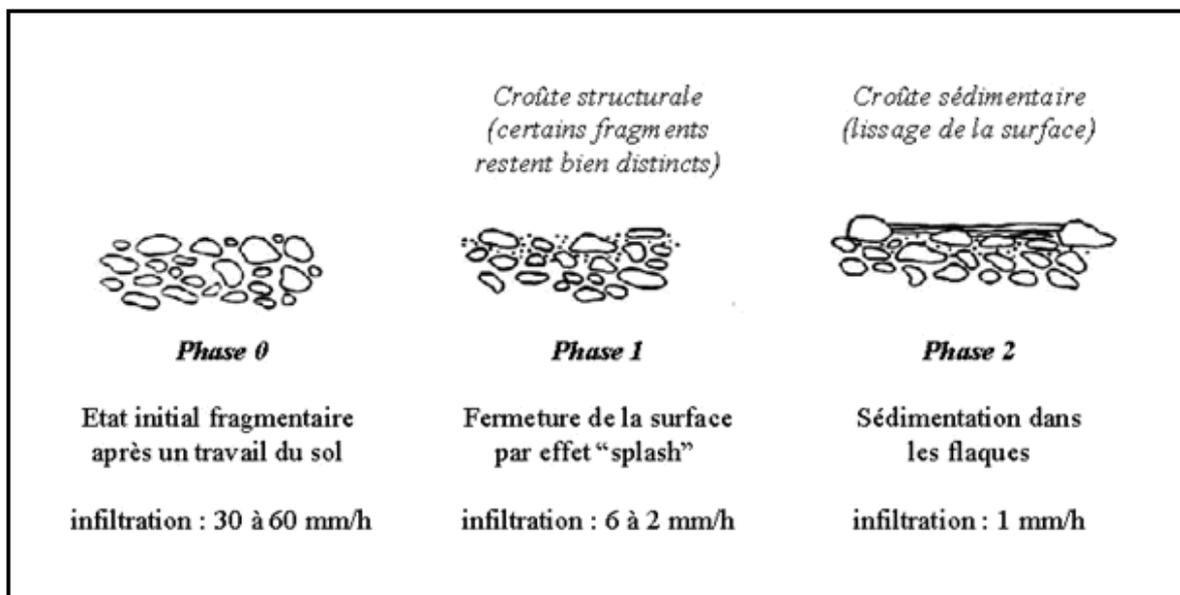
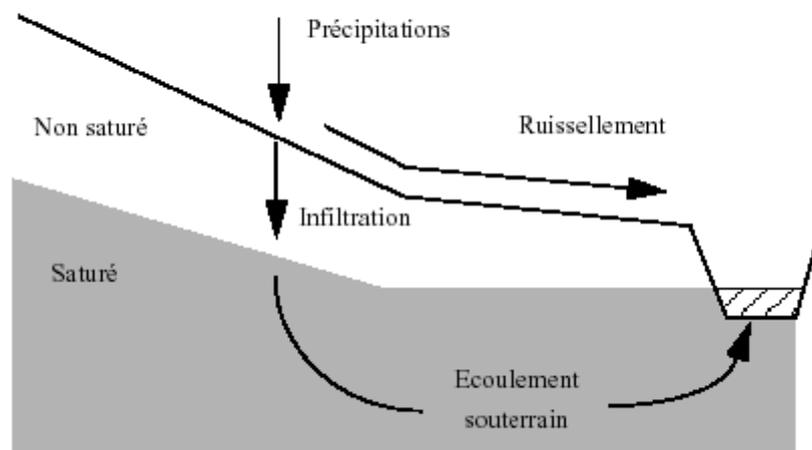


Figure.2.2 : Stades de dégradation de la surface du sol (d'après Boiffin, 1982)

### 2.2.2. Ruissellement hortonien

D'après la théorie de Horton ( Horton, 1933 ) le ruissellement de surface est généré par le refus d'infiltration d'un sol initialement non saturé ou encore par dépassement de la capacité d'infiltration des sols (infiltration excess surface runoff). Tant que la capacité d'infiltration du sol n'est pas dépassée, la totalité de la pluie s'infiltré. Le ruissellement apparaît lorsque la capacité d'infiltration devient inférieure à l'intensité des précipitations. L'eau qui ne peut s'infiltrer forme l'écoulement rapide de crue (figure 2.3).



**Figure.2.3. Ecoulement Hortonien**

Cependant, l'eau infiltrée ne contribue que très lentement à la recharge des nappes et au maintien du débit de base. Les transferts latéraux par la nappe profonde sont donc suffisamment retardés pour ne pas intervenir dans le volume des crues. Ce type d'écoulement a été observé dans des bassins en climat semi-aride avec des sols peu filtrants et dépourvus de couvert végétal ( Albergel et al., 2003 ; Esteves et al., 2000 ). Le ruissellement hortonien et la battance peuvent jouer un rôle majeur dans la genèse des crues éclair compte tenu des intensités de pluie auxquelles les bassins versants sont soumis (figure 2.4).

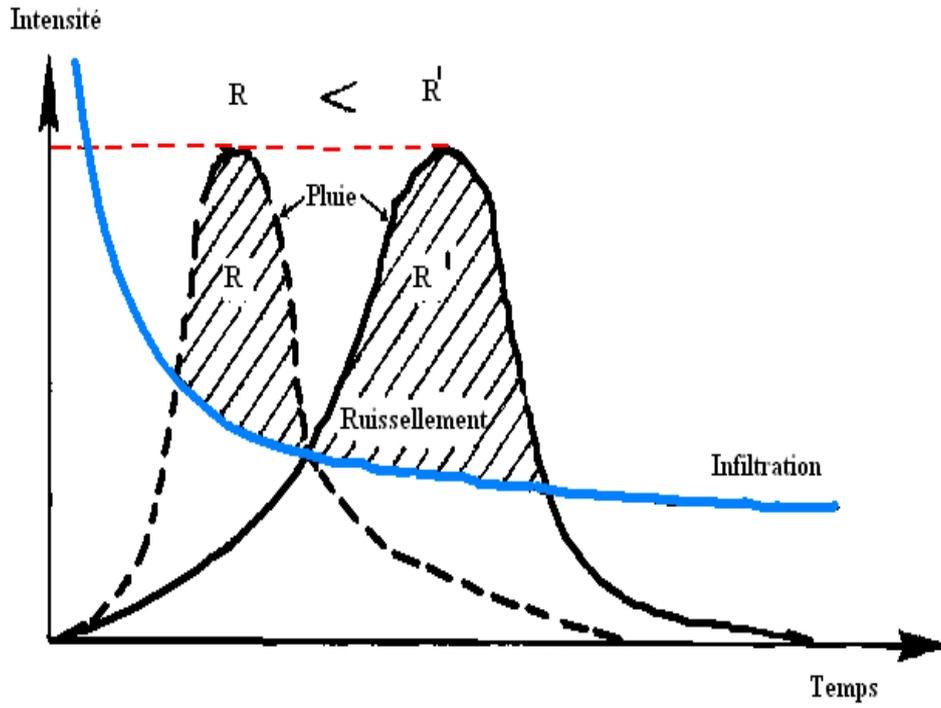


Figure.2.4. Ruissellement hortonien



Figure. 2. 5. Exemple de ruissellement Hortonien dans la région de Biskra lors de l'événement du 29 Octobre 2011

### **2.2.3. Ruissellement par saturation (sur surfaces saturées)**

Le ruissellement peut également se produire lorsque tout le profil de sol est saturé. La saturation du sol peut être due à la remontée progressive de la nappe d'eau souterraine ou à un cumul de pluie suffisant pour saturer un sol localement peu profond ou une nappe suffisamment proche. L'extension et la localisation de ces surfaces saturées (Betson, 1964) varient au cours d'un événement pluvieux ; ce sont des zones contributives variables. Par exemple, ces zones saturées peuvent apparaître sur les versants des secteurs où le sol est peu profond et la roche mère imperméable (Cosandey, 1994). La théorie des surfaces contributives variables date des années 60 (Freeze, 1974) ; elle est aujourd'hui fréquemment employée pour expliquer la genèse des crues dans les bassins versants sous climat tempéré. Cependant, les mécanismes de saturation des zones contributives restent discutés : saturation par les pluies incidentes (Dunne et Black, 1970) ou remontée progressive de la nappe de versant au cours de la crue (Gascuel-Odoux et al., 1999, Obled, 2003). Ce type de ruissellement peut être observé sur les hauts bassins cévenols aux abords des thalwegs drainants (Marchandise, 2007). Selon Cosandey (1994), les crues cévenoles, soudaines et brutales sur le mont Lozère s'expliquent en deux temps. Dans un premier temps, les zones contributives saturées à l'amont du bassin (où les sols sont minces), s'étendent et génèrent des écoulements qui se réinfiltrent ensuite au cours de leur transfert vers l'exutoire. Dans un second temps, si la pluie persiste, l'aval du bassin versant se transforme en zones contributives saturées et l'écoulement est généralisé sur l'ensemble du bassin versant. La figure 2.6 est un exemple qui illustre bien ce concept.

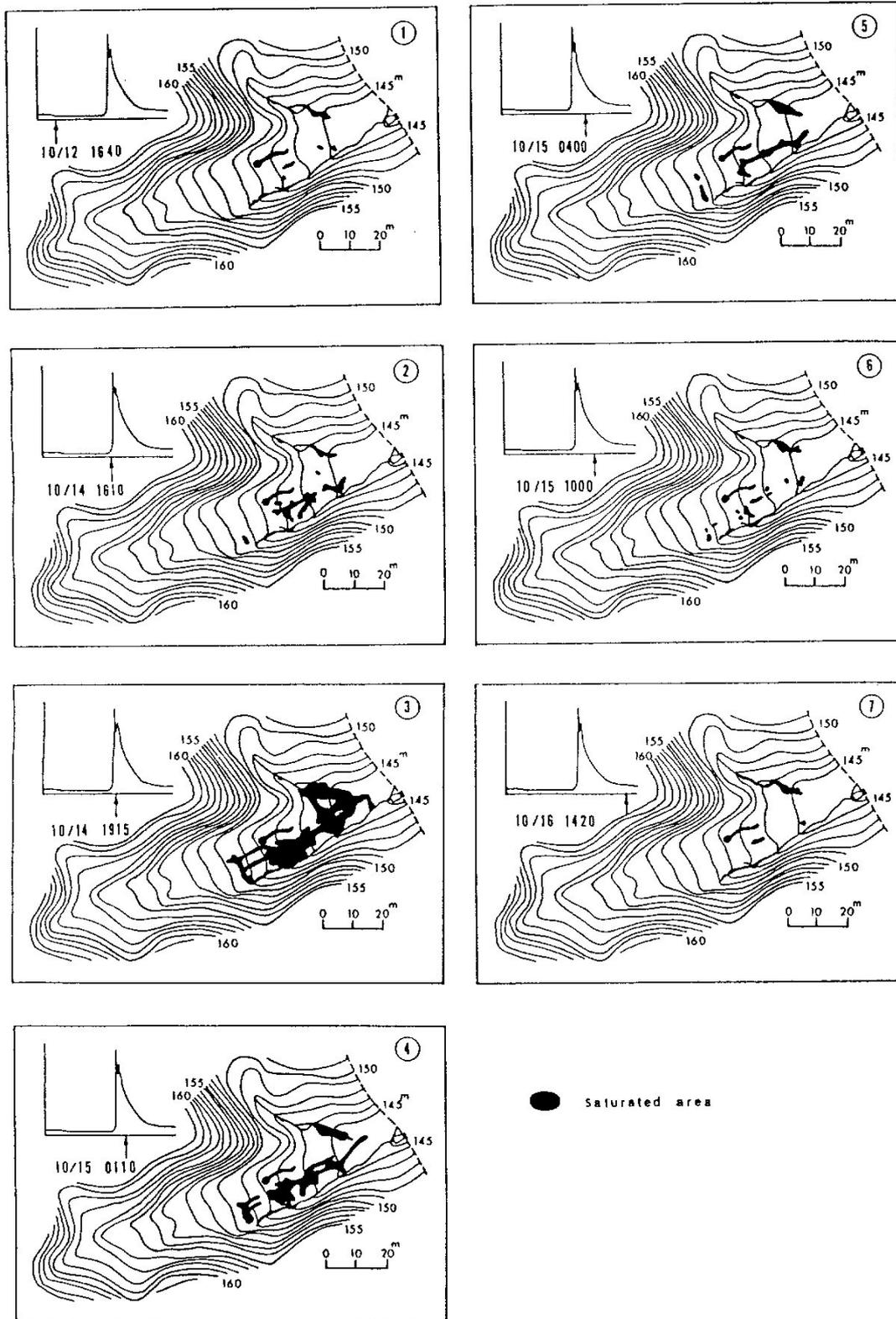


Figure. 2.6. Suivi de l'évolution des surfaces saturées au cours d'un épisode pluvieux dans un petit bassin versant japonais de 2.2 hectares ( d'après Tanaka et al. 1988 )

### 2.3. Les écoulements subsuperficiels ou hypodermiques

Hewlett et Hibbert (1963) ont suggéré que l'horizon superficiel du sol (l'humus et la zone explorée par les racines) était plus perméable et pouvait constituer une zone d'écoulement préférentielle. Une nappe perchée se développe dans l'horizon superficiel et génère un écoulement latéral « hypodermique » ou « subsuperficiel » guidé par la topographie. Cependant, cette théorie est mise en doute pour diverses raisons : les conductivités hydrauliques observées restent en général insuffisantes (inférieure au cm/s) pour expliquer une contribution rapide des écoulements souterrains ; certains auteurs ( Jackson, 1992 ; Philip, 1991 ) pensent que les écoulements sont essentiellement verticaux tant que le milieu est non saturé. Cependant, un ruissellement hypodermique non négligeable a pu être observé lors d'expérimentations sur des sols schisteux en amont du bassin versant d'Anduze ( Ayral, 2004 ). La conjonction d'une couche d'humus bien développée (30 cm par endroits), de sols grossiers et de pentes importantes pourraient être à l'origine de cet écoulement.

#### 2.3.1. Les écoulements par macropores

Les macropores présents dans les horizons superficiels du sol sont généralement créés par des animaux, des fissures naturelles du sol ou résultent de la décomposition des racines. Ils représentent, selon certains auteurs ( Beven et Germann, 1982, Kirkby, 1988 ), des drains naturels ou des chemins préférentiels à travers lesquels l'eau peut transiter rapidement vers la rivière (figure 2.7). Ces hétérogénéités contribuent à un drainage plus rapide que celui qui est estimé avec la loi de Darcy.

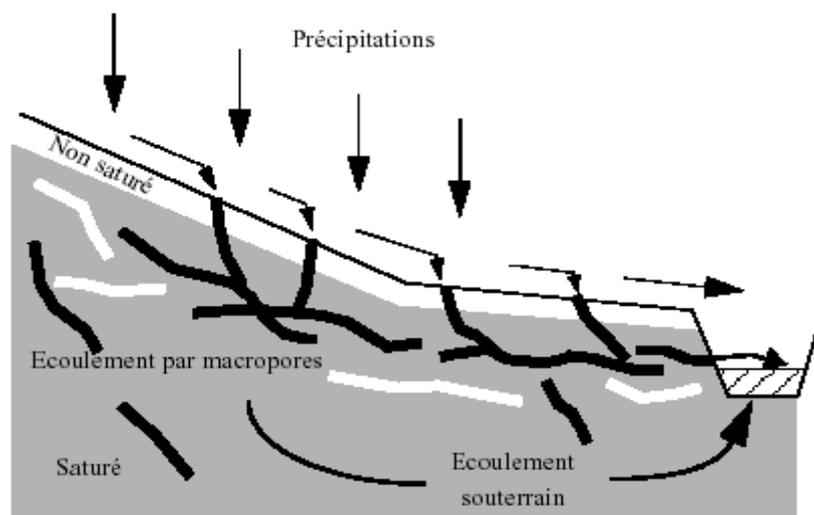


Figure. 2.7. Écoulement par macropores ( d'après Beven et Germann, 1982 )

### 2.3.2. L'intumescence de nappe

L'intumescence de nappe correspond à une augmentation temporaire du gradient de charge de la nappe située à proximité des thalwegs. Son niveau étant proche de la surface, la nappe réagit rapidement aux pluies ; ce qui a pour effet d'accélérer la contribution des écoulements souterrains aux crues ( Sklash et Farvolden, 1979 ). Ce processus peut se déclencher même si le profil de sol n'est pas saturé. Le débit de drainage de la nappe est proportionnel à son gradient de charge selon la loi de Darcy. Ce processus joue un rôle essentiellement lors de l'amorce des écoulements ou lors des crues provoquées pas des pluies de courte durée aux coefficients d'écoulements très faibles. La réactivité de la nappe peut être influencée par la présence d'une frange capillaire, zone quasi-saturée au dessus de la surface libre de la nappe. Dans ce cas, un faible cumul des précipitations suffit à saturer le profil de sol et les écoulements souterrains se mettent en place pour participer à l'écoulement de crue (figure 2.8).

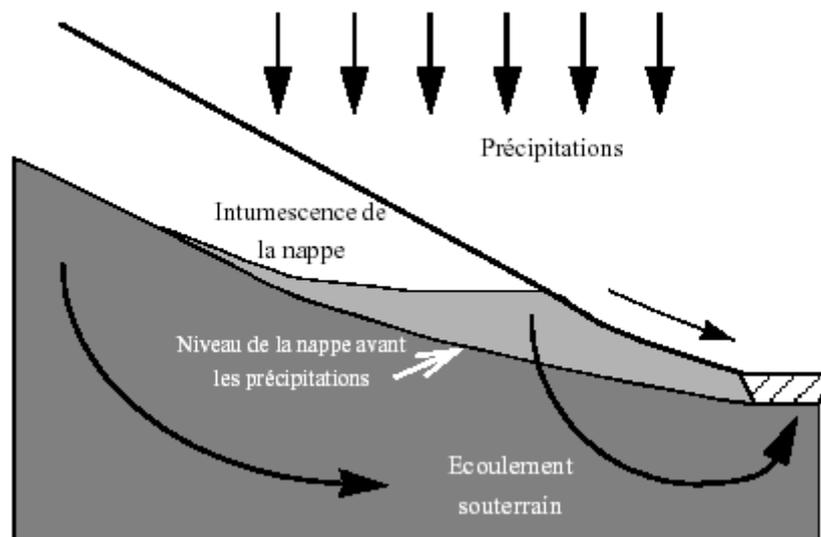
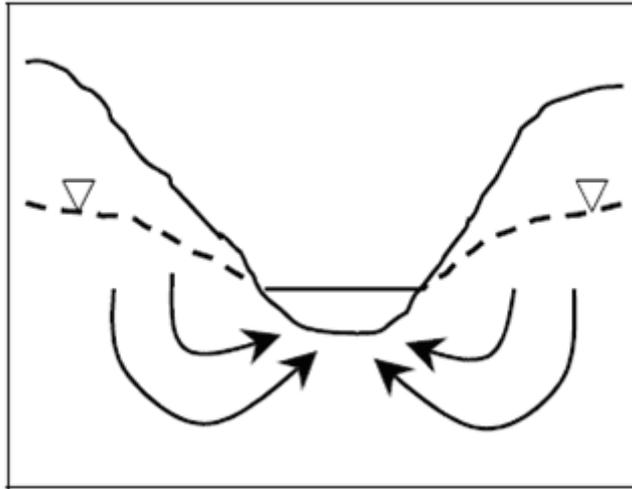


Figure. 2.8. Ecoulement par intumescence de nappe (d'après Beven et Germann, 1982 )

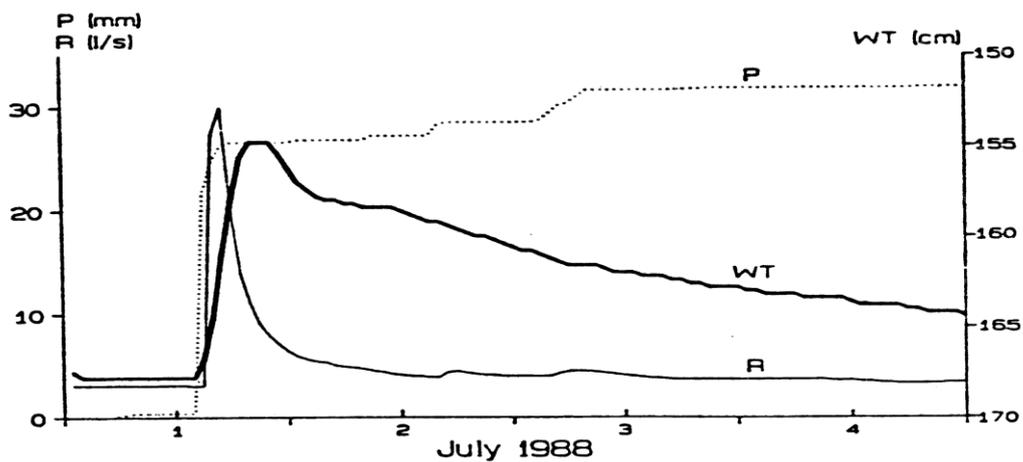
### 2.4. Les écoulements souterrains

L'écoulement souterrain est rarement la cause des ruissellements importants lors des orages. Son rôle principal consiste à soutenir le débit des cours d'eau durant les étiages entre les périodes pluvieuses et la fonte des neiges (figure 2.9). Les écoulements sont trop lents pour contribuer significativement l'onde de crue.



**Figure. 2.9. Schématisation de la relation entre nappe et cours d'eau dans le cas d'une nappe contributive**

La possibilité d'une contribution souterraine importante aux crues a mis beaucoup plus de temps à s'imposer, car l'identification des processus capables de générer une contribution souterraine rapide a été plus difficile ou plus tardive. L'exemple montré à la figure 2.10 est une crue générée essentiellement par l'exfiltration d'eau de la nappe peu profonde du fond de vallon, très rapidement rechargée par des écoulements en macropores. Le suivi piézométrique montre bien que la nappe réagit à l'averse un peu plus vite que le débit.



**Figure. 2.10. Exemple de crue à contribution essentiellement souterraine( d'après Hermann et al. 1990 ) Les termes P, R et WT représentent respectivement les précipitations cumulées, les débits à l'exutoire et le niveau piézométrique de la nappe**

## **2.5. Ecoulements lors des crues éclair**

La réaction hydrologique d'un bassin versant à un même apport d'énergie n'est pas forcément identique. Cette non-linéarité provient de différentes combinaisons et intensités des processus en jeu mais également de conditions initiales différentes ( Ambroise, 1998 ). Le comportement hydrologique d'un bassin versant se modifie également en fonction des saisons ou des changements climatiques. Par ailleurs, en cas de crues majeures, ces processus ne sont pas toujours observables car l'accessibilité aux bassins est dangereuse et délicate. En outre, l'endommagement ou la destruction possible des appareils de mesure lors d'événements extrêmes ne permet pas un travail d'analyse a posteriori.

Il n'existe pas de lois a priori sur le fonctionnement de la genèse des crues éclair. La genèse de ces crues peut résulter du fonctionnement courant de certains bassins ou du fonctionnement extrême d'autres ( Obled, 1999 ).

# *Chapitre 3*

## *Caractérisation des crues*

### 3.1. L'Hydrogramme de crue

Une averse, définie dans le temps et dans l'espace, tombant sur un bassin versant de caractéristiques connues, et dans des conditions initiales données, provoque à l'exutoire du bassin considéré un hydrogramme défini (figure.3.1). La crue est donc caractérisée par son hydrogramme, courbe représentant les variations du débit en fonction du temps, et en particulier par son débit de pointe ( $Q_{max}$ ), sa durée ( $t(h)$ ), son volume, son temps de montée ( $t_m$ ) et temps de décrue ( $t_d$ ).

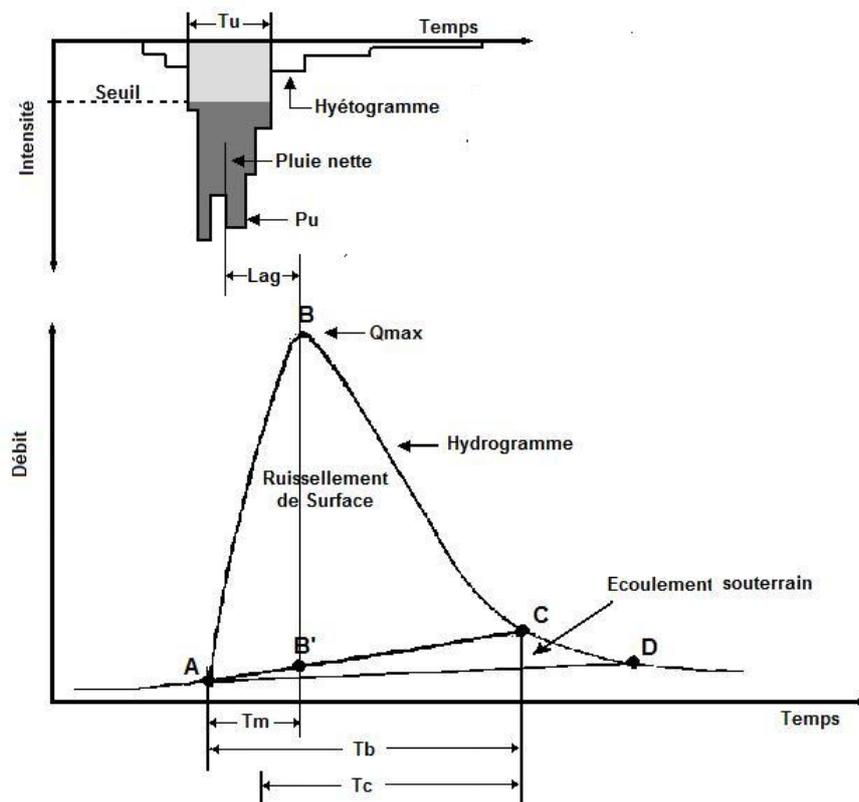


Figure 3.1. Schématisation d'un hydrogramme

L'hydrogramme de crue présente la forme générale d'une courbe en cloche dissymétrique que l'on divise en quatre parties : la montée ; la pointe de la crue ; la décrue ; le retour au niveau de base.

### **3.1.2. La montée de la crue**

C'est la partie montante (d'augmentation du débit), dite courbe de concentration. La durée correspondante est appelée temps de montée.

### **3.1.3. La pointe de la crue**

La pointe de la crue (point B) exprime la puissance de la crue et la durée de la période critique, sur l'hydrogramme, elle est donnée en hauteur d'eau, ce qui permet de calculer la hauteur des digues insubmersibles, elle permet de comparer entre elles la puissance des crues pendant la période d'observation et de calculer le débit maximum instantané.

### **3.1.4. Courbes de décrue et de tarissement**

Après la pointe, le niveau de la rivière baisse, mais le temps de décrue (courbe B – C) est plus long que temps de concentration. L'écoulement reste en effet alimenté par le ruissellement sur les régions les plus lointaines, par les restitutions des lits majeurs et les trop-pleins des nappes phréatiques. La structure des averses explique aussi cette lenteur : c'est au début que l'on trouve l'intensité maximum et donc le ruissellement le plus dense et les débits solides plus fournis.

### **3.1.5. Le niveau de base**

Il est rare qu'une crue unique soit suivie d'une période assez longue de sécheresse pour que la rivière revienne à son volume d'avant le phénomène. Dans la majorité des cas, les courbes de décrues et de tarissement (segment C – D) sont aussi soutenues par précipitations, parfois insuffisantes pour affecter leur allure générale, mais suffisante pour retarder le retour au de base ou par des averses responsables de montée secondaires. Dans la pratique, il est impossible de déterminer le temps mis par la rivière pour reprendre son débit d'origine et c'est arbitrairement que l'on admet, au bout d'une période plus ou moins longue, que la rivière a totalité de l'eau mise à sa disposition par la cause génératrice de la crue.

À partir de la figure 3.1, on définit également plusieurs temps caractéristiques :

- **Temps de réponse du bassin  $t_p$**  (ou "lag") - Intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette de la pointe de crue ou parfois du centre de gravité de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.
- **Temps de concentration  $t_c$**  - Temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. On peut estimer  $t_c$  en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct (i.e. fin de l'écoulement de surface). Il est plus long pour une aire réceptrice allongée et étroite, plus court lorsqu'elle est ramassée et en forte pente. Il augmente avec la longueur des différents tronçons constituant le réseau hydrographique. Les nappes d'eau, les débordements, la perméabilité, la couverture végétale l'accroissent. Or de ce temps de concentration, dépend en grande partie la puissance de la crue.
- **Temps de montée  $t_m$**  - Temps qui s'écoule entre l'arrivée à l'exutoire de l'écoulement rapide (décelable par le limnigraphe) et le maximum de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.
- **Temps de base  $t_b$**  - Durée du ruissellement direct, c'est-à-dire la longueur sur l'abscisse des temps de la base de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.

D'autre part, la surface comprise entre la courbe de l'écoulement retardé et l'hydrogramme de crue/décru représente le volume ruisselé. Ce volume, exprimée en lame d'eau, est égal par définition au volume de la pluie nette. Cependant, la distinction entre écoulement retardé de subsurface et ruissellement direct de surface étant relativement floue, il n'est pas rare de considérer un volume de ruissellement direct équivalent à celui de la pluie nette définie comme la surface comprise entre la courbe de l'hydrogramme de crue/décru et celle de l'écoulement souterrain.

### 3.2. Facteurs d'influence sur l'hydrogramme de crue

La crue est influencée par l'effet combiné de plusieurs paramètres, soit des paramètres hydrologiques tels que ceux liés aux conditions climatiques du milieu ( la pluviosité ) et la morphologie du bassin versant (forme ,dimension, altimétrie, orientation des versant), soit à des paramètres physiques comme les propriétés physiques du bassin (nature des sols ,couverture végétale),la structure du réseau hydrographique (extension ,dimension ,propriétés hydrauliques)et l' état antécédent d'humidité des sols. Nous détaillerons ci après les principales caractéristiques.

Les facteurs liés aux précipitations ainsi qu'aux conditions climatiques sont des facteurs externes au milieu tandis que la morphologie, les propriétés physiques du versant, la structuration du réseau et les conditions antécédentes d'humidité sont des facteurs internes. Nous n'y reviendrons pas ici à l'exception du rôle de la pluviosité qui sera développé dans les prochains paragraphes ainsi que l'importance de l'état antécédent d'humidité.

### 3.2.1. Caractéristiques hydrologiques

#### 3.2.1.1. Facteur de pluviosité

Pour illustrer l'influence de ces facteurs (intensité, durée), on se base ci-dessous sur une schématisation très ancienne (Linsley et Crowford, 1966, reprise par Réménérias, 1976) qui conserve malgré son âge toute son acuité pédagogique.

Soit un bassin versant divisé en quatre zones A-B-C-D concentriques d'égales surfaces, d'égales coefficients de ruissellement et délimitées par des lignes isochrones. Rappelons que les lignes isochrones sont des lignes d'isovaleurs de temps de concentration entre le point considéré et l'exutoire du bassin versant. On attribue à chaque secteur un temps d'écoulement variant de 1 heure pour la zone la plus proche de l'exutoire (A) et 4 heures pour la zone la plus éloignée (figure 3.2 )

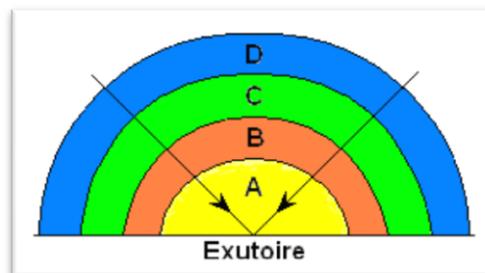


Figure 3.2. Représentation schématique du bassin versant (d'après Réménérias,1976 )

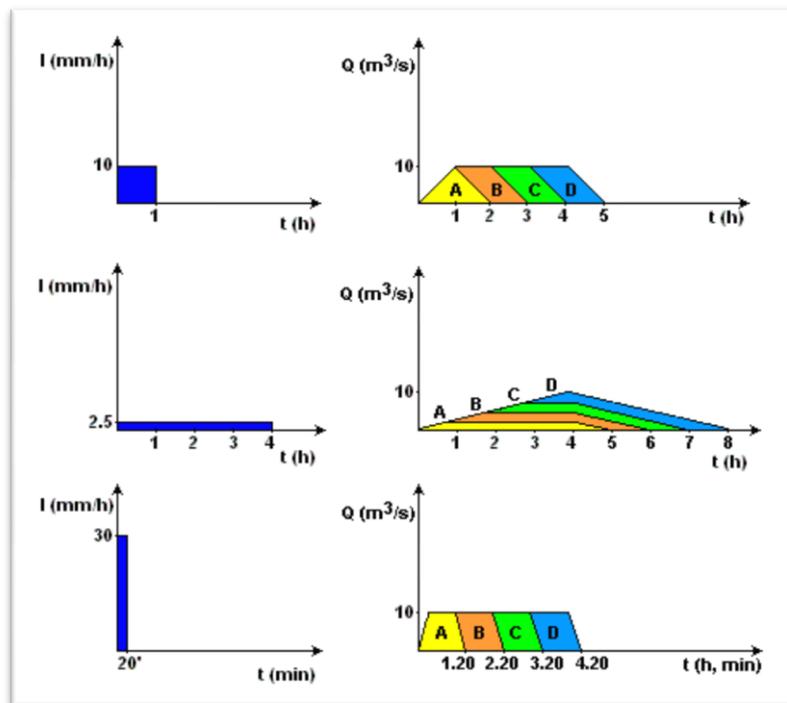
##### 3.2.1.1.1 Influence de la durée de l'averse

Soit une averse de volume égal à 10 mm et répartie uniformément sur ce bassin versant. On a :

1. Pour une heure, une averse uniforme de 10 mm ( $i = 10 \text{ mm/h}$ ) sur l'ensemble du bassin.

2. Pour 4 heures, une averse uniforme de 10 mm ( $i = 2,5 \text{ mm/h}$ ) sur l'ensemble du bassin.
3. Pour 20 minutes, une averse uniforme de 10 mm ( $i = 30 \text{ mm/h}$ ) sur l'ensemble du bassin.

L'influence de la durée de l'averse pour cet exemple est schématisée à la figure ci-dessous.

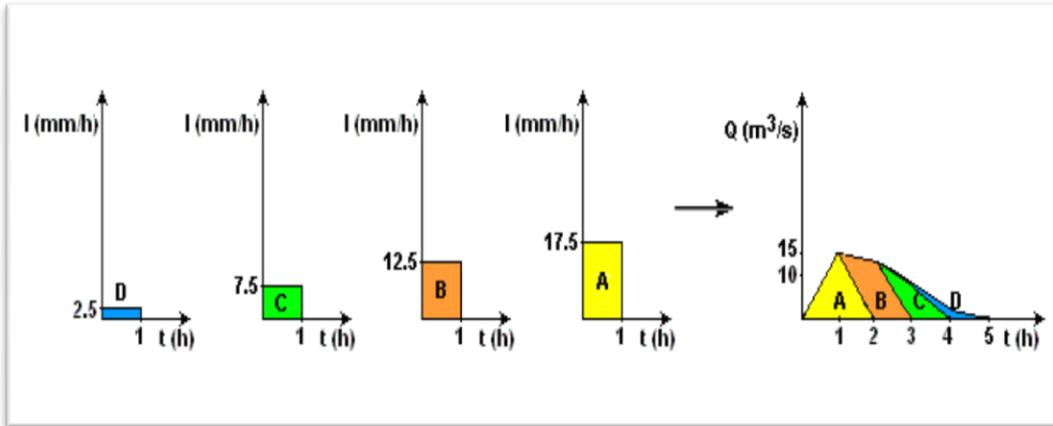


**Figure 3.3. Influence de la durée de l'averse sur la réponse hydrologique d'un bassin versant (d'après Réménérias, 1976 . Les hyétoigrammes figurent sur la partie gauche de la figure tandis que les hydrogrammes résultants figurent à droite.**

### 3.2.1.1.2. Influence de la distribution spatiale de l'averse

La réponse hydrologique d'un bassin versant peut également être influencée par la distribution spatiale de l'averse.

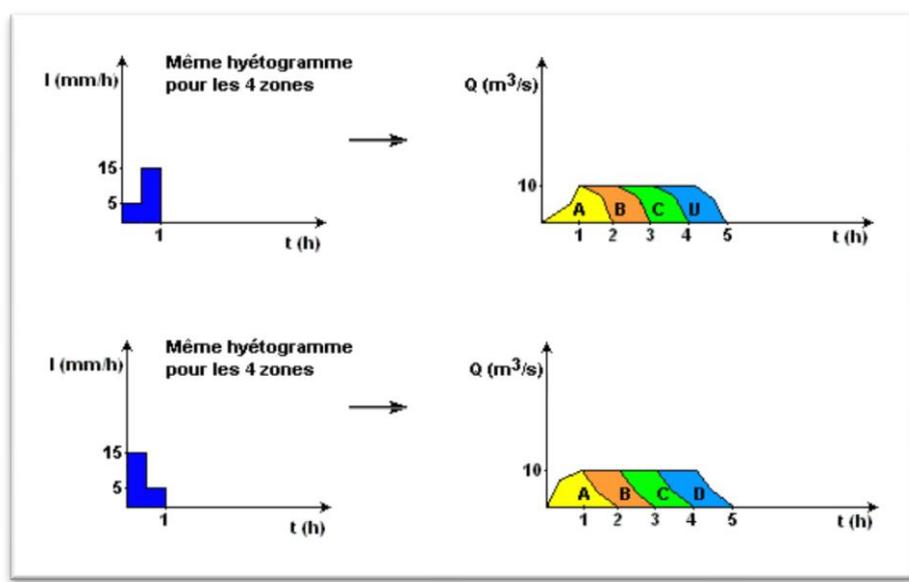
Reprenons l'exemple de l'averse de volume égal à 10 mm tombant pendant une heure. On considère qu'elle est inégalement répartie sur l'ensemble du bassin versant. Pour le bassin hypothétique de la figure 3.4 l'hydrogramme résultant peut être schématisée comme suit :



**Figure 3.4. Influence de la distribution spatiale de l'averse sur la réponse hydrologique d'un bassin versant. Les hyétogrammes figurent sur la partie gauche de la figure tandis que les hydrogrammes résultants figurent à droite. (d'après Réménérias, 1976 ).**

**3.2.1.1.3. Influence de la variation de l'intensité en fonction du temps**

L'influence de la variation de l'intensité en fonction du temps est montrée à la figure 3.5. On considère ici que la pluie de 10 mm tombant pendant une heure est uniformément répartie sur l'ensemble du bassin versant, mais elle est inégalement distribuée dans le temps.

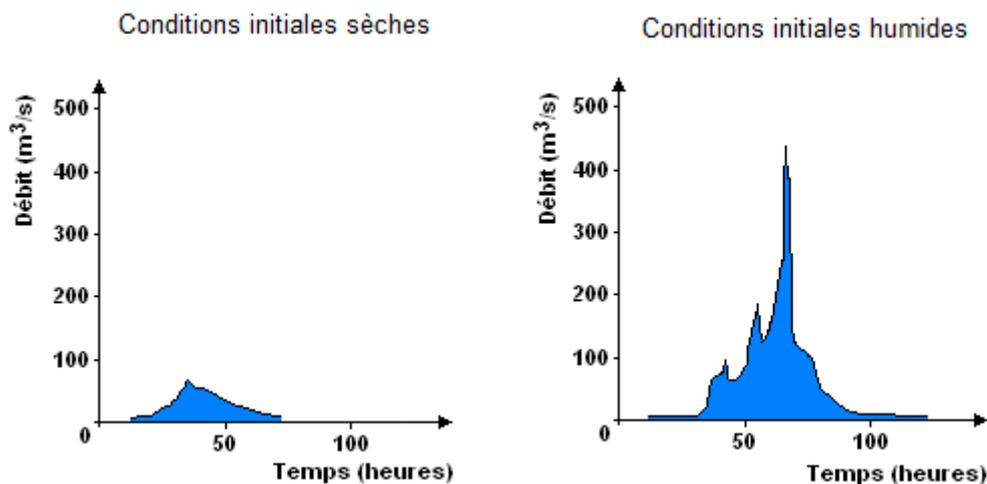


**Figure 3.5. Influence des variations d'intensité de l'averse sur la réponse hydrologique d'un bassin versant). (d'après Réménérias, 1976)**

### 3.2.1.2. Facteur des conditions initiales d'humidité

A un même apport d'eau et d'énergie ne correspond pas forcément la même réponse en débit. Celle – ci dépend aussi largement de l'état hydrique et hydrologique initial du bassin. Il y a donc une non linéarité des réponses du bassin en fonction des conditions initiales.

L'état d'humidité initial d'un bassin versant est fortement lié aux séquences des périodes pluvieuses et sèches qui ont précédé l'évènement pluvieux considéré. La figure 3.6 donne un exemple de débit simulé pour deux conditions initiales particulières à savoir une condition humide et une condition sèche. La condition antécédente sèche se traduit par une première crue bien plus faible que dans la situation d'une condition antécédente humide puisque l'eau de pluie va commencer par remplir le réservoir sol avant de générer de l'écoulement.



**Figure 3.6. Influence des conditions antécédentes d'humidité sur le comportement hydrologique d'un bassin versant (sol initialement humide à gauche et sol initialement sec à droite.(D'après Benkhaled et al, 2004)**

### 3.2.1.3. Direction de l'orage

La direction de l'orage par rapport à l'orientation du réseau de drainage du bassin influence à la fois la grandeur du débit de pointe et la durée du ruissellement . C'est sur des bassins allongés que la direction de l'averse a plus grande influence . Sur de tels bassins , les précipitations qui se déplacent

vers l'amont tendent à produire des maxima peu élevés et accroître le temps de ruissellement comparativement aux précipitations qui se déplacent vers l'aval .

### **3.2.2. Caractéristiques géométriques**

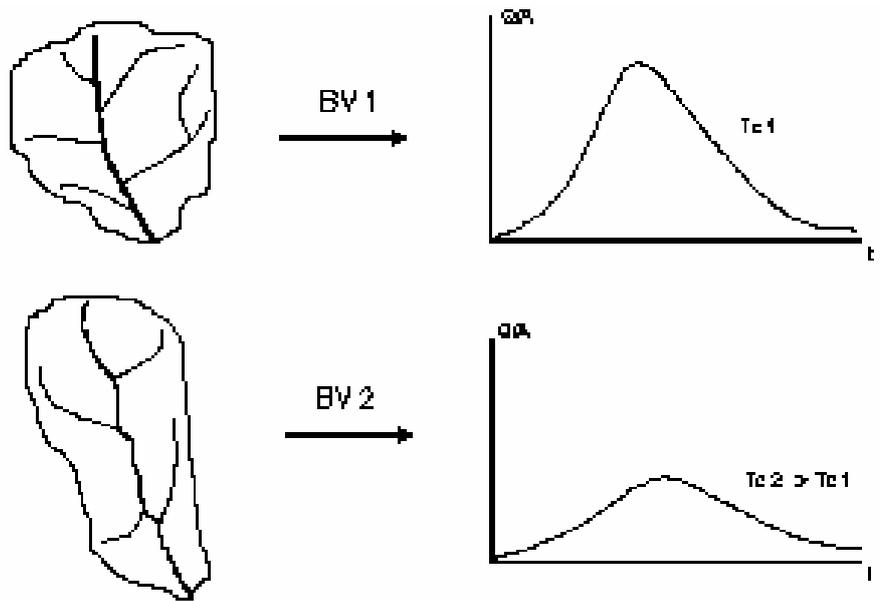
Les diverses caractéristiques morphologiques d'un bassin versant influencent fortement la réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue. Le temps de concentration  $t_c$  est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation.

#### **3.2.2.1. La surface**

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits moyens  $Q$  vont être en partie reliés à sa surface ( $A$ ). Plusieurs relations sont proposées dont celle de Remenieras (1976)  $Q = 1.61 A^{0.70}$  pour  $A$  variant de 100 à 96 600 km<sup>2</sup>

#### **3.2.2.2. La forme**

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration. En revanche, les bassins en forme d'éventail ( $b_{v1}$ ), présentant un temps de concentration plus court ( $t_{c1}$ ), auront les plus forts débits de pointe, comme le montre la figure suivante :

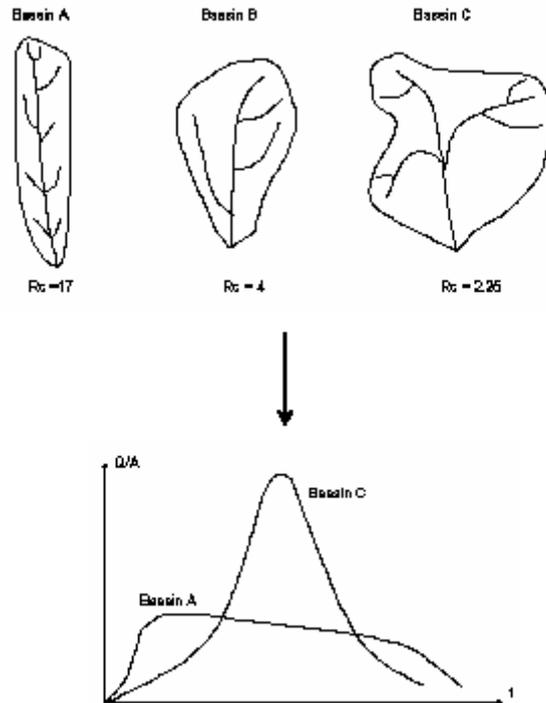


**Figure 3.7. Influence de la forme du bassin versant sur l'hydrogramme de crue**

### 3.2.2.3. La pente du bassin

L'augmentation de la pente du terrain ou celle d'un cours d'eau diminue le temps moyen de cheminement et, par conséquent, le temps de montée et le temps de base, tout en augmentant le débit de pointe pour un même volume ruisselé.

Weingartner et al. (2003) notent aussi une influence des pentes sur les sols. Ils sont généralement peu développés en zone fortement pentue. De plus, comme le rappellent Bérode et al. (1995), les capacités d'infiltration sont souvent faibles dans les zones à forte pente, ce qui contribue aussi à une augmentation des volumes écoulés.



**Figure 3.8. Influence de la pente du bassin versant sur l'hydrogramme de crue**

### 3.2.3. Stockage ou emmagasinement

Puisque la zone d'emmagasinement doit d'abord être remplie, puis vidée, l'effet de retardement et de modification que possède la zone de stockage sur les volumes de précipitation excédentaire contribue à définir la forme de l'hydrogramme. Il y a atténuation de la majeure partie des variations causées par les différences de distribution d'intensité et de répartition d'une pluie sur les sous-bassins et par les différences de temps d'écoulement des volumes de ruissellement, des sous-bassins vers l'exutoire.

Sherman 1932 résume l'effet des variations de la topographie sur l'hydrogramme unitaire de la façon suivante :

Une région à pente raide possède peu de zones de stockage et donne un hydrogramme unitaire dont le maximum est élevé et accentué et dont le temps de base est court. Un terrain plat, possède de grandes surfaces de stockage et produit un hydrogramme dont le maximum est aplati et arrondi et dont le temps de base est plus long.

### **3.2.4. Couvert végétal**

Le couvert végétal influe directement sur la capacité d'infiltration. En le comparant à un sol nu, il diminue le volume de ruissellement mais il augmente l'alimentation des nappes souterraines et l'écoulement de base. En offrant une plus grande rugosité à l'écoulement, le couvert végétal retarde le ruissellement. Donc, il augmente le temps de base et de montée et présente un hydrogramme plus aplati.

Le couvert végétal actif favorise une plus grande évapotranspiration et, par conséquent, il amène au sol une plus grande capacité de stockage pour les précipitations qui suivent. Il diminue la pluie nette donc le volume de ruissellement. Le couvert végétal diminue le phénomène de battance de sol.

Cosandey et al. (2002) recommandent plutôt de faire la distinction entre les bassins versants dont les sols sont dénudés et les bassins versants dont les sols sont végétalisés. Une coupe forestière à blanc peut ainsi être sans conséquence sur l'hydrologie d'un bassin versant durant les crues les plus fortes, puisque les sols ne sont pas modifiés et que l'interception ne joue qu'un rôle modeste lors d'événements de ce type (Martin et al., 2003).

### **3.2.5. La nature du sol**

La nature du sol intervient sur la rapidité de montée des crues et sur leur volume. En effet, le taux d'infiltration, le taux d'humidité, la capacité de rétention, les pertes initiales, le coefficient de ruissellement ( $C_r$ ) sont fonction du type de sol et de son épaisseur.

*Chapitre 4*  
*Bassin d'étude*

#### 4.1. Situation géographique

Le bassin versant de l'oued l'Abiod est situé dans le versant sud de la partie orientale de l'Atlas Saharien, d'après le découpage hydrographique, en vigueur en Algérie ce bassin versant est annexé au bassin hydrologique de chott Melghir, l'oued l'Abiod prend sa source dans le massif des Aurès (monts Chélia). Le bassin d'étude est situé à 60 Km au sud-est du chef lieu de la wilaya de Batna, il englobe six communes et trois daïra s'étendant de la wilaya de Khenchela (nord-est) jusqu'à la wilaya de Biskra (sud-ouest). La partie sud est formée par deux communes, T'Kout et Ghassira. La partie centrale : englobe les communes de Tighanimine et d'Arris. La partie Nord est également constituée de deux communes, Ichemoul et Inoughissene.

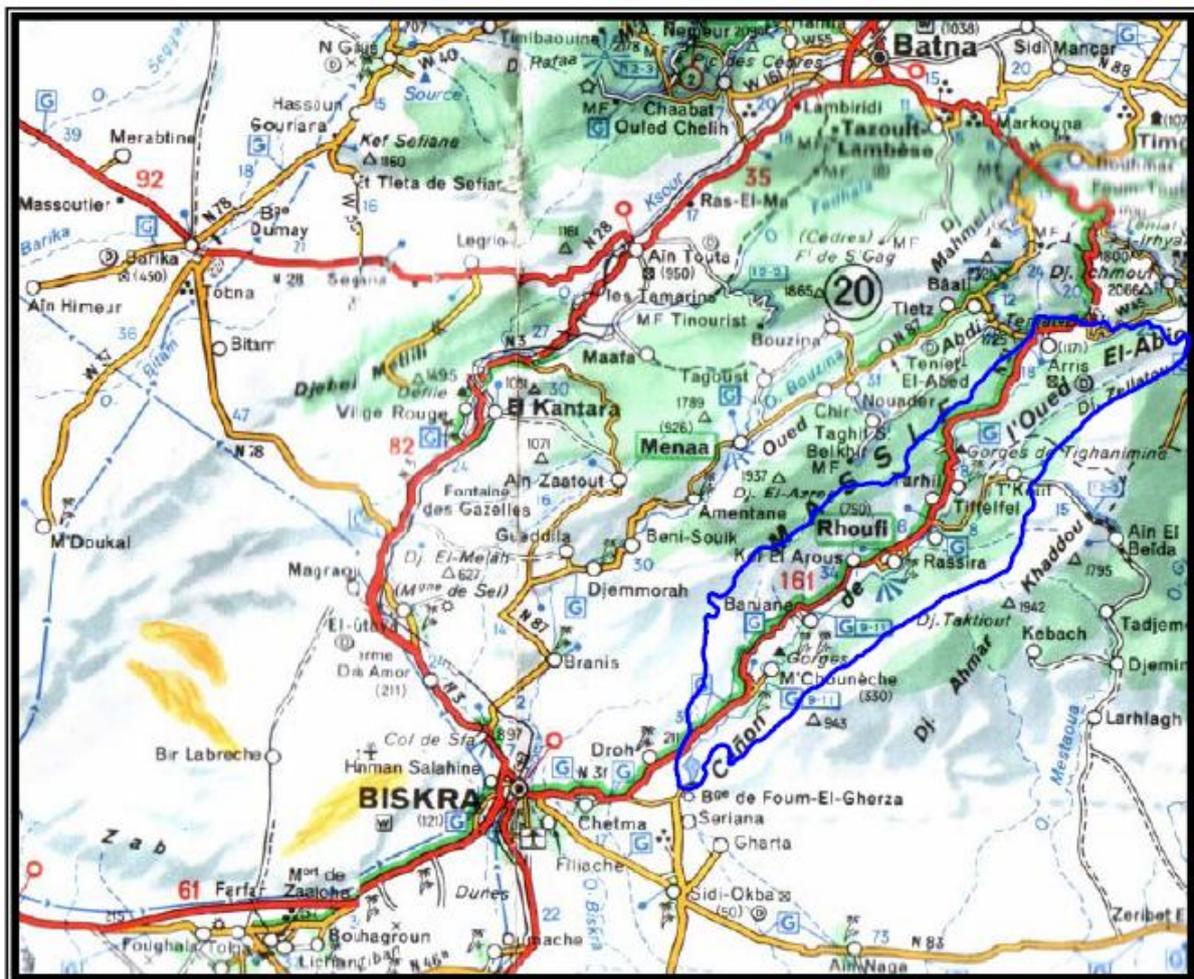


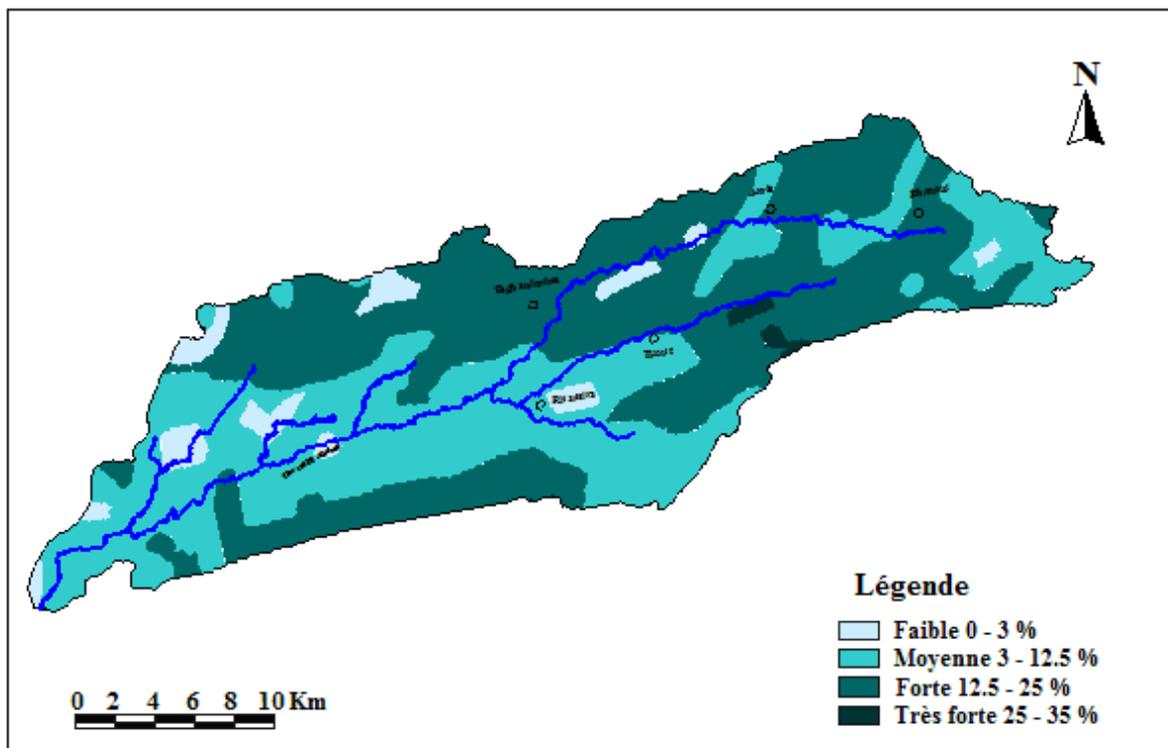
Figure 4.1. Situation géographique

## 4.2. Relief

La région d'étude est située sur la bordure méridionale du domaine atlasique plissé. Morphologiquement le bassin se présente comme une vallée allongée entre les grands reliefs de DJ Azreg (1937 m) et DJ Zellatou (1994 m) au nord et Dj Ahmar Khaddou au sud. Le sous bassin prend naissance à Dj Chelia (2326 m) et s'achève à la région de Droh, selon un axe orienté NE-SW (figure 4.2). La majeure partie du B.V est constituée de pentes de la classe 12.5% - 25%, présentant 51.91% de la superficie du Bassin versant, ce qui favorise plutôt le ruissellement des eaux de pluies (tableau 4.1).

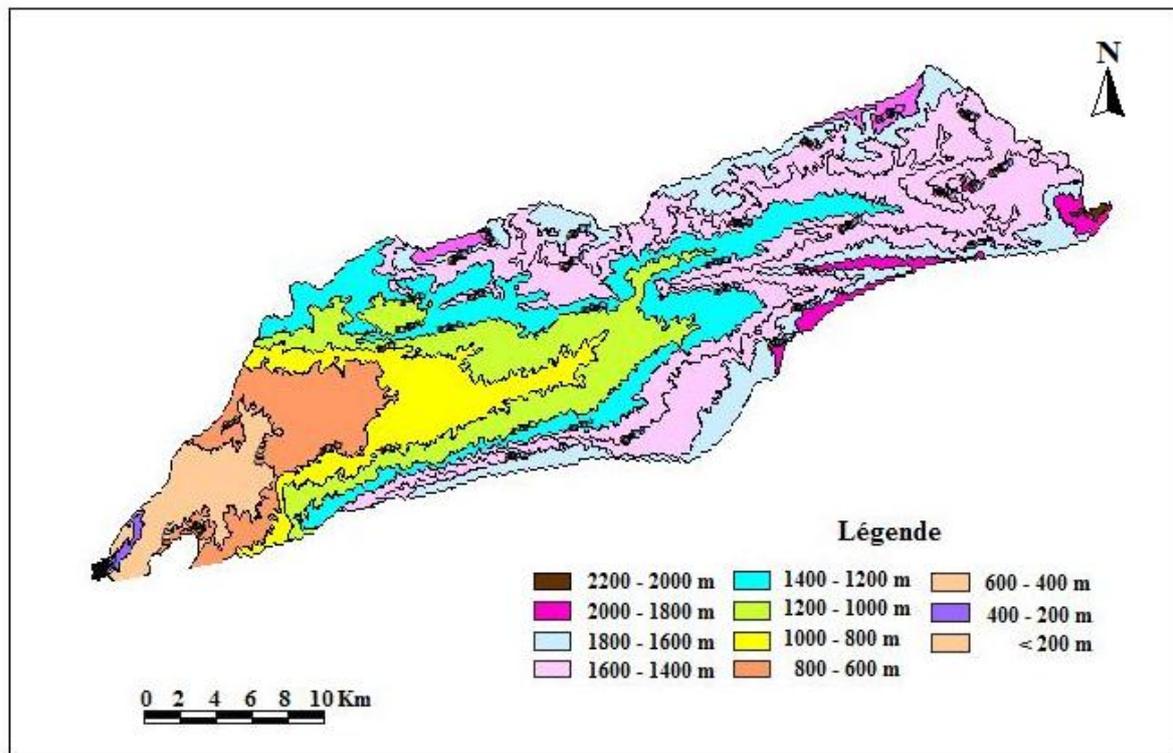
**Tableau 4.1 : Pentés du bassin de oued Abiod**

Classes des pentes	Superficie Km2	Pourcentage %
0 – 3%	43.9	3.37
3% - 12.5%	522.4	40.18
12.5% - 25%	674.9	51.91
25% - 35%	58.8	4.52



**Figure 4.2. Carte des pentes du bassin**

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitation, température,...) et la morphologie du bassin influe sur la vitesse d'écoulement. Une des principales caractéristiques du relief est la courbe hypsométrique (figure 4.3).



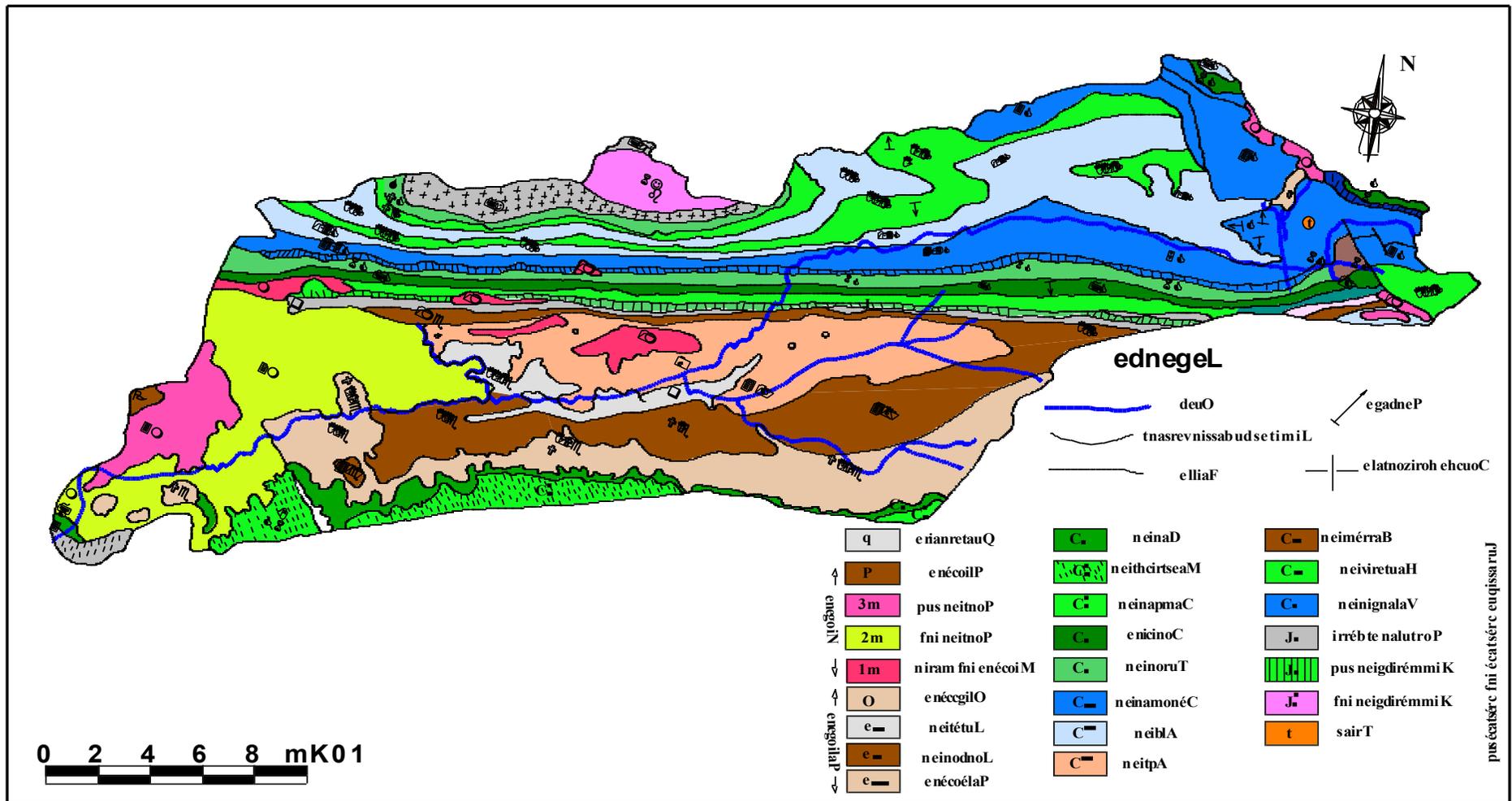
**Figure 4.3. Carte hypsométrique du bassin**

### 4.3. Géologie

Le fait remarquable dans ce contexte, c'est l'inexistence d'une formation géologique prédominante sur le bassin versant. Géologiquement le bassin versant est subdivisé en deux parties (figure 4.4).

- La première partie comprise entre djebel Chélia jusqu'au gorges de Tighanimine est occupée par les formations de la série suivante: Cénomaniens, Albien, Aptien, Barrémien, Sénonien, Turonien, qui contiennent généralement des calcaires massifs, des calcaires massifs à silex, marnes grises bleues ou marnes blanchâtres.

- La deuxième partie s'étend des gorges de Tighanimine jusqu'au les gorges de Foug El Gherza, et qui contiennent les formations suivantes : Damien, Le Nummulitique, Eocène inférieur et moyen, Eocène supérieur et Oligocène, Miocène inférieur, Miocène supérieur.



9391 etiffal edserua'deuqigoloég etrac al :ecruos

Figure 4.4. Carte de la géologie du bassin

La répartition géologique du bassin versant montre des zones à perméabilité moyenne à faible au nord et une perméabilité forte au sud.

#### 4.4. Végétation

La couverture végétale, en particulier les forêts, vient ajouter son influence à celle de la nature géologique des terrains pour conditionner la rapidité du ruissellement superficiel, le taux de l'évaporation et la capacité de rétention du bassin, la végétation naturelle est constituée de forêt (cèdres, chênes vert, pin d'alpe et maquis) les vergers et jardins à auquel s'ajoutent des cultures céréalières, intensives modernes et traditionnelles ainsi les cultures céréalières de montagnes intermittentes qui couvrent une grande partie du bassin, le reste présente des affleurements rocheuses, sol très érode, maigres végétation ou sol nu (figure 4.5) .

En général, la répartition végétale du bassin versant de l'Oued Abiodh se présente comme suit : une partie couverte représentant 42% de la superficie total du bassin versant soit 54767 ha compris entre Djebel Chélia et les gorges de Tighanimine, d'une part et sur les montagnes de Ahmar-Kheddou et Djebel Takhmout d'autre part. Une deuxième zone qu'on peut qualifier de semi-aride ou aride représentant 58% de la superficie totale du bassin versant soit 74949 ha.

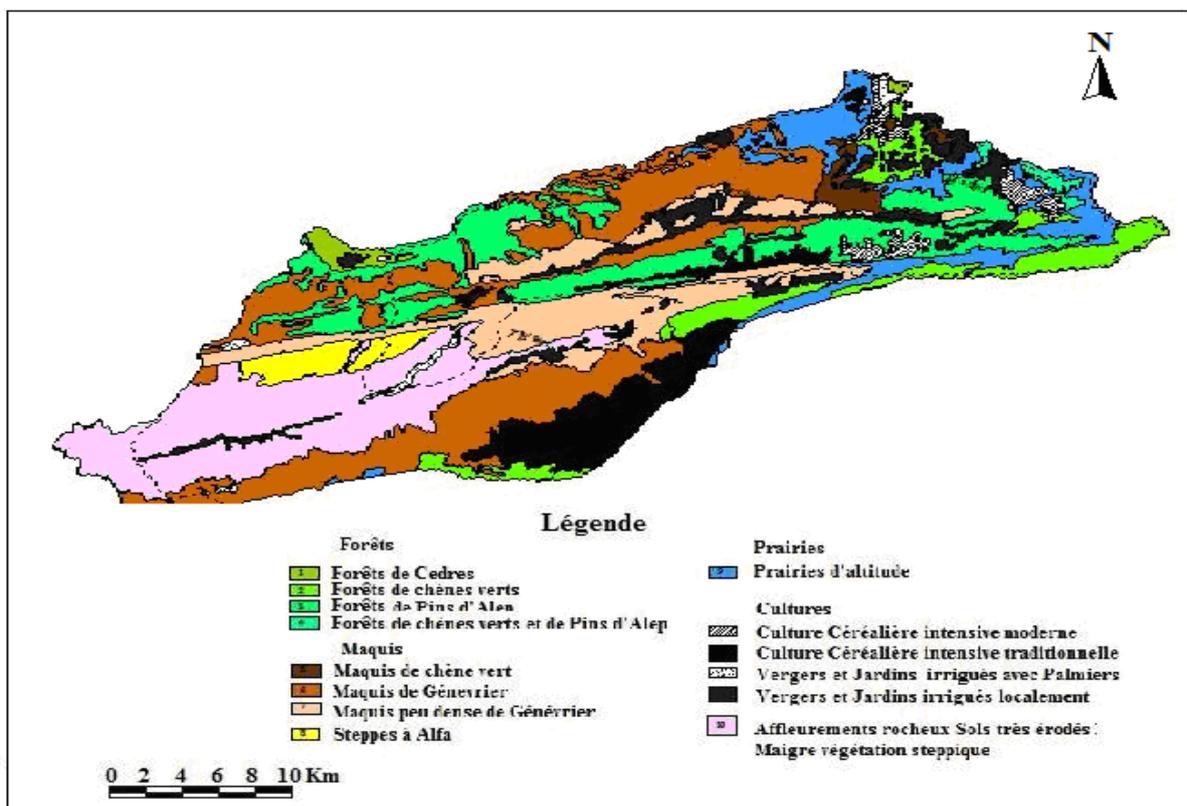


Figure 4.5. Carte d'utilisation du sol et des formations végétales

## 4.5 Climat

Le bassin de oued Abiod appartient à un domaine climatique semi aride. En effet, l'influence du climat méditerranéen sur la région se limite à une étroite frange littorale, du fait de blocage, par une bande de chaînes montagneuses qui empêche la pénétration de ce climat vers l'intérieur, l'air tropical où règnent les hautes pressions, joue aussi un rôle de barrière à l'extension des coulis polaires vers le sud. La région se trouve donc dans une zone de transition entre deux milieux différents, un climat plus ou moins tempéré au nord et le climat tropical (désertique) au sud. Les caractéristiques de ce climat de transition sont : un hiver frais et un été très chaud et sec. Les masses d'air doux et humides venant du nord se déversent sur la côte et les chaînes telliennes. Elles arrivent moins chargées en eau sur l'atlas saharien. Ainsi s'explique la diminution de la pluie vers le sud et l'allongement de la saison sèche. Ce climat ne convient guère qu'à une végétation très adaptée d'autant que la saison sèche se prolonge. De plus les coups de sirocco sont fréquentés pendant la saison chaude, accentuant ainsi l'évapotranspiration qui engendre un déficit d'écoulement annuel considérable.

### 4.5.1 Le réseau pluviométrique

Le bassin versant de oued Abiod est équipé de six stations pluviométriques : Médina, Arris, T'Kout, Tifelfel, M'Chouneche et une autre station qui se trouve en aval, au niveau du barrage de Foum El Gherza (figure 4.6).

Les caractéristiques de ces stations sont résumées au tableau ci-dessous :

Tableau 4.2 : Coordonnées des stations pluviométriques du bassin de oued Abiod

Station pluviométrique	Code de la station	Coordonnées			Pluie moyenne inter annuelle	Période d'observation
		Long	Lat	Z		
Arris	06 15 04	6° 21' 11'' E	35° 15' 59'' N	1100	274,90	1971 – 1997
Foum el Gherza	06 16 01	5° 55' 33'' E	34° 51' 12'' N	100	95,47	1972 – 1997
T'Kout	06 15 05	6° 18' 22'' E	35° 08' 42'' N	998	238	1969 – 2004
Tefelfel	06 15 11	6° 13' 57'' E	35° 06' 53'' N	740	148	1973 – 2004
Médina	06 15 03	6° 31' 02'' E	35° 19' 46'' N	1570	416,82	1969 - 2004
Mchouneche	06 15 06	6° 0' 25'' E	34° 56' 49'' N	295	162	1971-2004

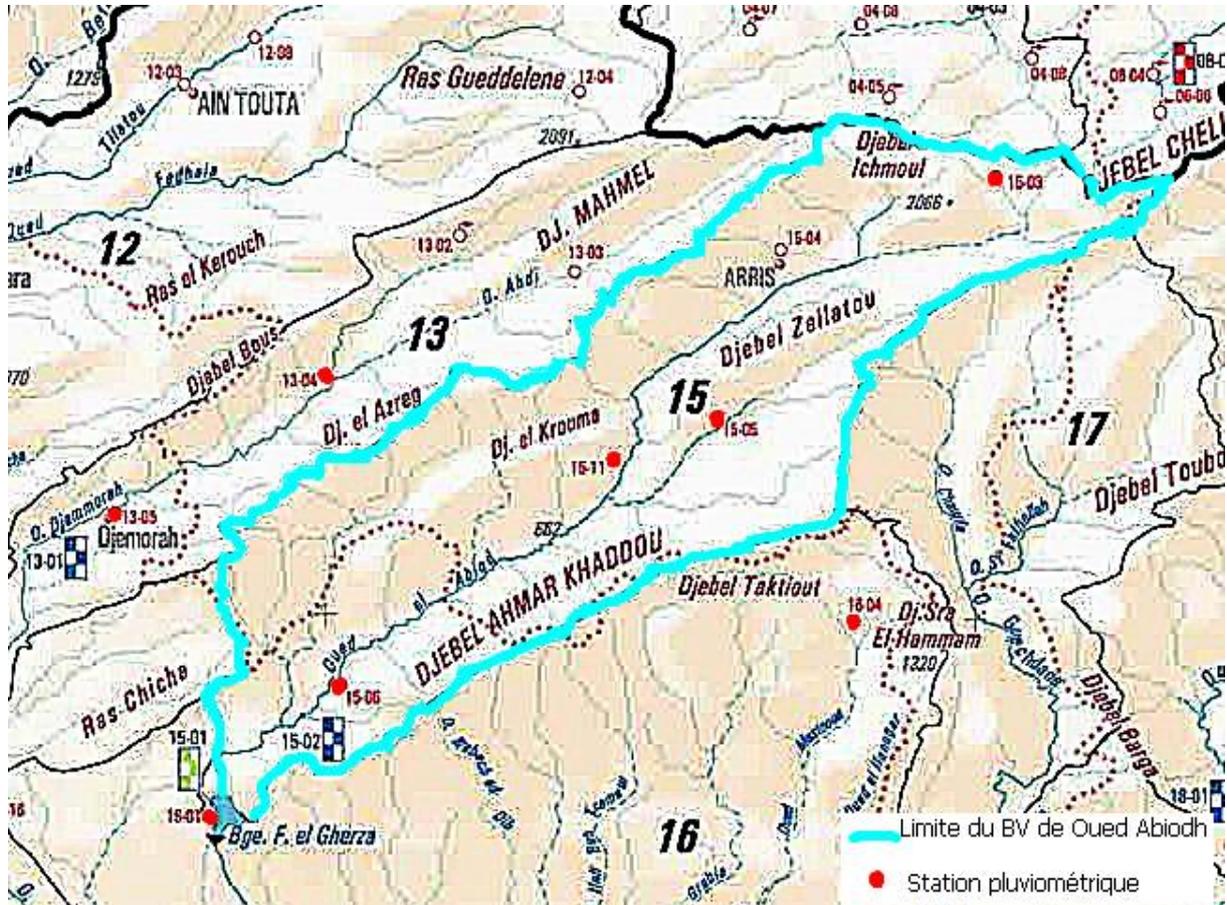
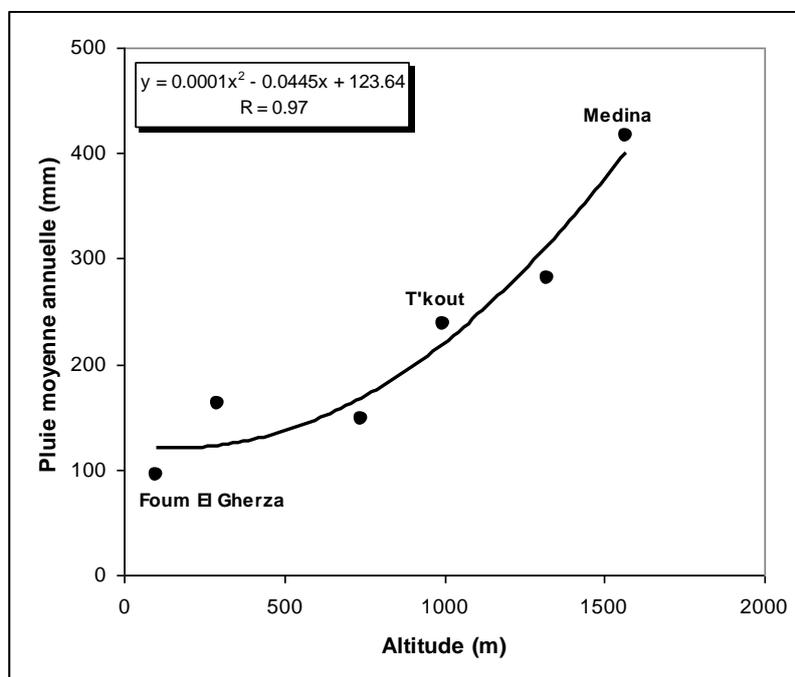


Figure 4.6. Carte du réseau pluviométrique du bassin

#### 4.5.2 Pluviométrie du bassin

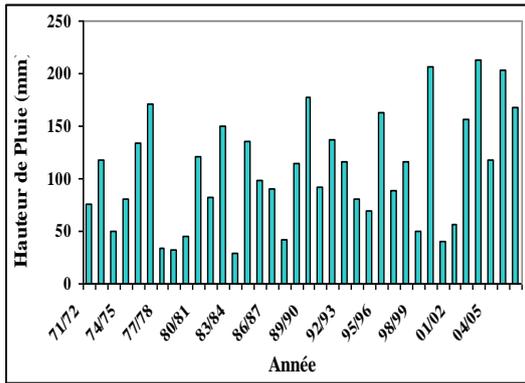
La zone d'étude est soumise à deux types de climat. Au nord (Arris et Ichmoul), règne un climat de type méditerranéen, avec des précipitations de l'ordre de 450 mm. Les périodes d'enneigement durent en moyenne 25 jours par an. Sur la partie médiane (T'Kout et Rhassira), règne un climat subsaharien (200 à 300 mm de précipitations). La partie sud (M'Chounech et Droh), est soumise à un climat aride, avec des précipitations ne dépassant pas les 200 mm. Le diagramme de la figure 4.7 illustre la relation entre les précipitations des postes considérés et leurs altitudes et montre une décroissance des

précipitations du nord-est vers le sud-ouest. Les zones les plus arrosées sont celles situées en altitudes, dans la partie nord-est du sous bassin.

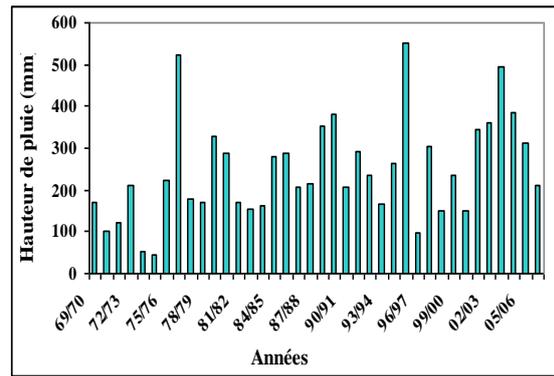


**Figure 4.7. Loi de pluviosité au bassin de oued Abiod**

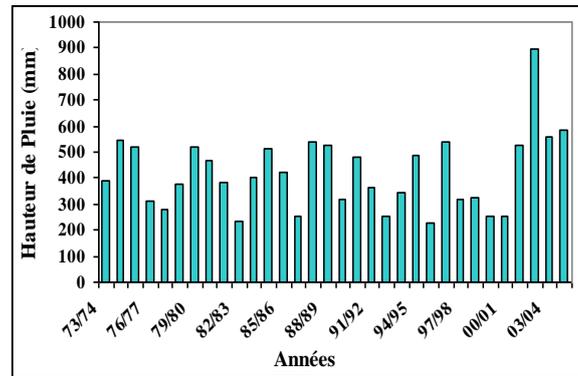
La répartition de la pluviométrie aux échelles annuelle et mensuelle est donnée aux figures 4.8 a à c et 9



a)



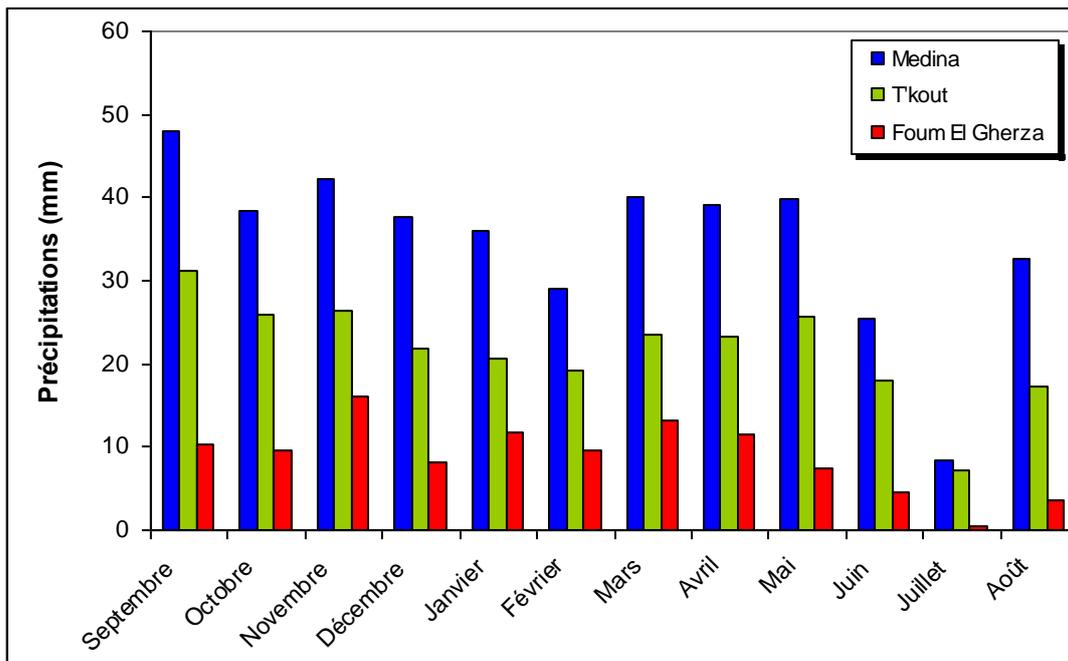
b)



c)

**Figure 4.8. Variation interannuelle de la pluie à trois stations**

**a) Foug El Gherza    b) T'kout    c) Medina**



**Figure 4.9. Variation mensuelle de la pluie aux stations de Medina, T'kout et Foug El Gherza**

De la figures 4.08 on remarque que la variation interannuelle de la pluie est différent entre les stations ce que montre bien les différents étages bioclimatiques (sub humide à l'amont de Chélia) et semi aride pour station Foug el Gherza, ainsi que les pluie indépendant avec le facteur orographique.

La figure 4.09 montre bien que les mois les plus pluvieux sont les mois de septembre, novembre, mars, avril pour les trois stations.

#### 4.5.3. Evapotranspiration

L'évapotranspiration à son tour regroupe tous les phénomènes physiques et biologiques, qui restituent l'humidité du sol à l'atmosphère. C'est un phénomène physico-biologique complexe, composé d'une évaporation physique (à partir des plans d'eau et du sol) et une évaporation biologique (transpiration), qui dépend du type de cultures et leurs étendues. L'évapotranspiration atteint dans la région de Biskra des valeurs considérables. Elle est de 1836 mm à Biskra. La variabilité interannuelle est très faible. La figure 4.10 est un extrait de la carte d'évapotranspiration du Nord de l'Algérie établie par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques en 2003.

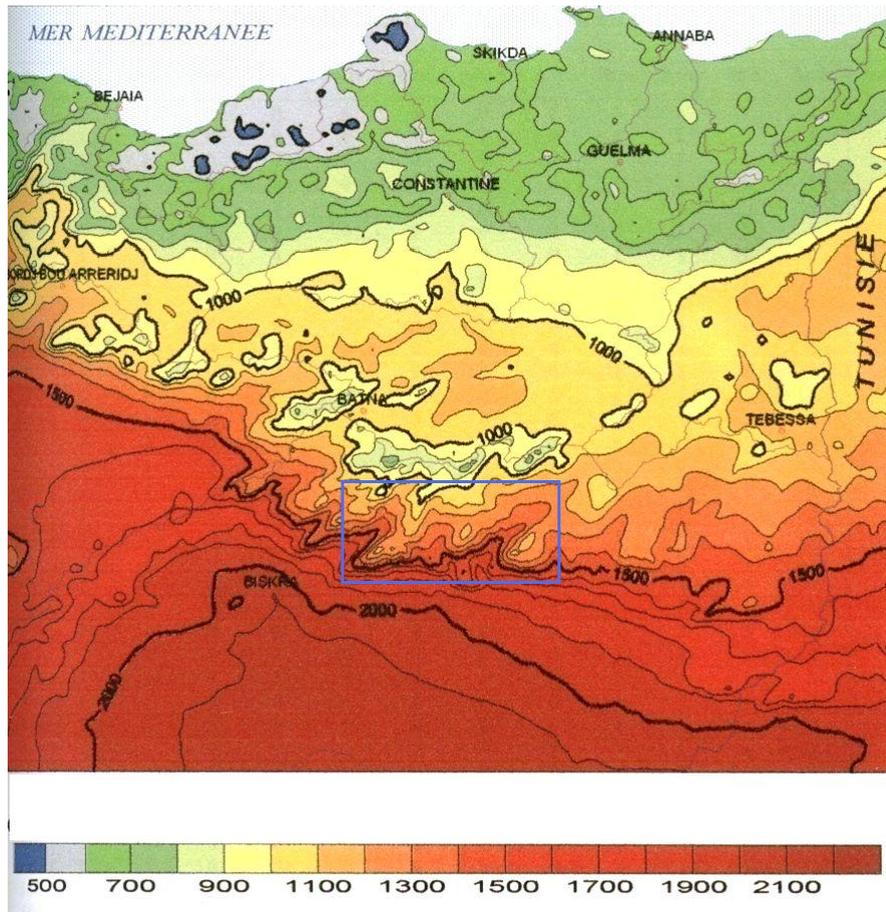
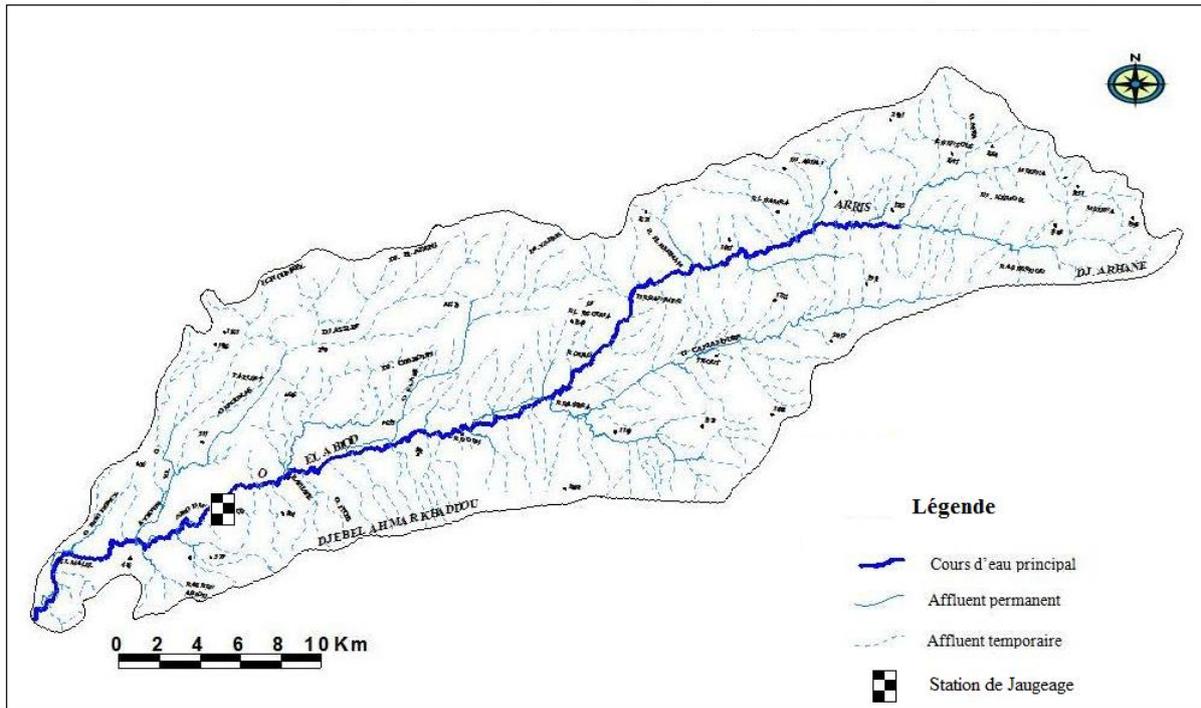


Figure 4.10. Carte d'évapotranspiration de la zone d'étude (encadré en bleu)

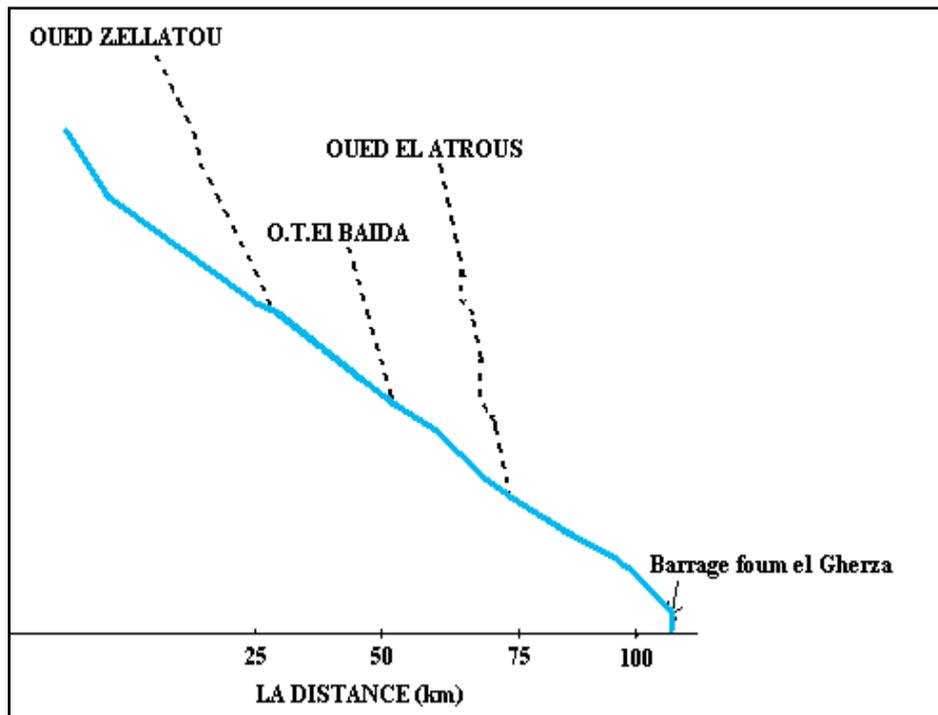
#### 4.6 Hydrologie

L'Oued el-Abiod est le plus important cours d'eau du massif des Aurès. Il est formé par la réunion de plusieurs torrents descendant des pentes des massifs de djebel Chelia (2328 m) et de Ichemoul (2071 m). Son bassin versant est nettement circonscrit. Il couvre une superficie de près de 1300 km<sup>2</sup>. Son cours d'eau est dompté car celui-ci termine sa source dans un barrage appelé « Foum El Gherza » et à partir de là sont irriguées les plus belles Oasis des Ziban : Sériana et Sidi Okba notamment (figure 4.11)



**Figure 4.11. Bassin versant et réseau hydrographique de oued Abiod**

Son profil montre, en général, la faible déclivité qui caractérise ce cours d'eau (figure 4.12) . Dans le détail nous pouvons distinguer deux unités : la première depuis sa naissance jusqu'à la ville d'Arris. Ensuite, il suit son cours presque régulièrement à travers les différents milieux morphologiques de la partie méridionale de l'Aurès (les gorges de Tighanimine, Rhoufi,...).

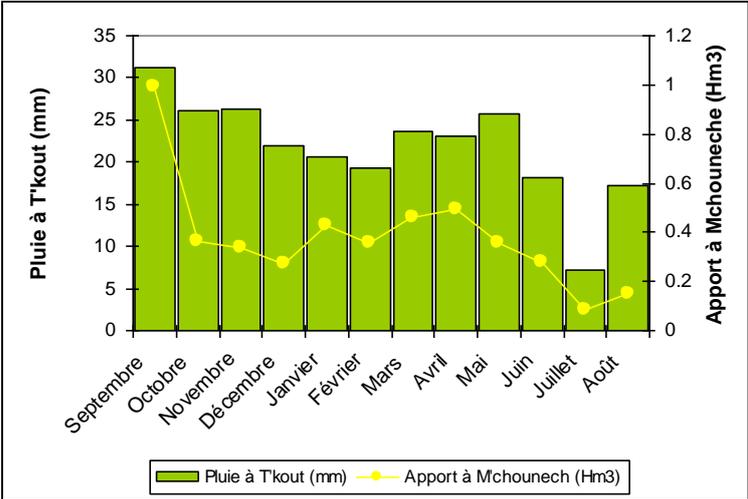
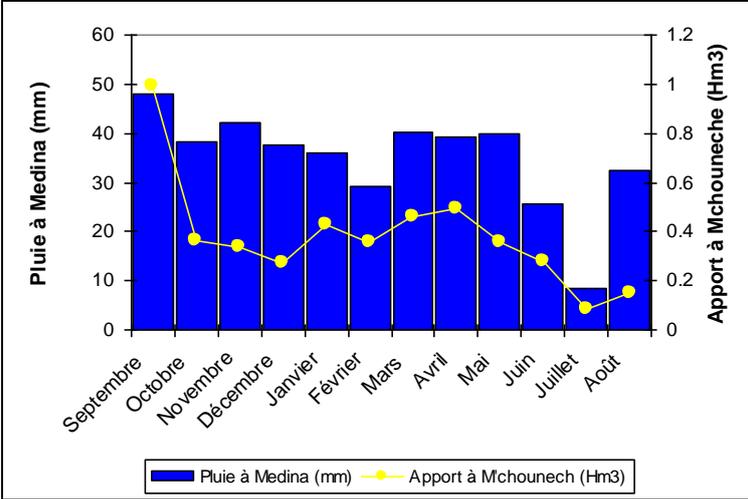


**Figure 4.12 Profil en long de Oued Abiod.**

Les accentuations des pentes correspondantes entre El Hamra et Rhassira peuvent également engendrer un accroissement rapide des vitesses d'écoulement du lit et absence du champ d'inondation au niveau de la confluence de l'oued Abiodh et oued Zallatou (altitude 1940 m).

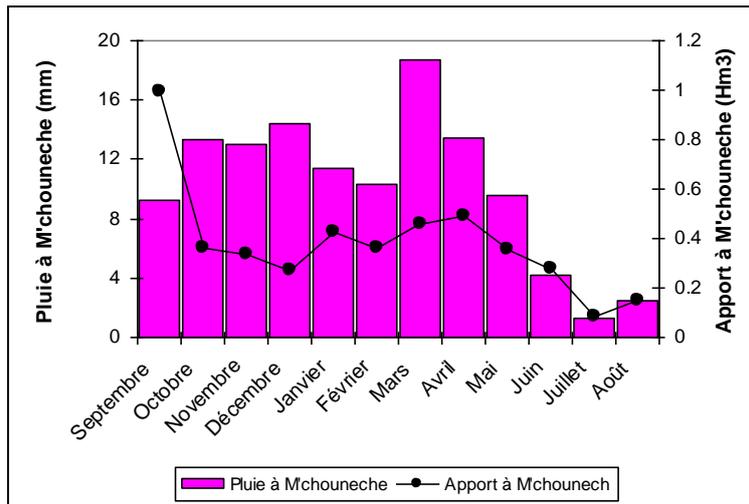
Le caractère torrentiel et irrégulier de oued El Abiod, la violence de ces crues et les perturbations continuelles de son lit mineur sur un parcours ne dépassant guère les 100 km, ont restreint la mesure de ces débits. Le débit de l'oued reste néanmoins tributaire des précipitations. Il peut varier de quelques litres par seconde en période d'étiage à quelques centaines de m<sup>3</sup>/s en période de crue. Le bassin est équipé d'une station de jaugeage au lieu M'chouneche, installée en amont du barrage à environ 18 km. Sa mise en service a été faite en 1971 par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (anciennement D.E.M.R.H). La station contrôle une superficie dépassant les 1050 Km<sup>2</sup>. L'apport annuel moyen sur la période 1971/1994 est de 18 Hm<sup>3</sup>, donnant un débit de 0.57 m<sup>3</sup>/s. La lame d'eau écoulee est de 13 mm, soit un coefficient d'écoulement moyen de 5%. Les variations interannuelles de l'écoulement sont principalement attribuées à la variabilité du climat. Les variations sont synchrones, particulièrement avec celles des précipitations et particulièrement dans la partie amont du bassin, c'est-à-dire les stations de Medina et de Tkout. La figure 4.13 montre bien que la grande partie de l'écoulement provient principalement de la partie nord.

Cette figure montre aussi la culminance du mois de Septembre en ce qui concerne les écoulements mais surtout les précipitations. Ceci anticipe sur l'aspect fréquence des crues qui est l'objet de ce mémoire et qui sera traité en détail aux chapitres suivants.



a)

b)



c)

**Figure 4.13. Précipitations et apports du bassin de oued Abiod**

**a) à Medina    b) à T'kout    c) à M'chouneche**

Les caractéristiques morphométriques et géométriques sont résumées au tableau ci-dessous :

**Tableau 4.3 : récapitulatif des résultats**

<b>Type de paramètre</b>	<b>Unité</b>	<b>Symbole</b>	<b>Valeur</b>
<b>Superficie</b>	Km <sup>2</sup>	S ou A	1300
<b>Périmètre</b>	Km	P	206
<b>L'altitude</b>	M	H	
<b>Max</b>	M		2328
<b>Min</b>	M		150
<b>Moy</b>	M		1081.26
<b>Médiane</b>	M	H50	1170
<b>Largeur de R équivalent</b>	Km	l	14.72
<b>Longueur de R équivalent</b>	Km	L	88.72
<b>L'indice de pente moyenne</b>	%	Ip	25.82
<b>L'indice de pente globale</b>	m/Km	Ig	24.67
<b>L'indice de pente de roche</b>	-	Ipv	1.075
<b>L'indice de compacité de Gravilius</b>			
<b>Coefficient de torrentialité</b>	-	Kc	1.59
<b>Densité de drainage</b>	+	Ct	13.26
<b>Longueur de Talweg principale</b>	Km/Km2	Dd	2.53
<b>Temps de concentration</b>	Km	L	85
<b>La différence d'altitude spécifique</b>	Heures	Tc	10.84
	m	Ds	889.48

Les résultats des caractéristiques morphométriques, montrent que la densité de drainage est assez importante, de plus le coefficient de torrencialité semble assez élevé ceci est due certainement au nombre considérable de talwegs de premier ordre. Quant au temps de concentration, il semble important (long) puisque le temps qu'a mis une goutte d'eau pour arriver au point le plus éloigné de l'exutoire est 10.84 heures.

Ceci, explique la complication des chenaux qui traversent les différentes structures et la forme allongée du bassin versant.

*Chapitre 5*

*Analyse préliminaire des  
données de crues*

## **5.1. Aspects méthodologiques**

L'analyse des crues est conduite dans le but d'identifier une typologie de crues qui se sont produites sur oued Abiod au droit du barrage. Vu le nombre important de crues documentées, en particulier après la construction du barrage, l'analyse a été menée en trois phases essentielles. La première phase, présentée au chapitre 5, est une analyse préliminaire des crues enregistrées au barrage de Fouml El Gherza. L'objectif est de déterminer les premiers traits de la caractérisation des crues sur la période d'étude considérée. La deuxième étape, donnée au chapitre 6, est la caractérisation des crues qui représente le fond de notre étude. Le but est l'identification d'une typologie des crues de oued Abiod. L'analyse des crues a été effectuée sur trois ensembles de crues, en sélectionnant à chaque fois un nombre de crues de plus en plus réduit, ceci en raison du problème de fréquence d'enregistrement. La forme des hydrogrammes a été un des paramètres les plus étudiées, du fait que c'est un élément clé dans l'identification de la typologie des crues dans divers cours d'eau dans le monde. La troisième et dernière phase a concerné un aspect particulier de la dynamique des crues, celui de l'analyse de la montée et de la décrue. S'agissant d'un premier travail du genre sur ces crues, l'analyse a été axée beaucoup plus sur un traitement graphique et analytique de données de crues. Cette analyse est en même temps une critique des enregistrements des crues qui ont été mis à notre disposition.

## **5.2. Collecte des données de débits**

Les données débits dans cette étude ont été collectées auprès des services de l'A.N.B.T de Biskra (Agence National des Barrages et des Transferts). On dispose d'autre part d'informations générales sur quelques crues survenues entre 1935 et 1950. Le fichier de données comporte en particulier détails des crues enregistrées de oued Abiodh, relevées sur la période 1950-2010.

Un autre fichier a été mis à notre disposition à partir de la base de données des services de l'ANRH de Biskra (Agence Nationale des Ressources Hydriques). Il fournit les débits journaliers de oued Abiod sur la période 1971-1994 à la station hydrométrique de M'chounèche (code 06 15 02). Les données horaires des débits des crues à cette station ne sont pas disponibles. Cette station se situe à 18 km en amont du barrage de Foum el Gherza. Elle a été endommagée lors des crues de 1994/1995 et se trouve depuis non opérationnelle. Elle comporte par ailleurs des lacunes dans les enregistrements. Aussi l'extrapolation des courbes de tarages devient hasardeuse par l'impossibilité de réaliser des jaugeages pour des forts débits. Par conséquent le suivi des observations hydrométriques lors des fortes crues échappe parfois à la technique de jaugeage conventionnelle. Cette insuffisance pour réaliser une

couverture exhaustive de toutes les crues survenues sur l'oued Abiod et observées à la station de M'chounèche a limité la présente étude à traiter uniquement les données d'exploitation du barrage de Foum el Gherza.

### **Données période 1935-1950**

Les publications sur les crues sont une source importante de données. Néanmoins ces articles sont rares et peu de données sont disponibles.

Dalloni (1939) rapporte que la seule crue relativement bien connue reste celle du 1<sup>er</sup> Juin 1920 où le débit max a atteint 330 m<sup>3</sup>/s à Foum El Gherza. Selon Duquesnoy (1949) les débits de crues exceptionnelles ne devraient pas dépasser 500m<sup>3</sup>/s.

Le tableau 5.1 est un exemple des informations concernant les crues des années 1935-1941. Les observations inscrites dans les archives du Service des études Scientifiques (SES) ne portent que sur le degré d'importance des crues (Dubief, 1953).

**Tableau 5.1: Observations sur quelques crues de la période 1935-1950(Dubief, 1953).**

Oct 1935	Moyenne
Déc 1935	Forte
Févr 1936	Moyenne
Aout 1937	Faible
Sept 1937	Forte
Oct 1937	Moyenne
Oct 1938	Moyenne
Déc 1938	Très Forte
Fev 1938	Forte

Avr 1938	Moyenne
Juin 1938	Faible
Sept 1941	Forte
Nov 1941	Faible

### Données période 1950-2010

Le nombre d'événements de crues enregistrées est relativement important. En effet on dispose de 404 crues réparties sur la période 1950-2010.

Le tableau 5.2 fournit un exemple de données collectées est représenté au, où l'on retrouve les données horaires des variations de la cote du plan d'eau ainsi que les volumes correspondants.

**Tableau 5.2. Observations sur la crue de 06/09/1953(ANBT ,2008).**

<b>date</b>	<b>Cote (m)</b>	<b>Heure</b>	<b>Volume (Hm<sup>3</sup>)</b>
06/09/53	171.71	08 h 00	6.799
	171.71	09 h 45	6.799
	171.90	12 h 00	6.934
	172.06	18 h 00	7.052
	172.06	19 h 30	7.052
	172.06	20 h 00	7.052
	172.10	21 h 00	7.081

La chronique la plus détaillée concerne les données d'exploitation du barrage de Foum el Gherza. Le tableau 5.3, ci-dessous, est un exemple de données fournies par l'ANBT et concerne les crues qui ont déversé. Cette collecte a rapporté suffisamment d'informations décrivant l'évolution des crues avant et après déversement. Les détails concernent le débit moyen, le débit maximal, l'apport de crue, la durée totale de la crue, et la lame d'eau maximale déversée.

**Tableau 5.3. Observations sur la crue du 05-06/12/2004 avec un rapport complémentaire(ANBT ,2008).**

Date	Horaire (Heure)	Cote du plan d'eau (NGA)	Volume de la retenue (Hm <sup>3</sup> )	Variation du volume de la retenue (Hm <sup>3</sup> )	Débit instantané (m <sup>3</sup> /s)	Lame d'eau déversée (m <sup>3</sup> /s)	Volume déversé (Hm <sup>3</sup> )
05.12. 04	02h 00	198.71	14.31		0		
	03h 00	198.75	14.432	0.122	0.00		
	04h 00	198.82	14.646	0.14	0.00		
	05h 00	198.90	14.893	0.247	0.91	5.00	0.018
	06h 00	198.98	15.142	0.249	3.82	0.08	0.000
	07h 00	199.04	15.329	0.187	6.74	0.14	0.001
	08h 00	199.12	15.58	0.251	11.42	0.22	0.001
	09h 00	199.20	15.832	0.252	16.86	0.30	0.001
	10h 00	199.35	16.31	0.478	28.79	0.45	0.002
	11h 00	199.50	16.792	0.482	42.67	0.60	0.002
	12h 00	199.56	16.986	0.194	48.71	0.66	0.002
	13h 00	199.61	17.148	0.162	53.94	0.71	0.003
	14h 00	199.61	17.148	0.00	53.94	0.71	0.003

	15h 00	199.60	17.115	-0.033	52.88	0.70	0.003
	16h 00	199.59	17.083	-0.032	51.83	0.69	0.002
	17h 00	199.58	17.051	-0.032	50.78	0.68	0.002
	18h 00	199.57	17.018	-0.033	49.74	0.67	0.002
	19h 00	199.56	16.986	-0.032	48.71	0.66	0.002
	20h 00	199.55	16.953	-0.033	47.68	0.65	0.002
	21h 00	199.54	16.921	-0.032	46.66	0.64	0.002
	22h 00	199.53	16.888	-0.033	45.65	0.63	0.002
	23h 00	199.51	16.824	-0.064	43.65	0.61	0.002
	00h 00	199.49	16.759	-0.065	41.69	0.59	0.002
	01h 00	199.47	16.695	-0.064	39.75	0.57	0.002
	02h 00	199.45	16.630	-0.065	37.84	0.55	0.002
	03h 00	199.43	16.556	-0.074	35.96	0.53	0.002
06.12. 04	04h 00	199.41	16.502	-0.054	34.12	0.51	0.002
	05h 00	199.39	16.438	-0.064	32.31	0.49	0.002
	06h 00	199.36	16.342	-0.096	29.65	0.46	0.002
	07h 00	199.33	16.246	-0.096	27.08	0.43	0.002
	08h 00	199.30	16.15	-0.096	24.58	0.40	0.001

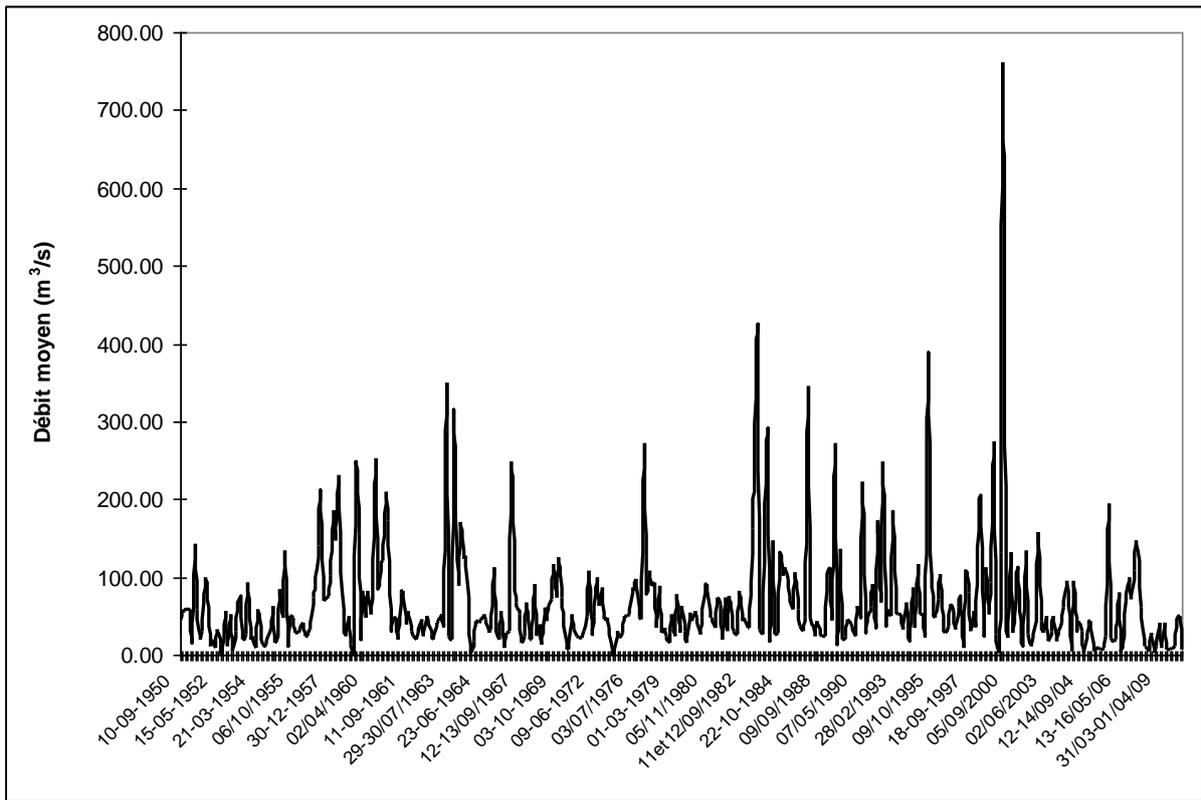
Le rapport complémentaire fournit les renseignements sur l'évolution de cette crue avant et après déversement :

**Tableau 5.4. Exemple de rapport complémentaire sur les crues de oued Abiod(ANBT ,2008)**

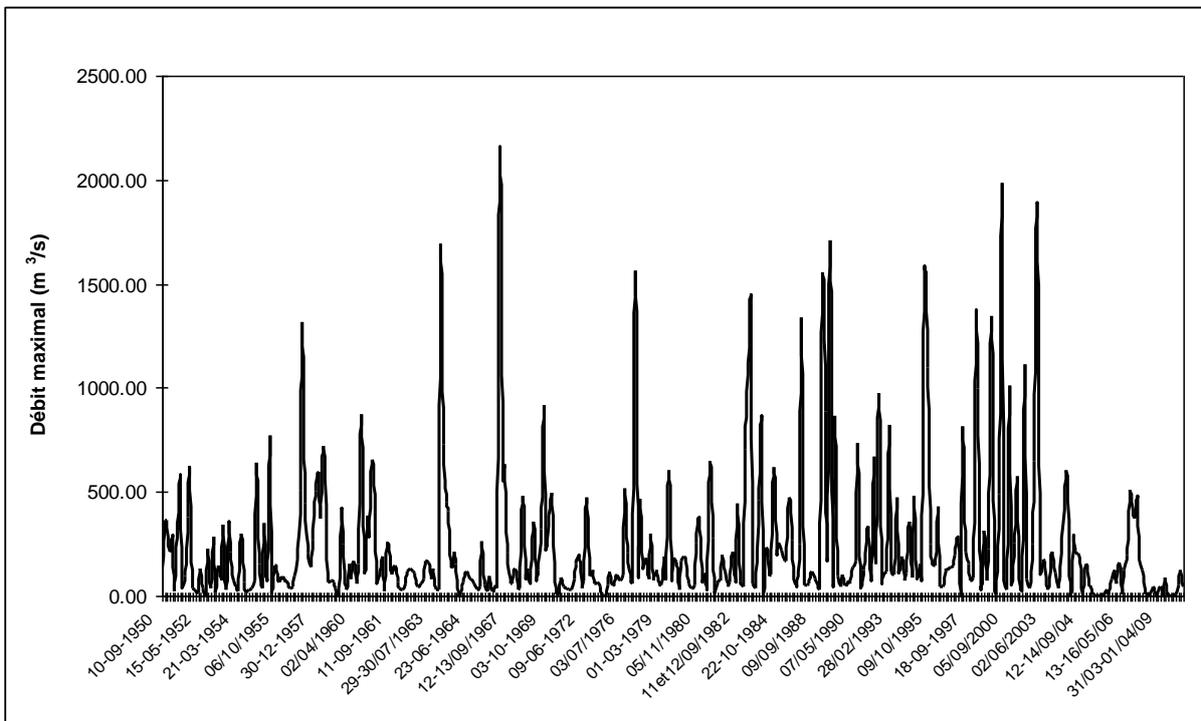
Débit moyen de la crue	33,61 m <sup>3</sup> / s
Débit de pointe	53,94 m <sup>3</sup> / s
Durée totale de la crue	30 heures
Apport de la crue	1,84 Hm3
Cote du plan d'eau avant la crue	198,71 m
Hauteur de pointe (maximale)	199,61 m
Cote du plan d'eau après la crue	199,30m
Lame d'eau maximale déversée	0,71 m
Vitesse de la crue (au cours de déversement)	6,45 cm/h

## **5.2. Constitution de la chronique des débits**

La chronique des débits moyens journaliers pour la période 1950-2009 a été constituée sur la base de l'ensemble des informations collectées. La figure 5.1 montre bien la prédominance de certaines crues par rapport à d'autres et que la majorité des débits sont faibles. Les forts débits représentent 31% par rapport à l'ensemble des données. La crue la plus importante a été atteinte durant le 09/05/2000 dont le débit moyen a dépassé 760 m<sup>3</sup>/s



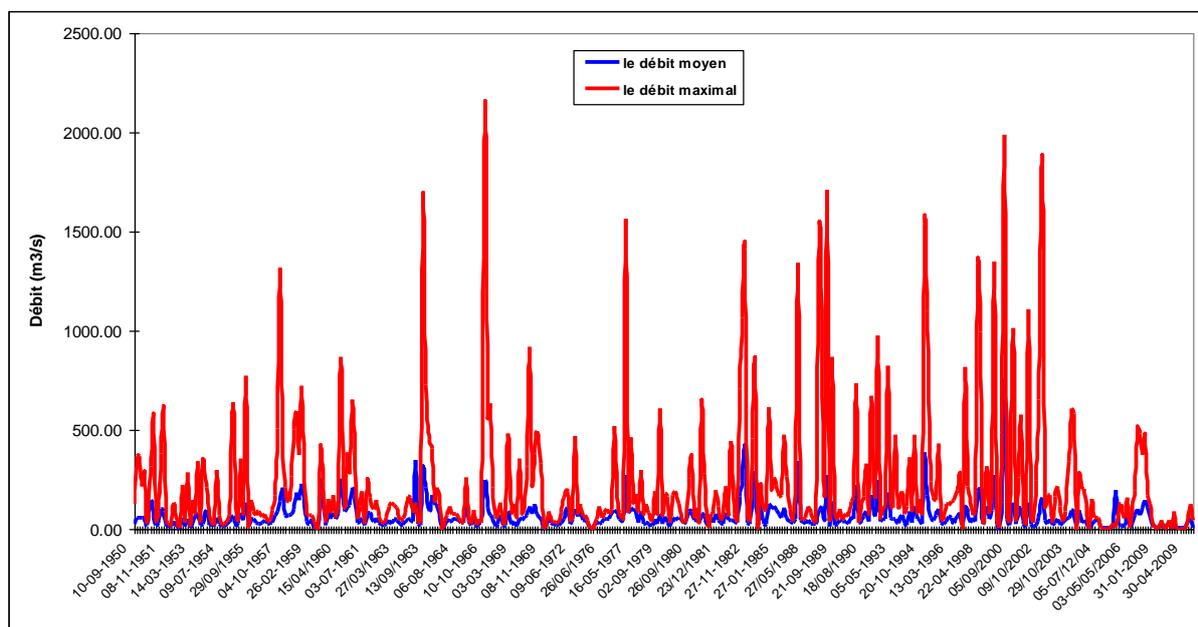
**Figure 5.1.** Chronologie des débits moyens journaliers de la période 1950 - 2009



**Figure 5.2.** Chronologie des débits max instantanés des crues de la période 1950 - 2009

La chronologie des débits max instantanés pour la période 1950-2009 est montrée à la figure 5.2. On observe la prédominance de certaines crues par rapport à d'autres. La crue la plus importante a été atteinte durant le 10/10/1966 dont le débit max instantané a dépassé 2151 m<sup>3</sup>/s. Cette crue a été précédée de deux autres événements de la même importance : Les crues du 12/09/1963 et du 14-27/03/1964.

La figure 5.3 montre les chroniques simultanée des débits moyens et des débits instantanés des crues relevés sur oued Abiod au droit du barrage de Fom El Gherza.



**Figure 5.3. Chroniques simultanées des débits moyens journaliers des débits max instantanés des crues de la période 1950 - 2009**

### 5.3. Traitement préliminaire de la chronique des débits de crues

Le traitement préliminaire est effectué en vue de déterminer les premiers traits de la caractérisation des crues à l'échelle du temps. L'analyse préliminaire concernera dans un premier temps le nombre de crues par année et par mois. En second le critère magnitude ou puissance de la crue sera étudié.

#### 5.3.1. Variation du nombre de crues par années

La variation du nombre de crues par année est représentée au tableau 5.

**Tableau 5.5 : Variation du nombre de crues par année.**

<b>Année Hydrologique</b>	<b>Nombre de crues</b>	<b>Année Hydrologique</b>	<b>Nombre de crues</b>	<b>Année Hydrologique</b>	<b>Nombre de crues</b>
1950/1951	5	1970/1971	1	1990/1991	2
1951/1952	13	1971/1972	6	1991/1992	5
1952/1953	9	1972/1973	6	1992/1993	4
1953/1954	7	1973/1974	2	1993/1994	5
1954/1955	8	1974/1975	1	1994/1995	7
1955/1956	8	1975/1976	6	1995/1996	13
1956/1957	3	1976/1977	8	1996/1997	2
1957/1958	8	1977/1978	3	1997/1998	9
1958/1959	9	1978/1979	5	1998/1999	3
1959/1960	14	1979/1980	8	1999/2000	4
1960/1961	6	1980/1981	11	2000/2001	5
1961/1962	7	1981/1982	9	2001/2002	6
1962/1963	11	1982/1983	10	2002/2003	7
1963/1964	18	1983/1984	4	2003/2004	9
1964/1965	5	1984/1985	6	2004/2005	14
1965/1966	2	1985/1986	5	2005/2006	6

1966/1967	5	1986/1987	3	2006/2007	2
1967/1968	8	1987/1988	2	2007/2008	2
1968/1969	4	1988/1989	6	2008/2009	17
1969/1970	13	1989/1990	15	2009/2010	2

Au cours de la période d'observation, 404 crues ont été enregistrées soit en moyenne 7 crue par année. Du fait de la brièveté des crues, la durée des crues dans l'année est très faible, représentant une durée globale moyenne inférieure à deux jours par an. Toutefois la plus longue crue enregistrée a duré 29 jours (crue du 26/01 au 24/02/05). La figure 5.4 indique que la variation du nombre de crues par année est très aléatoire. On observe sur le graphique que le maximum du nombre de crues est enregistré durant l'année 1963/1964 représentant 4,5% de l'ensemble des crues. A l'inverse les années 1970/1971 et 1974/1975 enregistrent moins de crues. De plus, on observe que pour la plus part des années, le nombre de crues est inférieure à la moyenne (34 crues). On retrouve également le même nombre de crues pour les années 1960/1961, 1971/1972, 1972/1973, 1975/1976, 1984/1985, 1988/1989, 2001/2002 et 2005/2006.

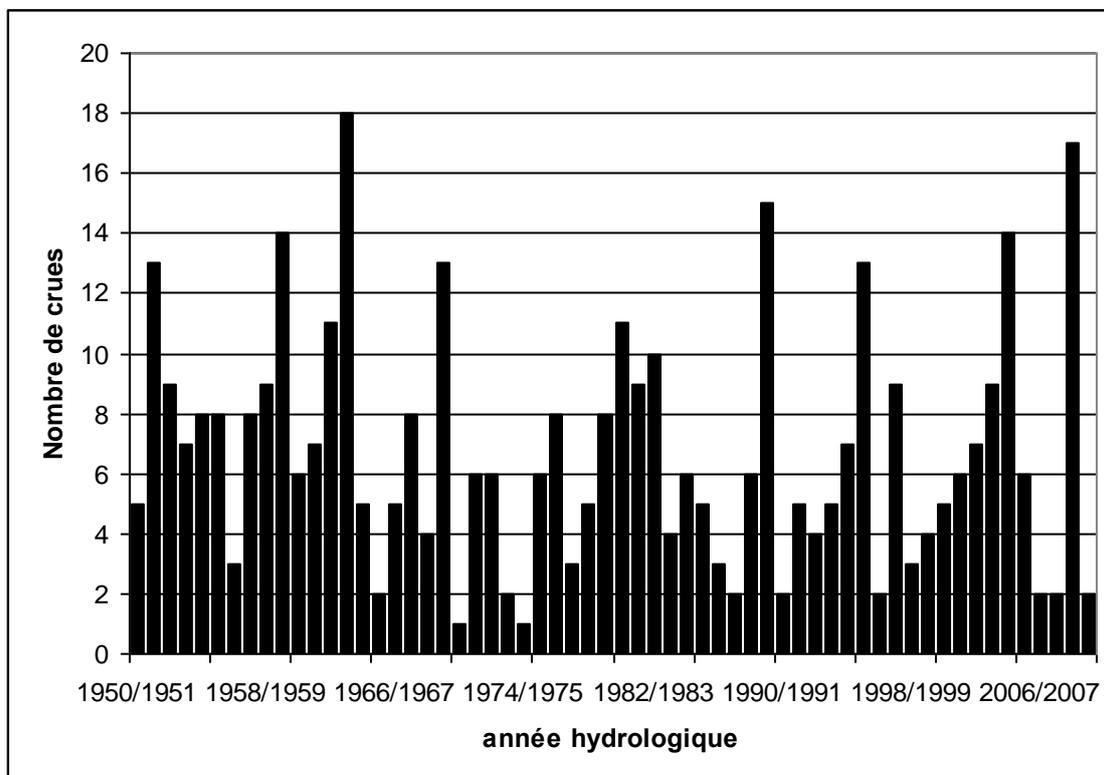
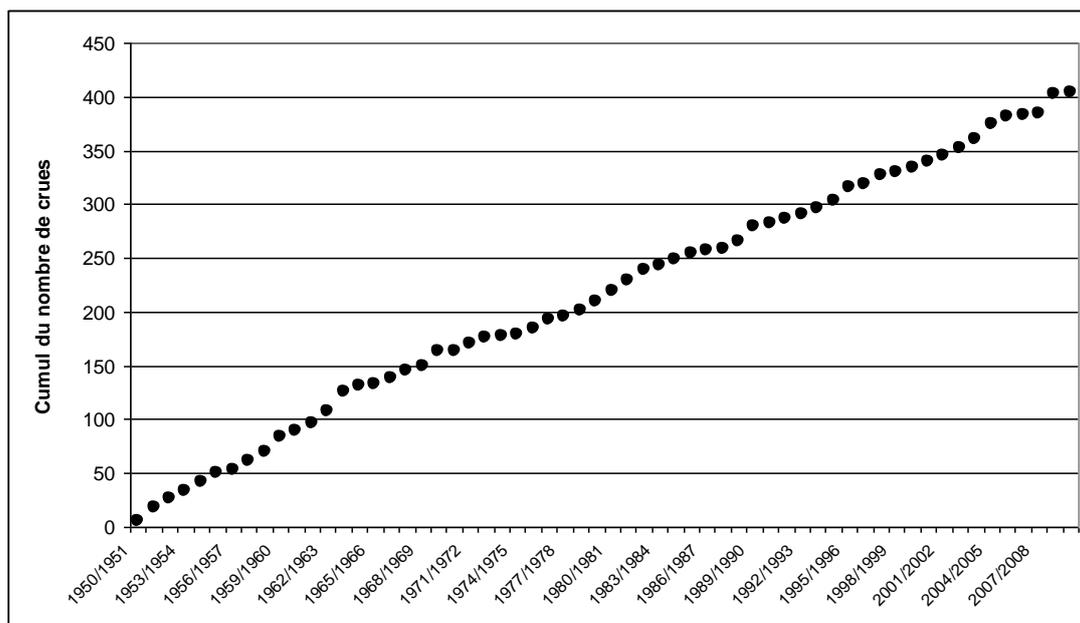


Figure 5.4. Nombre de crues par année (Période de 1950 à 2010)



**Figure 5.5. Cumul du nombre de crues sur la période de 1950 à 2010**

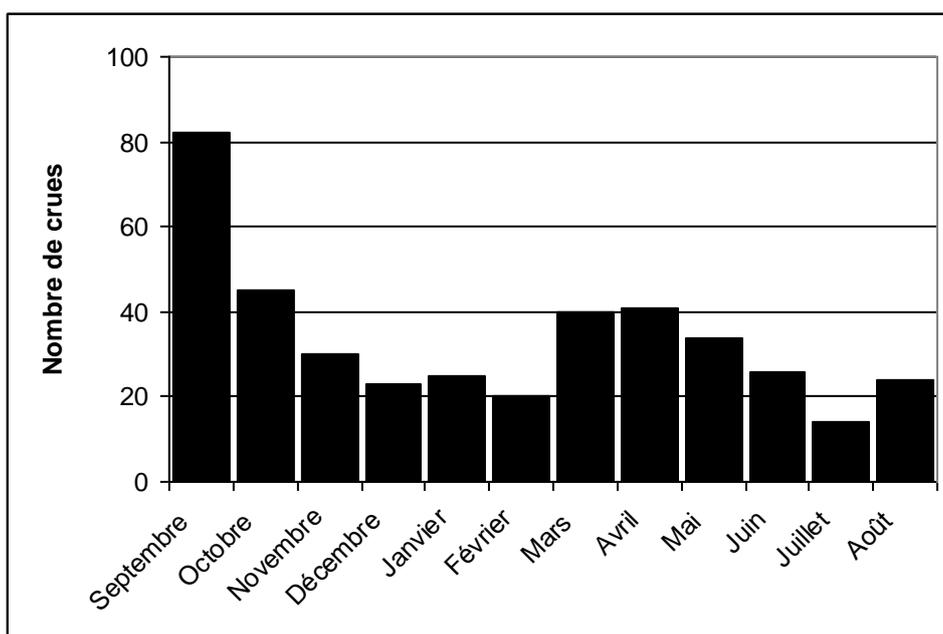
### 5.3.2. Variation du nombre de crues par mois

La variation du nombre de crues par mois est représentée au tableau 5.6.

**Tableau 5.6 : Variation du nombre de crues par mois.**

Mois	Nombre de crues
Septembre	82
Octobre	45
Novembre	30
Décembre	23
Janvier	25
Février	20

Mars	40
Avril	41
Mai	34
Juin	26
Juillet	14
Août	24



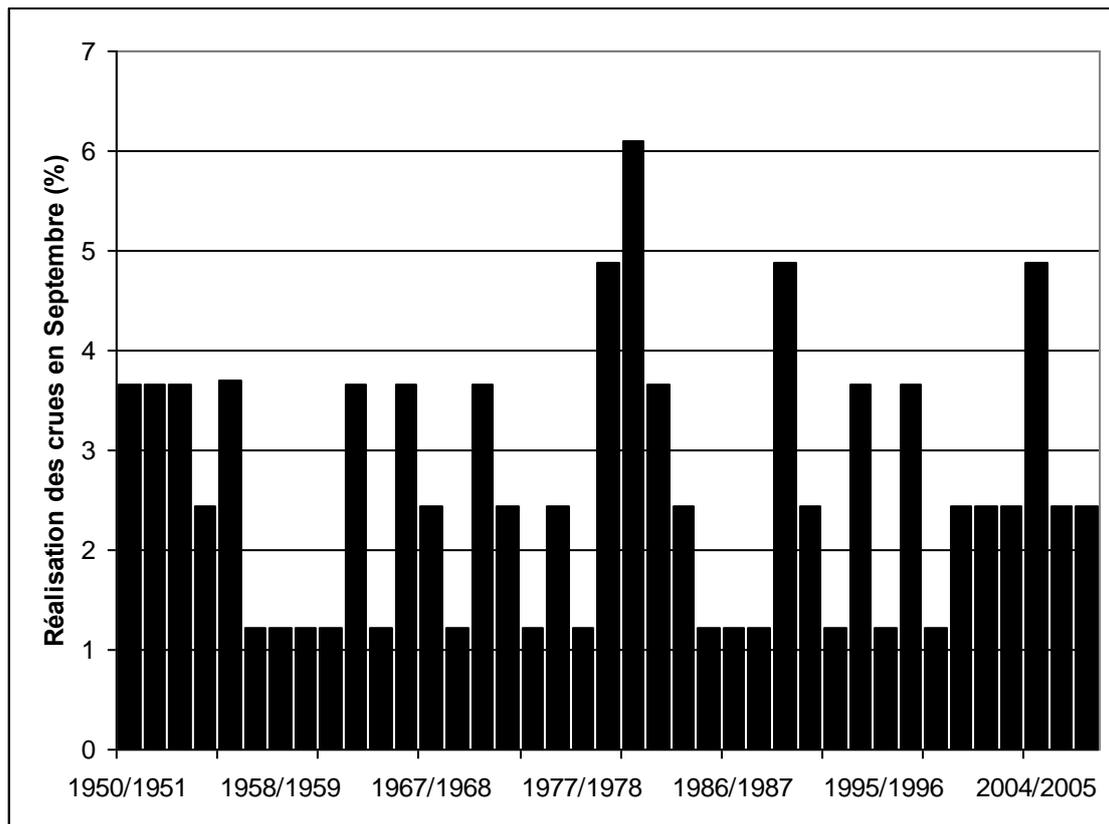
**Figure 5.6 Nombre de crues par mois (Période de 1950 à 2010)**

A l'échelle mensuelle, on constate que le nombre max des crues est enregistré en septembre avec un total 82 crue, par contre le mois de Juillet enregistre le nombre minimal de crues avec un total de 14 crues. Le nombre des crues pour les mois de Mars, Avril et Mai est presque le même. Ce constat est aussi valable pour Juin; Août, et Décembre. On constate en particulier que les crues du mois d'aout sont plus nombreuses par rapport aux mois de la saison d'Hiver (Décembre, Janvier et Février).

La prééminence du nombre de crues au mois de Septembre nous a incités à connaître davantage l'évolution de ce nombre sur l'ensemble des années. Nous avons représenté cela au tableau 5.7.

**Tableau 5.7 : Variation du pourcentage de réalisation des crues en Septembre par année.**

<b>Année Hydrologique</b>	<b>Pourcentage de crue</b>	<b>Année Hydrologique</b>	<b>Pourcentage de crue</b>
1950/1951	3,66	1979/1980	4,88
1951/1952	3,66	1980/1981	6,10
1952/1953	3,66	1981/1982	3,66
1953/1954	2,44	1982/1983	2,44
1954/1955	3,70	1983/1984	1,22
1957/1958	1,22	1986/1987	1,22
1958/1959	1,22	1988/1989	1,22
1960/1961	1,22	1989/1990	4,88
1961/1962	1,22	1991/1992	2,44
1963/1964	3,66	1992/1993	1,22
1965/1966	1,22	1994/1995	3,66
1966/1967	3,66	1995/1996	1,22
1967/1968	2,44	1997/1998	3,66
1968/1969	1,22	1999/2000	1,22
1969/1970	3,66	2000/2001	2,44
1972/1973	2,44	2001/2002	2,44
1973/1974	1,22	2003/2004	2,44
1976/1977	2,44	2004/2005	4,88
1977/1978	1,22	2006/2007	2,44
		2009/2010	2,44



**Figure 5.7 Pourcentage de réalisation des crues en Septembre par année  
(Période de 1950 à 2010)**

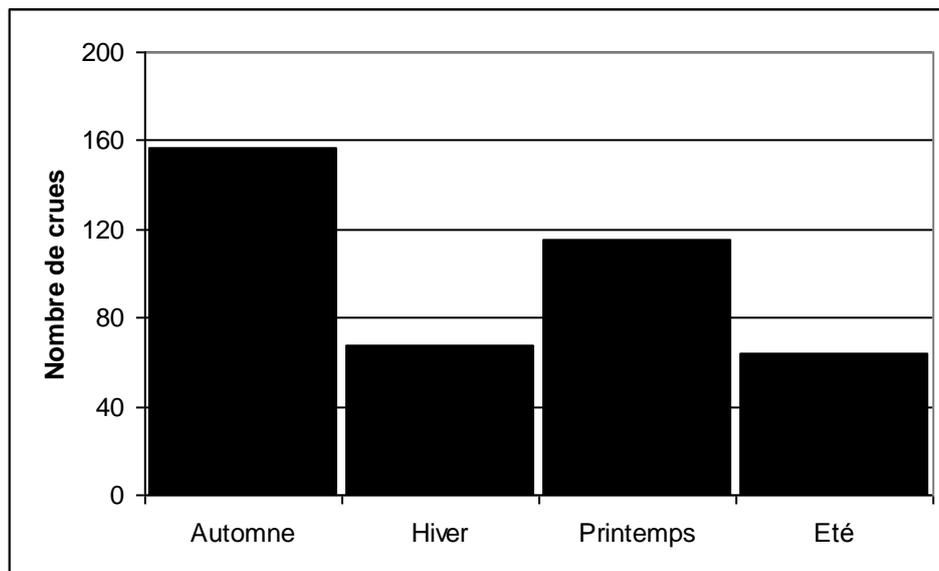
La figure 5.7 indique que le nombre de crues max dans l'année 1980/1981 représente environ 6 %. Un pourcentage de réalisation des crues en Septembre (%) relativement faible (1.22) est observé pour les crues (1957/1958,1958/1959,1960/1961,1961/1962,1965/1966,1968/1969,1973/1974,1977/1978, 1983/1984,1986/1987,1988/1989,1992/1993,1995/1996 et 1999/2000). et taux moyenne 3,66 est remarqué pour les crues 1950/1951,1951/1952,1952/1953,1954/1955,1963/1964,1966/1967,1969/1970,1981/1982,1994/1995 et 1997/1998.

### 5.3.3. Variation du nombre de crues par saison

La variation du nombre de crues par saison est représentée au tableau 5.8.

**Tableau 5.8 : Variation du nombre de crues en par saison.**

Saisons	Nombre de crues
Automne	157
Hiver	68
Printemps	115
Eté	64



**Figure 5.8 Variation du nombre de crues en par saison (Période de 1950 à 2010)**

Le résultat montré à la figure ci-dessus n'est autre que celui trouvé précédemment à l'échelle mensuelle. On remarque que le maximum de crues est enregistré en automne. Cette saison est suivie par la saison de printemps (115 crues). La saison d'été est particulière avec un nombre de crues équivalent à la saison d'hiver.

### 5.3.4. Variation du nombre de crues par classe de débits

Après cette analyse concernant le nombre nous nous sommes intéressés à l'importance du débit de crue. Nous avons choisi a priori le seuil de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . La figure 5.9 représente le nombre de crues par classe de débits. Ce nombre devient plus prononcé à partir de la classe  $100\text{-}200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Les débits de crues supérieurs à  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  représentent le nombre maximum, par opposition aux débits de crues de  $10\text{-}20 \text{ m}^3/\text{s}$  qui représentent le plus faible nombre des débits de crues.

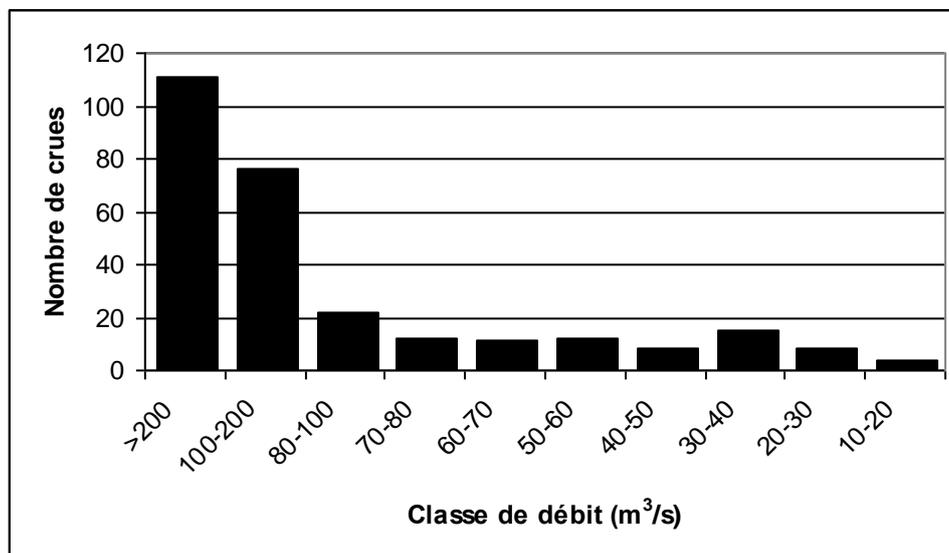


Figure 5.9 Variation du nombre de crues par classe de débit

La variation du nombre de crues mensuelles sélectionnées supérieur à  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  par classe de débit est représentée au tableau 5.9.

**Tableau 5.9: Variation du nombre mensuel de crues supérieures à 10 (m<sup>3</sup>/s)**

Classe de débit	Mois								
	Janv	Fév	Mars	Mai	Juin	Juillet	Sept	Oct	Déc
>200	7	0	8	11	9	4	32	21	5
200-100	4	7	8	10	7	5	18	6	8
100-80	2	2	3	1	1	0	8	8	0
80-70	1	1	0	1	4	2	5	0	0
60-70	0	1	3	2	1	1	1	2	0
50-60	1	0	2	4	2	0	3	1	4
40-50	4	1	4	0	0	0	1	3	0
30-40	0	3	1	2	2	0	6	2	3
20-30	2	1	3	0	0	1	6	2	1
10-20	0	1	2	0	0	1	0	0	0
>10	4	3	6	3	0	0	2	0	2

D'après le tableau on observe que la plupart des crues supérieures à 200 m<sup>3</sup>/s sont enregistrées aux mois de septembre et Octobre, contrairement au mois de Février où l'on n'observe aucune crue. On constate également que la distribution du nombre de crues est faible par rapport aux mois de Décembre, Janvier et Février.

*Chapitre 6*

*Caractérisation des crues de  
oued Abiod*

Cette analyse a pour but de mettre en évidence plusieurs caractéristiques des crues, de proposer une typologie des crues pour le bassin de oued Abiod

## 6.1. Paramètres statistiques de la chronique des débits max

L'aspect statistique de crues enregistrées est également intéressant à analyser. Pour la suite de travail nous avons contrôlé les données relatives à l'enregistrement des crues et par conséquent éliminé toute crue qui ne répond pas aux critères suivants:

- (a) la réalisation d'un hydrogramme complet et non complexe;
- (b) la prise en compte des fortes et faibles crues;
- (c) la fréquence d'échantillonnage;
- (d) le temps de montée;
- (e) la cote maximale atteinte.

Ainsi le nombre de crues initialement égal à 404 est réduit à 191 crues réparties sur la période d'analyse 1950-2010.

Les caractéristiques des crues classées sont présentées dans le Tableau 6.10

**Tableau 6.1 : Statistiques générales des crues de oued Abiod**

Période	1950-2010
Effectif	191
Moyenne	77.54
Ecart-type	104.79
Cv	1.35
Max	385.0
Min	2.14
Coeff d'assymétrie	2.30
Coeff d'aplatissement	6.83

La figure 6.1 illustre l'évolution du Cv pour l'ensemble des crues sélectionnées. Ce paramètre relativement constant sur la période d'analyse a connu toutefois une élévation importante au cours de la dernière décade (2000-2010). Nous avons représenté aussi en figure 6.2 les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement. Ceux-ci montrent une prépondérance vers la fin de la période d'étude, en particulier pour la dernière décade (crues du 24 Août 2002 ; 03 Mai 2006 et 09 Mars 2010).

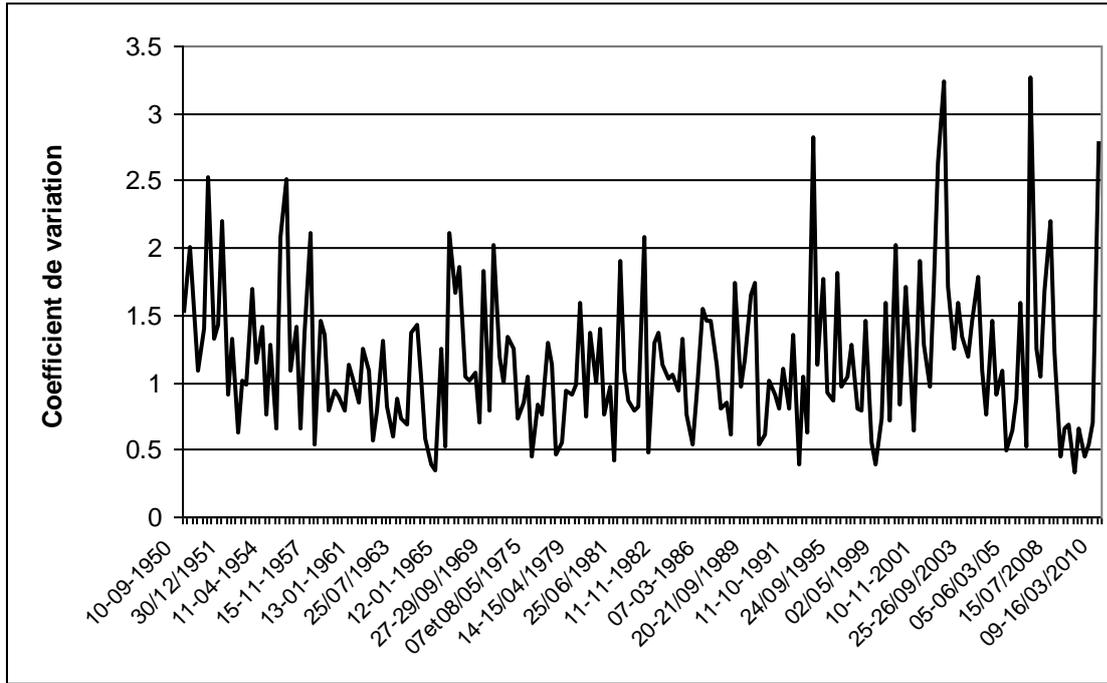


Figure 6.1. Coefficients de variation des crues (Période 1950-2010)

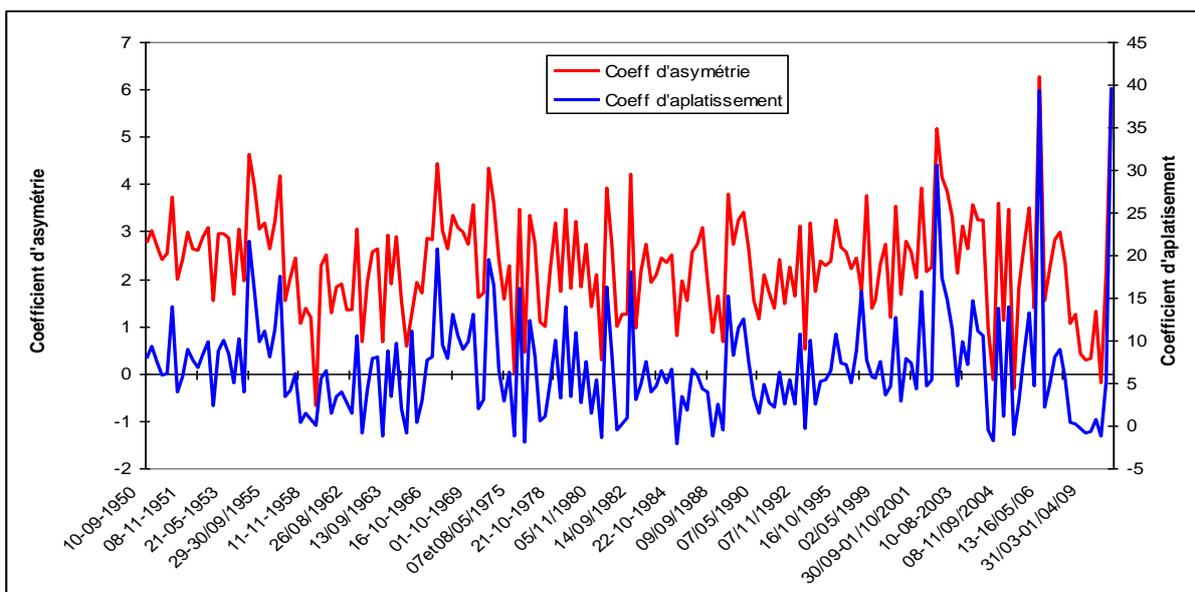


Figure 6.2. Coefficients d'asymétrie et d'aplatissement e variation des crues (Période 1950-2010)

Le même travail a été effectué à l'échelle annuelle en rapportant les moyennes des paramètres statistiques des événements de crues. Les résultats sont reportés au tableau 6.2.

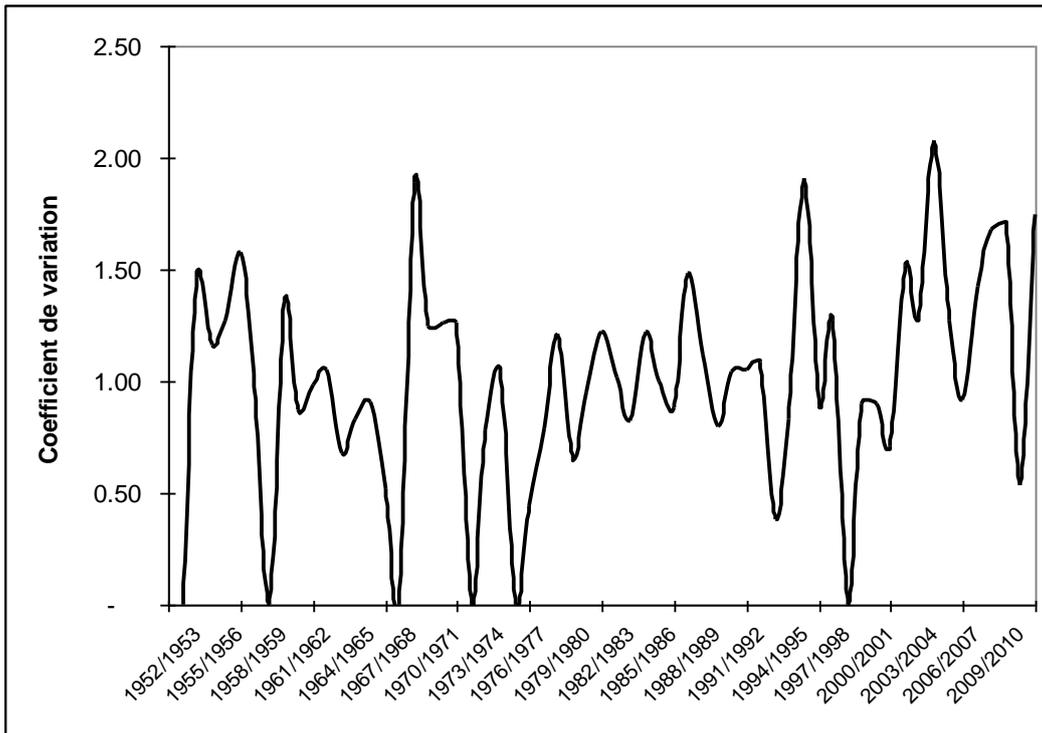
**Tableau 6.2 : les paramètres statistique**

<b>Année Hydrologique</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>Cv</b>	<b>Coeff d'asymétrie</b>	<b>Coeff d'aplatissement</b>
<b>1950/1951</b>	45,89	68,94	1,50	2.68	7.33
<b>1951/1952</b>	47.84	84.04	1.47	2.74	7.92
<b>1952/1953</b>	51.93	59.90	1.16	2.50	7.40
<b>1953/1954</b>	57.73	73.46	1.27	3.05	10.2
<b>1954/1955</b>	43.28	66.14	1.58	3.40	12.76
<b>1955/1956</b>	91.5	109.62	1.03	2.905	9.56
<b>1956/1957</b>	/	/	/	/	/
<b>1957/1958</b>	125.20	157.97	1.36	2.67	8.46
<b>1958/1959</b>	168.43	147.59	0.87	1.21	0.80
<b>1959/1960</b>	203.95	197.60	0.98	1.37	3.99
<b>1960/1961</b>	57.40	61.03	1.05	1.68	2.88
<b>1961/1962</b>	35.80	25.36	0.68	1.34	2.06
<b>1962/1963</b>	41.82	33.41	0.83	1.91	4.73
<b>1963/1964</b>	122.85	137.83	0.91	1.85	4.91
<b>1964/1965</b>	112.21	57.9	0.52	1.69	2.93
<b>1965/1966</b>	/	/	/	/	/
<b>1966/1967</b>	178.64	351.93	1.89	2.84	7.81
<b>1967/1968</b>	56.20	72.61	1.25	3.35	12.79
<b>1968/1969</b>	49.41	68.43	1.26	3.04	9.75
<b>1969/1970</b>	84.99	110.65	1.26	2.92	10.61

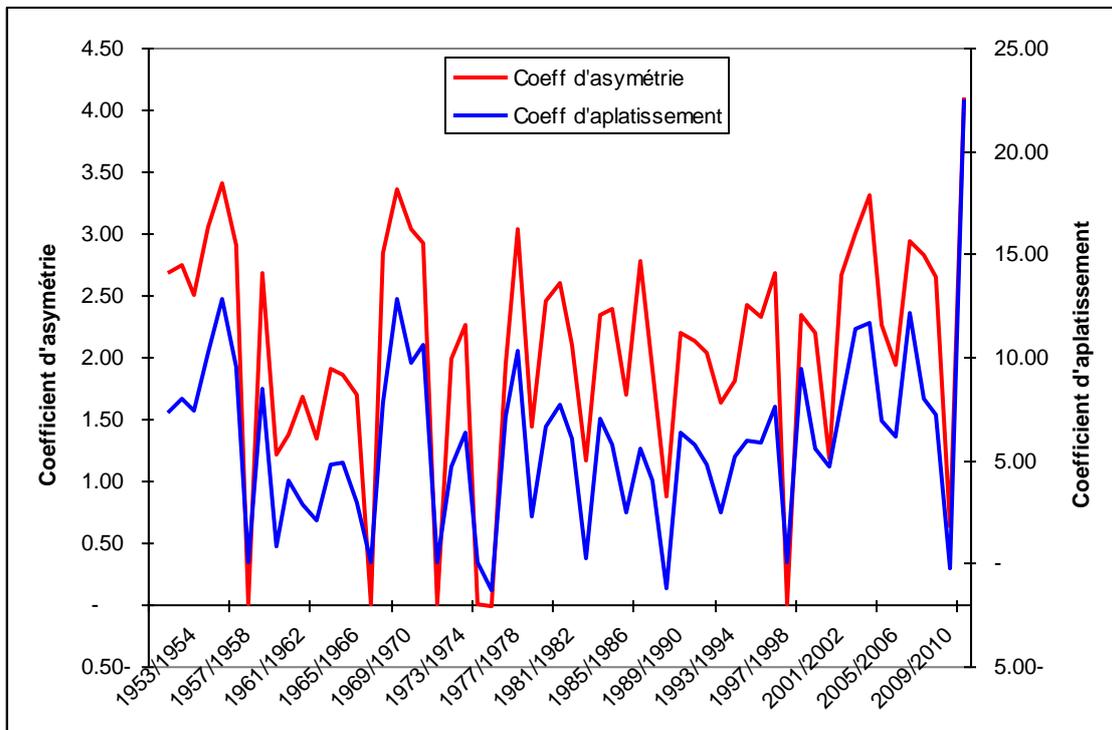
<b>1970/1971</b>	/	/	/	/	/
<b>1971/1972</b>	39.96	31.72	0.78	1.99	4.65
<b>1972/1973</b>	99.57	103.57	1.04	2.26	6.29
<b>1973/1974</b>	/	/	/	/	/
<b>1974/1975</b>	29.37	13.07	0.44	-0.01	-1.31
<b>1975/1976</b>	36.35	28.20	0.79	1.94	7.08
<b>1976/1977</b>	94.82	113.35	1.21	3.04	10.25
<b>1977/1978</b>	72.98	49.65	0.65	1.43	2.30
<b>1978/1979</b>	37.50	35.78	0.95	2.45	6.57
<b>1979/1980</b>	53.27	64.69	1.22	2.60	7.70
<b>1980/1981</b>	72.45	76.30	1.02	2.09	6.01
<b>1981/1982</b>	49.28	39.47	0.82	1.16	0.18
<b>1982/1983</b>	176.78	213.66	1.22	2.34	6.98
<b>1983/1984</b>	26.73	26.56	1.00	2.39	5.77
<b>1984/1985</b>	90.65	84.75	0.88	1.69	2.42
<b>1985/1986</b>	71.20	106.34	1.48	2.78	5.56
<b>1986/1987</b>	344.53	386.69	1.12	1.91	3.99
<b>1987/1988</b>	23.69	19.05	0.8	0.87	-1.24
<b>1988/1989</b>	53.27	70.21	1.04	2.20	6.34
<b>1989/1990</b>	112.78	124.01	1.05	2.14	5.73
<b>1990/1991</b>	161.50	191.53	1.08	2.03	4.73
<b>1991/1992</b>	58.43	21.95	0.38	1.63	2.44
<b>1992/1993</b>	118.96	112.89	0.83	1.81	5.15
<b>1993/1994</b>	34.73	72.70	1.90	2.43	5.90
<b>1994/1995</b>	38.48	34.68	0.89	2.32	5.85
<b>1995/1996</b>	89.16	127.06	1.27	2.67	7.54
<b>1996/1997</b>	/	/	/	/	/

<b>1997/1998</b>	84.31	97.25	0.90	2.33	9.47
<b>1998/1999</b>	139.71	174.74	0.90	2.19	5.52
<b>1999/2000</b>	2.43	1.74	0.71	1.18	4.7
<b>2000/2001</b>	90.05	159.28	1.52	2.66	7.75
<b>2001/2002</b>	38.09	61.86	1.28	3.01	11.34
<b>2002/2003</b>	64.04	163.07	2.08	3.31	11.60
<b>2003/2004</b>	91.10	108.44	1.27	2.25	6.89
<b>2004/2005</b>	25.83	24.59	0.91	1.93	6.11
<b>2005/2006</b>	40.47	95.83	1.42	2.93	12.11
<b>2006/2007</b>	99.23	166.6	1.68	2.83	8
<b>2007/2008</b>	89.36	142.32	1.70	2.65	7.23
<b>2008/2009</b>	25.98	13.92	0.53	0.63	0.27-
<b>2009/2010</b>	26.34	20.65	1.75	4.10	22.45

Les résultats graphiques sont donnés en figures 6.3 et 6.4. Les coefficients de variation sont relativement importants pour les crues des années 50, pour les crues de l'année 1966/1967 et également pour les crues de pour la dernière décade (2000-2010). Les mêmes observations peuvent être notées pour les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement.

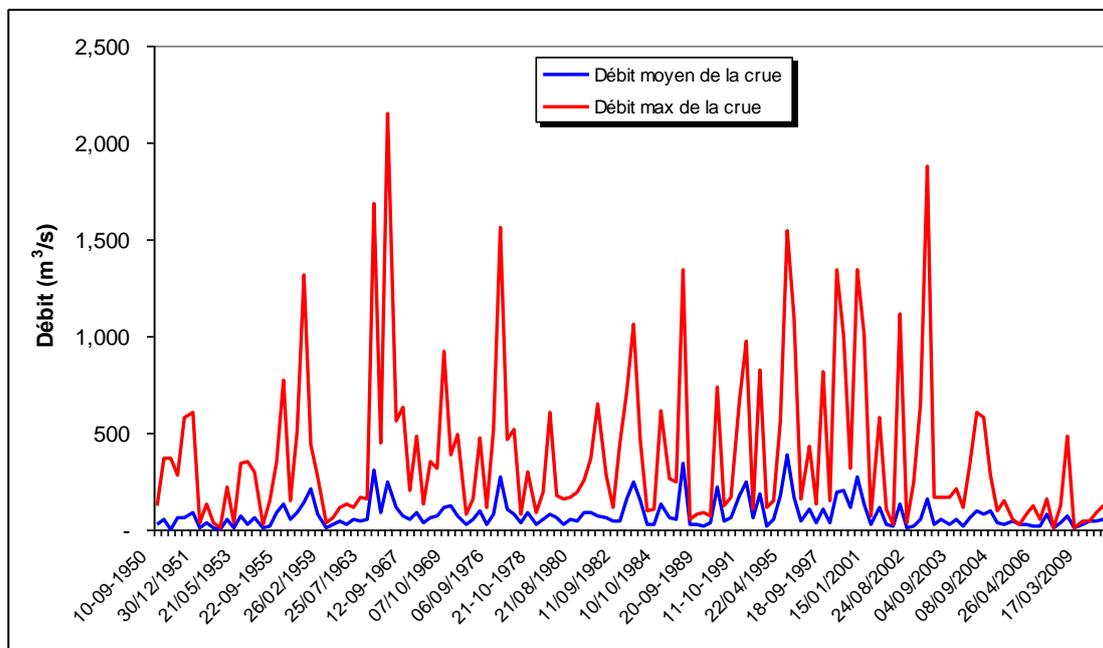


**Figure 6.3. Coefficients de variation annuelle (Période 1950-2010)**



**Figure 6.4. Coefficients d'asymétrie et d'aplatissement annuels (Période 1950-2010)**

S'agissant de crues régularisées par le barrage et vu le nombre important de paramètres à étudier, nous avons été confronté au problème de la fréquence d'enregistrement des débits particulièrement lors de la montée. De plus, il a été constaté que les enregistrements sont plus fréquents lors de la décrue. Pour faire face à cette situation nous avons choisi de sélectionner une troisième fois un nombre de crues enregistrées, parmi les 191 analysées précédemment, selon un critère qui permet de rassembler le maximum de données cohérentes sur les caractéristiques suivantes : le volume de la crue ; la variation du plan d'eau durant la crue ; débit max de crue ; le débit moyen de la crue ; le temps de montée ; le temps de base ; la vitesse des eaux pendant la crue. Cette sélection a été effectuée tout en respectant la gamme des débits max de crues. Autrement, il s'agira d'identifier les crues de la normale à l'extrême. Cette identification s'intéressera aux événements postérieurs à la construction du barrage de Foug El Gherza. Cette sélection qui consiste en 136 crues est représentée à la figure 6.5.



**Figure 6.5. Chronologie des débits max instantanés des crues sélectionnées  
(Période 1950 – 2009).**

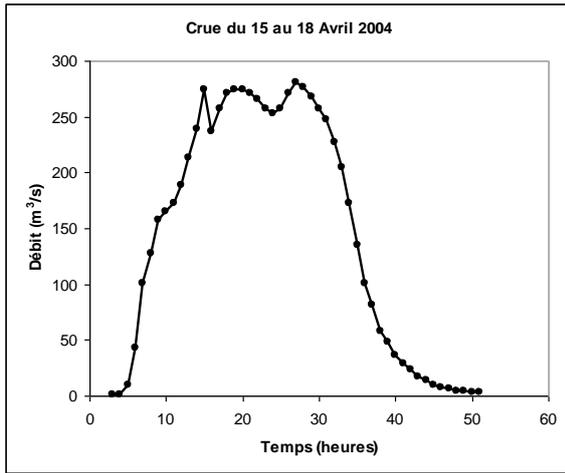
Les caractéristiques des crues classées sont présentées dans le Tableau 6.3.

**Tableau 6.3 : Statistiques générales des crues sélectionnées de oued Abiod**

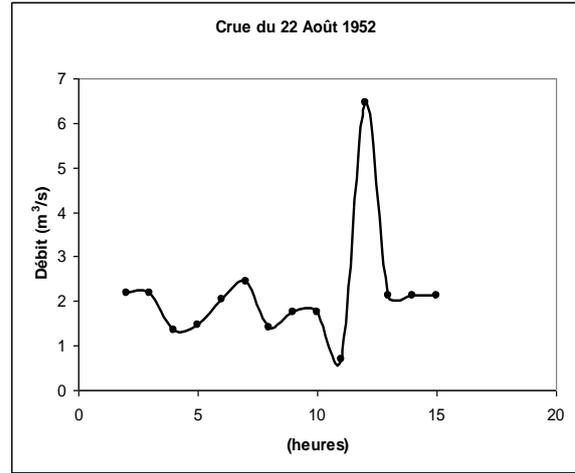
<b>Caractéristiques de la crue</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>Cv</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>
<b>Débit moyen de la crue</b> (m <sup>3</sup> /s)	77.87	71.96	0.92	385.00	2.14
<b>Débit max de la crue</b> (m <sup>3</sup> /s)	387.13	415.50	1.07	2,151.98	6.46
<b>Temps de montée de la crue</b> (heures)	7.26	18.80	2.59	216.00	0.92
<b>Durée totale de la crue</b> (heures)	17.87	35.45	1.98	360.00	3.00
<b>Volume de la crue</b> (Hm <sup>3</sup> )	3.27	3.83	1.17	24.68	0.11
<b>Cote de plan d'eau avant la crue</b> (m)	187.31	9.45	0.05	199.05	149.25
<b>Cote de plan d'eau après la crue</b> (m)	189.27	8.68	0.05	199.23	153.30
<b>Variation du plan d'eau</b> (m)	1.96	1.98	1.01	12.04	0.03-
<b>Vitesse de la crue au cours de déversement</b> (cm/h)	39.61	41.77	1.05	207.00	0.11
<b>Vitesse moyenne de la montée des eaux</b> (cm/h)	20.19	18.67	0.92	104.18	0.15-

Une première analyse du tableau 6.3 fait ressortir une grande variabilité des paramètres statistiques, particulièrement ceux relatifs au temps. Le tableau montre clairement que l'apport de crue varie de plus de 0.100 hm<sup>3</sup> à près de 25 hm<sup>3</sup>. Le plus fort apport enregistré est celui de la crue du 15 au 18/04/2004 (figure 6.6 a), tandis que le plus faible apport correspond à la crue du 22/08/1952 (figure 6.6 b). Il est aussi important de noter que le temps de montée le plus élevé correspond à la crue du 15/01/2009, soit 09 jours, pour un volume de plus de 14 hm<sup>3</sup> et un débit max instantané relativement faible 21 m<sup>3</sup>/s (figure 6.6 c). La crue du 25/08/1953 a atteint son débit de pointe en moins d'une heure, soit 55 minutes ou 0.92 heures (figure 6.6 d). Les résultats synthétisés du tableau font ressortir également que la retenue de Foum El Gherza a connu une variation très forte du plan, de plus de 12 m lors de la crue du 10 Octobre 1966 et qui fut la plus importante en terme de magnitude puisque le débit max instantané enregistré est de 2152 m<sup>3</sup>/s (figure 6.6 e). La crue du 03 /09/1952 fut aussi l'une des plus importantes en matière de variation du plan d'eau, soit environ 11.46 m, pour une durée de 11h (figure 6.6 f). Cette crue fut aussi l'une des plus rapides avec une vitesse de crue de près de 190 cm/h et une vitesse de montée de près de 104.18 cm/h. Cette dernière n'est autre que le rapport de la différence de variation du plan d'eau avant et après la crue par la durée totale de la crue. Mais la crue la plus rapide et enregistrée d'après les données disponibles est certainement celle du 22 Avril 1995 avec une vitesse de déversement de 207 cm/h (figure 6.6 g). Cette rapidité est expliquée en grande partie par le temps de montée assez court de l'ordre d'une heure. Par ailleurs, cette crue présente les caractéristiques d'être l'une des plus importantes du point de vue puissance avec un débit max instantané de 1540 m<sup>3</sup>/s et le débit max moyen le plus élevé, soit 385 m<sup>3</sup>/s. La crue du 15 Janvier 2009 avec un volume de plus de 14 hm<sup>3</sup> a été la plus lente et la plus longue avec une durée de crue de 15 jours et une vitesse de crue de près de 0.11 cm/h et une vitesse de montée beaucoup plus longue de 0.04 cm/h. Le même constat est observé pour la crue du 17 Mars 2009 (figure 6.6 h), en raison de la plus faible variation enregistrée rapportée à la durée de la crue qui est supérieure à la moyenne (17.87 h). Les figures 6.6 a à h illustrent bien ces observations.

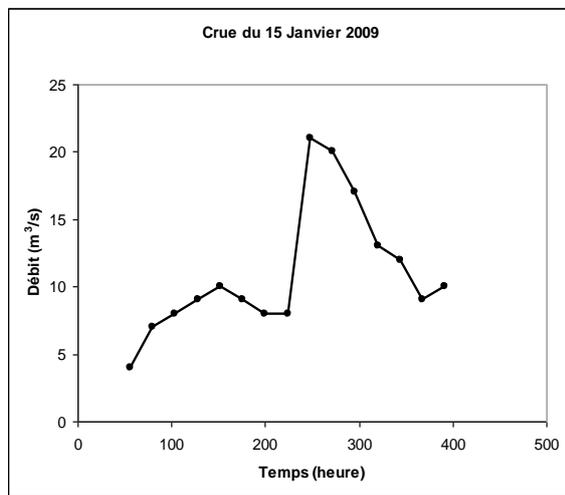
Ces crues représentent sur la figure suivante :



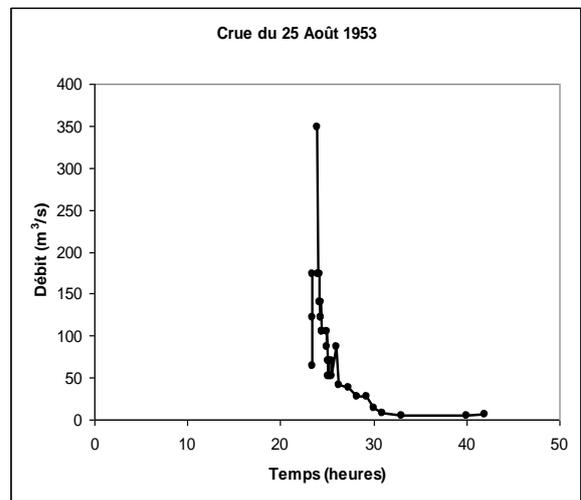
a)



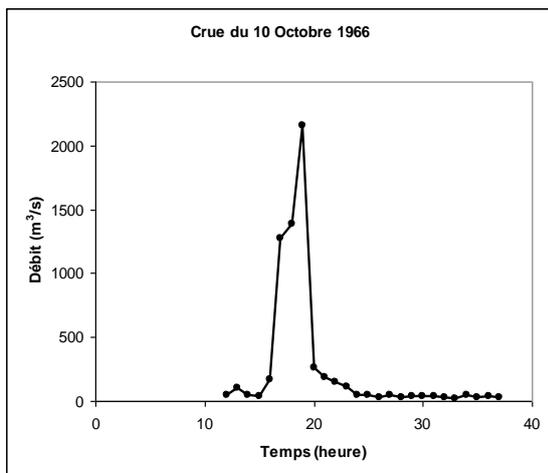
b)



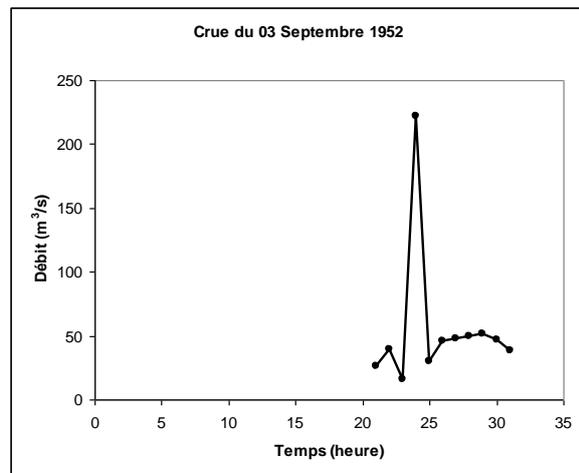
c)



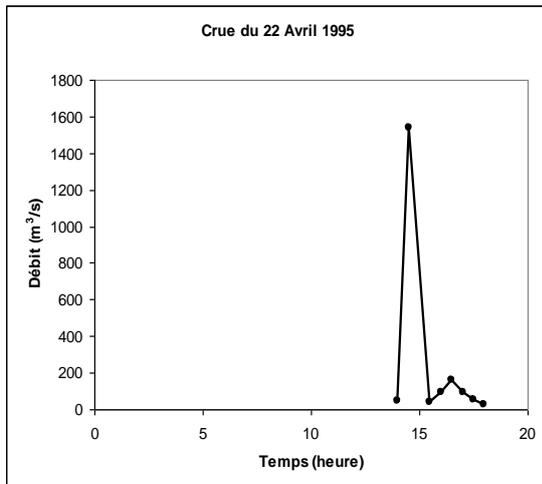
d)



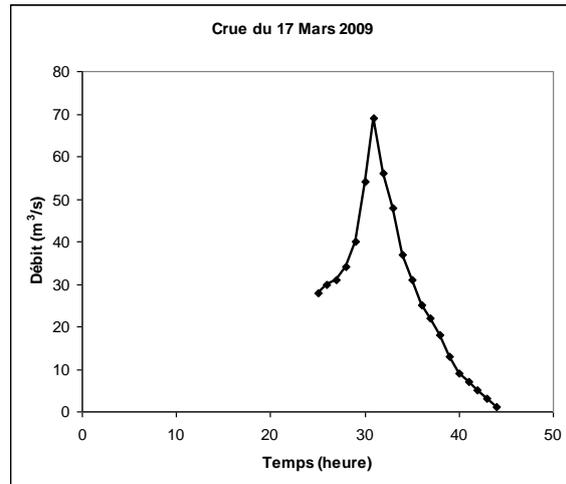
e)



f)



g)



h)

**Figure 6.6. Hydrogrammes de crues**

Dans ce qui suit nous détaillerons l'analyse des paramètres cités au tableau 6.3.

## 6.2. Analyse des caractéristiques des crues de oued Abiod

### 6.2.1. Analyse du temps de montée

C'est le paramètre qui présente la plus grande variabilité ( $C_v = 2.59$ ). L'analyse du temps de montée et du temps de base des crues a montré leur caractère très aléatoire vis-à-vis des volumes et des débits max de crue. En effet, on constate à la figure 6.7 que pour tout volume ou débit importants ne correspond pas nécessairement un temps de montée ou une durée de crue importants.

Bien que la forme du bassin de l'oued El Abiod soit allongée, Les crues enregistrées présentent des montées rapides qui traduisent, une aptitude élevée au ruissellement. Le temps de concentration est en principe de 9.5 heures, il peut être réduit de moitié si la crue se produit dans la partie médiane du bassin (région de T'Kout - Ghassira). Dans cette partie les pentes sont très accentuées d'où un encaissement rapide des vitesses d'écoulement et un encadrement du lit dans l'absence d'un champ d'inondation particulièrement au niveau de la confluence oued Abiod – oued Zellatou qui se situe à

1940 m d'altitude. Par contre à partir de cette confluence le profil de oued Abiod devient assez régulier à l'exception de quelques légères ruptures de pente annonçant la partie plaine semi-aride.

*Il est à noter que le bassin versant de oued Abiod est boisé sur une superficie représentant approximativement 40 % de la superficie totale. Ce couvert boisé se rencontre dans les parties hautes du bassin versant, à la fois sur le versant Nord-Ouest et sur le versant Sud Est. Le reste du bassin est dénudé à l'exception de quelques zones cultivées. Le fond des oueds est souvent marqué par la présence de palmeraies.*

Sur le graphique de la figure 6.7, sont présentés à titre d'illustration les crues du 10 Octobre 1966 et celle du 22 Avril 1995. La première est la plus importante du point de vue magnitude, soit un débit max instantané de 2152 m<sup>3</sup>/s, mais présentant un temps de montée relativement moyen (08h). Le volume de cette crue est également le 2<sup>ème</sup> plus important apport de la série analysée. La deuxième crue, celle d'avril 1995 est la plus importante en termes de débit moyen, soit 385 m<sup>3</sup>/s, mais elle peut être considérée comme l'une des plus rapides crues enregistrées au droit du barrage de Foum El Gherza, soit 01 heure de temps de montée et 04 heures de durée totale. Nous avons constaté également que toutes les crues ayant un débit max instantané dépassant 1000 m<sup>3</sup>/s présentent un temps de montée inférieure à 04 heures. Le graphique de la figure 6.6 montre aussi que le temps de montée de la crue du 15/01/2009, soit 09 jours est le plus élevé pour un débit max instantané relativement faible 21 m<sup>3</sup>/s.

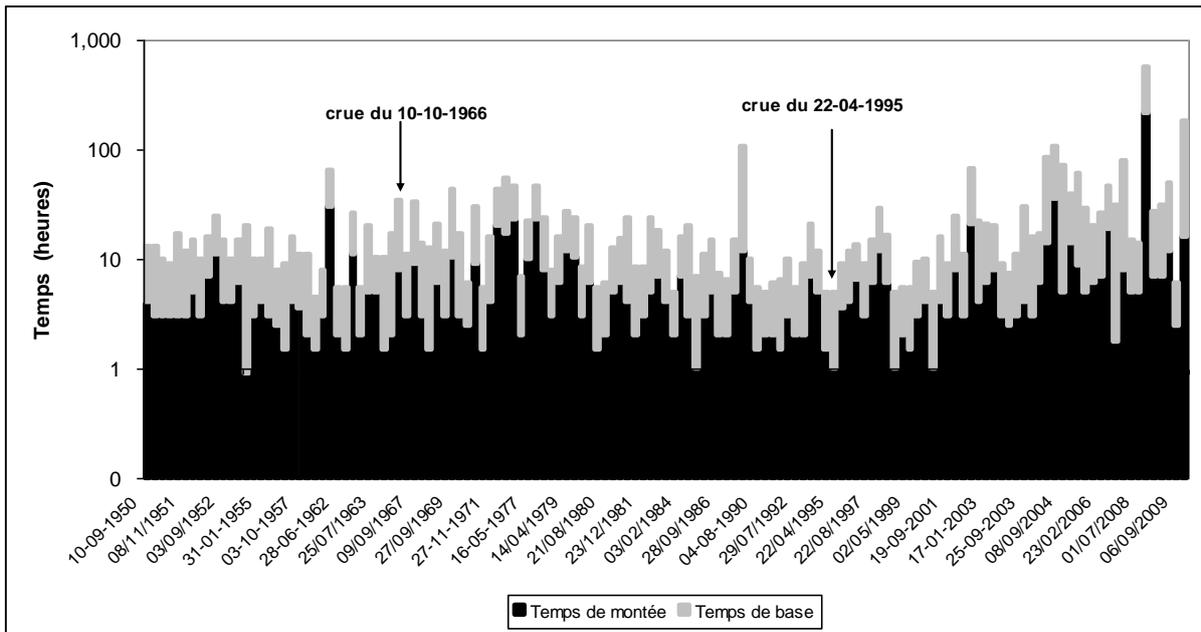


Figure 6.7. Histogrammes de variation des temps de montée et de base .

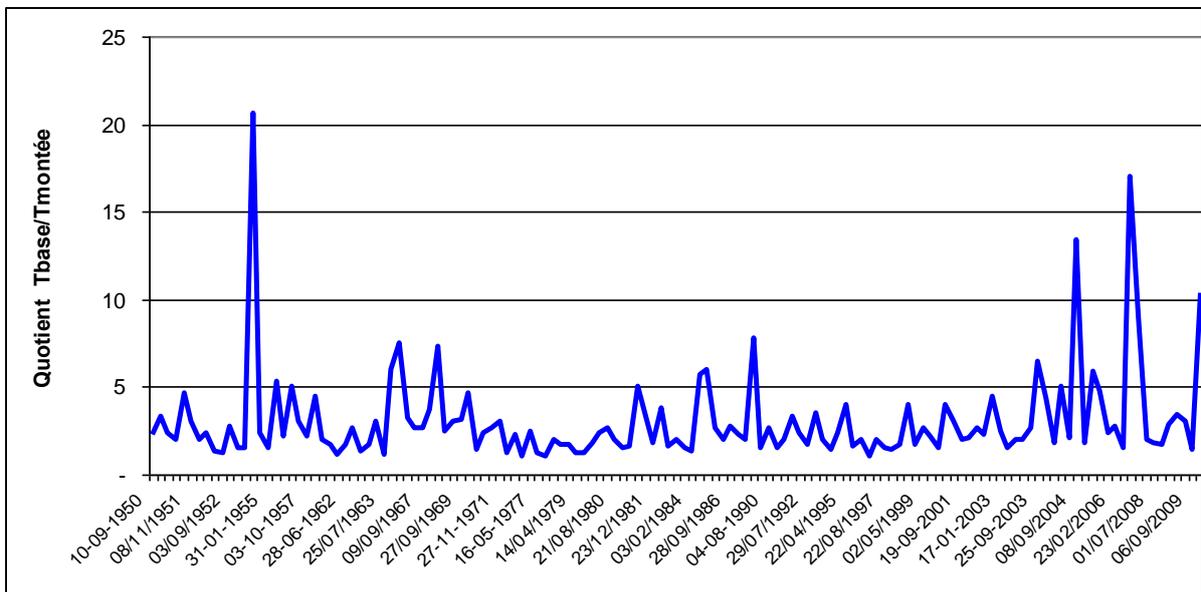


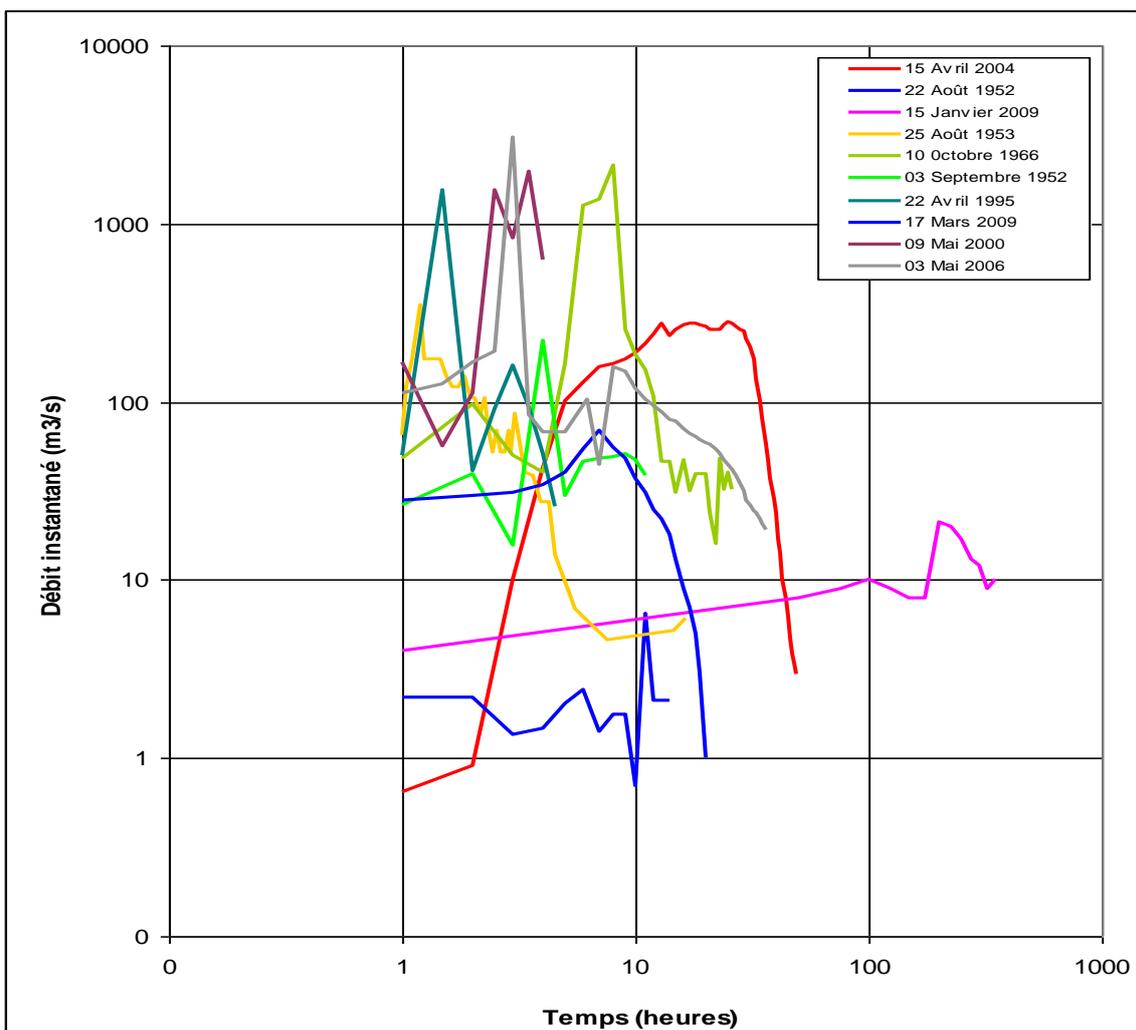
Figure 6.8. Variation du rapport Tbase /Tmontée

### 6.2.2. Analyse de la forme des hydrogrammes de crues

La forme des hydrogrammes de crues est généralement définie par divers paramètres statistiques tels que les coefficients d'asymétrie, le coefficient d'aplatissement. Les caractéristiques telles que les temps de montée et de base sont aussi des paramètres clés dans la détermination de la forme d'un hydrogramme. S'agissant de crues régularisées par le barrage, il a été observé que la plupart des hydrogrammes sont très typiques au cas des retenues. Il est à rappeler que l'enregistrement des débits de crues au droit du barrage de Foum El Gherza n'obéit pas au même protocole que celui relatif aux stations de jaugeage. Les débits de crues au barrage sont déterminés par conversion des apports. Les apports exprimés en  $\text{Hm}^3$  sont déduits des variations du plan d'eau dans la retenue.

Un essai de regroupement des principales crues est montré à la figure 6.9. Dans ce regroupement, il a été considéré l'enregistrement total de chaque crue depuis le début de la crue jusqu'au retour au débit initial ou de base. Pour permettre une comparaison synchrone des crues, celles-ci sont supposées débutées au même moment en gardant toutefois les relevés d'origine. En raison de la forte amplitude des débits, les hydrogrammes ont été représentés en échelle bi-log afin de permettre une meilleure comparaison des crues.

D'emblée on observe les particularités des crues de oued Abiod au droit du barrage de Foum El Gherza et par là, les difficultés du suivi des crues, en particulier les plus fortes. Il est à remarquer que la majorité des hydrogrammes sont enregistrés selon un pas de temps de 01 heure. Toutefois certaines crues sont relevées à un pas de temps de 30 minutes. Les données collectées sur l'enregistrement des crues indiquent que seulement 02 crues, celles du 25 Août 1953 et du 05 Septembre 1953 présentent des relevés au pas de 05 et 10 minutes. Plusieurs crues sont marquées par un début de montée relativement élevé, comme c'est le cas des crues du 03 Septembre 1952, du 25 Août 1953, du 10 Octobre 1966, du 22 Avril 1995, du 09 Mai 2000, du 03 Mai 2006 et du 17 Mars 2009.



**Figure 6.9. Hydrogrammes résultants de quelques crues**

Près de 70 % des hydrogrammes concernés par la présente étude ont une forme en général aigue. Les valeurs du coefficient d'aplatissement ont permis également de préciser que 20 % des hydrogrammes sont très aigus. Il est à noter en particulier que la totalité des crues très aigues se sont produites en Septembre. De plus toutes les crues dont le débit max instantané est supérieur à  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  présentent une forme aigue très prononcée, comme c'est le cas des

crues du 10-10-1966, du 22/04/1995, du 30/09/2001, et du 17-01-2003. Le tableau 6.4 résume les principales formes reconnues.

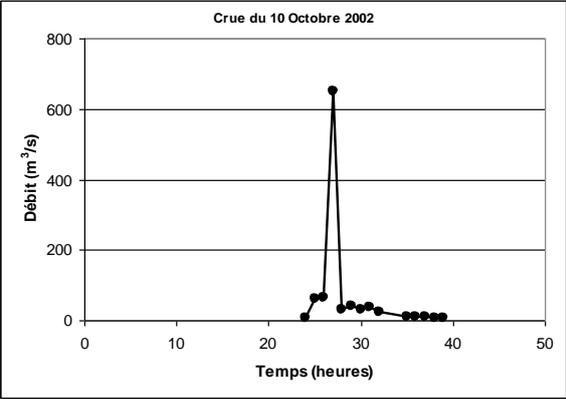
**Tableau 6.4 : Formes des Hydrogrammes des crues**

Dates	Coefficient d'aplatissement	Forme de l'hydrogramme
10-09-1950	7.92	aigue
16-17/09/1950	9.27	aigue
23-09-1950	7.45	aigue
19-20/09/1951	13.87	Très aigue
03et04/09/1952	9.88	aigue
21/09/1952	2.3	plate
23-09-1952	8.83	aigue
22-09-1955	11.11	aigue
29-30/09/1955	8.01	aigue
12-09-1963	8.79	aigue
13/09/1963	3.47	modérée
10/10/1966	7.65	aigue
08-09/10/1967	7.9	aigue
27-29/09/1969	9.79	aigue
03et04/09/1972	6.29	aigue
23et24/09/1975	16.11	Très aigue
06et07/09/1976	12.36	Très aigue
06/09/1977	0.54	Très plate
02-03/09/1979	13.99	aigue
11-09-1979	3.43	modérée
26/09/1980	1.35	plate
19-09-1981	-0.58	plate
14/09/1982	2.97	plate
28/09/1986	3.99	modérée

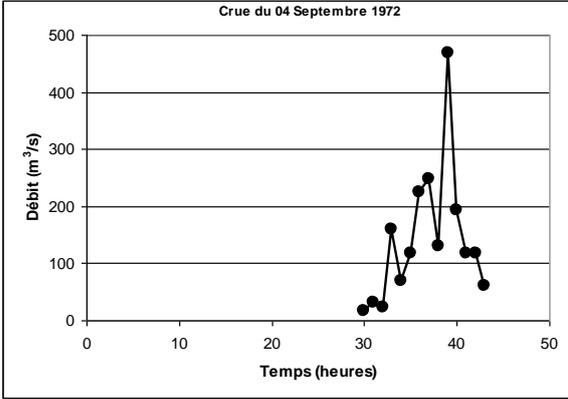
09/09/1988	2.52	plate
20-21/09/1989	12.53	Très aigue
21-25/09/1989	7.58	aigue
31/08-01/09/1989	11.44	Très aigue
05/09/1991	6.32	aigue
16/09/1991	2.49	plate
22/04/1995	7.84	Très aigue
24/09/1995	10.67	Très aigue
18-09-1997	8.67	aigue
27/09/2000	12.6	aigue
07/09/2001	7.38	aigue
19-09-2001	4.33	modérée
30/09/2001	15.71	Très aigue
17-01-2003	14.91	Très aigue
04/09/2003	7.16	aigue
25-26/09/2003	14.68	Très aigue
07-09-2004	13.82	Très aigue
08-11/09/2004	1	Très plate
14-09-2006	8	aigue
06/09/2009	5.22	aigue

La recherche d'un hydrogramme type de crue a été concluante, puisque parmi les 43 hydrogrammes représentés au tableau 6.4, celui de la crue du 29 Mars 2004 est une forme très idéalisée (figure 6.10 c). Les hydrogrammes analysés peuvent être synthétisés selon diverses formes mais les plus typiques sont celles représentées à la figure 6.10.

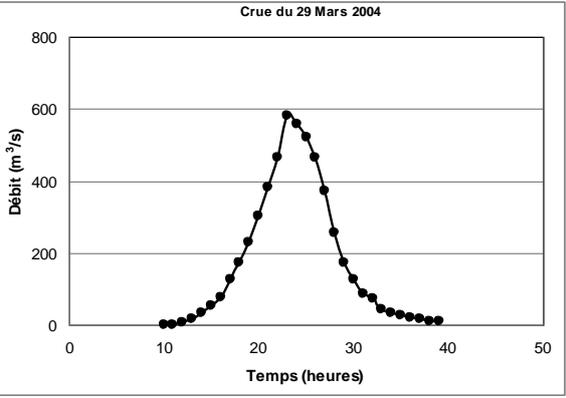
On remarque que l'hydrogramme de la crue du 04 Sept 1972 présente plusieurs pointes, hausses et plusieurs baisses qui témoignent de la pluralité responsable de la crue, définissant par là un hydrogramme complexe (figure 6.10 b). Les crues a) ; c) d) et e) montrent un débit de pointe très distinct et une décrue complète (décrue + tarissement) et caractérisant ainsi un hydrogramme simple.



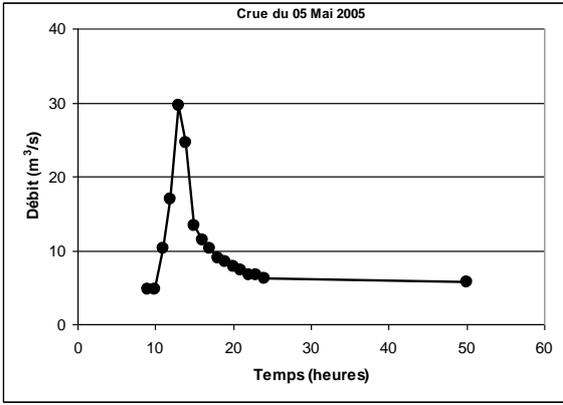
a)



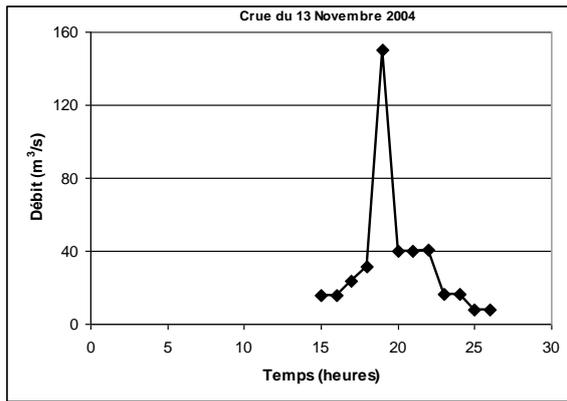
b)



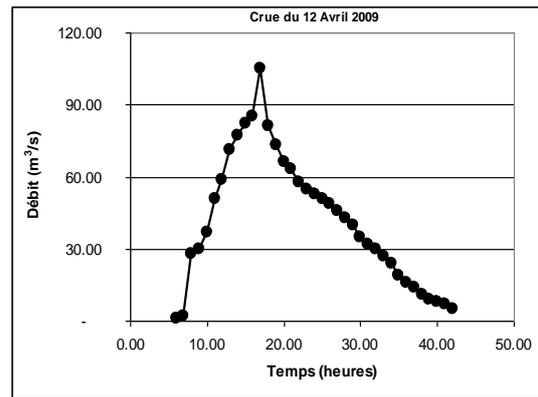
c)



d)



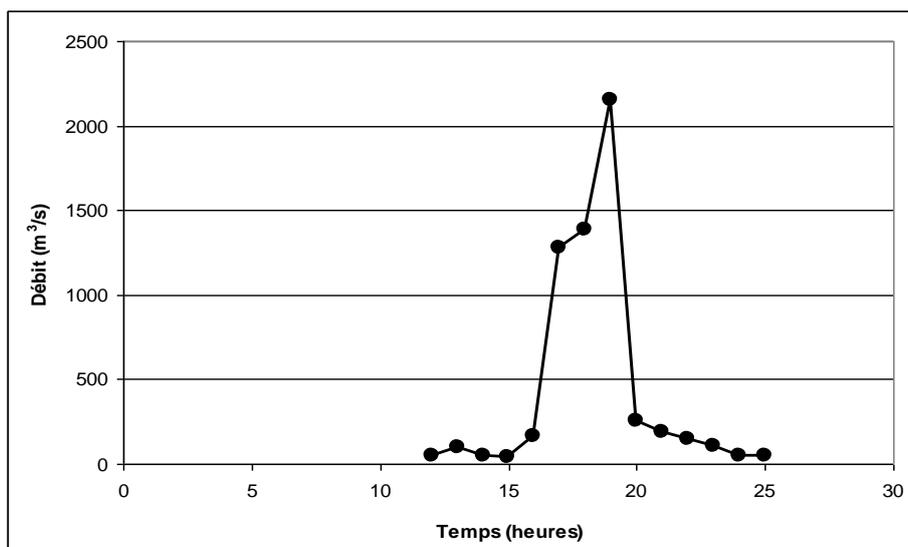
e)



f)

**Figure 6.10. Hydrogrammes types des crues de oued Abiod**

Les crues c) et f) en particulier sont caractérisées par une envergure plus importante due au temps de base relativement élevé par rapport aux autres hydrogrammes types. L'hydrogramme a) du 10 Octobre 1966 est très typique du régime des crues de oued Abiod car près de 24 % des hydrogrammes observés se rapprochent de cette forme. Cette crue qui appartient au type a) peut être considérée comme étant la plus exceptionnelle de toutes les crues, de par le débit max, le débit moyen, le volume de la crue, la variation du plan d'eau et la lame ruisselée. La forme des hydrogrammes est très aigüe (figure 6.11).



**Figure 6.11. Hydrogramme de la crue historique du 10 Octobre 1966**

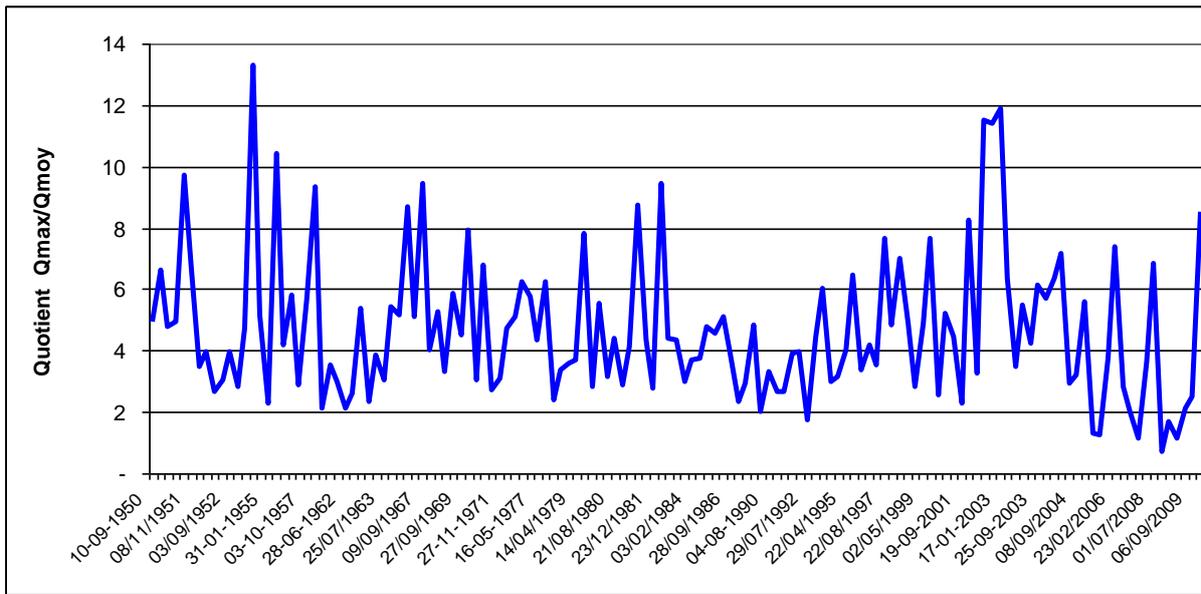
D'un autre coté les crues de Mars, Avril et Mai (saison de printemps) sont caractérisées par un hydrogramme plus large Le tableau suivant donne les dates d'occurrence des crues typiques vis-à-vis de leurs principales caractéristiques. Le tableau fait ressortir la dominance des crues de Septembre et d'Octobre.

**Tableau 6.5 : Caractéristiques des crues types de oued Abiod**

<b>Caractéristiques de la crue</b>	<b>Date de la crue</b>
Débit moyen de la crue	Crue du 04 Septembre 1972
Débit max de la crue	Crue du 10 Octobre 2002
Temps de montée de la crue	Crue du 10 Octobre 2002
Temps de base de la crue	Crue du 29 Mars 2004
Volume de la crue	Crue du 29 Mars 2004
Variation du plan d'eau	Crue du 04 Septembre 1972
Vitesse de la crue au cours de déversement	Crue du 10 Octobre 2002
Vitesse moyenne de la montée des eaux	Crue du 04 Septembre 1972

### **6.2.3. Analyse du rapport $Q_{max}/Q_{moyen}$**

C'est un paramètre indicatif de la magnitude de la crue. Il permet de relativiser la répartition de l'ensemble des débits enregistrés pendant la crue par rapport au pic atteint pendant un temps déterminé. Ainsi l'on constate que la crue du 25-26 Août 1953 (figure 6.12) montre un plus grand rapport que le reste des crues et reste incomparable avec les crues historiques telles celles du 10 Octobre 1966, du 22 Avril 1995, du 08-09 Mai 2000, du 17 Avril 2004 ou celle du 03-04 Mai 2006. A rappeler que la crue du 25-26 Août 1953 est la plus rapide et avait atteint son débit de pointe en moins d'une heure (55minutes).

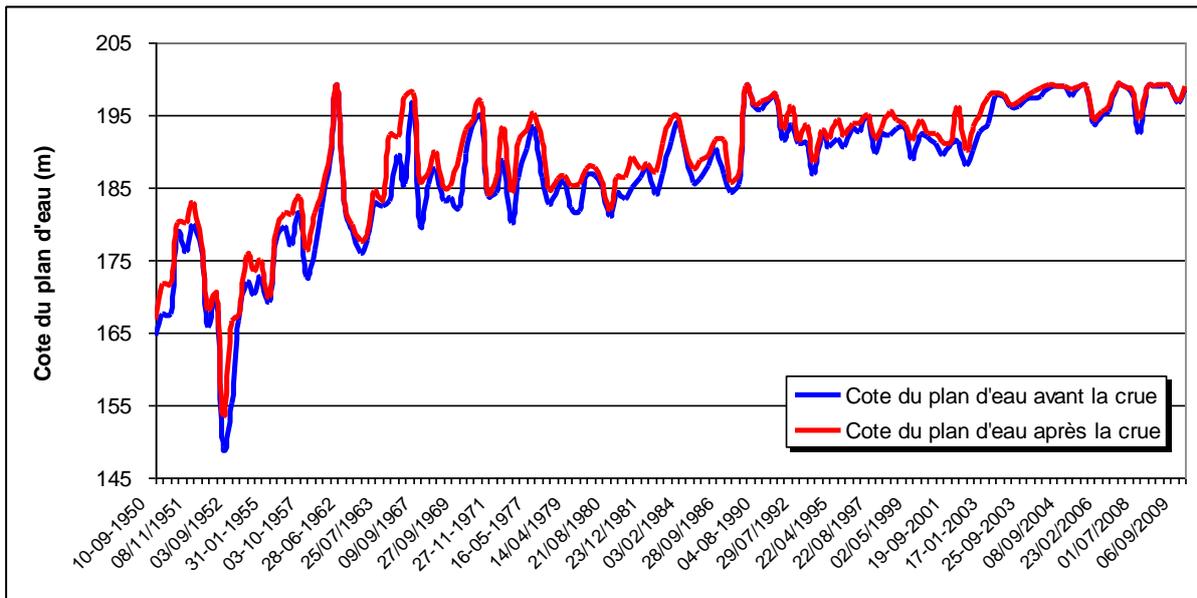


**Figure 6.12. Variation du rapport  $Q_{max\ inst} / Q_{moy}$**

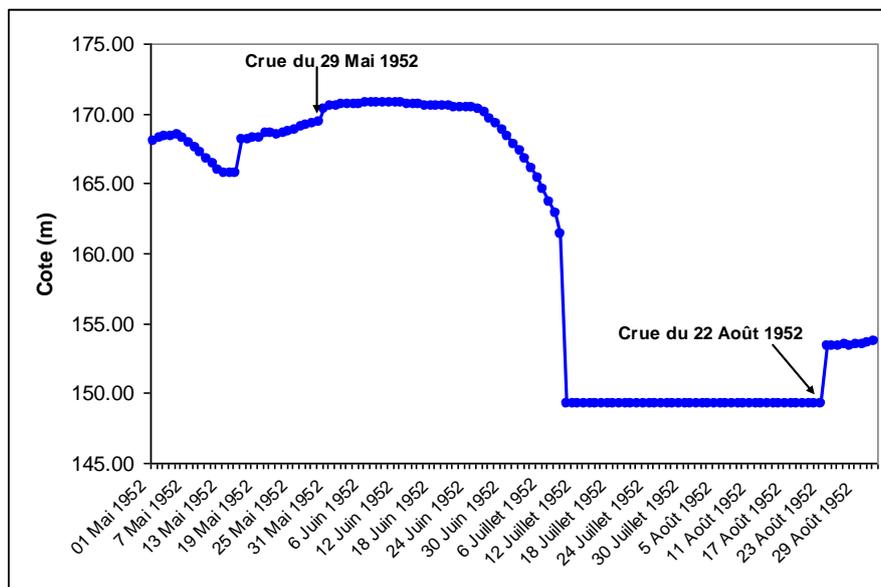
#### 6.2.4. Analyse de la variation du plan d'eau

Le graphique de la figure 6.13 est un graphique usuel de l'évolution du remplissage de la retenue du barrage de Foum el Gherza sur la période allant de 1950 à 2010. C'est un graphique qui tient compte de l'évolution des dépôts de sédiments dans la cuvette du barrage.

La plus importante diminution du plan d'eau de la retenue du barrage de Foum El Gherza a été celle enregistrée entre les crues successives du 29 Mai 1952 et du 22 Août 1952. La cote du plan d'eau est passée de 170.30 m à 149.25 m, soit une diminution de près de 21 m, entre les deux dates (figure 6.14).



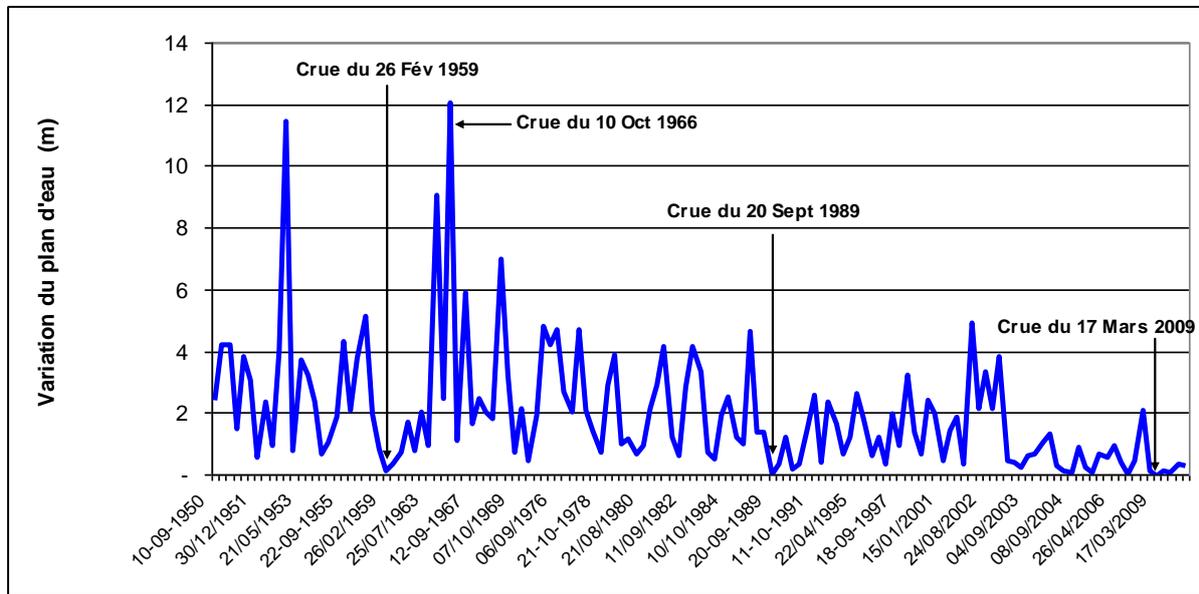
**Figure 6.13. Variation du plan d'eau avant et après la crue**



**Figure 6.14. Variation de la cote dans la retenue du barrage**

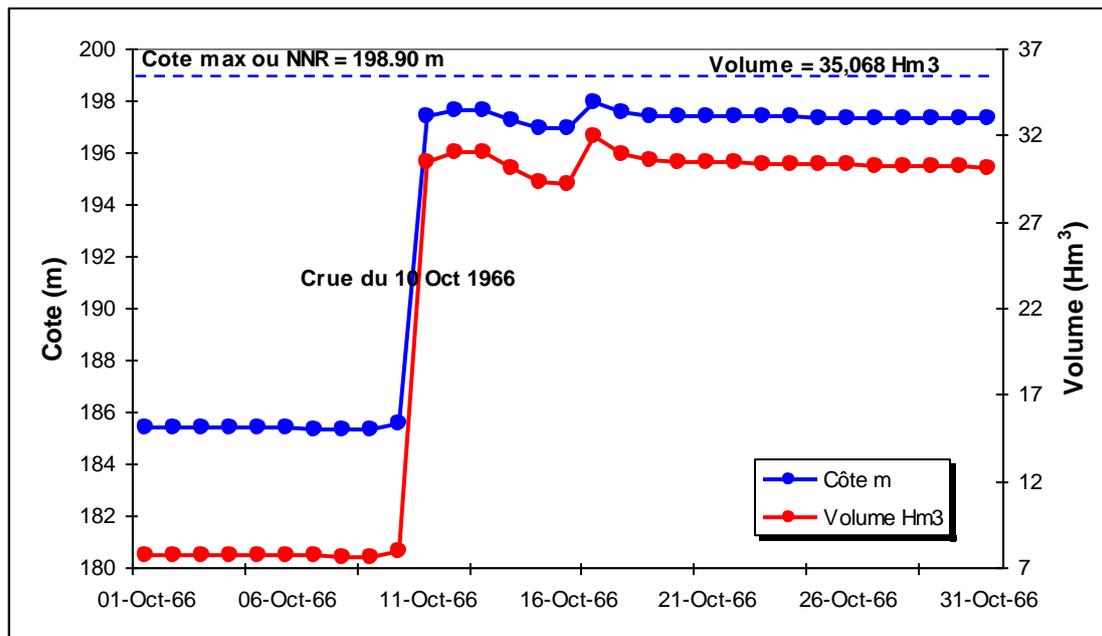
**(période du 01 Mai 1952 au le 31 Août 1952)**

La figure 6.15 est une autre représentation de la variation du plan d'eau dans la retenue du barrage de Foum El Gherza. A partir de 2003 et jusqu'à 2010, on constate une faible variation du plan d'eau avant et après la crue qui est de l'ordre de 0.46 m.

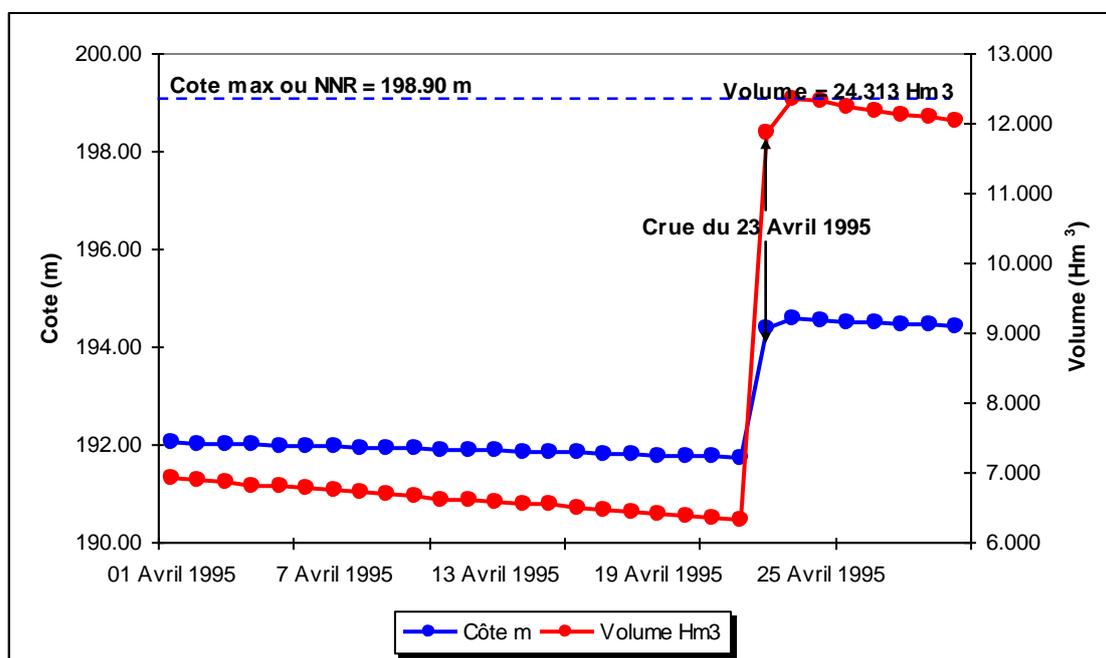


**Figure 6.15. Variation du plan d'eau pour l'ensemble des évènements enregistrés.**

Nous nous sommes intéressés à représenter la variation du plan d'eau pour les crues historiques. Les figures 6.16 et 6.17 correspondent aux crues du 10 Octobre 1966 et du 22 Avril 1995 selon un pas de temps mensuel.



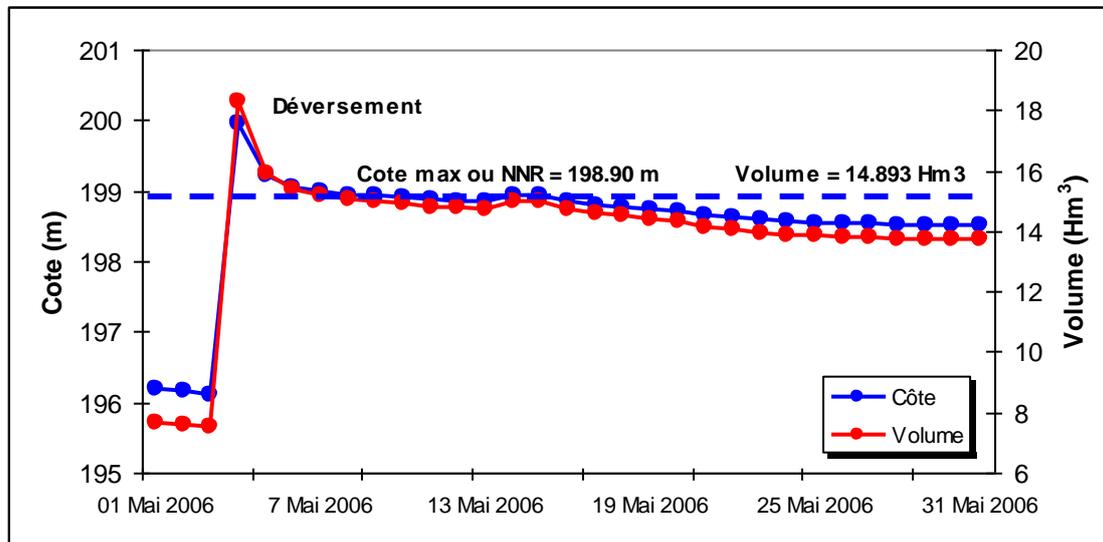
**Figure 6.16. Courbe de remplissage de la retenue de Foum El Gherza pour le mois d'Octobre 1966**



**Figure 6.17. Courbe de remplissage de la retenue de Foum El Gherza pour le mois d'Avril 1995**

Les taux de remplissage sont de 49 % et de 87 % respectivement pour les crues du 10 Octobre 1966 et du 22 Avril 1995. Par contre la crue du 03-05 Mai 2006 montre une autre configuration du remplissage (Figure 6.18). On s'aperçoit aisément que c'est une crue qui a déversé avec un taux de

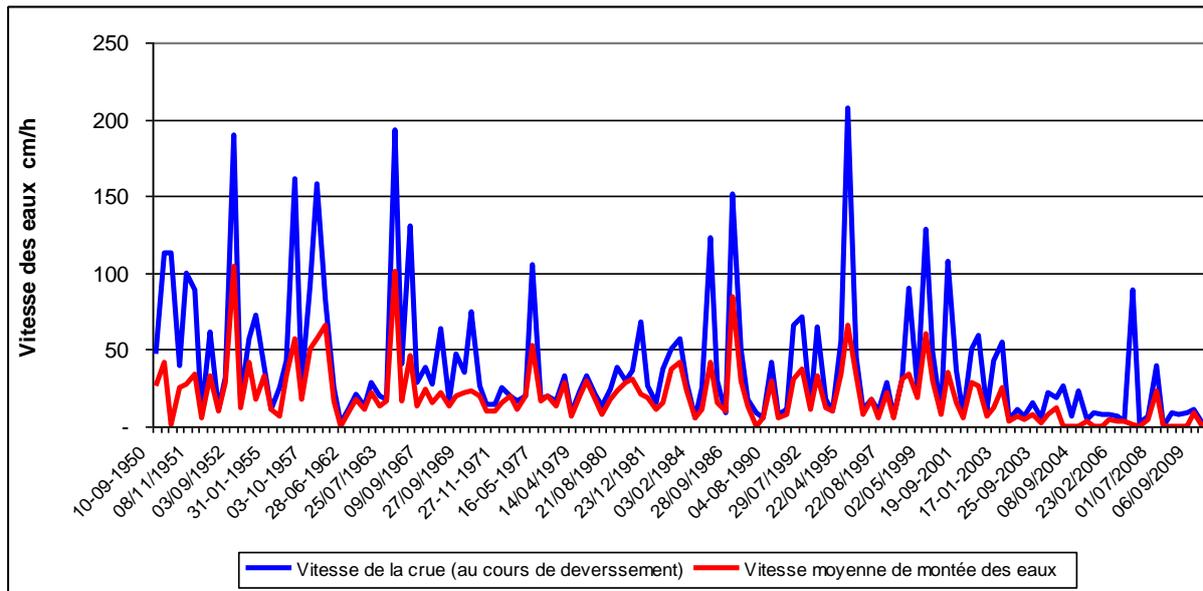
remplissage de près de 123 %. Ce taux serait de près de 282 % selon le si l'on tenait compte du levé bathymétrique de 1952 et qui situait la cote maximale à 195.65 m. Le volume de la crue est de 8.44 Hm<sup>3</sup>.



**Figure 6.18. Courbe de remplissage de la retenue de Foum El Gherza pour le mois de Mai 2006**

### 6.2.5. Analyse de la vitesse des eaux durant les crues

Ce paramètre est très délicat du fait de la variation sensible du plan d'eau si la crue est rapide. Il dépend tout aussi bien que le reste des paramètres de la fréquence des enregistrements. La vitesse des eaux durant la crue sera différente que l'on considère le temps de montée ou la totalité de durée c'est-à-dire le temps de base. Les données disponibles indiquent que la vitesse moyenne des eaux durant la montée est de 20 cm/h. Le graphique de la figure 6.19 montre que la période 2003-2010 est caractérisée par des vitesses beaucoup plus faibles en raison de la faible variation du plan d'eau durant cette période. Ce constat a été confirmé précédemment par les figures 6.12 et 6.13 lors de l'analyse de la variation du plan d'eau

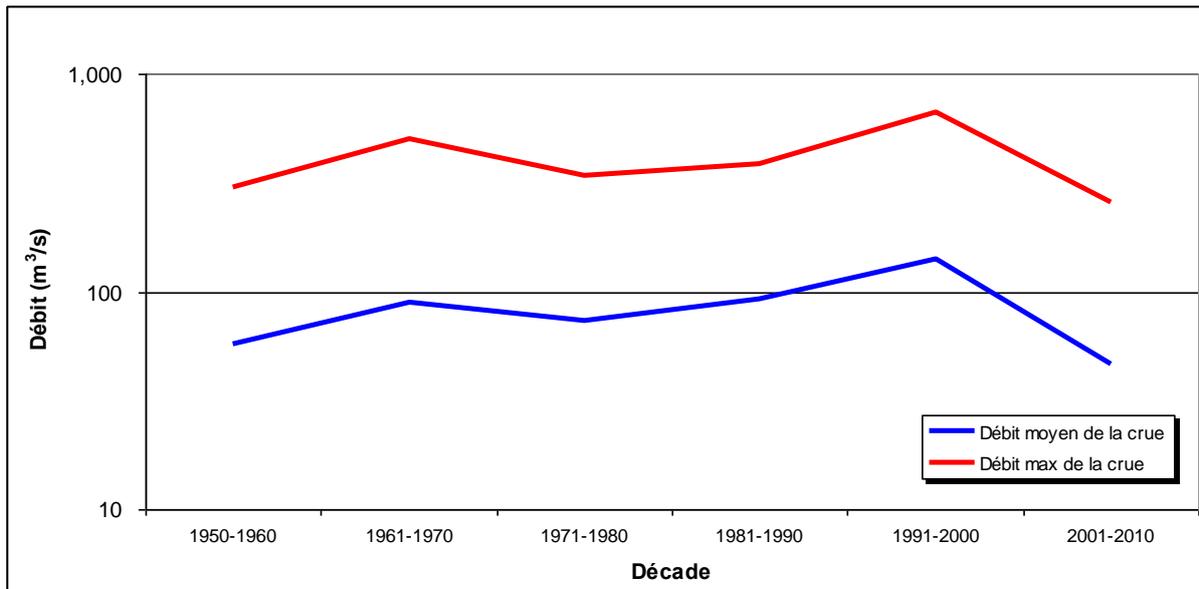


**Figure 6.19. Variation des vitesses des eaux durant les crues**

### 6.2.6. Analyse des l'évolution des débits par décade

Le graphique de la figure 6.20 n'est autre qu'une synthèse des graphiques 6.4, 6.5 et 6.15.

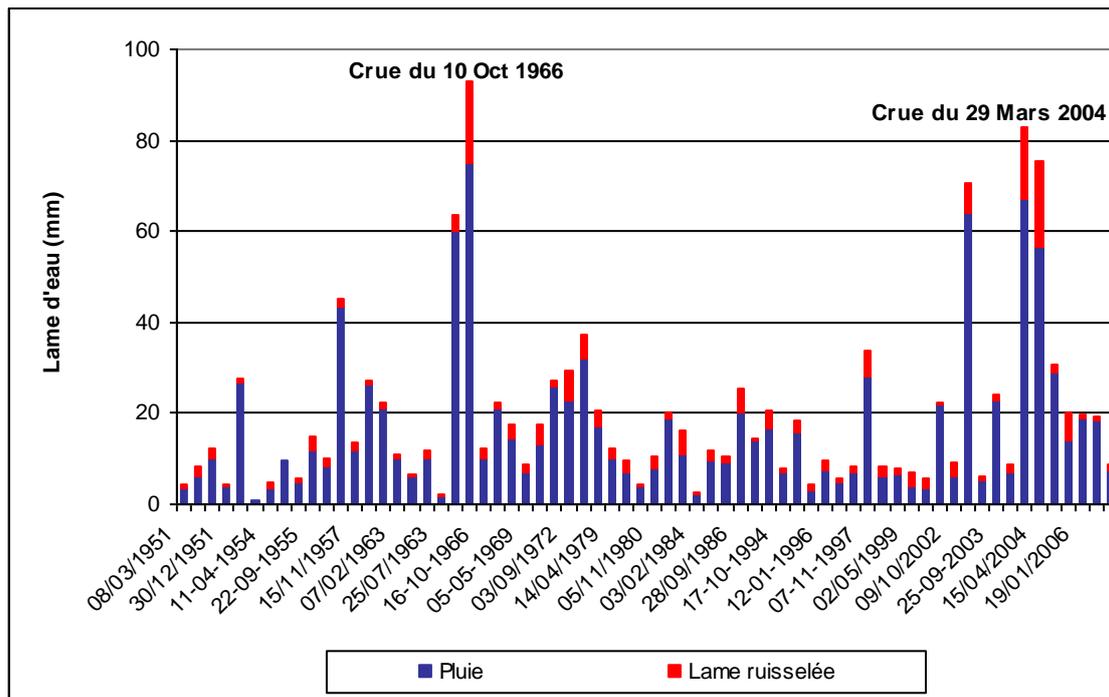
Sur trois décades (1971-2000), il y a eu augmentation sensible des débits moyens et max instantanés. Le rapport  $Q_{max}/Q_{moy}$  est pratiquement le même pour les deux premières décades (1950-1960 et (1961-1970) et pour la dernière décade (2001-2010).



**Figure 6.20. Variation des débits max instantané et moyen par décade  
(Période 1950-2010)**

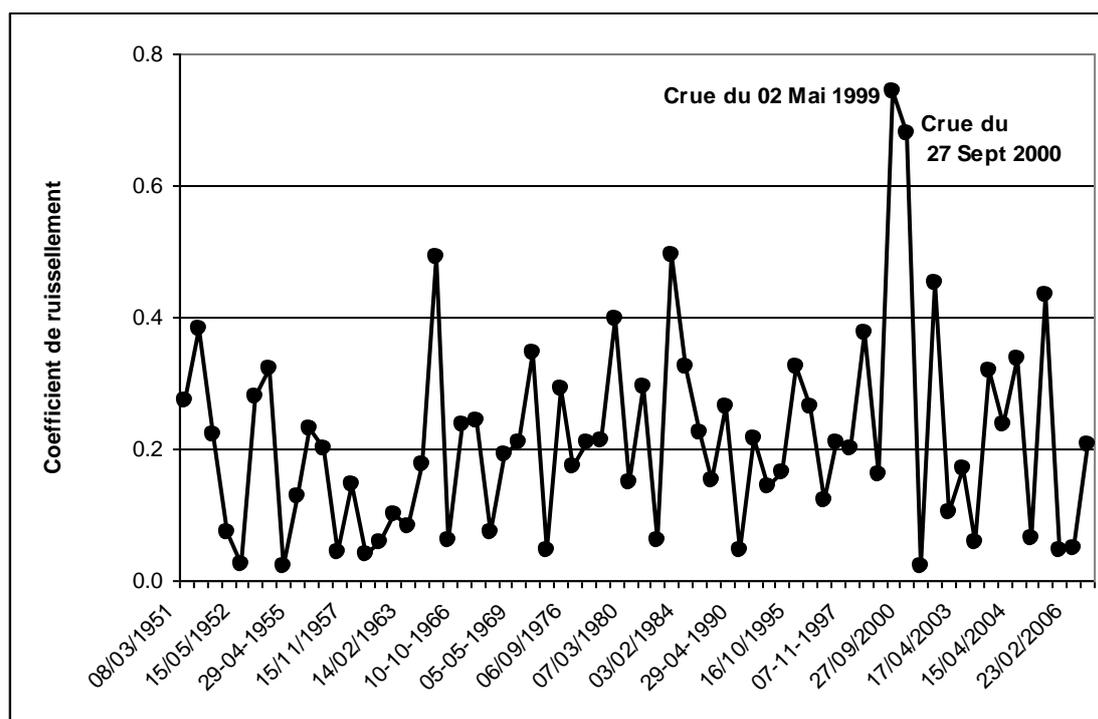
### 6.2.7. Analyse des lames ruisselées

Nous retrouvons à la figure 6.21 les ruissellements exceptionnels du 10 Octobre 1966, du 29 Mars 2004 et 15 Avril 2004.



**Figure 6.21. Variation des lames ruisselées et précipitées du bassin de oued Abiod au droit du barrage de Foum El Gherza (Période 1950-2010)**

Le graphique de la figure 6.22 montre les coefficients de ruissellements des crues de oued Abiod au droit du barrage de Foum El Gherza. Il est important de noter que seules les données pluviométriques de la station du barrage étaient disponibles au pas de temps journalier. De ce fait dans le calcul des coefficients de ruissellements, il a été considéré uniquement ces données. Le bassin de oued Abiod est un bassin allongé et compte en plus 5 autres stations pluviométriques localisées bien à l'amont de la retenue du barrage et dont les données ne sont pas disponibles. La variabilité spatiale des averses à l'échelle du bassin est importante. Par conséquent les pluies tombées à l'amont de la retenue du barrage se constituent comme apports et sont comptabilisés dans les débits observés au droit du barrage. Ainsi et de par cette considération, les calculs concernant le coefficient de ruissellement sont très grossiers.

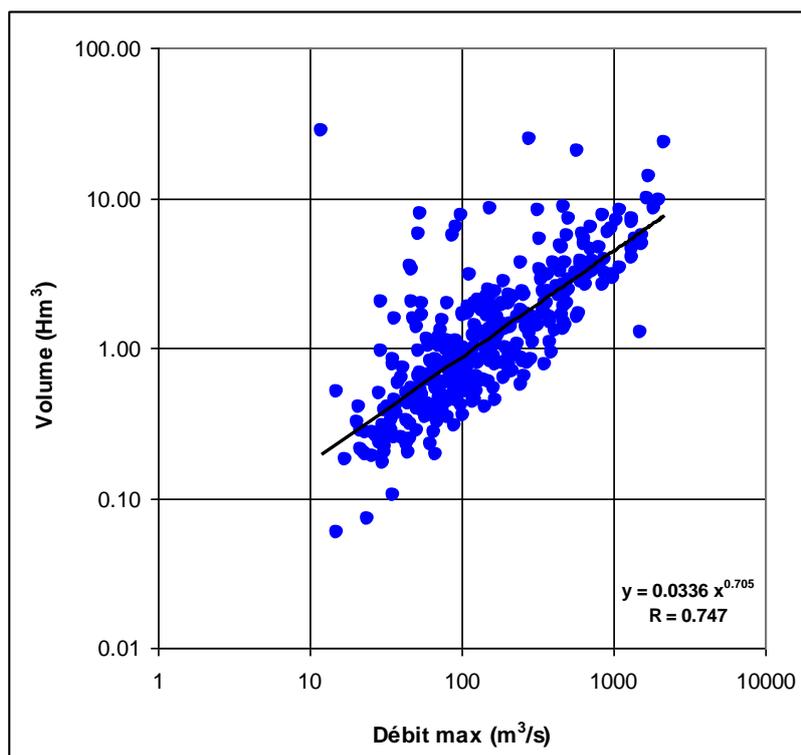


**Figure 6.22. Coefficients de ruissellements du bassin de oued Abiod au droit du barrage de Foum El Gherza (Période 1950-2010)**

Il est surprenant de constater que la majorité des crues dont le débit max instantané dépasse  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  ont des coefficients de ruissellement assez faibles, de l'ordre de 0.25. Ces crues sont supposées avoir une aptitude de ruissellement élevée, mais le manque de données pluviométriques aux stations situées en altitude constitue une contrainte à pouvoir examiner l'importance du coefficient de ruissellement de manière correcte. Il est à rappeler par ailleurs que l'amplitude de variation de la pluviométrie dans le bassin versant de oued Abiod est d'environ 450 mm de l'amont à l'aval.

### 6.3. Relation Apport – débit max

C'est une relation caractéristique des retenues de barrages et qui permet d'identifier le type de déversement des eaux de crues. Cette relation a été recherchée sur l'ensemble des débits mis à notre disposition dans cette étude. Le but était de retrouver le modèle puissance entre le volume des crues et le débit déversé. Le graphique de la figure 6.23 illustre cette relation. La relation semble être plus circonscrite si l'on considère les limites graphiques :  $Q_{\text{max}} < 10 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $V < 10 \text{ Hm}^3$



**Figure 6.23. Relation Volume de crue – Débit max de crue**

#### **6.4. Analyse des courbes de montée et de décrue**

L'hydrogramme d'une crue représente l'image la plus vraisemblable de la dynamique des débits d'un cours d'eau à travers une section donnée. La forme de l'hydrogramme dépend de plusieurs facteurs entre autres : La taille du bassin, La forme du bassin, Les caractéristiques de la pluie (durée, hauteur, intensité) et la répartition de la pluie sur le bassin.

La présente étude est terminée par l'analyse de la dynamique de la crue en déterminant les équations de montée et de décrue pour les crues typiques du bassin de oued Abiod au droit du barrage de Foum El Gherza. Les crues concernées par cette analyse sont celles qui présentent un nombre significatif de points lors des phases de montée et de décrue. Les résultats sont présentés au tableau 6.5.

**Tableau 6.6 : Equations de montées et de décrues des crues de oued Abiod**

Dates d'occurrence des crues	loi de montée	R	loi de décrue	R
03/10/1957	$y = 6E-06 e^{1.22x}$	0.84	$y = 3E+13 x^{-9.81}$	0,78
27/02/1959	$y = 5E-06 e^{0.30x}$	0.98	$y = 2E+47 x^{-26.90}$	0.99
12/09/1963	$y = 5E-13 e^{3,39x}$	0.99	$y = 2E+07 x^{-4.33}$	0,80
10/10/1966	$y = 4E-09 x^{9.04}$	0.86	$y = 4E+17 x^{-11.47}$	0.93
10/09/1967	$y = 1E-40 x^{29.18}$	0.96	$y = 2E+18 e^{-1.22x}$	0.99
04/09/1972	$y = 7E-16 x^{11.13}$	0.89	$y = 5E+32 x^{-18.94}$	0.95
06/01/1977	$y = 5E-08 e^{2.41x}$	0.99	$y = 4E+20 x^{-17.71}$	0.88
11/09/1979	$y = 4E-08 x^{8.31}$	0.93	$y = 7E+15 x^{-11.96}$	0.92
10/10/1979	$y = 8E-16 x^{11.6}$	0.85	$y = 2E+32 x^{-20.80}$	0.89
24/06/1981	$y = 6E-09 e^{1.10x}$	0.99	$y = 1E+21 x^{-13.76}$	0.77
23/12/1981	$y = 7.46 x^2 - 26.94 x + 34.72$	0.96	$y = 220083 x^{-4.774}$	0.77
11/09/1982	$y = 1E-25 x^{19.195}$	0.89	$y = 3E+31 x^{-20.635}$	0.93
31/10/1982	$y = 5E-06 x^{7.49}$	0.97	$y = 2E+11 x^{-7.97}$	0.80
28/09/1986	$y = 8E-26 x^{24.26}$	0.91	$y = 5E+22 x^{-16.94}$	0.98
09/09/1988	$y = 0.08 e^{0.47x}$	0.93	$y = 3.23 x^2 - 120.73 x + 1133.7$	0.98
20/09/1989	$y = 2E-05 x^{4.96}$	0.97	$y = 223.5 e^{-0.07x}$	0.98
04/08/1990	$y = 2E-13 x^{18.37}$	0.99	$y = 2E+17 x^{-17.26}$	0.87
17/10/1994	$y = 0.19 e^{0.63x}$	0.89	$y = 2E+06 e^{-0.94x}$	0.99
19/09/1997	$y = 4E-56 x^{37.53}$	0.94	$y = 1E+23 x^{-13.92}$	0.74
07/09/2001	$y = 0.51 x^{2.86}$	0.94	$y = 324.2 e^{-0.32x}$	0.76
10/10/2002	$y = 9E-46 x^{33.35}$	0.94	$y = 15149 e^{-0.20x}$	0.92
29/03/2004	$y = 4.4 x^2 - 102.8 x + 600.0$	0.99	$y = 3.36 x^2 - 248.1 x + 4571$	0.97
13/11/2004	$y = 0.0041 e^{0.52x}$	0.88	$y = 28502 e^{-0.31x}$	0.94
05/12/2004	$y = 0.0018 x^{4.15}$	0.98	$y = 124.93 e^{-0.04x}$	0.98

05/03/2005	$y = 6E-07 x^{6.88}$	0.99	$y = 304.81 x^{-1.153}$	0.76
20/01/2006	$y = 0.22 e^{0.21x}$	0.74	$y = 9E+12 x^{-8.101}$	0.86
23/02/2006	$y = 0.45 e^{0.47x}$	0.90	$y = 2E+09 x^{-7.25}$	0.85
13/05/2006	$y = 0.24 x^2 - 5.14 x + 27.405$	1	$y = 12.5 e^{-0.05x}$	0.93
01/07/2008	$y = 3E-07 e^{0.72x}$	0.84	$y = 2E+46 x^{-30.41}$	0.88
17/03/2009	$y = 0.6199 e^{0.14x}$	0.94	$y = 0.38 x^2 - 33.45 x + 736.89$	0.99
31/03/2009	$y = 3.1251 e^{0.19x}$	0.98	$y = 0.01 x^2 - 3.09 x + 107.74$	0.99
12/04/2009	$y = -0.17 x^2 + 13.08 x - 73.392$	0.99	$y = 674.46 e^{-0.10x}$	0.96

Il ressort du tableau 6.6 que le modèle de corrélation dominant pour les deux phases est le modèle puissance. Il résume plus de 50 % des relations établies pour les crues. Les valeurs du coefficient de corrélation sont très élevées. Pour la phase montée il est de l'ordre de 0.93 tandis que pour la phase décrue il est en moyenne égal à 0.90. Dans le tableau 15 nous regroupons les modèles d'ajustement des principales crues de cette étude.

**Tableau 6.6 : Equations de montées et de décrues des hydrogrammes types de oued Abiod**

<b>Dates d'occurrence des crues</b>	<b>Modèle d'ajustement</b>	<b>R</b>	<b>Modèle d'ajustement</b>	<b>R</b>
04/ 09/1972	Puissance	0.89	Puissance	0.95
10/10/1966	Puissance	0.86	Puissance	0.93
10/10/2002	Puissance	0.94	Exponentielle	0.92

29/03/2004	Polynomiale	0.99	Polynomiale	0.97
13/11/2004	Exponentielle	0.88	Exponentielle	0.94
05/03/2005	Puissance	0.99	Puissance	0.76
12/04/2009	Polynomiale	0.99	Polynomiale	0.96

Nous présentons dans la figure ci-dessous quelques exemples d'ajustements de courbes de montée et de décroissance.

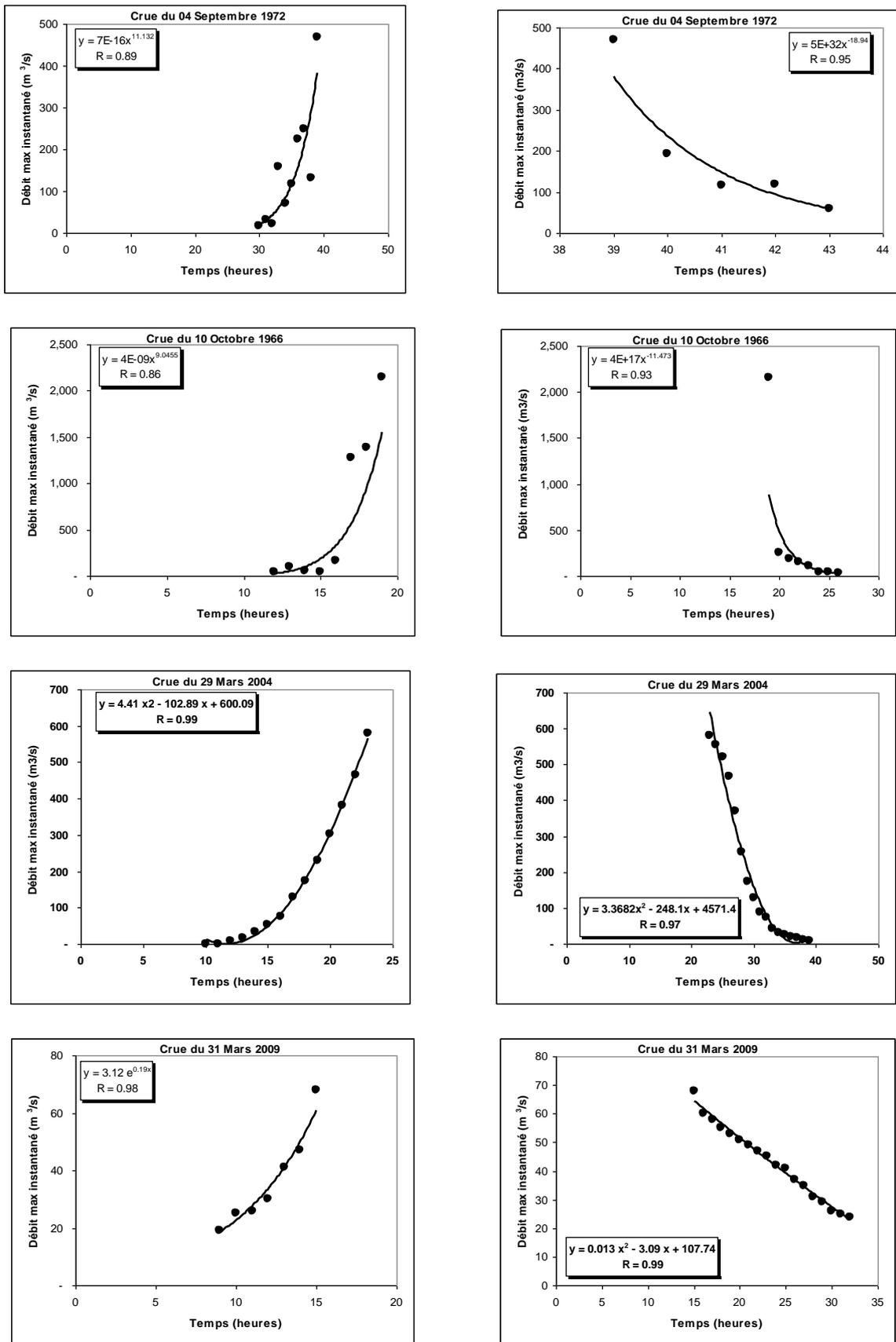


Figure 6.24. Courbes d'ajustement de la montée et de la décrue .

## *Conclusion générale*

# Conclusion générale

L'objectif général de ce travail était de parvenir à proposer une typologie des crues pour le bassin d'oued Abiod.

Le chapitre 1 était constitué par une synthèse hydrologique sur la genèse des crues. L'objectif de ce chapitre était l'identification des processus déterminants dans la formation des crues.

Le 2 chapitre a été axé beaucoup plus sur l'amélioration de la connaissance et de la représentation du fonctionnement d'un bassin versant en période de crue.

Dans le chapitre 3 on indique les facteurs qui influencent sur l'hydrogramme de crue, à savoir les caractéristiques hydrologiques et physiques.

Par ailleurs, le travail d'analyse a été appliqué sur le bassin versant de oued Abiod où nous avons présenté les éléments du bassin d'étude (morphologie et hydro climatologie).

Le traitement préliminaire des données présenté au chapitre 5 nous a fourni des détails importants sur la répartition à trois échelles temporelles (mois, saison et année) du nombre de crues, où le maximum du nombre de crues est enregistré durant l'année 1963/1964 représentant 4,5% de l'ensemble des 404 crues, le mois de septembre avec un total 82 crue, et enfin le maximum de crues est enregistré en automne.

L'analyse de 136 crues sélectionnées montre que le plus fort apport enregistré est celui de la crue du 15 au 18/04/2004 près de  $25 \text{ hm}^3$ . Il est aussi important de noter que le temps de montée le plus élevé est 09 jours correspond à la crue du 15/01/2009. La crue du 10 Octobre 1966 avait atteint une variation très forte du plan d'eau, de plus de 12 m et qui fut la plus importante en terme de magnitude puisque le débit max instantané enregistré est de  $2152 \text{ m}^3/\text{s}$ . La crue du 22 Avril 1995 est la plus rapide avec une vitesse de déversement de 207 cm/h. D'après l'analyse des hydrogramme des crues il est à noter en particulier que la totalité des crues très aigues se sont produites en Septembre. De plus toutes les crues dont le débit max instantané est supérieur à  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  présentent une forme aigue très prononcée, comme c'est le cas des crues du 10-10-1966, du 22/04/1995, du 30/09/2001, et du 17-01-2003. D'un

autre côté les crues de Mars, Avril et Mai (saison de printemps) sont caractérisées par un hydrogramme plus large.

Selon le rapport  $Q_{max}/Q_{moy}$  on conclut que les crues les plus fortes sont celles du 10 Octobre 1966, du 22 Avril 1995, du 08-09 Mai 2000, du 17 Avril 2004 et du 03-04 Mai 2006. Pour la variation du plan d'eau dans la retenue du barrage de Foug El Gherza, on constate une faible variation du plan d'eau avant et après à partir de 2003 et jusqu'à 2010. Il est surprenant de constater que la majorité des crues dont le débit max instantané dépasse  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  ont des coefficients de ruissellement assez faibles, de l'ordre de 0.25. Ces crues sont supposées avoir une aptitude de ruissellement élevée.

Enfin et en vue de connaître davantage sur la dynamique des crues de oued Abiod, nous avons utilisé un certain nombre de fonctions d'ajustement aux phases de montée et de décrue. Il a été trouvé que le modèle de corrélation dominant pour les deux phases est le modèle puissance. Il résume plus de 50 % des relations établies pour les crues.

L'ensemble des résultats trouvés a bien justifié notre intérêt à l'étude des crues. Cet intérêt se poursuivra dans le futur en incluant les données relatives à d'autres événements majeurs qui se sont produits lors de la rédaction de ce mémoire et qui se produiront à l'avenir. Cette étude pourra également être un bon indicateur pour les gestionnaires du barrage car elle a mis en veille le problème de la fréquence d'enregistrement des débits de crues qui parfois reste insignifiante. Une des perspectives de cette étude est d'étudier la durée caractéristique des hydrogrammes de crues, qui représente un élément pour l'approche débit-durée-fréquence (Qdf).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **A.Benkhaled & B.Remini & M.Mhaiguene.**(2004).Influence of antecedent precipitation index on the hydrograph shape ,proceeding of the British hydrological society international conference imperial college London ,pp 81-86.
- **Abdelwahab & Sari Ahmed,**(2002) « Hydrologie de surface », édit : Distribution HOUMA.
- **Ambroise, B.** (1998). Génèse des débits dans des petits bassins versants ruraux en milieu tempéré : 1- processus et facteurs. Revue des sciences de l'eau, 4 :471–495.
- **Anctil .**(2006). Les cheminements de l'eau
- **Baàzi .H.**(2001) Thèse Magistère : « Etude de faisabilité d'un ouvrage de substitution dans la vallée de l'Oued l'Abiod ».
- **Ballais J.I.** (1982) Thèse de Doctorat : « Géomorphologie dans les Aurès ».
- **Behlouli larbi .**(2004) , crues et inondations en algerie. Rapport ANRH.
- **Benjamin Graff .**(2004) , Prédétermination des débits de crue des petits bassins versants torrentiels.
- **Bessiere Hélène.** (2008),Assimilation de données variationnelle pour la modélisation hydrologique distribuée des crues à cinétique rapide.
- **Betson, R.P.** (1964). What is watershed runo\_? Journal of Geophysical research, 69 :1541\_1551.
- **Boiffin , J.** (1982). La dégradation structurale des couches supercielles des sols sous l'actiondes pluies. PhD thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.
- **Chabour Nabil .**(2006).Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algerie ,thèse de doctorat , Faculté des Sciences de la Terre, Université Mentouri Constantine.
- **Claudia Rojas Serna .**(2005).Quelle connaissance hydrométrique minimale pour définir les paramètres d'un modèle pluie-débit .
- **Cocandey C & Robinson M.**(2000) Hydrologie Continentale. Armand Colin, collection U – Géographie, pp. 249-260.
- **Cosandey, C & Lavabre , J & MARTIN , C & MATHYS ,N.** ( 2002) Conséquences de la forêt méditerranéenne sur les écoulements de crue – Synthèse des recherches menées en France. Houille Blanche, n°3-02, pp. 38-42.
- **Cosandey, C.** (1994). Formation des crues "cévenoles" dans des bassins élémentaires du Mont Lozère. Revue des Sciences de l'Eau, 7 :377-393.

- **Dubief J.** 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara, GGA, Direction du Service de la Colonisation et de l'Hydraulique. Service des Etudes Scientifiques : Alger ; 457
- **Dunne, T.** (1983). Relation of fields studies and modeling in the prediction of storm run Journal of Hydrology, 65 : 25-48.
- **Dunne, T. & Black, R.D.** (1970). Partial area contributions to storm runoff in a small New England Watershed. Water Resour. Res., 7 : 1160-1172.
- **Eric Gaume .** (2002) , éléments d'analyse sur les crues éclair.
- **Esteves M & Faucher X & Galle S., & Vauclin M .** (2000). Overland flow and infiltration for small plots during unsteady rain : numerical results versus observed values. J.Hydrol.,228 : 265-282.
- **Freeze, R. A.**(1972). Role of subsurface in generating surface runoff, 2. Upstream source areas. Water Resources Research, 8(5) : 1272-1283.
- **Gascuel-Oudou, C & Merot, P & Durant, P. & Molenat, J.** (1999). Genèse des crues normales dans les petits bassins versants ruraux. La Houille Blanche, (7/8) :54\_60.
- **Gréco Jacque,** « L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie ».
- **Haoues, C.** (2008). Evaluation par analyse multicritères du risque d'érosion dans la vallée de l'Oued Labiod ( Approche systémique ), thèse de magister , faculté des sciences , département des sciences de la terre, université El Hadj Lakhdar, Batna, Algérie.
- **Hewlett, J.D. & Hibbert, A.R.** (1963). Moisture and energy conditions within a sloping soil mass during drainage. Journal of Geophysical Research, 68(4) :1081\_1087.
- **Hillel, D.** (1984). L'eau et le sol principes et processus physiques. ed. Cabay, Louvain-laneuve.
- **Horton, R.E.** (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Am. Geophys. Union, 14: 446-460.
- **Jackson, C.R.** (1992). Hillslope infiltration and lateral downslope unsaturated flow. Water Resources Research, 28(9) :2533-2539.
- **Joerin ,C ., Musy, A & Talamba ,D.** (2002) Study of hydrological processes for better models and flood estimations. Proceedings of the International Conference on Flood Estimation, 6-8 Mars 2002, Berne, Switzerland, pp. 123-132
- **Jordan J. P.,** (1994) Spatial and temporal variability of stormflow generation processes on a Swiss catchment. Journal of Hydrology, vol. 153, pp. 357-382.
- **Kirkby, M.** (1988). Hillslope runo\_ processes and models. Journal of Hydrology, 100 :315\_339.
- **Krimil Farida,** (2009) Essai de modélisation de la gestion du barrage de Foum el Gherza(W. de BISKRA).

- **Laborde, J.P. (2003).** Etude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord. "Service Etude" de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques d'Alger (ANRH).
- **Musy, A. & Higy C., (2004)** Hydrologie : une science de la nature. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne (Suisse), 302 p.
- **Obled, C., (2003)** Le versant et le bassin versant : Quelques aperçus sur la formation des crues et la production de ruissellement. « Crues de la normale à l'extrême », Colloque d'Hydrotechnique, 160<sup>ème</sup> session du Comité Scientifique et Technique, Lyon, 10-11 mars 1999, SHF, pp. 5-23.
- **Philip, J.R. (1991).** Hillslope infiltration : planar slopes. Water Resources Research, 27(1) :109\_117.
- **Réménérias, G. (1976).** Hydrologie de l'ingénieur, Ed Eyrolles, Paris.
- **Sklash, M.G. & Farvolden, R.N. (1979).** The role of groundwater in storm runoff. Journal of Hydrology, 43 :45\_65.
- **Tanaka, T & Yasuhara, M & Sakai, H. & Marui, A. (1988).** The Hachioji experimental basin study - storm runoff processes and the mechanisms of its generation. Journal of Hydrology, 102 :139\_164.