

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Faculté de Sciences de la Terre et de l'Univers Université d'Oran 2

Département de Sciences de la Terre

**Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master 2.**

**Option :** Hydrosystème et Ressources en Eau.

**Thème :**

**Estimation des débits de pointe par les méthodes de réajustement empiriques (Sous Bassin de haut Chélif)**

**- Présenté par :** Mlle BENDAHO Kheira

**Devant le jury composé de :**

Président : BELKHEIR Khadidja MAA Université d'Oran 2

Encadrant : BAKHTI Amel MCB Université d'Oran 2

Examineur : BERGANE Cheikh MCB Université d'Oran 2

**Année universitaire :** 2023/2024

## REMERCIEMENTS

---

*Je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné la force, la patience ainsi que le courage afin de parvenir à achever ce travail.*

*En guise de reconnaissances, je remercie toutes les personnes qui, par leurs conseils, leur collaboration ou leur soutien moral et leur amitié ont contribué à la réalisation de ce mémoire :*

*Mme BAKHTI Amal, qui a accepté d'être mon directeur de mémoire, de m'avoir dirigé avec fermeté et gentillesse tout le long du travail ; avec ses suggestions pertinentes et ses encouragements, qui m'ont été d'une grande utilité, dieu le garde.*

*Mme BELKHIR Khadidja, de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse. Hommages respectueux.*

*Mr BERGANE Cheikh, pour l'honneur qui m'a fait en acceptant d'être membre de jury. Sincères remerciements.*

*J'adresse également nos sincères reconnaissances à tous les enseignants du département des **Sciences de la Terre et de l'Univers** qui ont participé à ma formation durant ce cursus.*

*En fin, je tiens à exprimer nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont soutenues physiquement ou moralement, qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

---

## DÉDICACES

---

*Je remercie Dieu le tout puissant qui m'a aidé à réaliser ce travail, et avec son aide je continuerai mon chemin de vie.*

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et de respect:*

*A mes parents qui sans leur soutien, leur amour n'aurait pu voir le jour, ils ont été pour moi un grand soutien moral au long de mes études, je te dois tout. Puisse Dieu te garder et te procurer santé et longue vie. Ameen*

*Ensuite, je dédie ce travail à mon cher frère et ma chère soeur et tous ceux qui me connaissent de près ou de loin.*

*Enfin, je dédie ce présent travail à mes amis proches pour ces soutiens moraux et leurs conseils précieux tous au long de mes études. À toutes personnes que j'aime beaucoup*

*Et toute la famille **BENDAHO**.*

---

## RÉSUMÉ

---

Le bassin du haut Chélif se situe à 110 km au Sud-ouest de l'Algérie, il fait partie du grand bassin hydrographique de Chélif avec une superficie de 4745km<sup>2</sup>. Il occupe, le bassin de Chélif correspond à un sillon intra montagneux subsident dans le domaine du tell septentrional en forme de graben le long de grandes flexures bordières caractérisant la région. Vu l'importance socio-économique de la région d'étude du point de vue gestion de la ressource en eau notamment dans l'aspect durable de cette denrée. Nous avons appliqué dans notre travail, trois méthodes purement statistiques (Méthode statistique, rationnelle et régionale ) pour l'estimation les débits de pointe pour mieux gérer à travers la prévision des crues le dimensionnement des ouvrages hydrauliques et aussi une bonne analyse des écoulements au niveau du bassin étudié. Nous avons constaté que la méthode statistique de Gumbel qui est mieux adaptée et la plus représentative aux conditions de notre bassin versant.

**Mots-clés :** Bassin versant de haut Chélif, climat semi-aride, Changements climatiques, la variabilité des précipitations, Méthode statistique de Gumbel, méthode rationnelle et méthode régionale.

---

## **ABSTRACT**

---

The Haut Chélif basin is located 110 km south-west of Algeria, and forms part of the large Chélif hydrographic basin with a surface area of 4,745 km<sup>2</sup>. The Chélif basin corresponds to a subsident intra-mountain trench in the northern tell, in the form of a graben along the major boundary flexures that characterise the region. Given the socio-economic importance of the study region from the point of view of water resource management, particularly in terms of the sustainability of this commodity. In our work, we have applied three purely statistical methods (statistical, rational and regional methods) for estimating peak flows in order to improve management through flood forecasting, the sizing of hydraulic structures and also a good analysis of flows in the basin studied. We found that the Gumbel statistical method is the most suitable and representative of the conditions in our catchment.

Key words: Upper Chélif catchment, semi-arid climate, climate change, rainfall variability, Gumbel statistical method, rational method and regional method.

---

# TABLE DES MATIERS

REMERCIEMENT

DEDICACES

RESUME

ABSTRACT

INTRODUCTION.....(01)

## Premier chapitre : Généralités

I. Le concept d'écoulement

.....(02)

I.1. Introduction .....(02)

I.2. Concept des écoulements

.....(02)

I.3. Les types d'écoulement .....(03)

A- Hydraulique

.....(03)

B- Souterraine .....(03)

C- Superficiels .....(03)

I.4. Cycle global de

l'eau .....(04)

II. Méthodes d'estimation des débits au niveau Dun bassin

versant .....(05)

I.1. Éléments

d'historique.....(05)

## Deuxième chapitre : Application au sous bassin de haut Chéouli

I. Localisation géographique .....	(07)
I.1. Cadre géographique générale .....	(07)
I.2. Cadre géographique locale .....	(08)
II. Synthèse géologique et morphologique .....	(09)
II.1. Synthèse géologique .....	(09)
II.2. Synthèse morphologique et topographique .....	(13)
II.2.1. Les reliefs .....	(13)
II.2.2. La géométrie .....	(16)
II.2.3. Les réseaux hydrographiques .....	(16)
II.2.3.a. Les paramètres hydrographiques .....	(18)
➤ Densité de drainage .....	(18)
➤ Profil en long .....	(19)
II.2.3.b. Qualité des eaux de surface .....	(21)
➤ Barrage Ghrib .....	(21)
➤ Barrage Deurdeur .....	(22)

➤ Barrage de Harreza .....	(22)
II.2.3.c. La nappe de haut chélif .....	(23)
II.2.4. Sol et végétation .....	(23)
III. Synthèse climatologie .....	(25)
III.1. La précipitation .....	(26)
III.2. La température .....	(26)
III.3. L'humidité .....	(26)
III.4. Le ruissellement .....	(27)
III.5. Le vent .....	(27)
III.6. L'évapotranspiration .....	(27)

### **Troisième chapitre : Mise en œuvre des méthodes**

I. Mise en œuvre des méthodes .....	(29)
I.1. Introduction .....	(29)
II. Analyse des débits .....	(29)
I.1. Introduction .....	(29)
II.1.1. Les Variations journalières des débits .....	(30)
II.1.2. Les Variations Annuelles des débits .....	(31)
III. Le régime des débits .....	(32)
IV. Estimation du débit de pointe de temps de retour 5 ans par la méthode Statistiques .....	(32)



IV.1. Ajustement statistique de la série des données	(32)
IV.2. Méthode des moments	(34)
V. Estimation du débit de pointe de temps de retour 5 ans par la méthode rationnelle .....	(38)
VI. Estimation des débits de pointe de temps de retour 2.33, 5, 20, 50,100 ans par la méthode régionale .....	(41)
1-Méthode de « l'indice de crue » .....	(41)
2-Démarche et résultats .....	(42)
VII. Analyse comparative de l'ensemble des résultats obtenus.....	(43)
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>(45)</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	

# LISTE DES FIGURES

<b>Figure n°1</b> : cycle global de l'eau .....	(04)
<b>Figure n°2</b> : Localisation du bassin de Chélif( <a href="#">Domzig,1996</a> ) .....	(07)
<b>Figure n°3</b> : sous bassins du Bassin hydrographique Chellif.....	(08)
<b>Figure n°4</b> : Carte des sous bassin du haut Cheliff( <a href="#">Perrodon, 1957</a> ) .....	(09)
<b>Figure n°5</b> : Carte géologique du bassin de Cheliff ( <a href="#">Perrodon, 57 et Mattauer, 1958</a> ) .....	(12)
<b>Figure n°6</b> : L'image Shuttle Radar Topography Mission de bassin moyen et haut Chélif par le logiciel ArcGisTM( <a href="#">Benkaci et al,2018</a> ) .....	(15)
<b>Figure n°7</b> : Carte des pentes du bassin haut et moyen Cheliff .....	(16)
<b>Figure n°8</b> : carte du réseau hydrographique du bassin de Chélif .....	(18)
<b>Figure n°9</b> : Variations journalières des débits de la station EL ABABSA .....	(30)
<b>Figure n°10</b> : Courbe et histogramme de lesVariations annuelles des débits de la station EL ABABSA .....	(31)
<b>Figure n°11</b> : Ajustement graphique du modèle (calcul des paramètres « a » et « b » de la droite d'ajustement de Gumbel par la méthode des moments .....	(36)

# LISTE DES TABLEAU

<b>Tableau n°1:</b> Classes des pentes avec leur surface et leur degré de sensibilité à l'érosion .....	(15)
<b>Tableau n°2:</b> Les superficies irrigables par région et par catégories de sols (hectare : ha) .....	(25)
<b>Tableau n°3:</b> Températures moyennes mensuelles(C°) ( <a href="#">ANRH, 2003-2004</a> ) .....	(26)
<b>Tableau n°4:</b> Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles (mm). ( <a href="#">ANRH 2003-2004</a> ) .....	(28)
<b>Tableau n°5:</b> Lesparamètres <b>a,b</b> de la méthode statistique .....	(35)
<b>Tableau n°6:</b> débit de pointe de période de retour T .....	(36)
<b>Tableau n°7:</b> débit de pointe de période de retour T .....	(37)
<b>Tableau n°8 :</b> Estimation de l'intensité critique de pluie pour T et de durée $t=t_c$ (en mm/h) .....	(41)
<b>Tableau n°8 :</b> Estimation des débits de pointe de période de retour T par la méthode régionale .....	(43)
<b>Tableau n°9 :</b> Comparaison des $Q_{p(2,33)}$ obtenus (en $m^3/s$ ) avec le débit moyen .....	(43)

## INTRODUCTION GENERALE

---

Le bassin du Haut Chéiff d'un point de vu ressources en eau est très sollicité à travers les différentes distributions dans les différents secteurs (agricole, AEP.) caractérisant ce bassin. Dans le but d'une bonne gestion de ressources en eau notamment durable malgré les contraintes dues aux changements climatiques tels que l'augmentation de la variabilité des précipitations et des événements météorologiques extrêmes. A travers notre étude, nous allons essayer de présenter d'une manière purement statistique une analyse des débits de pointe sur une longue période avec un pas de temps journalier pour pouvoir proposer la meilleure méthode qui va prendre en compte la variabilité des débits en fonction des caractéristiques Physiques du bassin.

Les méthodes statistiques proposées sont essentielles à notre avis pour comprendre comment ces approches sont utilisées pour analyser les caractéristiques des bassins versants, estimer les débits de crue et gérer les ressources en eau et d'évaluer les impacts des changements climatiques et de concevoir des infrastructures résilientes face aux risques hydrologiques.

Notre travail est organisé en trois chapitres : le premier chapitre est un aperçu général sur l'écoulement de l'eau ainsi que l'historique de Méthodes d'estimation des débits au niveau d'un bassin versant. Le deuxième chapitre représente la partie application des différentes méthodes proposées au sous bassin de haut Cheliff et la troisième partie de notre travail illustre la synthèse et interprétation des résultats obtenues.

---



---

**Premier chapitre**  
**Généralités**

---



## I. Le concept d'écoulement

### I. 1. Introduction

La compréhension des écoulements en milieu naturel est un enjeu majeur à différentes échelles. Le sujet est important car c'est un enjeu essentiellement humain : la majeure partie des humains vivent le long des fleuves, des côtes, au-dessus des aquifères et ont besoin d'eau pour vivre. C'est une évidence, s'il n'y a pas d'eau pas il n'y aura pas de vie. L'eau en sous-sol est une part importante de la consommation humaine. C'est aussi un enjeu agro-industriel (irrigation des sols, captage de l'eau par des puits, capter l'eau en profondeur, stocker l'eau, réseaux d'approvisionnement et d'assainissement...). C'est bien sûr un enjeu de première importance dans le cadre des conséquences du réchauffement planétaire global (irrégularité climatique) : moins d'eau, élévation du niveau de l'océan qui produit l'érosion de la côte (et rend sales les aquifères) et par la pluie du ruissellement qui produit l'érosion des sols. C'est aussi un enjeu scientifique (modélisation, simplification pour la compréhension des phénomènes) qui va nous permettre de comprendre les mécanismes pour proposer des solutions.

### I.2. Concept des écoulements

Un écoulement d'eau désigne une masse d'eau coulant dans un canal ou une conduite. On la définira par un débit volumétrique ou un débit horaire d'un flux (Taitel et Dukler, 1976) Les débitmètres d'eau sont utilisés pour mesurer le volume d'eau passant dans une conduite (donc un écoulement d'eau) utilisé dans les bâtiments commerciaux et résidentiels. Le débit d'eau est mesuré en mètres cubes (m<sup>3</sup>) ou en litres sur un registre électronique ou mécanique.

Un écoulement direct consiste en un écoulement d'eau qui atteint rapidement les cours d'eau. Il comprend l'écoulement de surface (ou ruissellement de surface) et l'écoulement hypodermique (ou ruissellement retardé); on l'utilise lorsqu'il est impossible de séparer l'écoulement hypodermique dans l'analyse de l'hydrogramme. L'hydrologie fait référence à la présence et au caractère de l'eau sous les surfaces du sol. Le caractère peut inclure la variation normale de la quantité et de la vitesse de l'eau dans un cours d'eau (régime d'écoulement), les modèles d'écoulement saisonniers, ainsi que le moment et la fréquence des inondations et des sécheresses (Belgacem I, Salhi Y, SI-Ahmed EK, Legrand J. 2013).

Chacune de ces caractéristiques est influencée par le climat et le paysage (montagnes, vallées et plaines inondables). Par conséquent, les changements d'utilisation des terres peuvent avoir des effets profonds sur l'hydrologie des rivières. Dans les cours d'eau, les modèles d'écoulement tels que les rapides, les bassins et les cours d'eau ajoutent de la variété à l'habitat. La taille du chenal, la profondeur et la vitesse de l'eau influencent la qualité de l'eau (p. ex. nutriments et température) et la façon dont les sédiments sont transportés, ce qui peut affecter les plantes et les animaux qui y vivent ([Belgacem I, Salhi Y, SI-Ahmed EK, Legrand J. 2013](#)).

### I. 2. Les types d'écoulement

Nous pouvons subdiviser le mouvement de l'eau dans le sol en deux grands types:

**A- Hydraulique :** Etude des écoulements de fluides incompressibles tels que l'eau.

**B- Souterraine :** Terme qui désigne dans le contexte actuel le sol sous ses différentes formes pourvu qu'il présente, à travers les particules le constituant, une accessibilité au fluide en mouvement. L'étude du mouvement des eaux souterraines est d'une grande importance à chaque fois que le phénomène d'infiltration est présent ([Hewitt et Roberts, 1969](#)).

Cette importance peut être illustrée sur plusieurs exemples :

- Effets de l'écoulement interstitiel sur l'état de contrainte d'une structure poreuse sujette à cet écoulement.

- Etude du régime d'une nappe.

- Simulation de l'intrusion de l'eau de mer dans un aquifère dans le cas où on est à proximité de la mer.

- Etude de la pollution des nappes.

**C- Superficiels :** L'écoulement superficiels ou ruissellement est constitué par la frange d'eau qui, après une averse, s'écoule plus ou moins librement à la surface des sols. L'importance de l'écoulement superficiel dépend de l'intensité des précipitations et de leur capacité à saturer rapidement les premiers centimètres du sol, avant que l'infiltration et la percolation, phénomènes plus lents, soient prépondérants.

### I. 3. Cycle global de l'eau

Le déplacement des particules d'eau sous deux états principaux (vapeur et liquide), à la surface de la terre constitue le cycle global de l'eau (Figure 1). Ce cycle peut être résumé par l'équation suivante :  $P$  (précipitations) =  $E$  (évaporation) +  $R$  (ruissellement) +  $I$  (infiltration)

Le cycle de l'eau débute par la transformation annuelle d'un volume d'eau en vapeur d'eau sous l'action de l'évapotranspiration (ET). Ce dernier terme regroupe deux phénomènes : le premier physique (évaporation  $E$ ), a lieu à partir des surfaces d'eau libres (océans, mers, lacs, fleuves...) et le deuxième biologique correspondant à la transpiration des plantes.

Dans un deuxième temps, cette vapeur d'eau se condense (transformation de la vapeur en liquide) sous forme de nuages qui donnent naissance aux précipitations ( $P$ ) : pluie et neige.

Le volume annuel des précipitations est égal à celui de l'évapotranspiration : le cycle global de l'eau est donc équilibré. Dans un troisième temps, les précipitations se séparent en trois parties :

- Une première partie s'évapore avant même d'atteindre la surface du sol et réintègre le cycle de l'eau ;
- Une deuxième partie s'écoule vers le réseau hydrographique et les surfaces d'eau libre : c'est le ruissellement de surface ( $R$ ) (Hewitt et Roberts, 1969).
- Une dernière partie s'infiltrate dans le sous-sol : c'est l'infiltration ( $I$ ). La quantité d'eau qui atteint les nappes s'appelle : l'infiltration efficace.

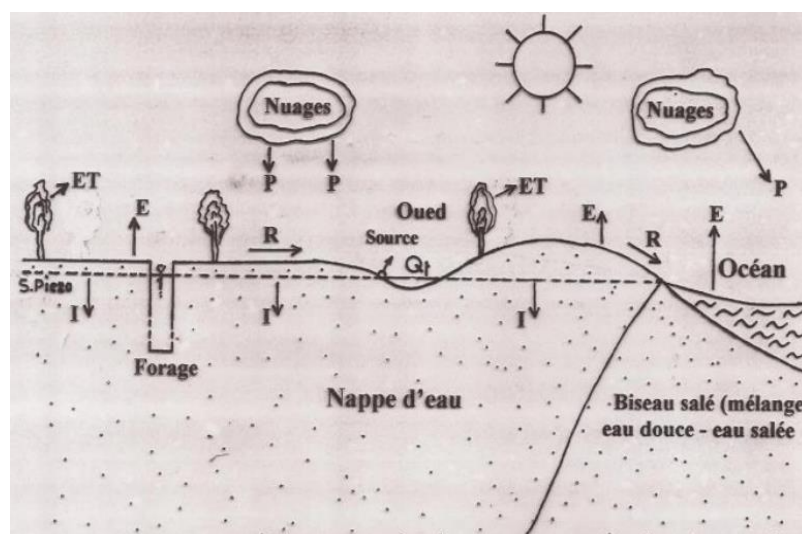


Figure n°1 : cycle global de l'eau.



## II. Méthodes d'estimation des débits au niveau Dun bassin versant :

### I. 1. Éléments d'historique

Si au cours du XVIIème siècle, les savants jetèrent les bases de l'hydraulique et de l'hydrologie scientifique et confirmèrent, entre autres, les travaux de Pierre Perrault (1608-1680) et Edmé Mariotte (1620-1684) démontrant le rôle essentiel des précipitations sur les débits des cours d'eau, ce furent les ingénieurs du XIXème siècle, impliqués dans l'aménagement des territoires, qui proposèrent les premières formulations permettant l'estimation des débits résultant d'une précipitation sur un bassin versant.

Certaines de ces formulations étaient de nature totalement empirique et virent principalement le jour entre 1850 et 1950. On en trouvera une intéressante synthèse dans Chow (1959) qui montre que la centaine de formules existant à l'époque peuvent se mettre sous la forme générale :

$$Q = K.C.i.A.[I/A]^x \quad (2)$$

Avec :

- $Q_p$  : débit de pointe à l'exutoire du bassin ( $m^3/s$ ) ;
- $k$  : coefficient numérique dépendant des unités ;
- $C$  : coefficient de production ou de ruissellement ;
- $i$  : intensité "critique de pluie" (souvent en mm/h) ;
- $A$  : surface du bassin versant (ha ou  $km^2$ ) ;
- $I$  : pente moyenne de l'axe d'écoulement ou du bassin (m/m) ;
- $x$  : exposant variant entre 0,2 et 0,5.

C'est cependant à l'école hydrologique irlandaise, à laquelle appartenait, par exemple, Robert Manning (1816-1897), célèbre pour ses travaux sur l'hydraulique des canaux et cours d'eau, que sont aujourd'hui attribuées les premières approches et formulations mécanistes de la transformation de la pluie en ruissellement et écoulement dans un bassin versant, pour expliquer la genèse des crues et quantifier leur débit de pointe (Dooge, 1959).

Le père de la formule rationnelle est Thomas J. Mulvany (ou Mulvaney) (1821-1892) qui l'énonça en février 1851 dans un document de 14 pages (Mulvany, 1851). Celle-ci fut ensuite reprise et développée par de nombreux autres ingénieurs, qui lui donnèrent, sans doute abusivement, leur nom (E. Kuilchling aux USA en 1889 ; D. Lloyd-Davis en Angleterre en 1906, pour ne citer qu'eux en matière d'hydrologie urbaine).

Au titre de l'apport principal de Mulvany, on doit sans nul doute retenir l'énoncé du concept de temps de concentration. Ainsi écrivait-il : "Le premier point d'importance à analyser (au travers des observations de pluies et de débits) dans le cas d'un petit bassin versant, ou d'un bassin montagneux, est le temps pour que la crue atteigne son niveau maximal sous l'effet d'une pluie continue et uniformément répartie. Ce temps peut être considéré comme celui nécessaire pour que la pluie tombant sur la partie la plus éloignée du bassin versant atteigne l'exutoire de ce dernier, car il me semble que le débit sera maximal lorsque les apports de chaque partie du bassin arriveront simultanément à cet exutoire ; supposant, comme indiqué plus haut que la pluie soit constante pendant ce temps, on peut penser que ce débit sera le plus grand possible sous l'effet de la pluie uniforme maximale se produisant durant ce temps".

Il ajoutait : "Cette question de temps, dans le cas d'un bassin versant quelconque, doit dépendre de la surface, de la forme, et de la pente du bassin ; par suite l'un des points essentiels des recherches doit être les relations entre ces causes et leurs effets ; de telle sorte qu'ayant déterminé ces variables, nous devrions être capables de déterminer, en premier lieu, la durée de la pluie constante nécessaire pour produire un débit maximal et, par conséquent, de fixer l'intensité maximale de pluie à utiliser dans un cas particulier".

Cet énoncé du principe du temps de concentration est particulièrement remarquable à une époque où l'étude des régimes transitoires d'écoulement en était à ses balbutiements. Mulvany, ne considérant d'ailleurs que des caractéristiques physiques des bassins pour expliquer ce temps, optait implicitement pour la constance de ce dernier (hypothèse qui survit encore aujourd'hui dans de nombreuses formulations).

Ce sont ces différentes considérations qui lui ont permis d'établir la relation (1) vue plus haut :

$$Q = C.i(t_c).A$$



---

**Deuxième chapitre**  
**Application au sous**  
**Bassin de haut Cheliff**

---



### I. Localisation géographique

#### I. 1. Cadre géographique générale

Le bassin du haut Cheliff se situe à 110 km au Sud-ouest d'Alger et fait partie du bassin hydrographique de Cheliff. Il est localisé entre entre 36°12' et 36°30' de latitude Nord et 2°02' et 2°44' de longitude Est. Il fait partie du bassin versant du Cheliff - Zahrez qui représente plus de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord. Cette région hydrographique est découpée en trois grands sous bassins versants, le Cheliff, qui est le plus grand du point de vue superficie en Algérie, le Zahrez et le côtier Dahra (Fig.2).

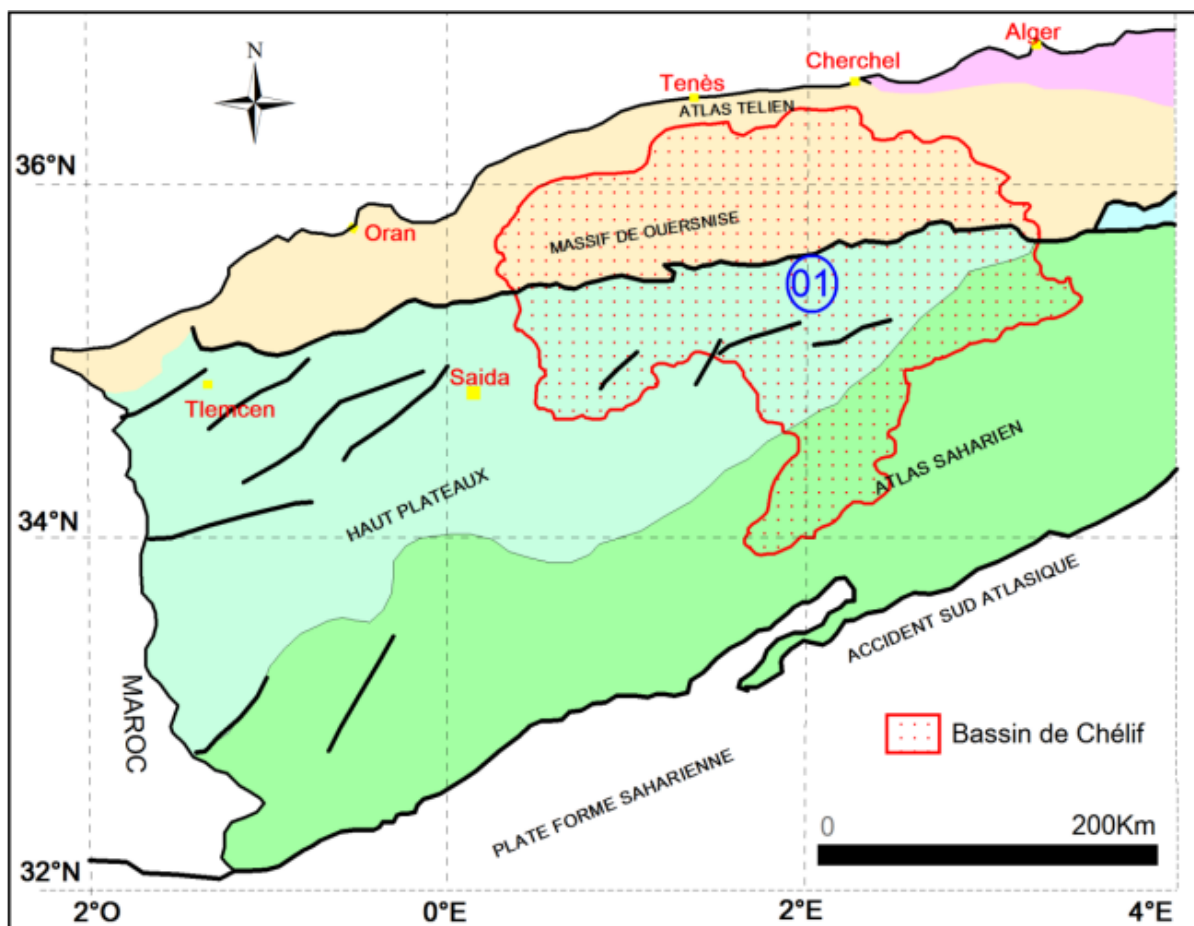


Figure n°2 : Localisation du bassin de Chélif(Domzig, 2006).

Le bassin du Cheliff représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Cheliff-Zahrez.

Il est compartimenté naturellement en trois sous bassins versants (Perrodon A, 1957) (Fig.3) :

- Les bassins versant de bas Chélif et la mina.
- Les bassins versants du moyen Chélif et haut Chélif auxquels appartient la région étudiée
- Les bassins versants chellif amont de Boughzoul.

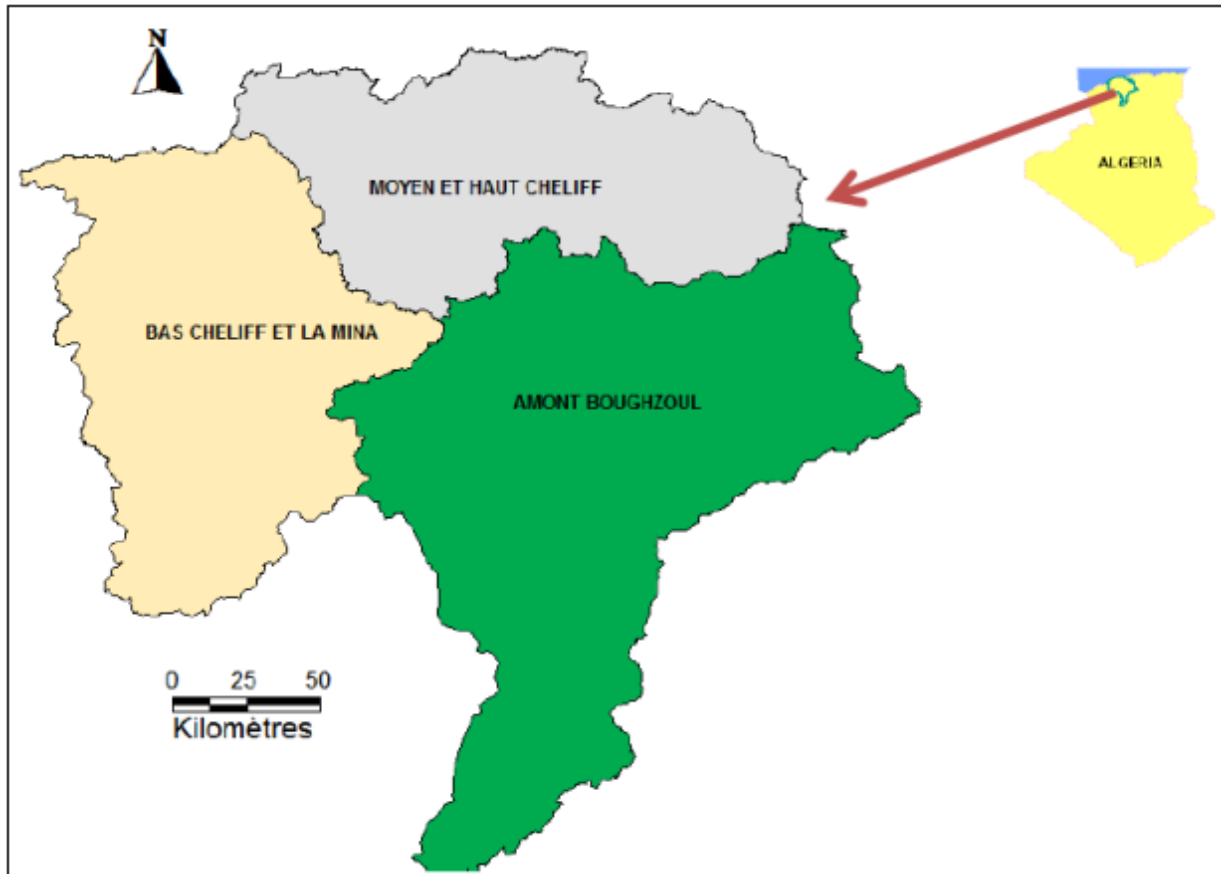


Figure n°3 : sous bassins du Bassin hydrographique Chellif.

### I.2. Cadre géographique locale :

Le bassin versant du haut Chélif occupe une superficie totale de 4745km<sup>2</sup>, il est situé entre 35°,70 et 36°30 de latitude Nord, 2 et 3°,25 de longitude Est. Au point de vue administratif, le bassin du haut Chélif s'étend sur la quasi-totalité de la superficie de la wilaya de Ain Defla ([ANBT,2008](#)).

Le bassin de haut cheliff, il est dominé par l'Oued Chélif avec une longueur de 700 km, il est le plus long oued d'Algérie, s'étend de puis la ville d'Aflou « wilaya de Laghouat » jusqu'à la région de Sidi Laadjel (Ouerk), il prend le nom d'oued touil. Sa confluence avec l'oued Ourek, lui donne le nom d'oued Chélif.

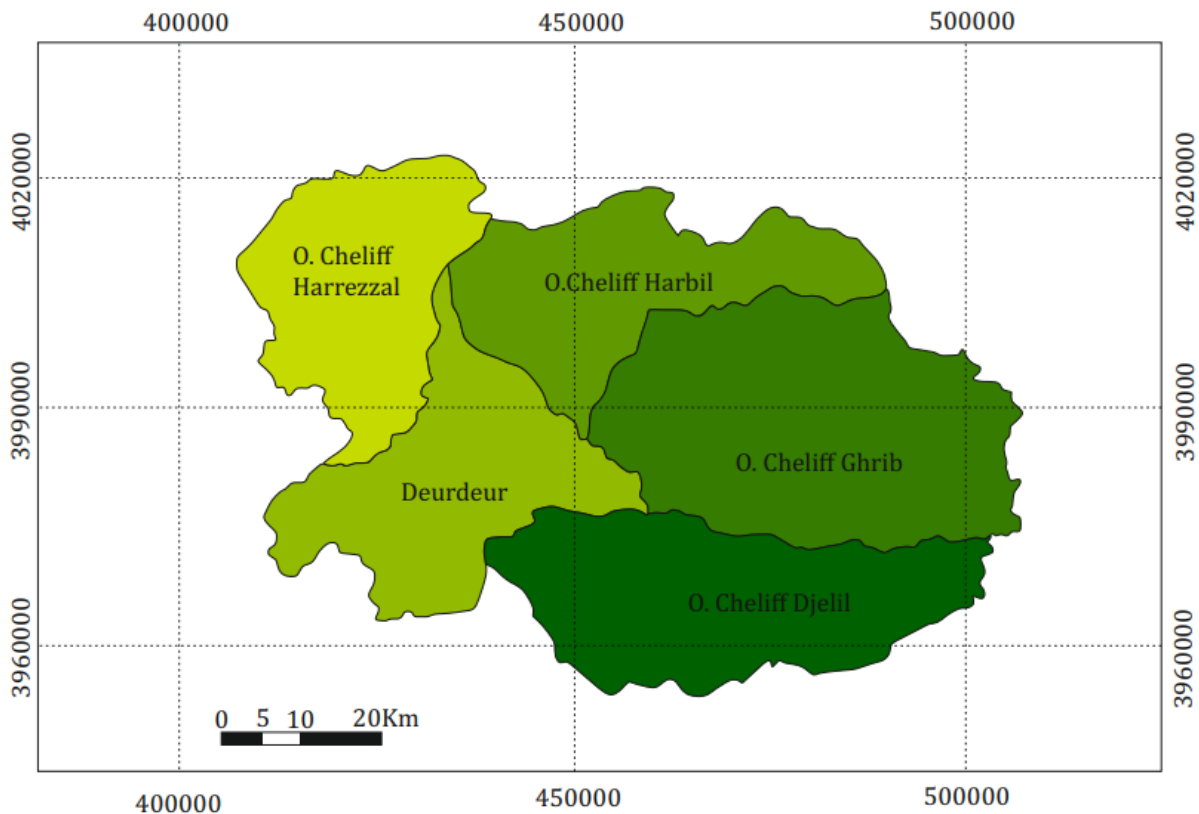


Figure n°4 : Carte des sous bassins du haut Cheliff( Perrodon,1957).

## II. Synthèse géologique et morphologique :

### II.1. Synthèse géologique :

L'étude géologique est basée sur la synthèse des travaux antérieurs effectués par plusieurs auteurs : (Perrodon, 1957 ; Mattauer, 1958 ; Meghraoui, 1986, 1996) et bien d'autres.

Géologiquement, le bassin de Cheliff correspond à un sillon intra montagneux subsidant dans le domaine du tell septentrional fonctionnant en graben le long de grandes flexures bordières (Perrodon, 1957). L'histoire est étroitement liée aux phases ultimes et paroxysmales de l'Orogenèse Alpine (fig.5).

Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par la chaîne tellienne septentrionale qui constitue le substratum de ce bassin. Elle est représentée par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassiques et crétacés.

Les structures étant allongées Est-Ouest, la tectonique est complexe. Les principaux éléments de cette chaîne sont:

□ Les autochtones : correspondent à Doui, Rouina et le Temoulga, qui sont des massifs épimétamorphiques à Schistosité (Kirech, 1977).

□ Les allochtones (nappes de charriage) : dominent une grande surface. Ils recouvrent une grande partie des formations qui se sont mises en place lors des différentes phases tectoniques alpines (Éocène moyen et miocène inférieur). Ces allochtones sont représentés par trois types de nappes (Mattauer, 1958) : **La première(nappe A)** englobe des assises de Crétacé inférieur et moyen et de Miocène inférieur, elle affleure généralement dans le secteur Sud du bassin et constitue une partie des monts de l'Ouarsenis. Les faciès correspondent des alternances de marno-gréseuses et Trias gypsifère. **La deuxième(nappe B)** Elle englobe des formations marneuses surtout qui forment de Crétacé supérieur (Sénonien) et de Tertiaire (Eocène, Oligocène et Miocène) ; ils reposent soit sur la nappe A, soit directement sur l'autochtone. Le faciès essentiellement flyshoïde à marneux renfermant des blocs de quartzite et de calcaire. Ces terrains dominent une grande surface de part et d'autre du bassin du Cheliff. **La troisième(nappe C)** Ce type de nappe repose sur tous les édifices des nappes antérieures, elle est localisée dans le Dahra et l'Ouarsenis occidental, l'étude des faciès provient du Tell septentrional, il s'agit de terrains Oligo-Miocène et Gréso-Micacés avec un déplacement atteignant de ce fait 50 à 100 Km. Après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle que l'on situe au Miocène moyen, des bassins essentiellement sédimentaires allongés d'Est en Ouest s'est mis en place. Parmi eux, le bassin du Chélif. Depuis le Miocène moyen et suite à la tectonique, la région connaît une suite de phases tectoniques avec la transgression de la mer du Miocène supérieur et du Pliocène.

L'érosion des reliefs environnants, la forte subsidence contrôlée par des fractures et la tectonique en compression encore active ont permis le dépôt d'une sédimentation importante qui peut atteindre et dépasser des épaisseurs de 2500 m. Elle est généralement marine d'âge Pliocène supérieur à l'actuel, correspond à des dépôts continentaux. La couverture post-nappes comporte un Miocène (Serravalier-Tortonien-Messénien), un Pliocène et un Quaternaire, Le Miocène est dominé essentiellement par deux grands ensembles:

□ Le Miocène inférieur (Burdigalien) : il est principalement transgressif sur les différents termes de la série stratigraphique, la sédimentation est dominée par une série de marnes bleues. Les dépôts transgressifs sont bien marqués par des niveaux de base très détritiques, de puissance et de faciès très variables. Ce faciès passe latéralement et verticalement à des grès marneux marins ou conglomérats marins ou continentaux. Généralement les affleurements de Miocène inférieur apparaissent le long du massif de l'Ouarsenis et dans le Dahra.

□ Le Miocène supérieur (Vindobonien): L'Ouarsenis a une nouvelle fois été touché par la mer Miocène, après les importants mouvements tectoniques qui ont succédé au dépôt du Miocène inférieur. Cette transgression ne recouvrit que la partie septentrionale de la région ; la partie méridionale resta émergée ; elle donna naissance à d'importantes formations détritiques qui se mêlèrent aux dépôts marins du bassin du Cheliff. Se marque par une transgression généralisée qui se termine par un des dépôts lagunaires. Il est subdivisé en quatre niveaux :

- Des marnes bleues avec un niveau généralement détritique.
- Des calcaires à lithothamnium.
- Des tripolis et marnes à tripolis.
- Des dépôts évaporitiques ( gypses et les marnes gypseuses).

Le Pliocène se caractérise par des dépôts marins d'âge Pliocène (Plaisancien- astien) et un Pliocène continental.

□ Le Pliocène inférieur (Pliocène marin) :

- Le Plaisancien :

Dominé par des marnes bleues qui se différencient difficilement des marnes bleues Miocènes. L'épaisseur de cette formation varie de 0 à plus de 700 m des bordures aux zones axiales du bassin.

- L'Astien :

Correspond à une série marine finement sableuse ou gréseuse, il est affleuré dans les plateaux du Dahra et plonge régulièrement sur les plaines. La puissance (épaisseur moyenne) de cet ensemble est d'une centaine de mètres et s'inscrit sur les bordures du bassin présentant localement des lentilles de marnes.

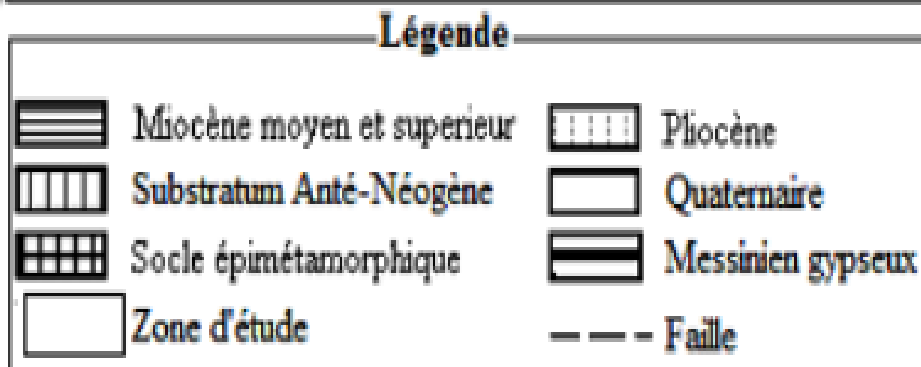
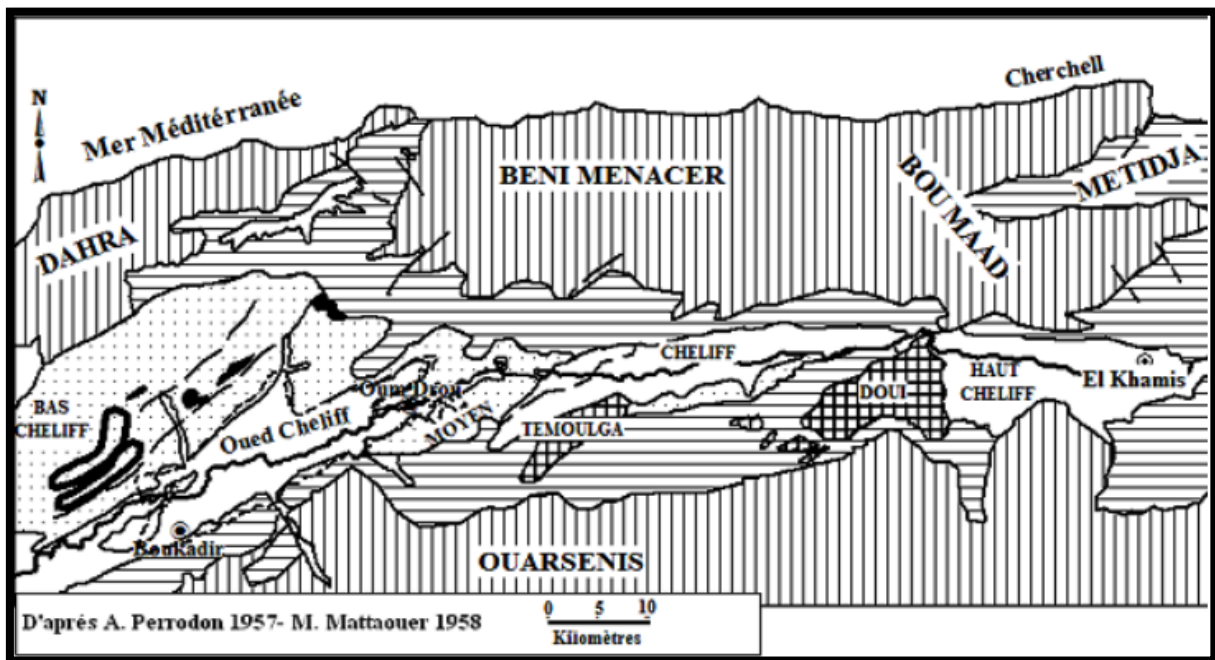


## Deuxième chapitre - Application au sous bassin de haut Cheliff

□ Le Pliocène supérieur (Continental -Villafranchien) : est marqué par la discordance. Il recouvre les déformations antérieures. Une période compressive déforme les niveaux continentaux du Pliocène suivant des plis Est-Ouest. Au partie sud de Cheliff sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire vient recouvrir directement les calcaires gréseux du Miocène supérieur.

Le Quaternaire : affleuré dans la bordure Sud-Tellienne et dans la dépression du Cheliff, les dépôts Quaternaires forment de notables flanc qui sont vaste, on distingue deux ensembles :

- Quaternaire ancien : est dominé par des alluvions grossières essentiellement conglomératiques, représentées par des galets, des graviers et des sables.
- Quaternaire récent : dominé par des alluvions dont le caractère essentiel est la



prédominance des éléments fins (limons) dérivés principalement des marnes Miocènes.

**Figure n°5** : Carte géologique du bassin de Cheliff (Perrodon, 1957 et Mattauer, 1958).

### II.2. Synthèse morphologique et topographique

Géo-morphologiquement, il correspond les caractéristiques morphologiques et topographiques, telles que : la forme, le relief, la disposition du réseau hydrographique, la nature du sol et le couvert végétal, cette dernière joue un rôle importante pour l'analyse du comportement hydrologique (l'écoulement, l'infiltration .... etc.) d'un bassin versant.

Le bassin du Chélif présente un relief subdivise en quatre régions naturelles ([Benhattab et al,2014](#)) :

Au nord, les chaînes montagneuses du Dahra-Zaccar de 700 à 1 580 m d'altitude.

Les monts de l'Ouarsenis au Sud de 2 000 m d'altitude.

La vallée du Chélif au centre.

Une région côtière.

#### II.2.1. Les reliefs

C'est un facteur important dans la détermination de l'aptitude des terrains au ruissellement et l'évaporation. Le relief du bassin versant du Haut Chélif est caractérisé par :

- Le massif du Dahra situé au Nord dont la partie, méridionale représentée par Djebel Zaccar avec une altitude maximale de 1576 m.
- Au centre, les plaines de l'Oued Chélif qui forment une étroite bande d'une dizaine de kilomètres de largeur avec une altitude moyenne de 250 m.
- Au Sud, les collines qui constituent les piémonts de l'imposant massif de l'Ouarsenis se dressent en rangs dispersés ne sont pas très étendues (5 à 10 kilomètres de large).

La courbe hypsométrique met en relief la pente du bassin. Elle représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Les principales caractéristiques altimétriques correspondent à :

- 1- L'altitude moyenne (H) : c'est le rapport entre la somme des surfaces élémentaires par l'altitude moyenne correspondent et la surface totale du bassin versant (A).

$$H = \frac{\sum a_i \cdot h_i}{A}$$

$a_i$ : Surface élémentaire entre deux courbes de niveau ( $\text{km}^2$ ).

$h_i$ : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

$A$  : surface totale du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

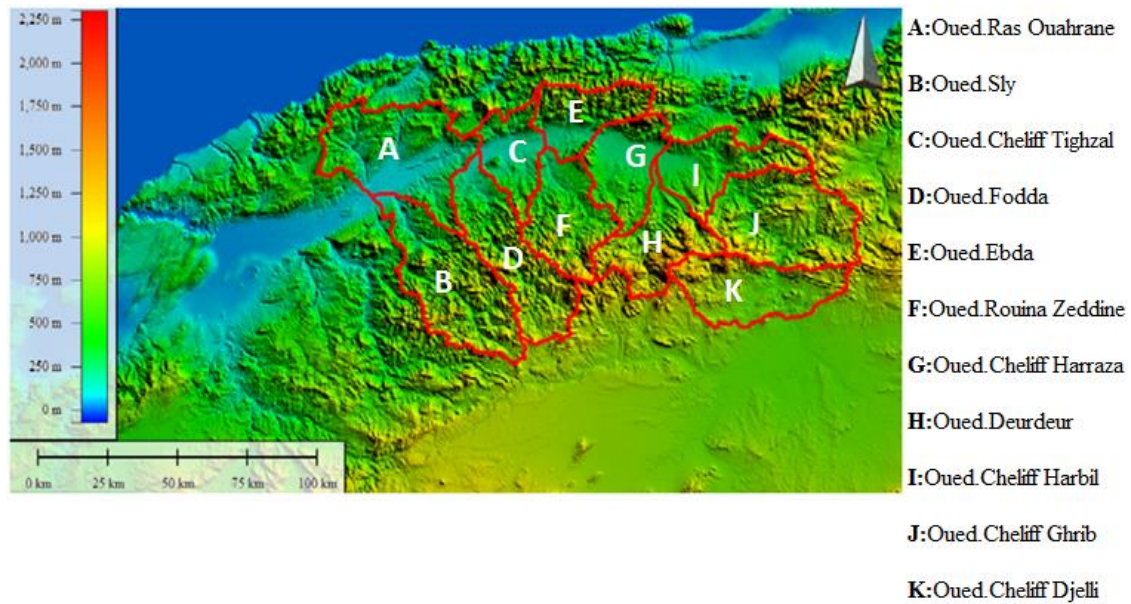
- 2- L'altitude maximale (H max) traduite par le point le plus haut du bassin.
- 3- L'altitude médiane (H méd) correspondant à 50% de la surface cumulée.
- 4- L'altitude minimale (H min) caractérisant le point le plus bas de bassin.

Dans notre terrain, on note :

- L'altitude maximale dans le sous bassin de Deurdeur (1800m).
- L'altitude moyenne des bassins de la région d'étude varie dans le bassin Chélif entre 520m (sous bassin de Chélif Harrezza jusqu'à 1020m (sous bassin de Deurdeur).
- L'altitude minimale minimale (300 m) est commune pour les trois sous bassin (Chélif Harbil, Deurdeur et Chélif Harrezza).

### ➤ La pente

La pente joue un rôle très important vis-à-vis du phénomène érosif. Son inclinaison influe considérablement la vitesse de ruissellement, qui accélère à son tour le processus du transport sédimentaire. Ce dernier accentue la force d'arrachement des particules et augmente ainsi l'effet de dégradation du sol. L'image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (fig.6), téléchargée avec le logiciel Global mapper, du bassin moyen et haut Chélif (fig.6) nous a permis de définir quatre classes de pentes de bassin haut et moyen de Chélif (Tableau.1). Les pentes fortes à très fortes sont identifiées surtout, dans la partie amont du bassin-versant. Celles-ci sont caractérisées par un relief accidenté où le risque érosif peut être très fort. Les pentes moyennes sont réparties beaucoup plus en aval bassin. Cependant, les pentes faibles sont concentrées au niveau de la plaine et occupent ainsi une surface plus faible.

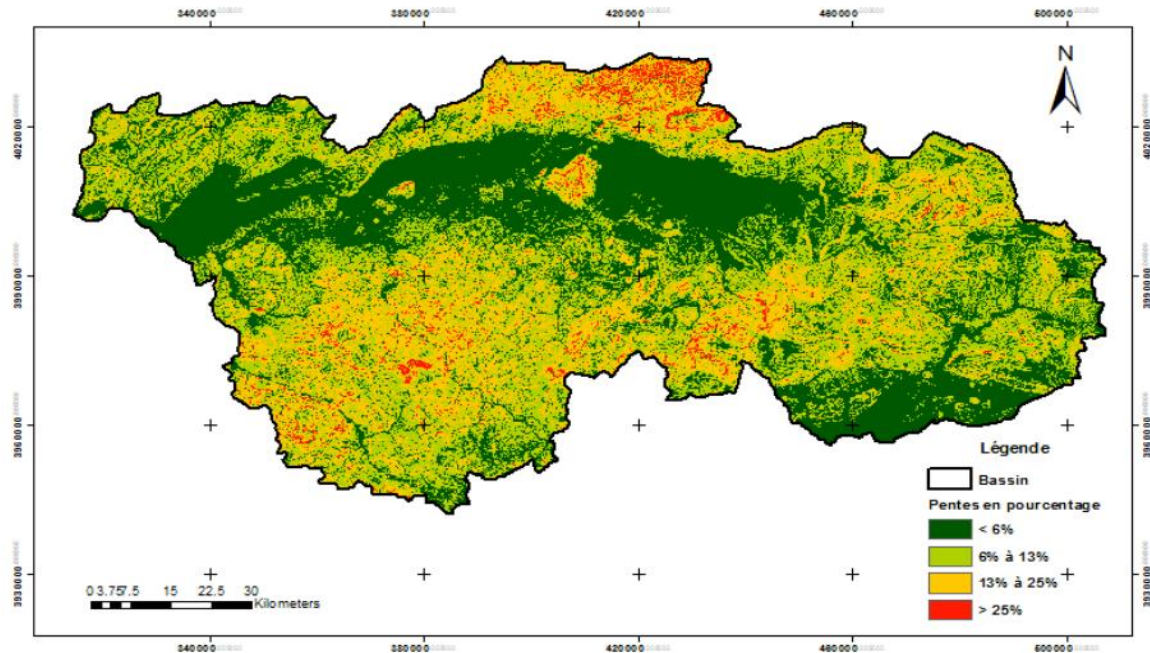


**Figure n°6 :** L'image Shuttle Radar Topography Mission de bassin moyen et haut Chélif par le logiciel ArcGisTM( [Benkaci et al,2018](#)).

En se référant à la carte de la (Fig.6) et au (Tab.1) ci-dessus, nous remarquons que les faibles à moyennes pentes occupent environ 46 % de la surface totale du bassin. Cette zone favorise l'apparition des rigoles. Cependant, plus de la moitié de la surface considérée (54%) est caractérisée par des fortes à très fortes pentes.

Classe des pentes (%)	Surface occupée (Km <sup>2</sup> )	Sensibilité	Indice de poids
< 6%	2249	Faible	1
6% à 13%	2722	Moyenne	2
13% à 25%	3764	Forte	3
> 25%	2044	Très forte	4

**Tableau n°1:** Classes des pentes avec leur surface et leur degré de sensibilité à l'érosion.



**Figure n°7 :** Carte des pentes du bassin haut et moyen Cheliff.

### II.2.2. La géométrie

C'est le paramètre le plus important pour définir la superficie et son périmètre. Le bassin du Haut Chélif est d'une superficie de 2388 km<sup>2</sup> et d'un périmètre de 236 km.

### II.2.3. Le réseau hydrographique

Le bassin de Chélif correspond à un chevelu hydrographique très dense (Figure 8), représenté par un réseau de l'ordre de 2200 km d'oueds permanents et de 5600 km d'oueds temporaires. Long de 349 km, oued Chélif résulte de la jonction des deux grands cours d'eau : oueds Touil et Nahr Ouassel (ABH CZ, 2004). La densité de drainage varie entre 0,57 et 1,54 km·km<sup>-2</sup>. Les faibles valeurs caractérisent les régions à faibles pentes qui sont surtout localisés sur les hautes plaines et résultent de faibles précipitations sur des formations perméables.

L'Oued Cheliff est parmi les grands Oueds Nord. L'oued Touil prend sa source dans l'Atlas saharien, près d'Aflou dans les monts de Djebel Ammour, avec une orientation SW-NE jusqu'à Chahbounia à Médéa pour confluer avec l'oued Nahr Ouassel qui coule en oblique vers le Nord-Est. L'Oued Cheliff prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit la chaîne de Médea (Boughari). Ensuite, suivant une orientation SE-NW, il traverse le massif de Gantass, et à la fin il coule en oblique d'Est en Ouest, jusqu'à son embouchure vers la mer méditerranée à Mostaganem. Sur la majeure partie de son cours d'eau, l'Oued Cheliff

serpente au fond d'une vallée parallèle à la mer bordée au Sud par le massif des Ouarsenis et au Nord par la chaîne côtière des monts du Dahra et du Zaccar.

Suite aux campagnes piézométriques effectuées le bassin du haut Chélif en hautes et basses eaux de l'année 2002 et 2008, nous avons constaté que les cartes piézométriques présentent la même morphologie et la même allure des courbes piézométriques. Les écoulements de la nappe se font à partir des bordures vers l'axe central de la vallée avant de prendre une direction Est-Ouest parallèlement au cours d'eau principal de l'oued Cheliff, mais avec une certaine augmentation du niveau piézométrique due à la recharge de la nappe à la suite d'une forte pluviométrie annuelle durant l'année 2008. On remarque, néanmoins, une certaine perturbation locale au niveau de la zone centrale et Sud de la plaine en 2008, due à la surexploitation de la nappe pour assurer l'irrigation.

De Boughzoul à l'embouchure du Cheliff, la distance en ligne droite est d'environ 250 km et la dénivellation à peu près 625 m. Durant tout ce parcours, l'Oued Cheliff ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive droite sauf l'Oued Ebda et l'Oued Ras Ouahrane, mais sur sa rive gauche, il collecte les eaux de l'Oued Deurdeur, Harreza, RouinaZeddine, Fodda, Sly, Rhiou, Djediouia et l'affluent important plus à l'Ouest : l'Oued Mina qui suit une direction Sud-Nord. Globalement, la disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des éléments structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques, particulièrement du Quaternaire. Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les terrains et se modifie avec l'évolution de la tectonique.





Figure n°8 :carte du réseau hydrographique du bassin de Chélif.

### II.2.3. a Les paramètres hydrographiques

➤ **Densité de drainage** est définie comme le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tout ordre, à la surface du bassin.

$$D_d = \frac{\sum li}{A}$$

$\Sigma Li$  : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en Km<sup>2</sup>, A : Superficie du bassin en Km<sup>2</sup>. La densité de drainage permanent et temporaire.

$$D_{dp} = \frac{\sum li_p}{A}$$

$$D_{dt} = \frac{\sum li_t}{A}$$

$L_p$  : longueurs des Oueds permanents,  $L_t$  : longueurs des Oueds temporaires La densité de drainage permanent (Ddp) fait mieux ressortir, les variations de l'écoulement à l'échelle du bassin. En effet, les valeurs de Ddp varient considérablement d'un bassin à l'autre et sont étroitement dépendantes de deux facteurs principaux : la lithologie et l'abondance des précipitations.

Ces valeurs sont faibles dans la région des hautes plaines : les sous bassins à l'amont du barrage Boughzoul, même si l'on enregistre des valeurs relativement élevées pour : Oued MechtiZerga (32%), Oued Ouassel Amont (35%) et Oued Ouassel Moyen (34%). Le rôle de la lithologie apparaît plus clairement dans les sous bassins de l'Oued Touil aval, Oued Touil Moyen et Oued Skani. La densité de drainage permanent reste en moyenne assez faible dans le bassin Cheliff à l'amont du barrage de Boughzoul. Elle est, par contre, relativement élevée dans le bassin du Moyen et Haut Cheliff (sous bassin Oued Deurdeur ; 35%, Oued Fodda ; 39%, Oued Sly ; 46%). La même observation peut être formulée dans le bassin du Bas Cheliff et la Mina (Oued Tiguiguest ; 51% et Oued Cheliff Tarhia ; 64%) où se conjugue une forte abondance pluviométrique et une faible perméabilité des affleurements géologiques. Les valeurs de la densité de drainage permanent enregistrées aux sous bassin de la rive gauche de l'Oued Cheliff sont nettement supérieures à celles des sous bassins de la rive droite (Oued Sly ; 46%, Oued Ras Ouhrane 15%). Contrairement, aux valeurs de la Ddp, les valeurs de la densité de drainage temporaire (Ddt) confirment les nuances régionales soulignées en fonction des conditions pluviométriques et lithologiques propres aux bassins considérés. Ainsi, aux plus faibles valeurs de Ddp correspondent les valeurs de Ddt les plus fortes ; sous bassin Oued Abd Amont (bassin du bas Cheliff et la Mina), sous bassin Oued Touil Aval (bassin Amont Boughzoul) et inversement, aux plus fortes valeurs de Ddp correspondent les valeurs de Ddt les plus faibles ; sous bassin Oued Cheliff Tarhia ; 36 %, Oued Tiguigues ; 49 % (bassin Aval Boughzoul). Dans l'ensemble, la densité de drainage temporaire est nettement plus élevée dans les hautes plaines (Amont Boughzoul) où une bonne partie des drains est à sec la plupart du temps.

### ➤ Profil en long

Les grands traits qui ressortent des profils en long relatifs au cours principal du Cheliff et de ses principaux affluents traduisent:

- Une rupture de pente nettement marquée de l'Oued Cheliff à sa sortie du barrage Boughzoul (à Boghar).



- Une opposition entre la faible inclinaison des cours d'eau des hautes plaines (Nahr Ouassel : 1,76‰) et les fortes pentes des affluents prenant naissance dans les massifs montagneux du Tell (Oued Harbil au confluence de l'Oued Cheliff : 10,7‰, Oued Fodda au confluence du Cheliff : 11‰, Oued Sly au confluence du Cheliff : 20‰). L'importante rupture de pente au niveau des gorges de Boughar joue un rôle important en raison de l'encaissement profond du lit de l'Oued pouvant traduire une augmentation de la vitesse de propagation des crues à l'aval du seuil rocheux (barrage Ghrib). Aussi, la représentation structurale du barrage de Boughzoul pourra contribuer à bloquer la remontée régressive de l'érosion (il joue le rôle d'un écrêteur de crues), ce qui aurait permis d'éviter le déchargement des hautes plaines, par opposition au domaine tellien intensément sectionné. D'autre part, les accentuations de pentes le long de l'Oued Cheliff peuvent également engendrer, surtout à l'échelle des petits bassins, un accroissement rapide des vitesses d'écoulement. Les resserrements relatifs à ce cours d'eau semblent, par ailleurs, favorables à des aménagements intéressants pour le stockage de l'eau. La décroissance des pentes des affluents telliens se fait de façon irrégulière ; les pentes sont exceptionnellement élevées dans leur partie amont et auront une influence directe sur le renforcement des crues de l'Oued Cheliff, notamment au niveau de son cours inférieur. Ainsi, les éléments qu'apportent les profils en long des cours d'eau ne font que renforcer les nuances relatives à la morphométrie du réseau hydrographique déjà relevées entre les grands secteurs du bassin du Cheliff. En somme, le bassin Cheliff à l'aval du barrage de Boughzoul et, à un degré moindre, le bassin Cheliff à l'amont du barrage Boughzoul dans sa partie Nord (les sous bassins qui sont drainés par Nahr Ouassel) présentent les conditions les plus favorables au déclenchement de crues rapides : concentration relativement poussée du chevelu hydrographique, densité de drainage permanent élevée, pentes des thalwegs les plus fortes. Au vue de la disposition d'ensemble du réseau hydrographique, on retiendra trois caractères essentiels du Cheliff :

- Un Oued partagé entre deux grands domaines géographiques nettement différenciés, Hautes plaines et Tell.
- Un Oued décrit de coudes au niveau des seuils rocheux, plus particulièrement à Boghar (Médéa).
- Un Oued dont le chevelu est corrompu dans la partie méridionale du bassin.

### II.2.3. b Qualité des eaux de surface

Cette investigation fera l'objet d'une étude d'évaluation de la qualité des eaux des barrages sur la base du suivi des paramètres physico-chimiques, lequel suivi est assuré par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) pour une période de dix années (1999-2008).

Ce travail a porté sur la mesure in situ du pH et de l'oxygène dissous et sur la détermination au laboratoire d'autres éléments (Résidu sec, MO, DBO<sup>5</sup>, DCO, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

L'étude de la qualité des eaux repose sur la comparaison des teneurs en diverses éléments chimiques analysés (souvent appelées paramètres) à des normes ou seuils. L'ensemble des seuils pour les paramètres pris en compte constitue une grille de qualité, grâce à laquelle il est possible d'attribuer une classe de qualité des eaux de barrage (Touhari, 2015).

Ce travail affecté les cinq barrages font l'objet d'un suivi de la qualité des eaux à travers l'existence des stations de surveillance relevant de l'ANRH, mais on fait les trois barrages principaux dans notre travail :

#### ➤ Barrage Ghrib

L'analyse de la qualité de l'eau du barrage Ghrib révèle une dégradation préoccupante sur plusieurs paramètres.

- *Minéralisation excessive* : La teneur en résidus secs est constamment très élevée, indiquant une forte présence de sels minéraux.
- *Matières organiques en hausse* : La demande chimique en oxygène (DCO) s'accroît continuellement, reflétant l'augmentation des matières organiques dans l'eau. Ceci requiert plus d'oxygène pour leur dégradation biologique, fragilisant ainsi l'équilibre du milieu aquatique.
- *Détérioration en 2006* : La qualité de l'eau a franchi un seuil critique en 2006, basculant vers une catégorie "très mauvaise".
- *Sources de pollution* : Les rejets d'eaux usées urbaines non traitées et l'utilisation abusive d'engrais agricoles sont identifiés comme les principaux responsables de cette pollution.

- *Eutrophisation* : Ce phénomène, favorisé par les apports en phosphore (même à faibles concentrations), entraîne une prolifération algale incontrôlée, nuisant à la qualité de l'eau et à l'équilibre écologique.
- *Ammonium, nitrite et phosphate* : Des concentrations élevées de ces composés azotés et phosphorés sont également présentes, dues à la décomposition de la matière organique et aux apports d'engrais excessifs.
- *Action urgente requise* : Étant donné que l'eau du barrage Ghrib alimente également le réseau d'eau potable, des mesures d'intervention immédiates et un traitement poussé sont indispensables pour enrayer la dégradation et garantir la sécurité sanitaire de l'eau.

En résumé, la situation du barrage Ghrib appelle à une mobilisation urgente pour enrayer la pollution et restaurer une qualité de l'eau acceptable pour ses multiples usages.

### ➤ **Barrage Deurdeur**

Elle existe une augmentation de la teneur en matières organiques reflète dégradation de la qualité des eaux au cours du temps, représentée par le paramètre DCO et une qualité moyenne pour l'oxygène (O<sub>2</sub>) dissous, ce qui implique une pollution due aux apports des polluants provenant des rejets d'eaux usées et au processus biologique (eutrophisation) par accumulation des éléments dans les réservoirs. L'oxydation de la matière organique azotée provoquent une augmentation des teneurs en NH<sup>4+</sup> et NO<sup>2-</sup>. Le Résidu Sec a donné une bonne qualité en 1999, mais une mauvaise qualité en 2002 et elle est redevenue moyenne en 2007, 2008. On remarque une concentration élevée en phosphate surtout dans les quatre dernières années, cela est le résultat de l'utilisation abusive d'engrais.

### ➤ **Barrage de Harreza**

Le barrage Harreza a connu une dégradation de la qualité physico-chimique de ses eaux, notamment en termes de résidu sec, entre 2006 et 2007. Le pic de mars 2007 (1,5 g/l) dépasse largement les normes de qualité. Heureusement, la situation s'est améliorée en 2008, indiquant une certaine capacité de résilience du milieu aquatique.

Les analyses révèlent des concentrations élevées en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ammonium), NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (nitrite) et PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (phosphate) dans les eaux du barrage. Ces polluants proviennent principalement de deux sources :

- **Oxydation de la matière organique azotée** : Décomposition naturelle de la matière organique présente dans l'eau, libérant des composés azotés ammoniacaux.
- **Utilisation abusive d'engrais** : Les pratiques agricoles intensives, notamment l'utilisation excessive d'engrais phosphatés, contribuent à l'eutrophisation des eaux par le lessivage des sols.

L'amélioration de la qualité des eaux de ce barrage nécessite des traitements, afin de diminuer la teneur en  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_2^-$  en premier lieu, ainsi que les phosphates.

### II.2.3. c La nappe de haut Chélif

La nappe phréatique du Haut Cheliff présente une particularité : un enrichissement en ions Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) par rapport aux ions Sodium ( $\text{Na}^+$ ). Cette anomalie ne peut s'expliquer uniquement par la dissolution du sel gemme (halite). Deux hypothèses principales sont avancées :

- **Origine anthropique** : Les rejets d'eaux usées urbaines non traitées peuvent s'infiltrer dans le sol et atteindre la nappe phréatique, augmentant ainsi la teneur en  $\text{Cl}^-$ .
- **Échange d'ions** : Les argiles du sous-sol peuvent libérer des ions Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) en fixant les ions  $\text{Na}^+$ , ce qui expliquerait l'excès relatif de  $\text{Cl}^-$ .

L'analyse des rapports entre les ions Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et d'autres ions ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) révèle un excès important de  $\text{Ca}^{2+}$ . Cet excès ne peut provenir uniquement de la dissolution du calcaire et du gypse, ce qui confirme l'hypothèse d'un apport supplémentaire de  $\text{Ca}^{2+}$  par échange d'ions.

La nappe phréatique du Haut Cheliff alimente plusieurs communes : Djendel, Khemis Miliana, Sidi Lakhdar, BirOuledKhelifa, Ain Soltane, Djelida et Arib. Elle est menacée par diverses sources de pollution : les rejets domestiques et industriels, l'élevage, et les décharges publiques non contrôlées. Il en est de même pour les abattoirs et les décharges hospitalières mais avec des charges moins importantes.

### II.2.4. Sol et végétation

Le bassin du Cheliff possède de grandes potentialités agricoles. Quatre périmètres d'irrigation couvrant 61500 ha, réalisés depuis les années trente (Moyen Cheliff mis en service en 1936,

Bas Cheliff mis en service 1937, haut Cheliff 1937 et la Mina en 1941), expriment ce bassin à vocation agricole.

Les sols des bassins du Cheliff sont composés de cinq catégories selon la classification proposée par l'ANRH basée sur les propriétés physico-chimiques et les différents facteurs naturels (géomorphologie, topographie, ...) (P.D.A.R.E, 2009).

- Les sols de la catégorie I ne présentent pas de problèmes majeurs d'aménagements et sont à mettre en valeur prioritairement, ils sont aptes à toutes les cultures.
- Les sols de la catégorie II présentent des problèmes mineurs d'aménagement (épierrage ou assainissement de surface). Ces sols sont plus spécialement favorables aux cultures industrielles.
- Les sols de la catégorie III sont à réserver aux cultures en assolement et dont les problèmes d'aménagement essentiels sont le drainage, après la mise en irrigation et le dessalage.
- Les sols de la catégorie IV sont parfois salés ou hydromorphes avec une nappe à faible profondeur. Ils présentent des problèmes majeurs d'aménagement. L'aptitude culturale est souvent réduite aux cultures céréalières, fourragères et maraîchères. La mise en valeur en sec est conseillée.
- Les sols de la catégorie V correspondent aux sols inaptes à l'irrigation pour diverses raisons : présence de croûtes calcaires à faible profondeur, halomorphie, hydromorphie très prononcée et topographie défavorable.

Seuls les sols des catégories I, II et III sont considérés comme des sols irrigables. D'après les études pédologiques réalisées par l'ANRH dans la région du Cheliff (tab.2), la superficie globale Irrigable est estimée à 241 921 ha. La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention des bassins. La présence de végétation va jouer le rôle de « régulateur » dans le régime d'écoulement. Le couvert végétal de la région d'étude offre une grande diversité spatiale qui est influencée par les types de sols et les écarts climatiques induits par la proximité du Sahara et la mer Méditerranée. Les bassins de la région d'étude sont en majeure partie affectés par un régime climatique semi-aride à aride qui déterminera la couverture végétale. Au niveau des secteurs topographiquement déprimés, une prédominance des cultures céréalières et maraîchères est limitée aux affleurements miocènes, aux plaines et terrasses alluviales. Ces

secteurs sont caractérisés par des pentes assez faibles (2% à 5%) et sont faiblement soumis à l'érosion et des zones des steppes qui se concentrent au Sud du bassin. Au niveau des parties amonts des bassins ou les pentes sont relativement fortes (10% à 18%) les cultures sont instables essentiellement installées sur les marnes et les argiles. Ces formations constituent des sous bassement fragiles et très favorables à l'érosion. Les régions les plus élevées sont dominés par le couvert forestier.

Bassin	Catégories de sols					Sols irrigables (I+ II+ III) ha
	I	II	III	IV	V	
Haut et Moyen Cheliff	26851	24956	30156	140962	18913	81963
Bas Cheliff et la Mina	19886	7001	10700	10624	7667	37587
Cheliff à l'amont du Boughzoul	26273	32495	63603	235421	89175	122371

**Tableau n°2:** Les superficies irrigables par région et par catégories de sols (hectare : ha).

### III. Synthèse climatologique

La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales: température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. Sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels (Hufty, 2001).

La région du Haut Cheliff a une vocation agricole nécessitant une irrigation par aspersion en raison d'un climat continental semi-aride avec des étés très secs (la température moyenne interannuelle oscille entre 13 et 19°C, avec un maximum mensuel de plus de 30°C enregistré au mois de juillet) et des épisodes pluvieux d'hiver provoquant parfois des inondations spectaculaires de l'Oued Cheliff. La construction des barrages Ghrib, Deurdeur, Harreza, Sidi M'hamed Ben Taiba et OuledMellouk a permis de régulariser les débits des oueds et de fournir de l'eau d'irrigation d'avril à septembre. Le climat des plaines du Chélif est un climat

spécifique, rude et contrasté, avec des étés très chauds et des températures basses en hiver. Cette particularité lui a aussi valu des qualificatifs célèbres, tels que « le four du tell » ou encore « une portion du Sahara égarée dans le tell » (Yacono, 1955 ; Boulaine, 1957).

### III.1. La précipitation :

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat.

#### - Analyse des stations pluviométriques :

La pluviométrie moyenne interannuelle varie entre 300 et 500 mm. Elle est plus concentrée dans les altitudes, sur les versants Sud du Zaccar et Nord de l'Ouarsenis. D'après la carte de l'évapotranspiration potentielle du Nord de l'Algérie, sur tout le bassin du Haut Cheliff, l'évapotranspiration annuelle varie de 1200 à 1500 mm.

### III.2. La température :

Les données sur les températures moyennes mensuelles présentées dans le tableau suivant sont celle des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) (tab.3). Le bassin du haut et de moyen Cheliff est caractérisé par une température moyenne interannuelles oscillant de 13 à 20C° avec un maximum mensuel de plus de 30.6C°, enregistré au mois de Juillet et un minimum mensuel de 4.6C°, enregistré au mois de Janvier. La température moyenne interannuelle varie de 14 à 20C° dans la plaine de bas du Cheliff, avec un maximum mensuel enregistré au mois d'Aout et un minimum de 6.1C° enregistré au mois

Sous bassin	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juin	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy ann	Max	Min
0.114	4.6	6.2	8.4	10.9	15.7	20	25.6	25.3	19.5	14.6	8.5	5.7	4.6	25.6	13.7

de Janvier.

**Tableau n°3:** Températures moyennes mensuelles(C°). (ANRH, 2003-2004).

### III.3. L'humidité :

C'est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenue dans un certain volume d'air et la quantité que peut contenir ce même volume à l'état de saturation, l'humidité relative de l'air est généralement plus élevée le matin pour tous les mois ; elle est de l'ordre de 60 à 85% en automne et l'hiver et entre 35 à 60% en printemps et l'été. Le mois le plus humide est le mois de décembre et le mois le plus sec est le mois de juillet.

### III.4. Le ruissellement :

Apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol. Il est aussi en fonction de divers facteurs : la perméabilité, la pente et la capacité d'absorption des formations affleurantes. Ou en hauteur (mm) par rapport à une superficie. Les hauteurs d'eau ruisselées. Ce paramètre est exprimé en hauteur (lame d'eau ruisselée en (mm) = volume ruisselé (m<sup>3</sup>) / surface réceptrice du bassin en m<sup>2</sup> ). Il est calculé par la formule de TixerontBerkaloff :  $R = P3 / 3(ETP)^2$  mm. (Saim 2013). Localement, la lame d'eau ruisselée varie entre 8.6 et 17 mm, mais elle reste approximative pour les raisons suivantes: -les limites d'application des formules de calcul qui doivent prendre en compte les paramètres régnant dans la région d'étude. -le degré de l'incertitude relatif aux méthodes empiriques utilisées. - la sous-estimation ou surestimation des paramètres qui contribuent à l'apparition du ruissellement.

### III.5. Le vent :

Est un air en mouvement qui se déplace dans des zones de haute pression vers les zones de basse pression. Dans notre secteur d'étude, en général est faible puisque sa force est comprise entre 1,4 et 2. (Pour  $1 < F < 2$  donc le vent faible avec F est la force de vent).

### III.6. Evapotranspiration :

Les résultats de l'évapotranspiration présentées dans le tableau ci-dessous (tab.4) sont relevés à partir des cartes de l'évapotranspiration mensuelle et annuelle éditées par les services de l'ANRH. On remarque des fortes valeurs dans vallée du Haut et du Moyen Cheliff. Elle atteint une valeur maximale de 1570mm dans la station d'Ain-Defla ; par contre on enregistre de faibles valeurs dans les stations de Teniet-El Had et Miliana localisées dans les piémonts du bassin du Haut et du Moyen Cheliff. Le potentiel total annuel de



## Deuxième chapitre - Application au sous bassin de haut Cheliff

l'évapotranspiration varie de 1200mm à 1600mm. En saison froide l'ETP mensuelle décroît progressivement jusqu'à atteindre des valeurs inférieures à celles de la précipitation. Par contre, elles sont fortement supérieures durant la saison chaude. Notre secteur d'étude ( le bassin du bas Cheliff ) est caractérisé par une importante évapotranspiration ( depuis 1300mm jusqu'à plus de 1600mm avec un maximum enregistré de 1326mm. En saison chaude, les données de l'ETP mensuelles dépassent fortement celles des précipitations. En saison froide, l'ETP décroît progressivement elle reste importante ; seuls les deux mois de Décembre et Janvier, enregistrent les valeurs des précipitations supérieures ou égale à celles de l'ETP.

Sous bassin	Jan	Fév	M ar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy an
0114	28	41	76	113	151	186	220	199	136	86	43	27	1306

**Tableau n°4:** Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles (mm). (ANRH 2003-2004).





---

**Troisième chapitre :**

**Mise en œuvre des méthodes**



### I. Mise en œuvre des méthodes

#### I.1. Introduction

La mise en œuvre des méthodes en hydrologie est un domaine crucial pour la gestion efficace des ressources en eau. Les hydrologues utilisent des techniques telles que l'hydrologie isotopique, l'hydrologie statistique, et l'hydrologie déterministe pour étudier et comprendre les processus hydrologiques qui influent sur la disponibilité et la qualité de l'eau. Ces méthodes permettent de quantifier et de caractériser les flux d'eau dans les bassins versants, ainsi que les impacts des activités humaines sur l'environnement. L'hydrologie isotopique, par exemple, utilise les isotopes naturels présents dans l'eau pour étudier les cycles hydrologiques et les mouvements d'eau dans les écosystèmes. Cette méthode est particulièrement utile pour comprendre les processus de recharge des aquifères et les mouvements d'eau dans les sols (Rodier, 1964). L'hydrologie statistique, quant à elle, utilise des techniques statistiques pour analyser et interpréter les données hydrologiques. Cela permet de déterminer les tendances et les patterns dans les données, ainsi que les impacts des changements climatiques et des activités humaines sur les ressources en eau. Enfin, l'hydrologie déterministe utilise des modèles mathématiques pour simuler et prévoir les comportements des systèmes hydrologiques. Cela permet de planifier et de gérer les ressources en eau de manière plus efficace, en prenant en compte les impacts des activités humaines et des changements climatiques (Hufty, 2001) et (Bernier, 1977).

### II. Analyse des débits

#### II.1. Introduction

L'analyse des débits sur une longue période présente un grand intérêt à plus d'un titre. Elle permet tout d'abord de suivre les variations interannuelles du débit et de mettre en évidence une éventuelle tendance à la modification du régime en relation, par exemple, avec des changements de l'affectation du sol, avec un accroissement de l'urbanisation ou avec une éventuelle modification du climat. Il est également utile d'avoir une analyse fine de la récurrence des crues sur des rivières afin d'en faire une estimation qui sera d'autant plus correcte que la période de référence sera longue; il est ainsi possible de proposer des valeurs guides qui peuvent être exploitées dans le cas de rivières où les séries de débits sont trop courtes pour avoir des estimations fiables. Par ailleurs, dans le cas du Bassin de haut Chélif,

il était intéressant de voir l'impact des barrages sur la modification du régime hydrologique de la rivière et sur l'écrêtement des crues.

**Collecte de données :** La première étape consiste à collecter des données sur les débits d'eau dans les cours d'eau du bassin versant. Ces données proviennent généralement de stations hydrométriques qui mesurent le débit en  $m^3/s$ .

**Analyse des données :** Les données de débit sont analysées pour identifier les tendances, les variations saisonnières et les événements extrêmes comme les crues. Cette analyse permet de déterminer le régime hydrologique naturel du bassin.

**Modélisation :** Des modèles mathématiques sont utilisés pour simuler les débits en fonction de paramètres comme les précipitations, l'évapotranspiration et les caractéristiques du sol.

**Estimation des débits d'étiage :** L'estimation des débits d'étiage, qui correspondent aux plus faibles débits, est cruciale pour évaluer la disponibilité en eau.

**Évaluation des impacts :** L'analyse des débits permet d'évaluer les impacts des activités humaines, comme les prélèvements d'eau ou les aménagements, sur le régime hydrologique. Elle aide aussi à estimer les risques d'inondations et d'érosion.

### II.1.1. Les Variations journalières des débits

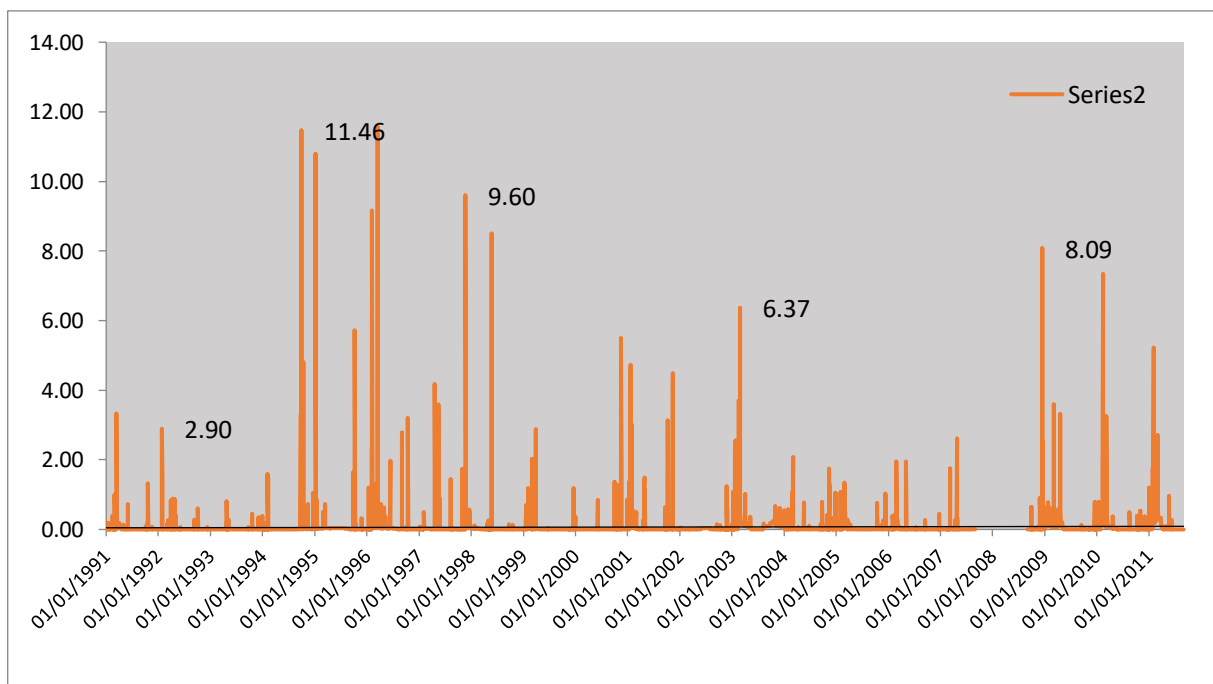
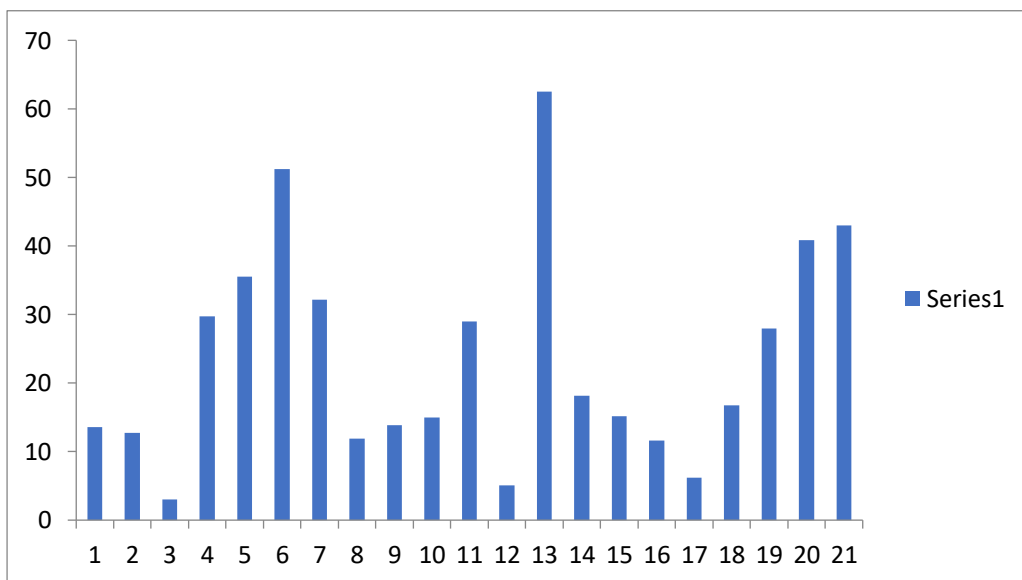
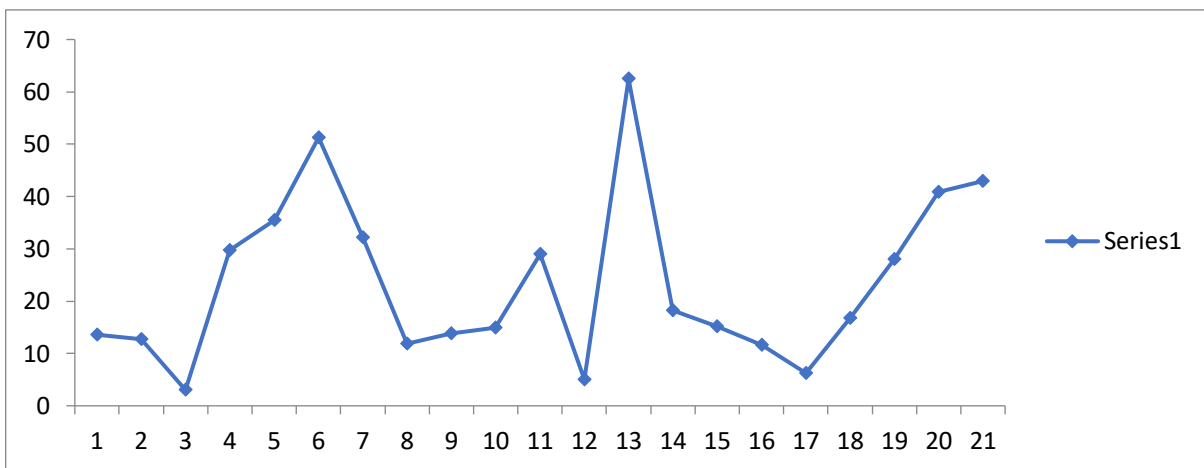


Figure n°09 : Variations journalières des débits de la station EL ABABSA.

Les variations journalières des débits de la station EL ABABSA sont représentées par un histogramme **figure n°10**. Nous constatons que les débits les plus importants caractérisent l'année **1995-1996**, on note aussi durant la période **1999- 2007** il ya pas un débit vraiment important est très faible.

#### II.1.2. Les Variations Annuelles des débits



**Figure n°10** : Courbe et histogramme des Variations annuelles des débits de la station EL ABABSA.

Les variations annuelles des débits de la station EL ABABSA sont représentées par un histogramme **figure n°11**. On observe une irrégularité pas assez prononcée, la période **1996-2003** on remarque que le débit est fort.

### **III. Le régime des débits**

Le régime des débits en hydrologie fait référence à la variabilité des débits d'eau observés sur un cycle annuel dans un cours d'eau ou un bassin versant. Ce régime hydrologique est caractérisé par les fluctuations naturelles des débits en fonction des apports, des types de sols, de la végétation, de la topographie du bassin versant, et d'autres facteurs environnementaux. Il se traduit par des variations saisonnières et des événements extrêmes tels que les crues et les étiages.

L'analyse du régime des débits permet de comprendre comment le débit d'eau évolue au fil du temps, en fonction des conditions météorologiques, des caractéristiques du bassin versant, et des interactions entre les différents composants du système hydrologique. Cette analyse est essentielle pour la gestion des ressources en eau, la prévention des inondations, et la planification des usages de l'eau dans un bassin versant.

Les régimes des débits peuvent être classifiés en différents types en fonction de leurs caractéristiques saisonnières et de leurs modes d'alimentation. Cette classification permet de mieux comprendre les variations des débits et d'adapter les stratégies de gestion de l'eau en conséquence.

### **IV. Estimation du débit de pointe de temps de retour 5 ans pour le bassin versant de haut Chélif par la méthode statistique**

L'analyse porte sur le bassin versant du haut Chélif qui est situé à 110 km au Sud-ouest d'Alger et fait partie du bassin hydrographique de Chélif. Nous avons pris en compte toutes les caractéristiques physiographiques de ce bassin explicitées dans les chapitres précédents.

#### **IV.1. Ajustement statistique de la série des données**

L'objectif de cette partie est d'estimer les débits de pointes (débits maxima) correspondants à un certain temps de retour, c'est-à-dire à une certaine probabilité d'apparition donnée, en utilisant une analyse fréquentielle de longue série de débits maxima. Nous allons effectuer une prévision qui en utilisant un modèle fréquentiel qui va décrire le mieux le comportement statistique des débits étudiés.

Le premier modèle propose de décrire la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée. C'est du choix du modèle fréquentiel (et plus particulièrement de son type) que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle.

Il est à préciser qu'un modèle fréquentiel est très souvent utilisé pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes représenté par l'analyse de la distribution statistique de Gumbel (loi double exponentielle ou loi de Gumbel). La fonction de répartition de la loi de Gumbel est écrite :

$F(x)$  s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp(-\exp(-(x-a/b))) \quad (1) \text{ avec la variable réduite suivante : } u=x-a/b \quad (2)$$

Où

$a$  et  $b$  sont les paramètres du modèle de Gumbel.

La distribution s'écrit alors de la manière suivante :

$$F(x) = \exp(-\exp(-u)) \quad (3) \quad \text{et} \quad u = -\ln(-\ln f(x)). \quad (4)$$

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire

$$(x_q = a + bu_q).$$

En conséquence, dès lors que les points de la série à ajuster peuvent être reportés dans un système d'axes  $x - u$ , il est possible d'ajuster une droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres  $a$  et  $b$  de la loi.

L'estimation des paramètres  $a$  et  $b$  de l'ajustement peut se faire graphiquement (ajustement à l'œil ou à l'aide d'une régression statistique), ou selon une méthode mathématique.

En pratique il s'agit essentiellement d'estimer la probabilité de non dépassement  $F(x_i)$  qu'il convient d'attribuer à chaque valeur  $x_i$ . Il existe de nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition  $F(x)$  à l'aide de la fréquence empirique. Elles reposent toutes sur un tri de la série par valeurs croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang  $r$ . Des simulations ont montré que pour la loi de Gumbel, il faut utiliser la fréquence empirique de Hazen :



$$F(x_r) = r - 0,5/n \quad (5)$$

Où  $r$  est le rang dans la série de données classée par valeurs croissantes,  $n$  est la taille de l'échantillon,  $x_r$  la valeur de rang  $r$ .

Rappelons encore que le temps de retour  $T$  d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. Soit :

$$T = 1 / F_Q(x_Q) \quad (6)$$

A l'aide de l'ajustement, il est alors possible d'estimer le débit de pointe pour un temps de retour donné.

#### IV.2. Méthode des moments

La méthode des moments consiste à égaliser les moments des échantillons avec les moments théoriques de la loi<sup>1</sup>. Par la méthode des moments les paramètres  $a$  et  $b$  sont calculés d'après les formules :

$$\hat{b} = (\sqrt{6} / \pi) * \sigma^{\wedge}$$

avec  $\gamma = 0,5772$  (constante d'Euler). (7)

$$\hat{a} = \mu^{\wedge} - \hat{b} \gamma$$

avec

$\sigma$  : écart-type des valeurs composant l'échantillon.

$\mu$  : moyenne de l'échantillon.

Dès lors il est possible d'estimer les débits dont la représentation graphique est une droite

d'équation :

$$\hat{Q} = \hat{a} + \hat{b}.u \quad (8)$$

Avec

u: variable réduite (cf. équation (4)).

**La démarche adoptée est la suivante :**

**Etape 1 :** Préparation de la série de données des débits de pointe : la préparation des données consiste à classer les mesures dans l'ordre croissant et d'attribuer à chaque mesure un rang.

**Etape 2 :** Nous procédons au calcul de la fréquence empirique pour chaque rang par la méthode de Hazen illustré dans l'équation (5).

**Etape 3 :** Nous calculons la valeur de la variable réduite « u » du Gumbel avec l'équation équation (4).

<b>Coefficients de la droite de Gumbel : <math>Q_p = a + bu</math></b>	
A lire sur le graphique : coeff. De la droite de regression	
<b>b</b>	<b>a</b>
<b>1,96</b>	<b>3,97</b>
<b>Coefficients de la droite de Gumbel : <math>Q_p = a + bu</math></b>	
Méthod e des Moments	
<b>b</b>	<b>a</b>
<b>2,04</b>	<b>3,90</b>

**Tableau n°5:** Lesparamètres **a,b** de la méthode statistique.

Les valeurs obtenues des deux constantes a et b obtenues par l'analyse statistique de Gumbel et celle des moments ont résumés dans le tableau, ci-dessus.

Les constantes retrouvéesn'ontpermis de calculer la valeur de débits de non dépassement et par conséquent la valeur de débit de pointe résumés dans le tableau, en deçà.

<b>période de</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>2,33</b>
-------------------	------------	-----------	-----------	----------	-------------

retour T =					
Qp [Statistique] =	13,0	11,6	9,8	6,9	5,1

Tableau n°6: débit de pointe de période de retour T.

- Nous avons pu représenter les résultats par le graphique de la distribution de Gumbel. La droite retrouver illustre la position de chaque mesure tout près de la droite ce qui indique que cette distribution reflète le mieux les débits de pointe.

Etape 4 : Représentation graphique des couples  $(u_i, x_i)$  de la série à ajuster (figure 9).

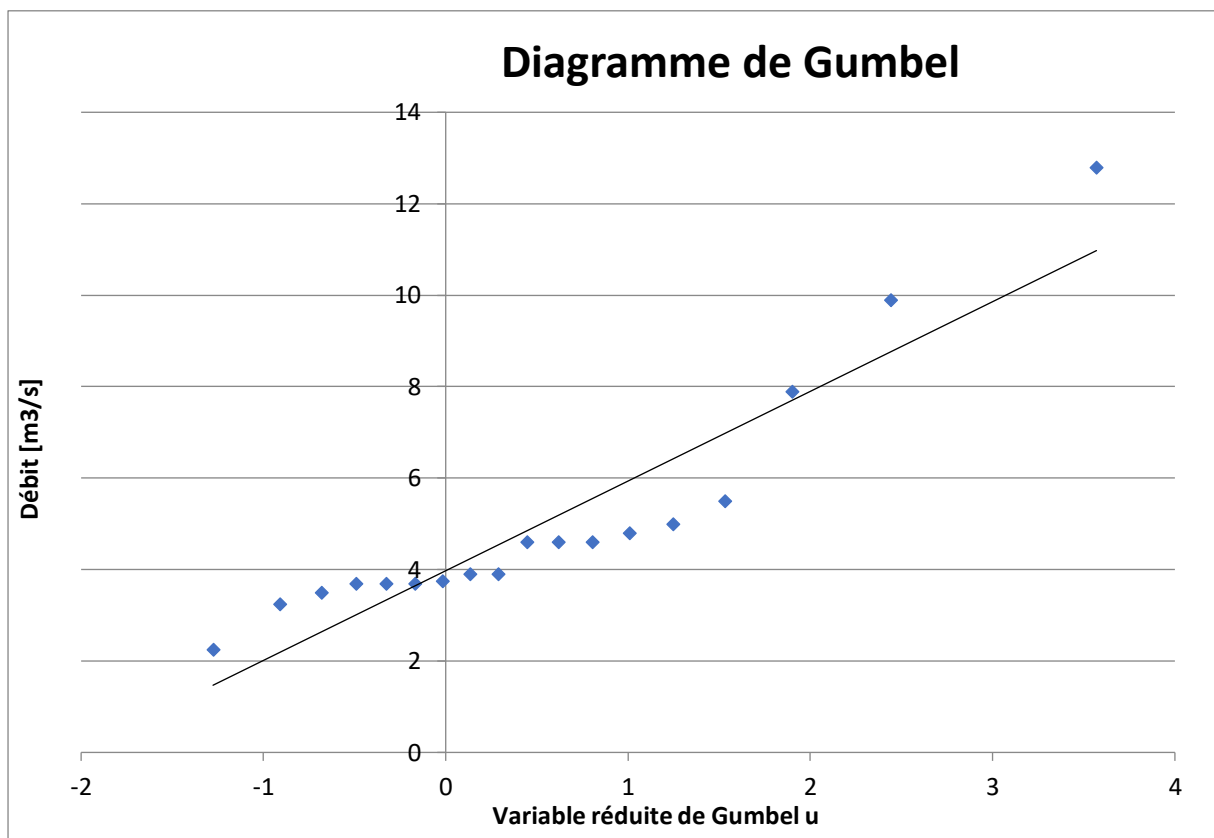


Figure n°11 : Ajustement graphique du modèle (calcul des paramètres « a » et « b » de la droite d'ajustement de Gumbel par la méthode des moments.

Etape 5 : nous pouvons constater que l'ajustement d'une relation linéaire de type  $x_q = a + bu_q$  aux couples  $(u_i, x_i)$  (figure 9). Avec un ajustement de type graphique (à l'œil), on a alors une estimation des paramètres  $a_1$  et  $b_1$  :  $a_1 = 1,96$  et  $b_1 = 3,97$

Par contre l'ajustement par la méthode des moments, on a alors une estimation peu différente des paramètres  $a_2$  et  $b_2$  :  $a_2 = 2.04$  et  $b_2 = 3.90$

On peut remarquer que l'ajustement est médiocre. A ce stade, il serait nécessaire de vérifier statistiquement que les valeurs observées sont estimées « de manière satisfaisante » à l'aide de tests d'ajustement appropriés.

**Etape 6 :** Utilisation du modèle statistique pour estimer des débits de pointe de différents temps de retour T. Pour T=100 ans, on suit les étapes suivantes :

période de retour T =	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>2,33</b>
<b>Probabilité de non dépassement de Q =</b>	0,99	0,98	0,95	0,8	0,57
<b>Variable réduite de Gumbel u=</b>	4,6	3,9	3,0	1,5	0,6
<b>Qp [Statistique] =</b>	13,0	11,6	9,8	6,9	5,1

**Tableau n°7:** débit de pointe de période de retour T.

- Calcul de la fréquence de non-dépassement d'après la relation (6) :

$$F(Q_p(T)) = 1 - 1/T = 1 - 1/100 = 0,99$$

- Calcul de la variable réduite de Gumbel correspondante d'après la relation (4) :

$$u = -\ln(-\ln(F(Q_p(T)))) = -\ln(-\ln(0,99)) = 4,6$$

Calcul du quantile correspondant d'après la relation linéaire (avec a et b fournis par l'étape 5 précédente) :

$$Q_p(100) = a_1 + b_1 * u_{100} = 3,97 + 1,96 * 0,99 = 13 \text{ m}^3/\text{s}$$

On a de même pour les autres temps de retour :

$$Q_q(2,33) = a + bu_{2,33} = 3,97 + 1,96 * 0,57 = 5,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_q(5) = a + bu_5 = 3,97 + 1,96 * 0,8 = 6,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_q(20) = a + bu_{20} = 3,97 + 1,96 * 0,95 = 9,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_q(50) = a + bu_{50} = 3,97 + 1,96 * 0,98 = 11,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

## V. Estimation du débit de pointe de temps de retour 5 ans par la méthode rationnelle

Le concept de la méthode rationnelle est probablement la formule la plus connue et la plus utilisée essentiellement à cause de sa simplicité, mais aussi du fait que les séries de pluies sont souvent plus longues que celles des débits.

Le débit de pointe est calculé en fonction des caractéristiques physiographiques des bassins versants et de l'intensité des précipitations selon l'expression suivante :

$$Q_p(t) = u \cdot C_r \cdot i(T, t_c) \cdot A \quad (9)$$

Avec :

$C_r$  : Coefficient de ruissellement (ou coefficient d'écoulement) du bassin versant qui dépend de la couverture du sol et du temps de retour.

$i(T, t_c)$  : Intensité moyenne maximale de la pluie fonction du temps de concentration  $t_c$  et de la période de retour  $T$  [mm/h].

$A$  : Superficie du bassin versant [ha].

$u$  : Coefficient qui est fonction des unités choisies. Avec  $A$  en ha, en mm/h et  $u = 0,0028$ , on obtient  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

L'application de cette méthode nécessite l'identification des différents coefficients qui la caractérisent, à savoir, le coefficient de ruissellement  $C_r$ , le temps de concentration  $t_c$ , et l'intensité moyenne maximale de la pluie  $i$ .

**-L'estimation du coefficient de ruissellement :**

Nous avons utilisé pour le calcul de ce coefficient par la valeur expérimentale qui prend en compte le type de sol, sa couverture végétale et la pente du bassin. Si le bassin est caractérisé par des couvertures ou des pentes très différentes, il est alors nécessaire de procéder à la détermination d'un nouveau coefficient de ruissellement moyen à l'aide d'une moyenne pondérée par les surfaces.

### -L'estimation du temps de concentration

A défaut de mesures, le temps de concentration  $t_c$  peut être estimé par des formules empiriques, comme celle de Ventura :

$$\text{Formule de Ventura : } t_c = 76,3 \cdot (\sqrt{A}/\sqrt{I}) \quad (10)$$

$t_c$  : Temps de concentration [min],

A : surface du bassin versant [ $\text{km}^2$ ] ,

I : pente moyenne du bassin [%].

### -L'estimation de l'intensité moyenne maximale des précipitations

Les méthodes et les formulations mathématiques pour estimer l'intensité critique pour un temps de retour T donné sont multiples. Ici, la formule de Montana et les coefficients sont utilisés :

$$i(T, t_c) = a(T) \cdot t^{-b(T)} \quad (11)$$

i : intensité moyenne maximale de l'averse de durée t [mm/h],

t : durée de la pluie =  $t_c$  [min] ;

a, b : paramètres locaux dépendant du lieu et du temps de retour T.

Rappelons qu'une hypothèse de la méthode rationnelle est que la durée de la pluie est égale au temps de concentration ( $t_c$ ).

### - Démarche et résultats

**Etape 1 :** Estimation du coefficient de ruissellement moyen, pondéré par les surfaces Pour le bassin de haut Chélif, ce calcul est facilement réalisé à partir :

- Des caractéristiques du bassin versant (surface et % occupation du sol).

$A=4745 \text{ km}^2$  dont

$P(\text{forêt}) = 27\%$ ,

$P(\text{près})= 60 \%$

et  $P(\text{Urbain})=50 \%$ .

- Des valeurs caractéristiques des coefficients de ruissellement pour différents types d'occupation du sol, et différentes:

$I= 25 \%$

D'où :  $Cr(\text{forêts})=0,13$ ;  $Cr(\text{près})=0,25$  et  $Cr(\text{Urbain})=0,9$

**Et ainsi :**

$$\bar{c}_r = (27 \cdot 0,13 + 60 \cdot 0,25 + 50 \cdot 0,9) / (27 + 60 + 0,9) = 0,72 .$$

**Etape 2 :** Estimation du temps de concentration d'après l'équation (10) :

$$t_c = 76,3 \cdot (\sqrt{A} / \sqrt{I}) = 76,3 \cdot (\sqrt{1,66} / \sqrt{32,9}) = 1051,2 \text{ min.}$$

**Etape 3 :** Estimation de l'intensité critique de pluie pour T et de durée  $t=t_c$  d'après l'équation (11) et les coefficients a et b énoncé :

Soit :

$$i_{2,33} = a \cdot t_c^{-b} = 3,8 \text{ mm/h}$$

$$i_5 = a \cdot t_c^{-b} = 4,7 \text{ mm/h}$$

$$i_{20} = a \cdot t_c^{-b} = 6,3 \text{ mm/h}$$

$$i_{50} = a \cdot t_c^{-b} = 7,1 \text{ mm/h}$$

$$i_{100} = a \cdot t_c^{-b} = 8,0 \text{ mm/h}$$

période de retour T =	100	50	20	5	2,33
a	793,8	672,1	581,1	390,4	310,1
b	0,66	0,65	0,65	0,63	0,63
i[V,Montana] =avec tc de Ventura	8,0	7,1	6,3	4,7	3,8

**Tableau n°8 :** Estimation de l'intensité critique de pluie pour T et de durée t=tc (en mm/h).

**Etape 4 :** Estimation des débits de pointe pour les différents temps de retour T d'après la formule rationnelle, i.e. l'équation (9) :

$$Q_{2,33} = u.C_r.i_{2,33}.A = 3194,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_5 = u.C_r.i_5.A = 3981,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{20} = u.C_r.i_{20}.A = 5326,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{50} = u.C_r.i_{50}.A = 5951,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = u.C_r.i_{100}.A = 6779,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

## VI. Estimation des débits de pointe de temps de retour 2.33, 5, 20, 50,100 ans par la méthode régionale

### 1-Méthode de « l'indice de crue »

Le débit associé à un temps de retour de 2.33 ans (temps de retour de l'espérance mathématique d'une variable aléatoire distribuée selon une loi de Gumbel), noté généralement  $Q_{2,33}$ , peut-être régionalisée à l'intérieur d'un espace défini, à l'aide d'une relation de type empirique ou statistique (souvent fonction de la surface), qui permet d'estimer la valeur moyenne du débit annuel de temps de retour de 2,33 ans en tous points de cet espace par interpolation. Le passage de cette valeur moyenne à un débit moyen ou maximal de crue de temps de retour différent s'effectue à l'aide d'autres relations, validées sur la même zone.



Pour la Suisse Occidentale, Niggli et al, 2000 proposent une formule de détermination du  $Q_{2,33}$ , dépendant de la surface du bassin considéré et d'un paramètre régional K. Elle se présente sous la forme suivante :

$$Q_{2,33} = K_{2,33} \cdot A^{0,66} \quad (12)$$

Avec :

$$K = 0,0056 \cdot EL^{-0,56} \cdot ALT^{0,63}$$

**$Q_{2,33}$**  : débit annuel de temps de retour de 2,33 ans [m<sup>3</sup>/s] ;

**K** : Paramètre régional [-] ;

**A** : surface [km<sup>2</sup>] ;

**EL** : Elongation du versant (rapport entre le diamètre du cercle ayant la même surface que le bassin versant et la longueur totale du réseau hydrographique) [-];

**ALT** : altitude moyenne du bassin versant [m].

La moyenne des débits de pointe annuels  $Q_T$  pour une période de retour T est finalement obtenue par la relation suivante :

$$Q_T = F_{CT} \cdot Q_{2,33} = F_{CT} \cdot 0,0056 \cdot EL^{-0,56} \cdot ALT^{0,63} \cdot A^{0,66} \quad (13)$$

Où

$F_{CT}$  est le facteur de croissance en fonction du temps de retour T.

### 2-Démarche et résultats

Les étapes sont résumées, ci-dessous ;

**Etape 1** : Calcul du débit annuel  $Q_{2,33}$  à partir des caractéristiques physiographiques des bassins versants étudiés et de l'équation (12). On a donc :

$$Q_{2,33} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Etape 2** : Calcul des débits pour les différents temps de retour (5, 20, 50 et 100 ans) en utilisant le débit de pointe annuel  $Q_{2,33}$  estimé précédemment on a :

$$Q_{5\text{ans}} = F_{C5\text{ans}} \cdot Q_{2,33} = 1,26 \cdot 1,5 = 1,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{20\text{ans}} = F_{C20\text{ans}} \cdot Q_{2,33} = 1,87 \cdot 1,5 = 2,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{50\text{ans}} = F_{C50\text{ans}} \cdot Q_{2,33} = 2,35 \cdot 1,5 = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100\text{ans}} = F_{C100\text{ans}} \cdot Q_{2,33} = 2,77 \cdot 1,5 = 4,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

période de retour T =	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>2,33</b>
FC(T) préalpes =	2,77	2,35	1,87	1,26	0,95
Qp(T) [régional] =	<b>4,3</b>	<b>3,6</b>	2,9	1,9	1,5

**Tableau n°9** : Estimation des débits de pointe de période de retour T par la méthode régionale.

## VII. Analyse comparative de l'ensemble des résultats obtenus

Pour les différentes méthodes et les différents temps de retour, les résultats sur le bassin versant de haut Chélif sont regroupés dans le tableau suivant. La méthode régionale sous-estime clairement les débits de pointe. Ceci est probablement dû au fait que le bassin n'est pas homogène par rapport aux paramètres utilisés dans la régionalisation. Les deux autres méthodes donnent des résultats semblables.

<b>Période de retour T =</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>2,33</b>
Qp [Statistique]=	13,0	11,6	9,8	6,9	5,1
Qp [V, Montana]=	6779,6	5951,0	5326,0	3981,9	3194,8
Qp(T) [régional] =	<b>4,3</b>	<b>3,6</b>	<b>2,9</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>

**Tableau n°10** : Comparaison des  $Q_{p(2,33)}$  obtenus (en  $\text{m}^3/\text{s}$ ) avec le débit moyen.

Finalement, il peut y avoir une grande variabilité des débits de pointes estimés selon les différentes méthodes et formules. Il faut choisir la méthode selon son domaine d'utilisation et considérer si les valeurs observées sont disponibles. Rappelons les points suivant :

1/ On a uniquement des estimations grossières vues les nombreuses sources d'incertitude.

- **Méthode statistique** : L'ajustement de Gumbel n'est pas forcément le plus approprié. Si l'ajustement est réalisé sur des séries trop courtes, cela peut conduire à des estimations loin de la réalité ce qui n'est pas notre cas.

- **Méthode régionale :** Cette méthode implique le calcul des débits uniquement en fonction des caractéristiques des bassins versants. Si les bassins à étudier ne sont pas homogènes (caractéristiques prédominantes non prises en compte dans les paramètres de régionalisation), l'utilisation d'une formule régionale donnera forcément des  $Q_p$  très différents des estimations obtenues par la méthode régionale.
- **Méthode rationnelle :** Une des limites de cette méthode est le problème posé par les multiples formules et abaques nécessaires pour estimer le temps de concentration, le coefficient de ruissellement et l'intensité des précipitations. Un autre problème classique de cette méthode est l'hypothèse sur les temps de retour :  $T(\text{pluie})=T(\text{débit})$ .

Enfin, l'estimation du coefficient de ruissellement peut être délicate. De plus rappelons que le  $C_r$  n'est pas égal dans l'espace ni dans le temps ni pour des temps de retour différents.

### CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, la combinaison des méthodes rationnelle et statistique en hydrologie a été très satisfaisante est très déterminante par rapport au fait de présenter une analyse complète et précise des phénomènes hydrologiques de la zone étudiée. Le choix de la méthode une fois établie peut ainsi être utilisé comme technique contribuant ainsi à une gestion durable et efficace des ressources en eau dans divers contextes environnementaux et climatiques.

A travers notre étude, il est clair de valider la plus représentative de l'évolution des débits dans notre région est la méthode statistique de Gumbel qui est mieux adaptée aux conditions de notre bassin versant avec une série de données plus ou moins longue. Les autres méthodes sont plutôt adaptées aux bassins versant très petits.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[ABH-CZ.,2004](#) : Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Chélif-aval du barrage du Boughzoul. Première partie : Haut et Moyen chelif,62p.

[ABH-CZ.,2004](#) : Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Chélif-aval du barrage du Boughzoul. Deuxième partie : bas Chélif et Mina,52p.

[Ahour. F, 1997](#) : Conditions hydrologiques et disponibilité en eau en régions semi arides: application de méthodologies nouvelles aux bassins du Cheliff, Algérie, Thèse doctorat ; Université de Franche-Comté, P 143- 202.

[ANBT, 2008](#) : Agence Nationale des Barrages et Transfères. Etude de protection des bassins versants des barrages d'Oued Fodda, Ghrib et Boughazoul. Alger.

[Bakreti A., I. Braud, E. Leblois Et A. Benali., 2013](#) : Analyse conjointe des régimes pluviométriques et hydrologiques dans le bassin de la Tafna, Algérie Occidentale. Hydrol. Sci. J., 58, 133-151.

[Belgacem I, Salhi Y, SI-Ahmed E., Legrand J., 2013](#): Experimental investigation of slug pattern in a horizontal two-phase flow - WIT Transactions on Engineering Sciences. Volume 19, pp.423-434.

[Benhattab, K., Bouvier, C., Meddi, M.,2014](#) : Analyse fréquentielle régionale des précipitations journalières maximales annuelles dans le bassin hydrographique-Chélif, Algérie. Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 27(3): 189-203.

[Benkaci. S, Dehbia. A, Oumellal. A, Remini. B., 2018](#): Modélisation de l'érosion du bassin haut et moyen Cheliff par l'application Model builder sur ArcGis.

[BERNIER., 1977](#) : Etude de la stationnarité des séries hydrométéorologiques. La houille Blanche.

[Boulaine, 1957](#) : Les sols des plaines du Cheliff, Thèse de doctorat d'état, Université d'Alger, 5B2p.

De Villers J, Squilbin M, Yourassowsky C., 2005 : Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

Domzig, A., 2006 : Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge algérienne, Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, p. 343. 23, 47, 51, 52, 53, 55, 58, 184, 191, 192.

Dooge J.C.I., 1959: A general theory of unit hydrograph. Geophys. Res., 64(2): 241-256.

Hewitt GF, Roberts DN., 1969: Studies of two-phase flow patterns by simultaneous x-ray and fast photography, pp.1-26.

Hufty, 2001 : Introduction à la climatologie. 1re édition | août 2001 | 542 pages.

Kirèche, O., 1977 : Etude géologique structurale des massifs de la plaine du Chélif (Doui, Rouina, Témoulga). Thèse Doct. 3ème cycle, USTHB, Alger (Algérie).

Mattauer, M., 1958 : Étude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). Bulletin du Service Géologique de l'Algérie. Monographie Régionale 17, 534.

Meghraoui M., 1988 : Géologie des zones sismiques du nord de l'Algérie. paléosismologie, tectonique active et synthèse sismotectonique. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de ParisSud, 356 pp. Meghraoui M., Cisternas A. and Phillip H. (1986). Seismotectonics of the Cheliff basin: Structure background of the El-Asnam earthquake, Tectonics5, 809-836.

Meghraoui, M., 1988 : géologie des zones sismique du nord de l'Algérie, tectonique active, paléoséismologie et synthèse sismotectonique, Ph.D. thèse, 336 pp., Univ. de Paris-Sud Orsay, Paris.

Meghraoui, M and , Doumaz., F., 1996: Earthquake-induced flooding and paleoseismicity of El Asnam (Algeria) fault-related fold. J. Geophys. Res., 101, 17617-17644

Mulvany, T.J., 1851: On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rain fall and of flood discharges in a given catchment, Proceedings of Institution of Civil Engineers of Ireland, 4, 18-33.

Perridon, A., 1957 : Étude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. Bulletin du service de la carte géologique d'Algérie. 12 : 1-382.

PDARE, 2009 : Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau, Rapport de synthèse

de la région hydrographique du Cheliff, 266 pages.

[RODIER J.,1964](#) : Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du congé. ORSTOM, paris, France.

[Taitel et Dukler, 1976](#):A model for predicting flow regime transitions in horizontal and near horizontal gas-liquid flow - AIChE journal, pp.47-55.

[Touhari, 2015](#) : Étude de la qualité des eaux au nord ouest de l'Algérie, Thèse de doctorat, école nationale supérieure d'hydraulique, Blida. Algérie. Pp 80-118.

[Yacono, 1955](#) : La Colonisation des plaines du Chélif (de Lavigerie au confluent de la Mina). Alger, Imbert, 1955-1956. Deux forts volumes in 4° brochés, 444 et 423 pp. avec des tableaux, des cartes, des plans, des graphiques, des planches photographiques.