

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

LICENCE En SCIENCES ET TECHNIQUES

## « Eau et Environnement »

Intitulé :

**Régime hydro pluviométrique et relation  
pluie-débit sur le Haut Atlas occidental  
Exemple du bassin versant de Seksaoua à Iloudjane**

Réalisé par :

- M<sup>lle</sup> . Kaoutar NASSIRI
- M<sup>lle</sup> . Raouia ELIDRISSI BOUKHATTARA

Encadré par :

Mr. Mohamed El Mehdi SAIDI : Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech

Mr.Said El KIHTEL: ABHT-Marrakech

Soutenu : Le 25 /06/2013

Devant le jury composé de :

Mr.Abdeljabar RIZKI : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech

2012-2013



# Dédicaces

A nos très chers parents

En témoignage de profond amour, de grande reconnaissance et pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour notre éducation et notre bonheur.

A nos enseignants

A nos chers (es) amis (es) et collègues

A toute personne qui nous aime, et qui contribuera à notre joie familiale et notre bonheur professionnel.

# Remerciement

Au terme de ce stage de fin d'études, il nous est agréable d'exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont aidés à le mener à terme, que ce soit au département des sciences de la terre de la Faculté de Sciences et Techniques de Marrakech ou à l'Agence de Bassin Hydraulique de Tensift.

Nous exprimons une gratitude toute particulière à notre encadrant Mr .M. El Mehdi Saidi, professeur à la faculté des sciences et techniques de Marrakech, qui nous a aidés tout au long de la rédaction de ce mémoire et qui nous a orientés par ses conseils et son raisonnement scientifique.

Nos remerciements vont également à notre encadrant à l'ABHT Mr. Said .EL KIHHEL sans oublier le chef de la division des ressources en eau et les techniciens de l'agence.

Nous remercions Mr. RIZKI, membre du jury, qui a accepté de juger notre travail.

Nos chaleureux remerciements vont également à nos très chers parents pour leurs sacrifices matériels et moraux qu'ils nous ont accordés le long de ces années d'études ainsi qu'à nos frères et sœurs pour leurs encouragements.

Je tiens à remercier également Mr .Barakat pour son soutien durant toute la période du stage et son aide à l'apprentissage du logiciel ArcGis.

En fin nous remercions toute personne du département de Géologie qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, ainsi que nos collègues et nos amis.

# Sommaire

<b>INTRODUCTION</b> .....	6
<b>Première partie : Présentation générale et géomorphologie du bassin versant</b>	
1-Délimitation du bassin et situation géographique.....	8
2-Stations de mesure dans le bassin versant de Seksaoua .....	10
a-Mise en service et but de la station .....	10
b-Situation géographique et juridique .....	10
c- Admistration .....	12
3-Morphologie du basin.....	12
a- Indice de compacité $K_c$ .....	12
b-Carte et courbe hypsométrique .....	13
c. Les pentes du bassin versant.....	17
d- Le rectangle équivalent.....	18
e-Le temps de concentration .....	18
f-Réseau hydrographique et densité de drainage.....	19
4-Lithologie et géologie générale.....	22
5-Le climat globale et la production végétale .....	24
<b>Deuxième partie : Analyse hydro pluviométrique et bilan hydrologique</b>	
<b>Chapitre1 : Traitement des données hydro-pluviométriques</b> .....	26
A-Précipitations moyennes annuelles .....	26
B-Précipitations saisonnières.....	27
C-Précipitations moyennes mensuelles .....	27
D-Ajustement de lois à un échantillon de pluie .....	28
a- Présentation du logiciel utilisé dans cette étude.....	28
b- Méthode visuelle (analyse des graphes) .....	29

c- Méthode numérique (Analyse statistique) .....	31
d- Estimation des précipitations maximales journalières .....	32
e- Critères de la loi d'ajustement le mieux adapté pour l'estimation.....	33
<b>Chapitre II : Le régime hydrologique de Seksaoua .....</b>	<b>34</b>
1-Les débits moyens annuels .....	34
2-les débits moyens saisonniers .....	34
3-les débits moyens mensuels .....	35
4- Ajustement de lois .....	36
a- Méthode visuelle (analyse des graphes).....	36
b- Méthode numérique (analyse des critères statistiques) .....	36
c- Estimation des débits de pointe de périodes de retour .....	38
d- Critères de la loi d'ajustement le mieux adapté pour l'estimation .....	39
<b>Chapitre III : Relation pluie-débit .....</b>	<b>40</b>
A-Corrélation entre les précipitations et les débits moyens .....	40
1-Corrélation entre les précipitations et les débits moyens annuels.....	40
2-Corrélation entre les précipitations et les débits moyens saisonniers.....	41
3 -Corrélation entre les précipitations et les débits moyens mensuels.....	41
B- Variation comparative des débits et les pluies moyens annuels .....	42
C-Variation comparative des débits et les pluies mensuelles.....	43
D-Conclusion.....	43
<b>Chapitre IV : Bilans hydrologiques .....</b>	<b>44</b>
A-Bilans hydrologiques particuliers .....	44
1-La lame d'eau écoulée .....	44
2- Le déficit d'écoulement .....	44
3- Le coefficient d'écoulement.....	44
4- Bilans hydrologiques annuels dans le bassin du N'fis à Imin El Hammam .....	45
B- Corrélations entre les précipitations et les déficits d'écoulements annuels .....	46
C- Corrélations entre les précipitations et les coefficients d'écoulements annuels.....	47
D- Bilan global .....	48
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>49</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>52</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>53</b>

# INTRODUCTION

Le présent travail se propose de contribuer à l'étude du bassin versant de l'oued Seksaoua qui fait partie du Haut Atlas occidental. Nul ne met en doute le rôle de telles études comme élément de base fondamental pour un futur projet de protection contre les inondations.

A cet effet et en vue d'assurer la sécurité des futurs aménagements on se propose de réaliser cette étude hydrologique du bassin versant de Seksaoua en aval sur lequel est déjà construit le barrage de Boualouane.

Le plan qu'on va suivre lors de cette étude s'articule en trois grandes parties :

-La première partie consacrée à la géographie et la géomorphologie générale notamment la position et les dimensions, l'hierarchie du réseau hydrographique, la nature du substratum et sa perméabilité ceci en tenant compte de la géologie générale.

- La deuxième partie va aborder l'étude des précipitations et des débits sur l'ensemble du bassin versant en se basant sur données, annuelles, saisonnières et mensuelles et leurs variabilités, ainsi nous utiliserons des lois statistiques applicables à l'hydrologie, et qui présentent un intérêt particulier lorsqu'on parle d'analyses fréquentielles et l'estimation des risques associés aux événements hydrologiques. Cette méthode statistique consiste à étudier des événements historiques afin d'en évaluer les probabilités d'apparition future.

-La troisième partie portera sur la corrélation précipitations-débits et les bilans hydrologiques.

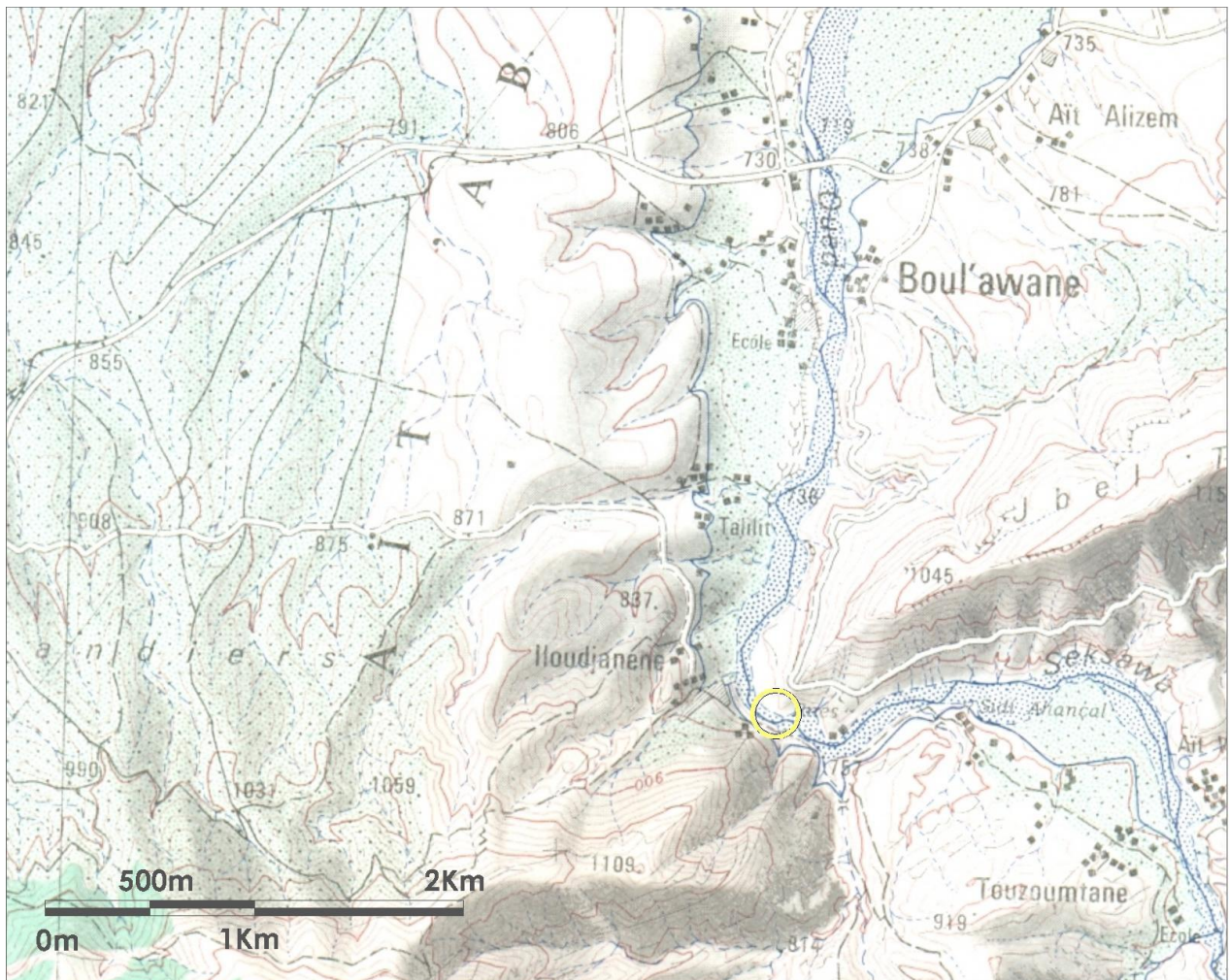
**PREMIERE PARTIE :**

**PRESENTATION GENERALE ET  
GEOMORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT**

## 1-Délimitation du bassin et situation géographique

Affluent atlasique rive droite de l'oued **CHICHAOUA** dans la région de Marrakech. Il couvre une superficie de **565 km<sup>2</sup>** en considérant l'exutoire à Iloudjane. Limité au nord par oued **Chichaoua** qui dernier est un affluent important situé en rive gauche de l'oued Tensift, il draine un bassin versant de **2200 km<sup>2</sup>**. au sud par les stations **IGHZER** et **ARGROURTANE**, à l'ouest par l'oued **IMEZNAS** et **IMI NTANOUTE**, à l'est par l'oued **ASSIF LMAL**.

le secteur est caractérisé par des altitudes comprises entre 700 et 3300m . La morphologie contrastée ainsi que la géologie du substrat rocheux vont jouer un rôle important dans la régulation du régime hydrologique du bassin (pente, lithologie...).



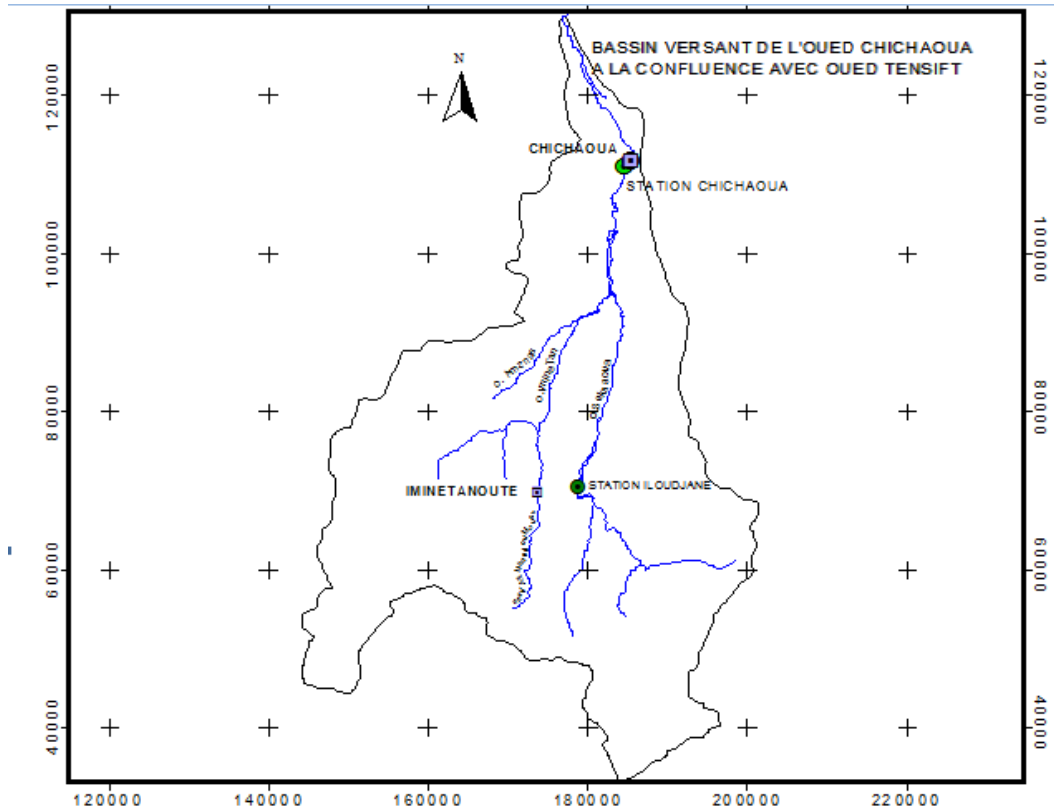
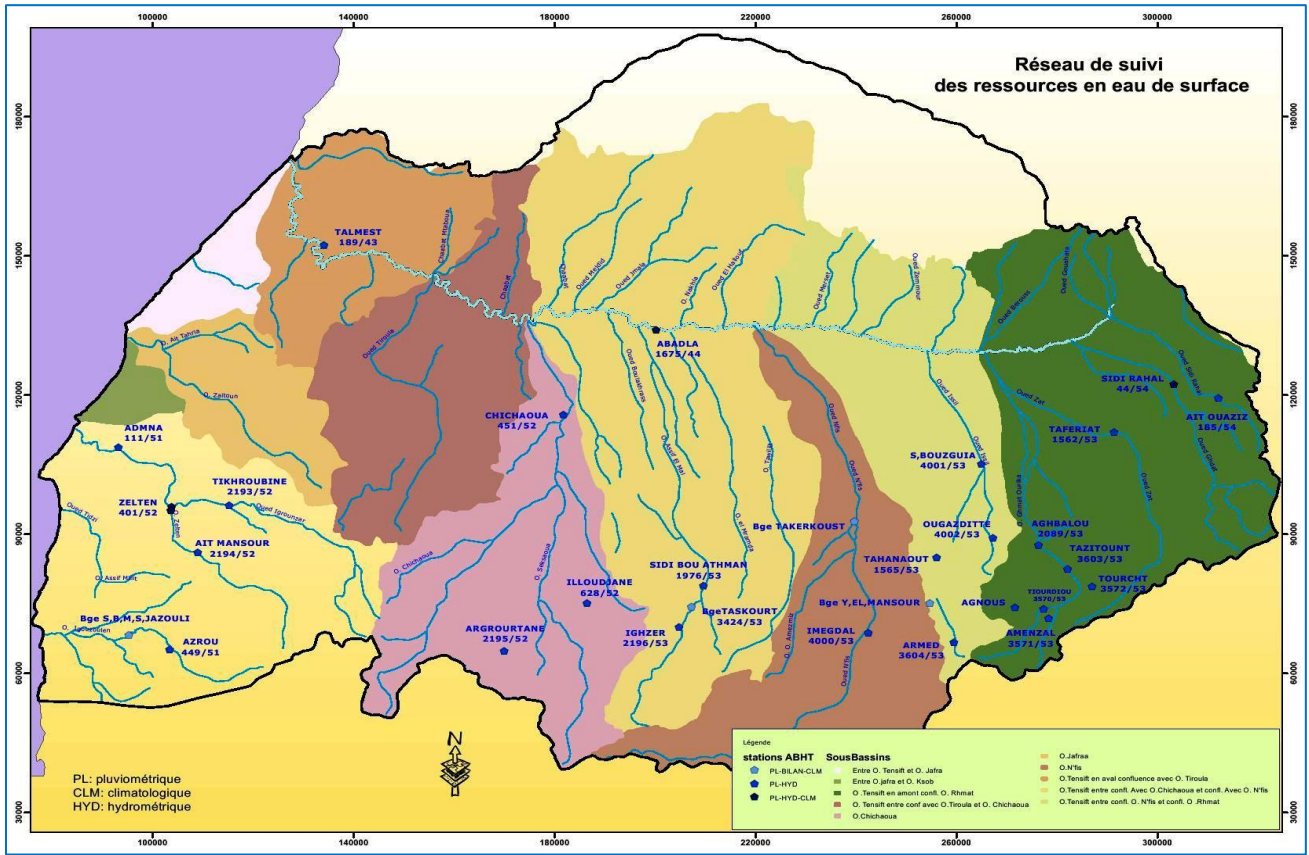


Figure 1,2,3 : Situation géographique du bassin versant de l'Oued Seksaoua

## 2-Stations de mesure dans le bassin versant de Seksaoua

### a-Mise en service et but de la station



Figure 4 : la station hydrologique de seksaoua Iloudjane

-L'oued SEKSAOUA est contrôlé par la station ILOUDJANE sous le N°IRE 628/52

-La mise en service a été le 15/10/1974

-Le but de la station Iloudjane est essentiellement :

- Connaissance des apports et annonce de crue
- Annonce des crues
- Connaissance de la nature des débits influencés par les séguias amont.

### b-Situation géographique et juridique

-La station se trouve sur la carte au 1/50000 d' IMINETANOUTE

-Ses coordonnées Lambert sont:

X	Y	Z
176.245	70.525	757

-La distance DRH Tensift - station = 110 km environ dont 7 km de piste.

-L'accès à la station : facile

-la station occupe un terrain de 560 m<sup>2</sup> dont 93 de superficie couverte.

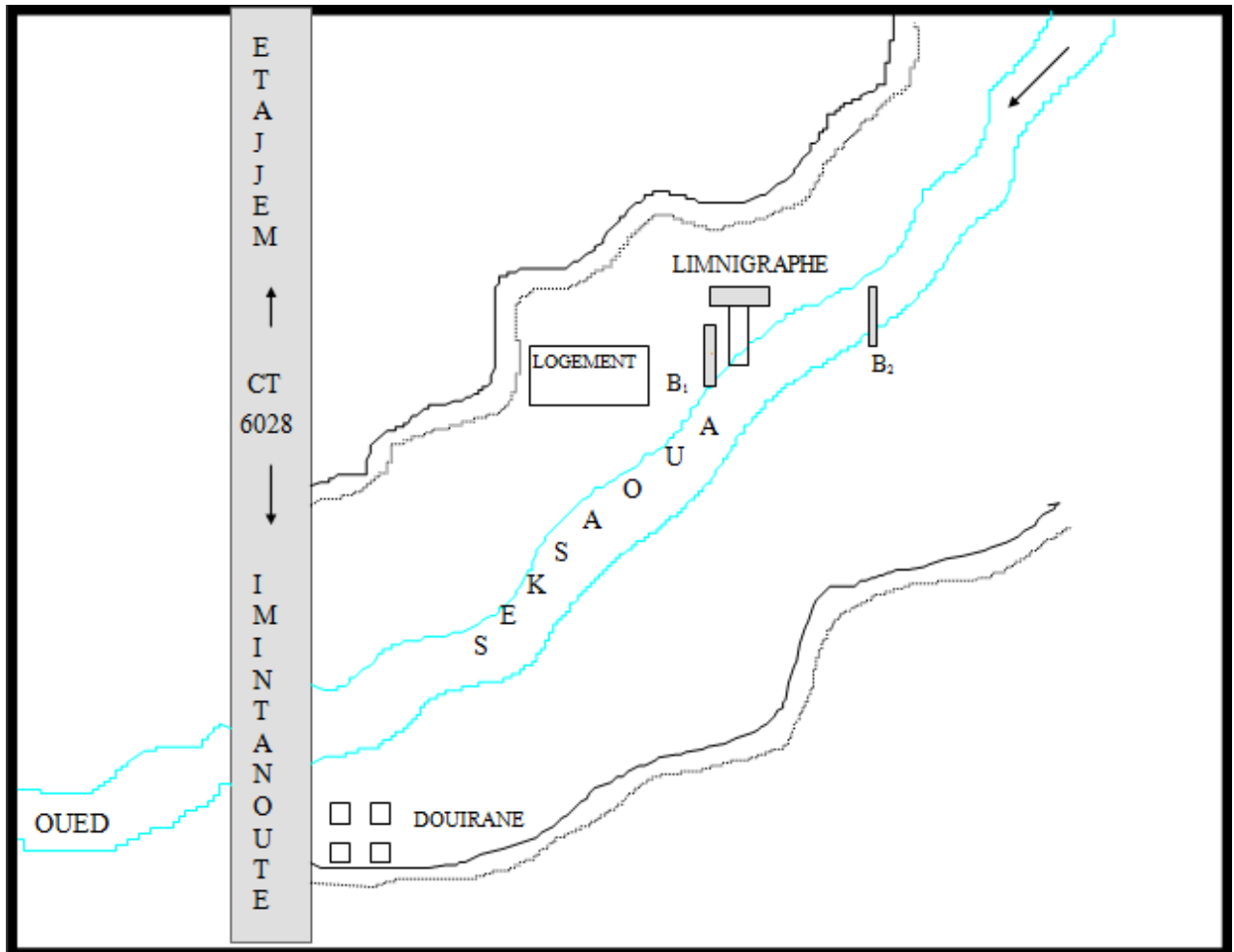


Figure 5 :Croquis de situation de la station

### c- Administration

DRH	: TENSIFT
DPE	: MARRAKECH
PROVINCE	: CHICHAOUA
CERCLE	: IMINE TANOUTE
COMMUNE	: SIDI GHANEM
LOCALITE LA PLUS PROCHE	: BOULAOUANE

### 3-Morphologie du bassin

La forme d'un bassin versant est définie par sa superficie, son relief, ses pentes et la disposition de son réseau hydrographique. Ces caractéristiques purement géométriques du bassin s'obtiennent à l'aide d'une étude morphométrique et cartographique.

#### a- Indice de compacité $K_c$

C'est un indice établi en comparant la forme d'un bassin à celui d'un cercle pour lequel  $K_c$  est égal à 1. Il permet l'évaluation globale du réseau de drainage : un bassin très allongé ( $K_c$  élevé) ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée ( $K_c$  faible). Il est calculé par la formule suivante:

$$K_c = P/2 (A)^{1/2} = 0,28 P/(A)^{1/2}$$

P: périmètre du bassin en km mesuré au curvimètre

A : surface du bassin en  $km^2$  mesurée au planimètre.

Les résultats des mesures pour le bassin versant de Seksaoua à la station d'Iloudjane sont représentés dans le tableau ci-dessous (Tab.1) :

Superficie du bassin	570 Km <sup>2</sup>
Périmètre du bassin	126 Km
Indice de compacité	<b>1,47</b>

Tableau1 : Caractéristiques morphologiques du bassin versant de Seksaoua

D'après ces résultats, il ressort que le bassin versant de Seksaoua est de forme allongée. Cette forme va permettre dans le bassin versant de Seksaoua un léger amortissement des écoulements qui ne seront pas simultanés comme dans le cas d'un bassin ramassé (Ourika avec  $K_c = 1,3$  par exemple).

### **b-Carte et courbe hypsométrique**

L'influence du relief est encore plus évidente sur la vitesse d'écoulement. Le relief est indiqué sur la carte topographique par la disposition et la valeur des courbes de niveau. Il est souvent caractérisé par la carte hypsométrique qui présente les différentes tranches d'altitude .

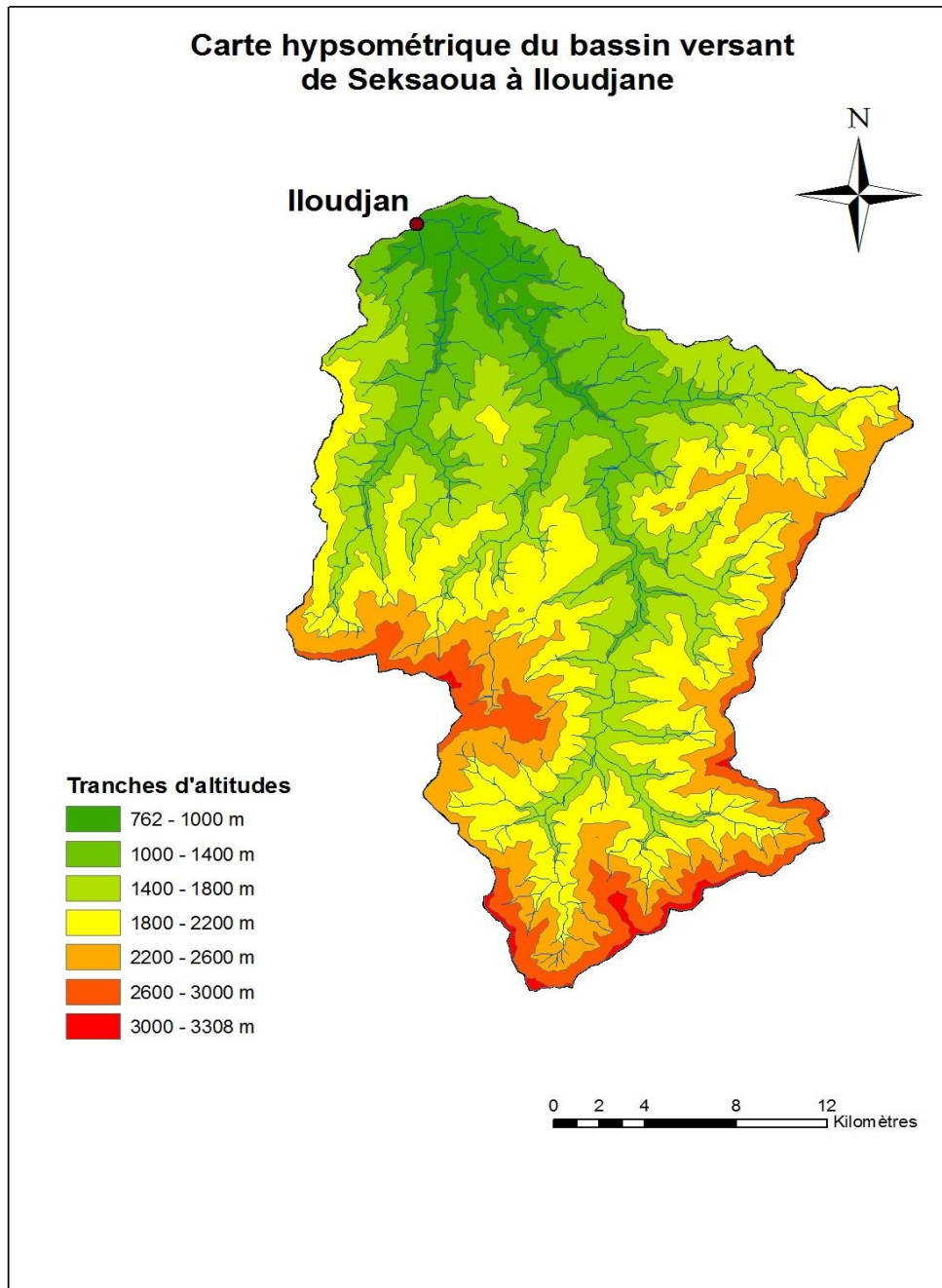


Figure 6 : Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Seksaoua

La courbe hypsométrique est obtenue en planimétrant les surfaces comprises entre les courbes de niveau et qui différencie les différentes tranches d'altitudes.

Chaque tranche d'altitude correspond à une superficie et un pourcentage de la surface totale du bassin.

Les mesures sont résumées dans le tableau ci-dessous (tab. 2)

Tranches d'altitudes (m)	Surfaces élémentaires (km <sup>2</sup> )	Fractions de surface (%)
762-1000	32	5,6
1000-1400	94 ,5	16,58
1400-1800	132,5	23,24
1800-2200	170	29,82
2200-2600	97	17,02
2600-3008	44	7,72
Total	570	99,98

Tableau 2 : Répartition hypsométrique du bassin versant de Seksaoua à Iloudjane

La courbe hypsométrique (fig. 7) peut être établie à partir du tableau 2 en portant les tranches d'altitude (en m) en abscisses et les fractions de surface (%) en ordonnées ; elle est considérée comme une sorte de profil du BV à partir duquel on peut tirer les informations suivantes :

-Un relief montagneux très élevé occupe 78,36 % alors que le piémont occupe 21,64%

-l'altitude moyenne : 1820m

-l'altitude médiane : entre 1400 et 1800m

L'altitude la plus fréquente du bassin se situe entre 1600 et 2000 m et représente 23,82 %.

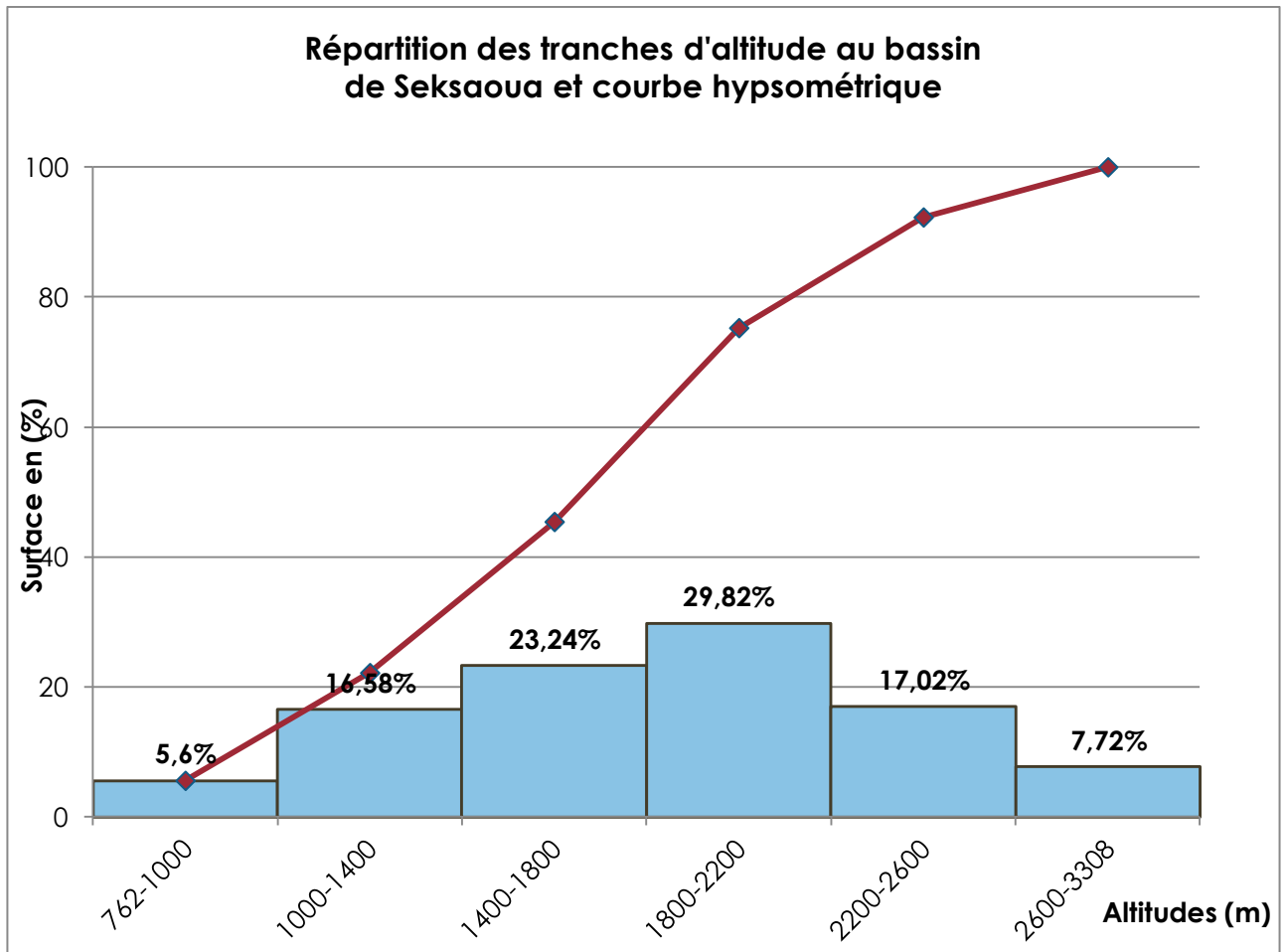


Figure7 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Seksaoua à Iloudjane

### c. Les pentes du bassin versant

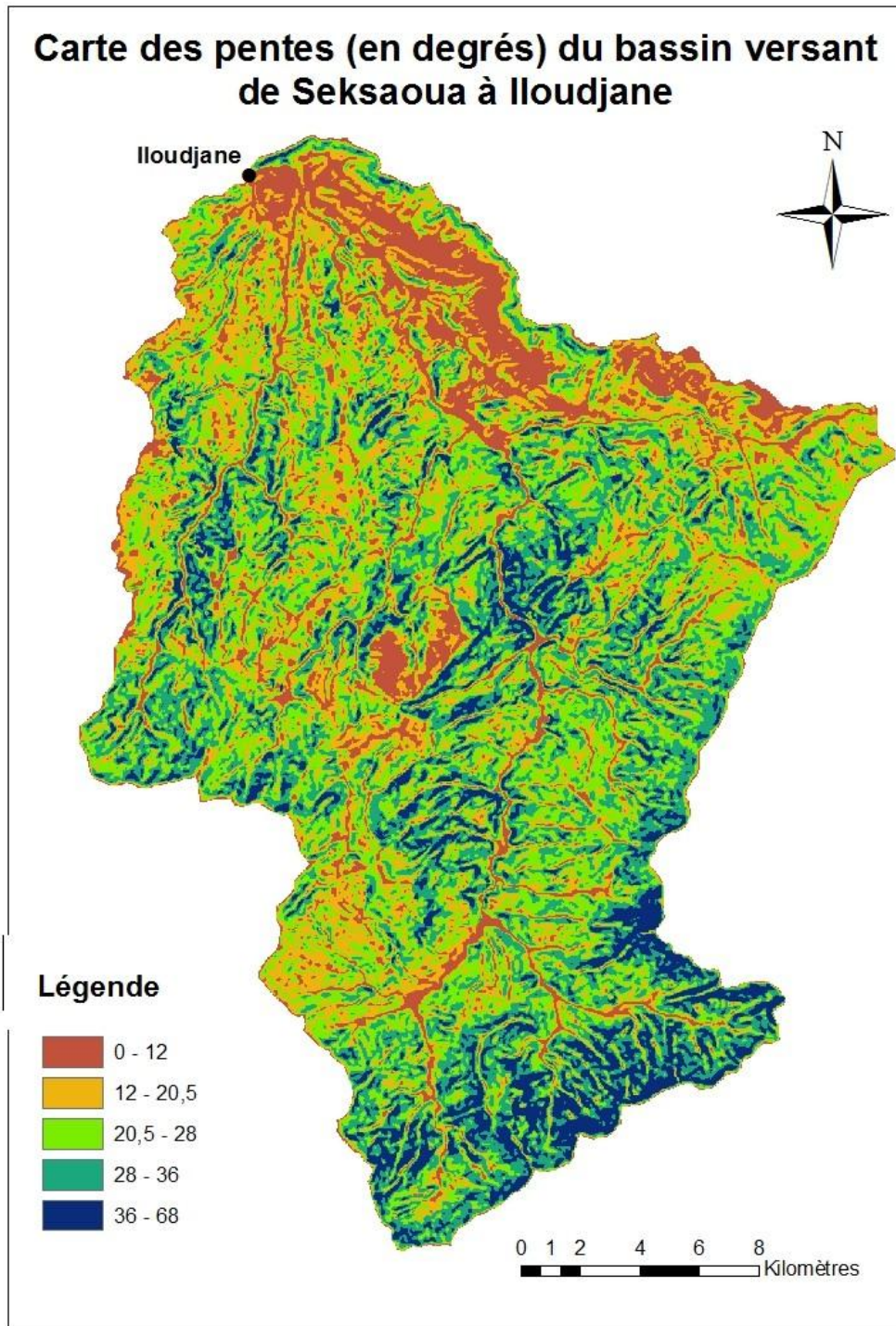


Figure8 : Carte des pentes du bassin versant de Seksaoua à Iloudjane

### c- Le rectangle équivalent

Il s'agit d'une transformation purement géométrique du bassin en un rectangle de longueur L et de largeur l ayant le même périmètre et la même surface que le bassin versant. Les courbes de niveau sont parallèles à ses petits côtés et l'exutoire sera un des petits côtés du rectangle.

$$L = [Kc(A)^{1/2}/1.12][1+(1-(1.12/Kc)^2)^{1/2}]$$

$$l = [Kc(A)^{1/2}/1.12][1-(1-(1.12/Kc)^2)^{1/2}]$$

Avec :

Kc: indice de compacité

A : surface du bassin

Pour le bassin versant de Seksaoua à Iloudjane, les paramètres du rectangle équivalent sont : L = 51,64 km et l = 11,03 km. Ces paramètres confirment le résultat de l'indice de compacité, c'est à dire que le bassin est 4 à 5 fois plus long que large et que les écoulements seront légèrement amortis.

### e-Le temps de concentration

Pour ce paramètre on tient compte des caractéristiques géométriques et morphologiques du bassin versant. Il est donné par la relation de Giadoht :

$$TC = (4(S)^{1/2} + 1,5 * L / 0,8(H_{moy} - H_{min}))^{1/2}$$

- S=surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>)
- H.moy=altitude moyenne (m)
- L=longueur du rectangle équivalent (km)
- H.min=altitude à l'exutoire (m)

Surface du BV	570 Km <sup>2</sup>
Longueur du rectangle équivalent	51,64 km
Altitude à l'exutoire	762 m
Altitude moyenne du bassin	1820 m
Temps de concentration	6h38min

Tableau 3 : Caractéristiques physiques du bassin versant de Seksaoua

Le calcul a donné une valeur de 6 heures 38 min qui correspond au temps maximal nécessaire au ruissellement en provenance du point le plus éloigné d'atteindre l'exutoire.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques physiques du bassin Seksaoua :

Paramètres	Iloudjane
Surface	570
Périmètres	126
Indice de compacité	1,47
Altitude moyenne (m)	1820
Altitude maximal (m)	3308
Altitude minimale (m)	762
L de rectangle équivalent	51,64
l de rectangle équivalent	11,03
Pente moyenne (degré)	23,6°
Temps de concentration	6h38min

**Tab 4: caractéristiques géomorphologiques du bassin de Seksaoua**

### f-Réseau hydrographique et densité de drainage

L'examen de ce réseau (carte hydrographique, fig .9) nous a permis de déterminer une densité de drainage de l'ordre de 0,95 km/km<sup>2</sup>. Cette dernière, définie comme la moyenne du réseau par km<sup>2</sup>, témoigne Les principaux affluents sont :

sur la rive gauche :

- Assif AIT LAHCEN formé par la confluence de assif IGOUNTAR et assif IBOUBANENE.
- Assif AIT MHAND

sur la rive droite :

- assif SEMBAL et son affluent assif IDA GOURIOUN.

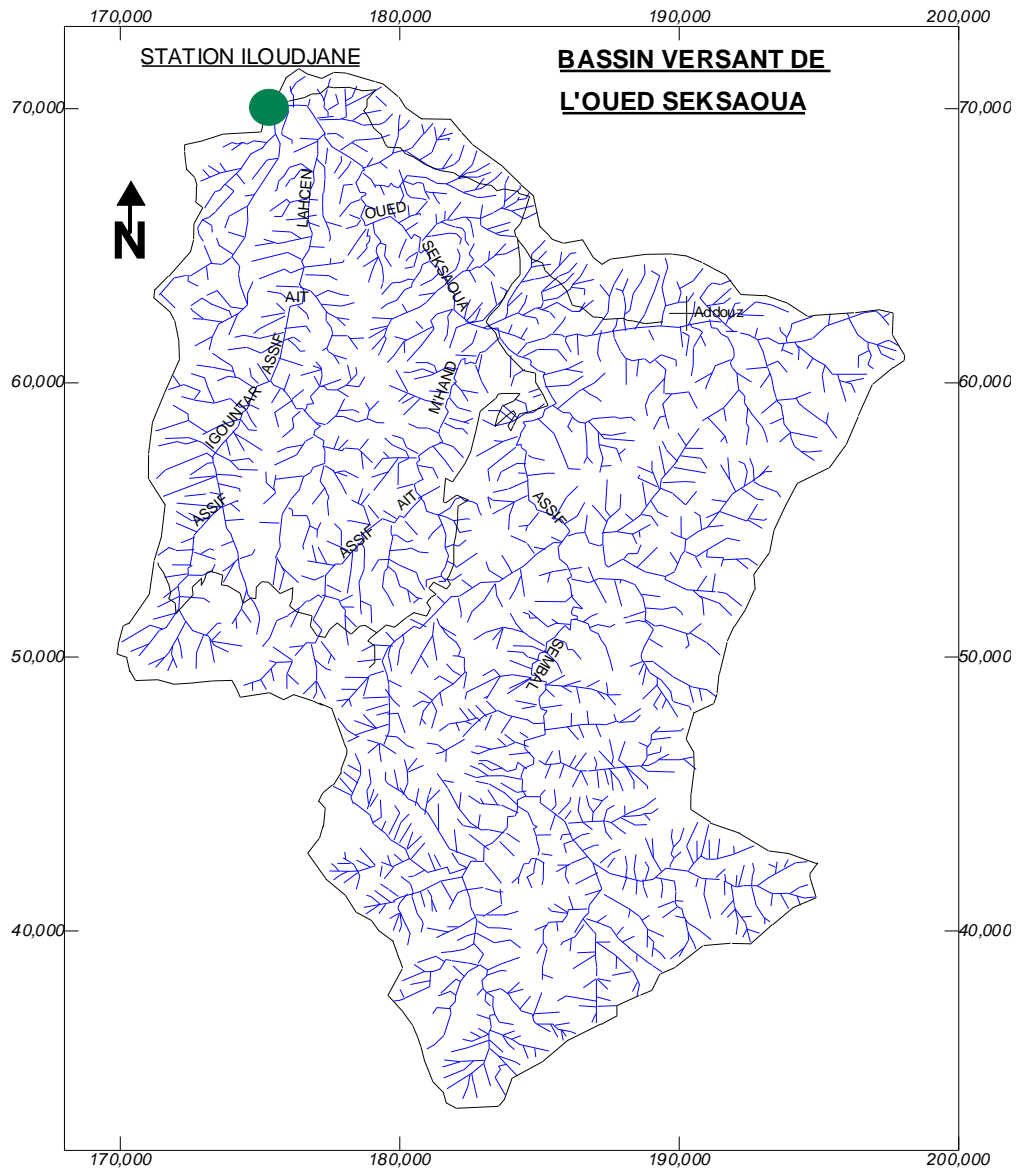


Figure 9: Carte du réseau hydrographique du bassin versant de Seksaoua (d'après l'ABHT)

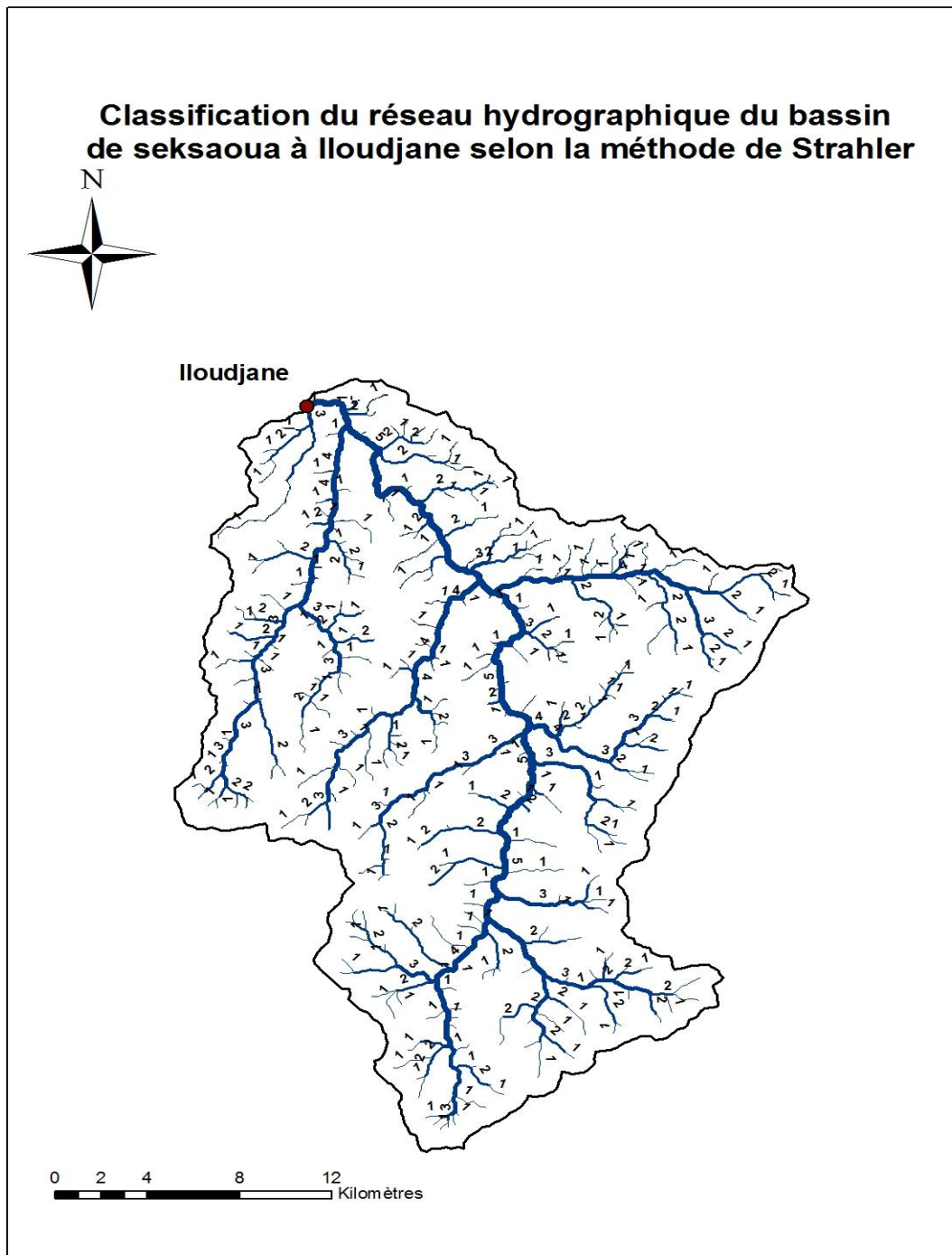


Figure 10: Classification du réseau hydrographique du bassin Seksaoua à Iloudjane par la méthode de Strahler

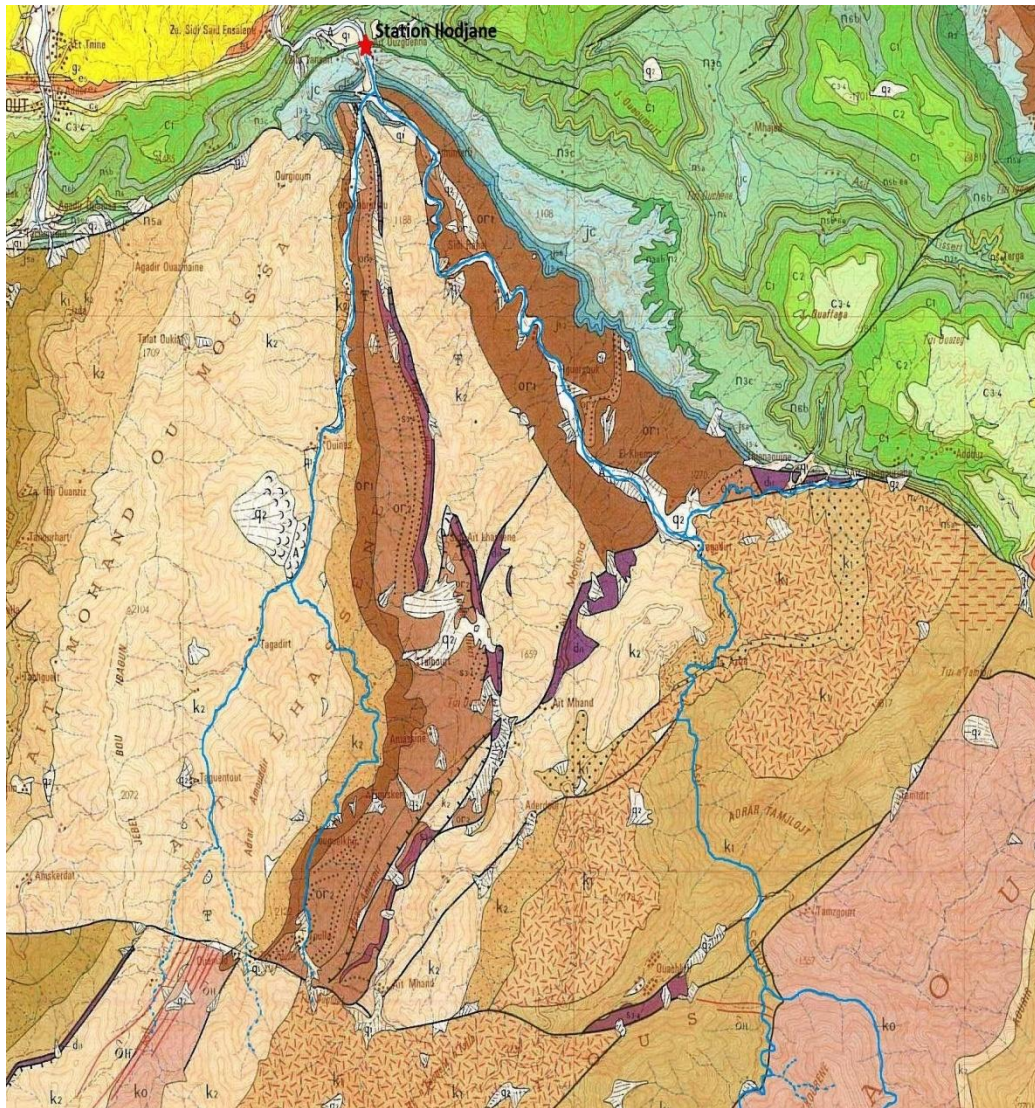
## 4-Lithologie et géologie générale

Dans la région d'IMINTANOUTE, la coupe du CRETACE comprend de bas en haut (réf. RESSOURCES EN EAU DU MAROC TOME 3) :

- ◆ grès en général fins très épais : 150 m ( VALANGINIEN - HAUTERVIEN )
- ◆ grès bruns accompagnés de marnes rouges et vertes ou calcaires gréseux blancs  
( BARREMIEN - APTIEN )
- ◆ grès blancs ( BEDOULIEN )
- ◆ calcaires gréseux jaunes coupés de marnes verts ( GARGASIEN )
- ◆ marnes verts foncés ( ALBIEN )
- ◆ grésés et marnes rouges et verts avec bancs de gypse et niveau très épais : 200 m  
(CENOMANIEN)
- ◆ marnes rouges et verts à gypse, puis grès et marnes blancs : 100 m ( SENONIEN )

Ces roches sont perméables et ne favorisent pas un ruissellement important.

SOL PERMEABLE	SOL SEMI PERMEABLE	SOL IMPERMEABLE
30%	63%	7%



## LÉGENDE

### QUATERNAIRE

A Alluvions actuelles des lits majeurs, le long des oueds

### PRIMAIRE

- d11 Grès et conglomérats à lentilles de calcaires
- Discordance
- S3-4 Schiste argileux à argilo-péltique noirs ou rouges, avec lentilles calcaireuses exceptionnelles
- Or2 Schiste avec barres de quartzites (a)
- Or1 Schiste gréseux micaçée bleus à bleus noirs
- Au centre et à l'est Seksaoua et Guedmioua
- B. Ensemble schisteux volcano-détritique avec agglomérats (a) et lentilles conglomératiques
- A. Ensemble schisteux avec arkoses, niveaux volcano-détritiques

CARTE DU MAROC 1/100000

Figure 11: Carte géologique du bassin versant de Seksaoua

## 5-Le climat globale et la production végétale

Le bassin versant de Seksaoua à une pluviométrie moyenne de 320,7 mm par an, et les précipitations maximales annuelles atteignent 500 mm dans les hautes montagnes. De point de vue température, il y a une rareté de mesure des paramètres climatologiques par manque des stations de mesure. La température moyenne par exemple est prise au niveau du barrage de Lala Takerkoust et Abadla .On Prend la moyenne entre les deux ,les mesures montrent une température moyenne de 18,5 °C, avec une température maximale absolue de 46°C et une température minimale absolue de -7.5°C.

Les mois les plus froids sont décembre et janvier et les plus chauds sont ceux de juillet et août.

Globalement, le climat est semi-aride.

La production végétale est basée principalement sur l'olivier, les céréales et les cultures fourragères, l'ensemble des exploitations du périmètre Seksaoua est de type vivrier, leur objectif principal est la satisfaction des besoins de subsistance des exploitants et de leurs familles.

L'occupation des sols dans le périmètre Seksaoua est conditionnée par la disponibilité en eau. L'occupation du sol est conçue par l'agriculteur en fonction de l'appréciation qu'il se fait de la garantie de réussite.

**DEUXIEME PARTIE :**

**ANALYSE HYDRO-PLUVIOMETRIQUE  
ET BILANS HYDROLOGIQUES**

## Chapitre1 : Traitement des données hydro-pluviométriques

L'objectif de ce chapitre est de faire une analyse fréquentielle sur une longue série de précipitations maximales journalières enregistrées au niveau de la station Iloudjane. Cette analyse permettra d'estimer le temps de retour d'une valeur de précipitation. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus (par exemple dans ce chapitre, on va utiliser les différentes lois comme Gamma, Halphen, log-normal...). Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée (précipitation). C'est à partir du choix de la loi de probabilité que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle.

### A-Précipitations moyennes annuelles

Pour une période d'observation allant de 1989/90 à 2011/12, les précipitations varient de façon irrégulière d'une année à l'autre avec une moyenne inter-annuelle de 320,7 mm, le maximum pluvieux de 518,1 mm a été enregistré en 96-97, et le minimum de 69,9 mm en 2011/12. A cette station les pluies ne sont pas très élevée et ne dépassent que rarement 400mm parce que c'est une station aval.

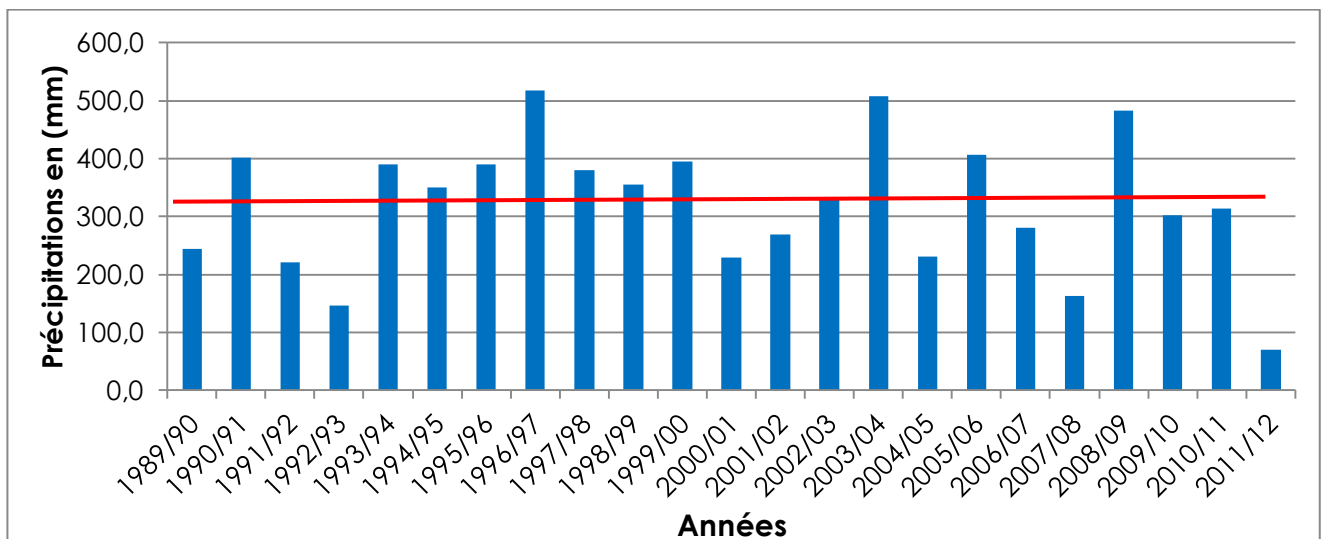


Figure 12: Précipitations totales annuelles au niveau du bassin versant de Seksaoua

## B-Précipitations saisonnière

On remarque que le bassin de seksaoua est arrosé durant toutes les saisons sauf l'été où les précipitations sont très rares à part quelques orages localisés et moins importants. Les précipitations augmentent depuis l'automne jusqu'en hiver avec un maximum de 113,9 mm puis diminuent du printemps à l'été avec un minimum de 20,5 mm.

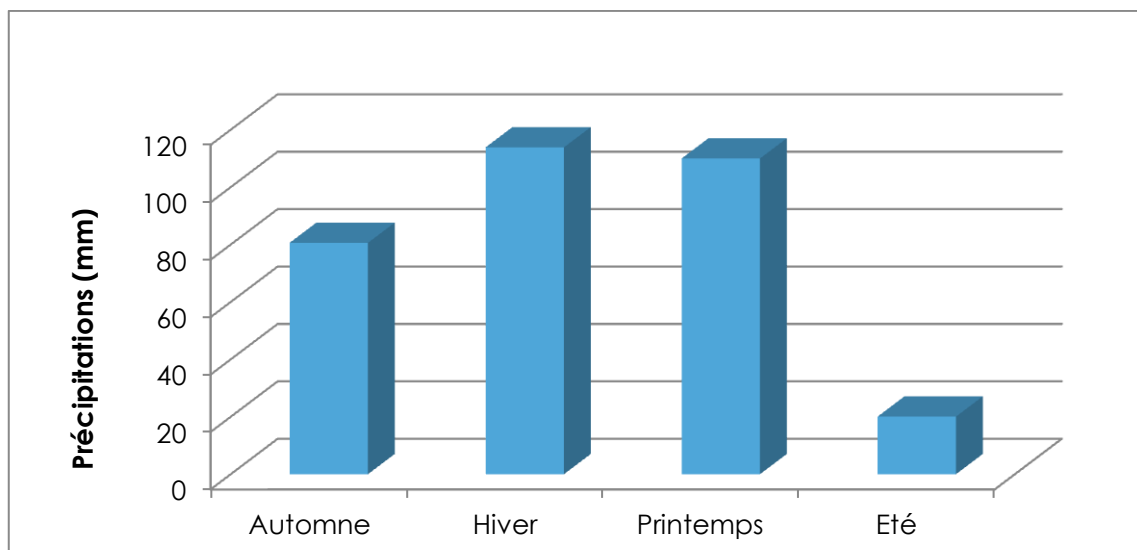


Figure13 : Précipitations moyennes saisonnières au niveau de Seksaoua

## C-Précipitations moyennes mensuelles

La représentation graphique des variations des moyennes mensuelles interannuelles des précipitations, sur une période de 23 ans (1989-2011), montre une variation irrégulière ; les fortes valeurs sont enregistrées au niveau des mois d'Avril et Mars (les mois les plus pluvieux), alors que les faibles valeurs caractérisent les mois de Juillet et Août (les mois les plus secs) (Fig. 14).

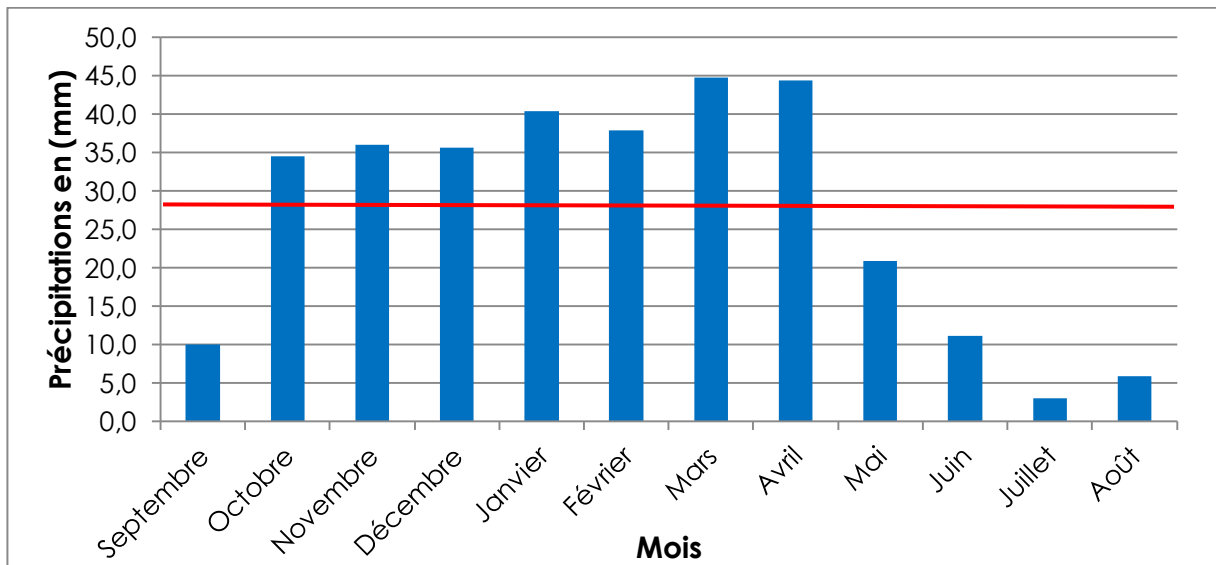


Figure14 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles au niveau du bassin versant de Seksaoua

## D-Ajustement de lois à un échantillon de pluie

L'estimation des périodes de retour des valeurs extrêmes de pluie est l'un des problèmes majeurs posés aux concepteurs d'aménagements. Pour cela, on procède à l'analyse statistique des chroniques d'observation des pluies maximales journalières.

Notre étude porte sur l'ajustement des précipitations maximales journalières du bassin versant de Seksaoua et ce, sur une période d'observation de 20 ans (1989/90 – 2008/09).

Le test d'ajustement des répartitions empiriques et théoriques est fait par le test d'adéquation de  $\chi^2$ .

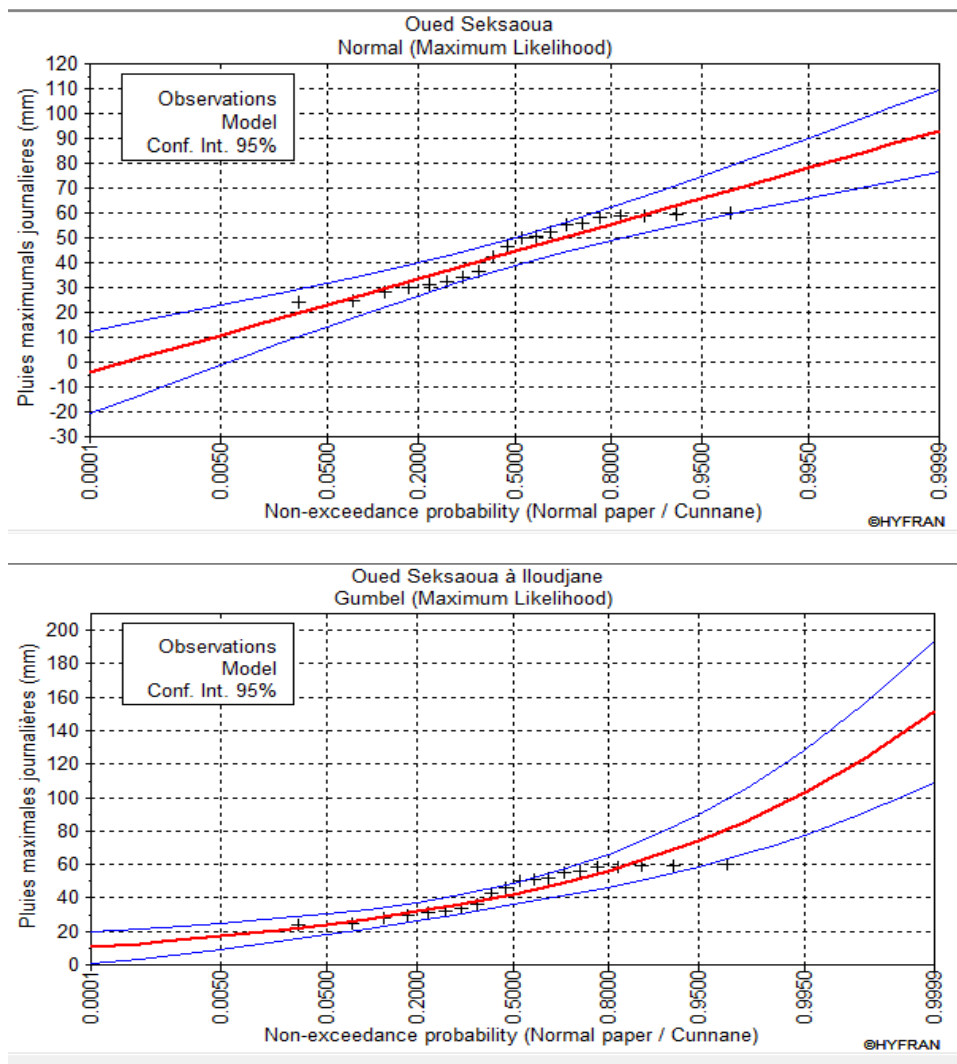
### a. Présentation du logiciel utilisé dans cette étude

Le logiciel HYFRAN-PLUS permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité. Un Système d'Aide à la Décision (SAD) a été développé pour permettre de choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile de période de retour élevée.

## b. . Méthode visuelle (analyse des graphes)

La figure 15 montre des graphiques qui présentent les probabilités empiriques et théoriques des distributions des lois de Gumbel, Gamma, Normal et Lognormal sur papier de probabilité normal.

Visuellement on remarque que les lois Normal et Gamma présentent les meilleurs ajustements de la variable précipitation maximale journalière.



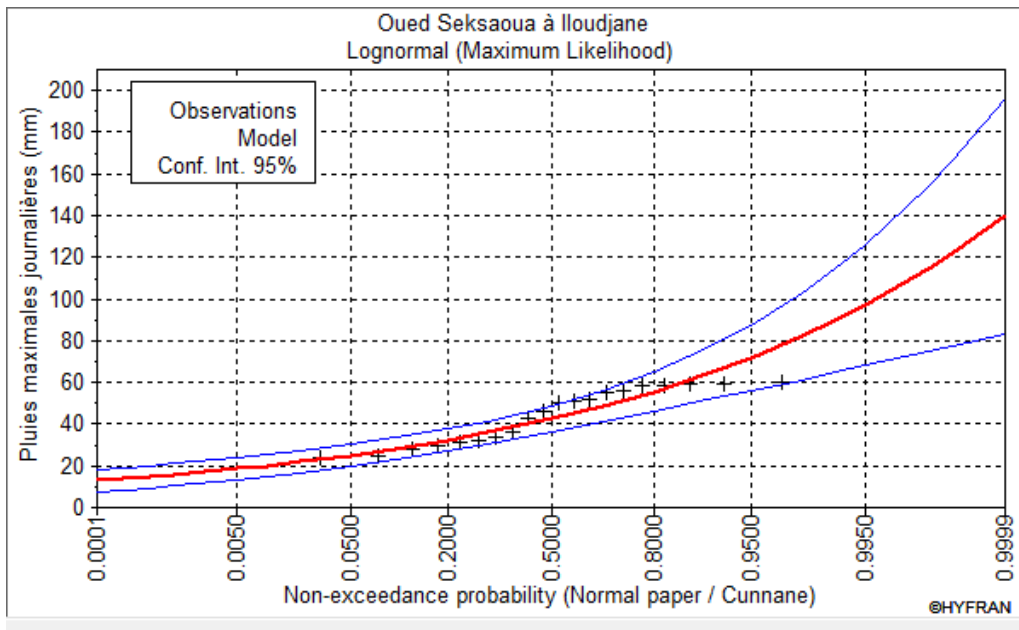
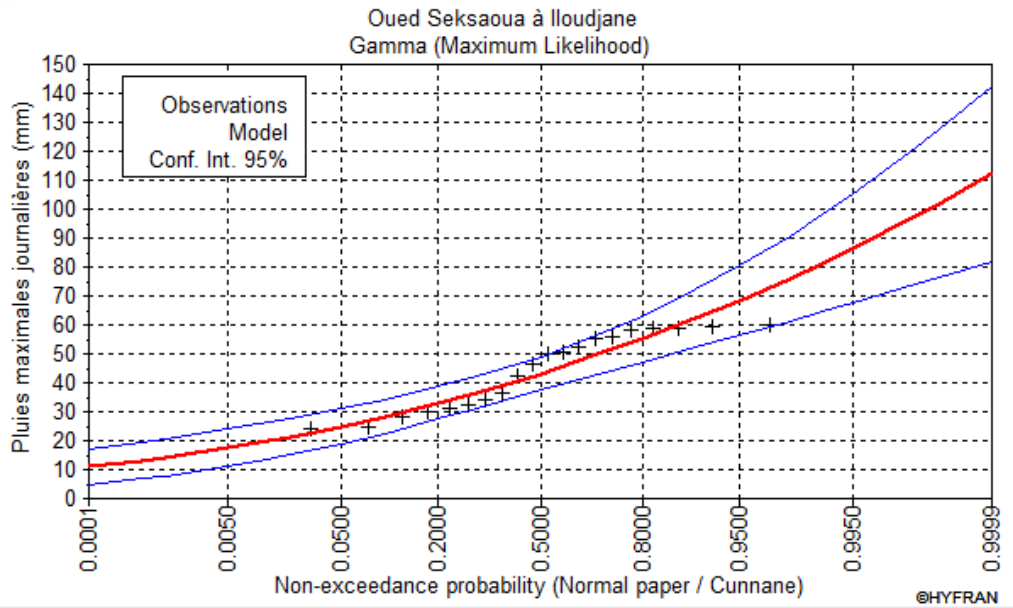


Figure15 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon les lois de Gumbel, Gamma, Normal et Lognormal

### c. Méthode numérique (Analyse statistique)

Les tableaux 5, 6 et 7 montrent les valeurs observées des critères d'information bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC). Ces critères permettent de comparer le degré d'ajustement. Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs de ces statistiques.

	Nb de Paramètres	Précipitation estimée	BIC	AIC
Normal	2	65,909	164.498	162.507
Gamma	2	68,497	165.272	163.280
Lognormal	2	71,920	166.171	164.179
Gumbel	2	74,400	166.781	164.790

**Tableau5 : Ajustements numériques des Lois Normal et de Gamma ( Période 20 ans)**

	Nb de Paramètres	Précipitation estimée	BIC	AIC
Normal	2	71.246	164.498	162.507
Gamma	2	76.031	165.272	163.280
Lognormal	2	81.997	166.171	164.179
Gumbel	2	85.894	166.781	164.790

**Tableau6 : Ajustements numériques des Lois Normal et de Gamma ( Période 50 ans)**

	Nb de Paramètres	Précipitation estimée	BIC	AIC
Normal	2	74.803	164.498	162.507
Gamma	2	81.336	165.272	163.280
Lognormal	2	89.485	166.171	164.179
Gumbel	2	94.507	166.781	164.790

**Tableau7 : Ajustements numériques des Lois Normal et de Gamma ( Période 100 ans)**

Le meilleur résultat d'ajustement visuel est trouvé pour la loi Gamma en première position, suivi par la loi Normal. Le seul problème de la première loi est que les résultats d'estimation des précipitations maximales journalières sont limités jusqu'à la période de 50 ans.

Par contre, pour les résultats d'ajustement numérique obtenus on trouve que la loi Normal est la mieux adaptée pour l'estimation des précipitations maximales journalières. Elle permet également de faire une estimation pour les périodes de retour les plus élevées.

#### **d. Estimation des précipitations maximales journalières**

Le tableau présente Les estimations des précipitations maximales journalières annuelles calculées pour les différentes périodes de retour selon la loi Normal.

Période de retour	200	100	50	20	10	5	3	2
Précipitation estimée	78,058	74,803	71,246	65,909	61,166	55,420	55,055	44,44

**Tableau 8 : Estimation des précipitations maximales journalières annuelles selon la loi de Gumbel**

La comparaison graphique et les critères statistiques d'ajustement obtenu nous permet de conclure que la loi la mieux adaptée pour l'estimation des précipitations maximales journalières est la loi Normal

### e. Critères de la loi d'ajustement le mieux adapté pour l'estimation

La comparaison graphique et les critères statistiques d'ajustement obtenus nous permettent de conclure que la loi la mieux adaptée pour l'estimation des précipitations maximales journalières est la loi Normal.

Le tableau 9 nous permet de vérifier la validation de cette loi Normal. En effet, on remarque que la population et l'échantillon ont la même moyenne, le même écart-type et le coefficient de variation avec une variation légère qui montre une homogénéité des données analysées .

	Caractéristiques de l'échantillon	Caractéristiques de la population (Normal)
Minimum	24	
Maximum	60	
Moyenne	44,4	44,4
Ecart-Type	13,0	13,0
Médiane	44 ,5	37,8
Coefficient de variation	0,294	0,294
Coefficient d'asymétrie	0,00	24
Coefficient d'aplatissement	3,00	60

**Tableau9 : Statistiques descriptives des précipitations maximales journalières**

Cette méthode pourrait donc être recommandée pour l'analyse statistique des pluies maximales, puisqu'il n'est pas toujours possible dans la réalité de connaître la forme de leurs distributions.

## Chapitre II : Le régime hydrologique de Seksaoua

### 1-Les débits moyens annuels

Pour une période d'observation allant de 1975/76 à 2009/10 soit 32 ans, la valeur moyenne annuelle de l'écoulement est de l'ordre de **0,98** m<sup>3</sup>/s.

Les années 1988/89,1989/90 ,1995/96 et 2008/09 dépassent largement cette moyenne alors que 20 années sur 32 ont connu des écoulements inférieurs à 1 m<sup>3</sup>/s avec un minimum de 0,03 enregistré en 1982/83.

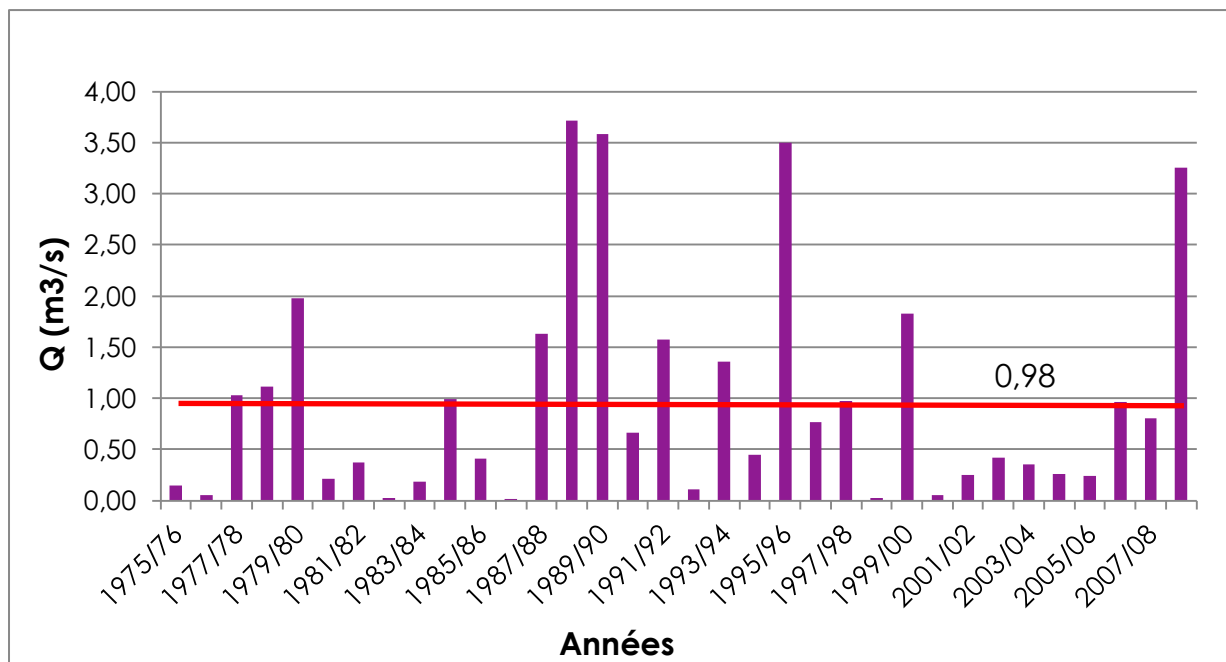


Figure16 : Débits moyens annuels au niveau du bassin versant de Seksaoua

### 2-les débits moyens saisonniers

Le débits augmente de l'automne au printemps où elle atteint une valeur maximale de 4,36 (m<sup>3</sup>/s) puis diminue rapidement jusqu'en été avec un minimum de 1,31 (m<sup>3</sup>/s).

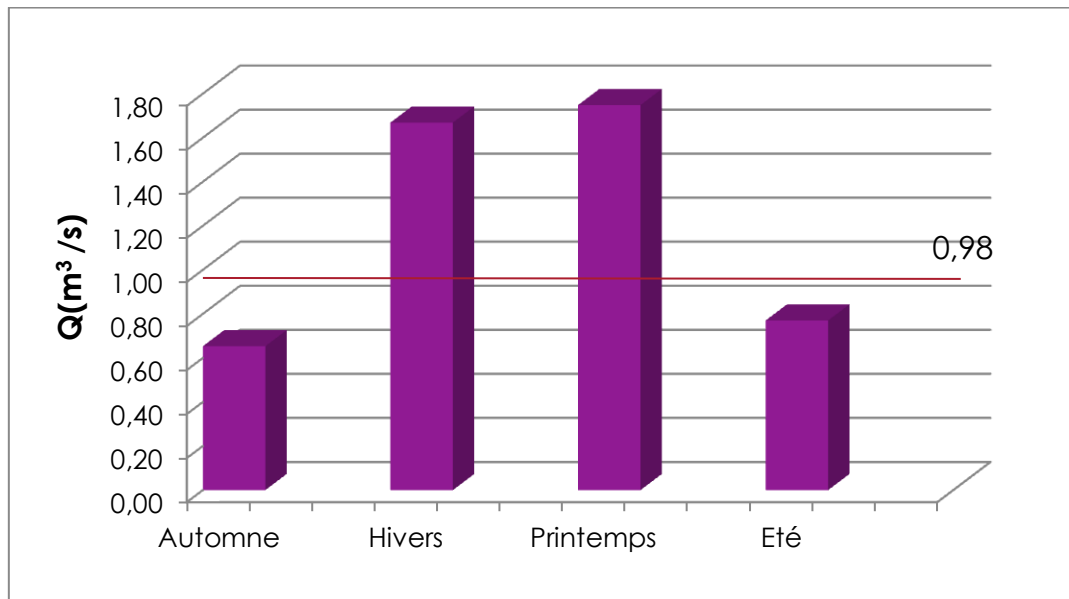


Figure 17: Variation saisonnière des débits moyens à Iloudjane

La saison pluvieuse (précipitations) est représentée par l'hiver alors que c'est le printemps qui a connu les plus grands écoulements (débits) suivis par l'hiver puis l'automne.

D'une manière générale, les débits de Seksaoua suivent les précipitations avec un certain décalage dans le temps, en effet :

- En automne, les terrains sont secs et ont un fort pouvoir de retentions, l'évaporation et l'évapotranspiration sont fortes ; Ensuite une partie non négligeable de précipitations est retenue dans le sous-sol.
- Les précipitations d'hiver sont immobilisées sous forme de neige en haute montagne, celles de mars et avril ruissellent sur des terrains déjà saturés d'eau et s'ajoutent à la fonte des neiges pour augmenter les débits de l'oued Seksaoua au printemps.

On peut donc conclure que Seksaoua a un régime pluvio-nival avec un pic pluviométrique en hiver et un pic hydrologique au printemps.

### 3-les débits moyens mensuels

Les débits sont généralement faibles, avec un régime très irrégulier au cours de l'année, ils commencent à augmenter à partir du mois de septembre pour atteindre le maximum au mois de janvier pendant les mois de l'hiver, les cours d'eau recueillent les précipitations importantes et engendrent une augmentation du débit qui se poursuit pour atteindre son maximum de 1,74 m³/s au mois de mars et avril (le printemps) avec la fonte des neiges. Au cours des mois d'été, les débits diminuent jusqu'à atteindre sa valeur minimale de 0,23 m³/s en août. (période d'étiage) et les oueds sont pratiquement à sec.

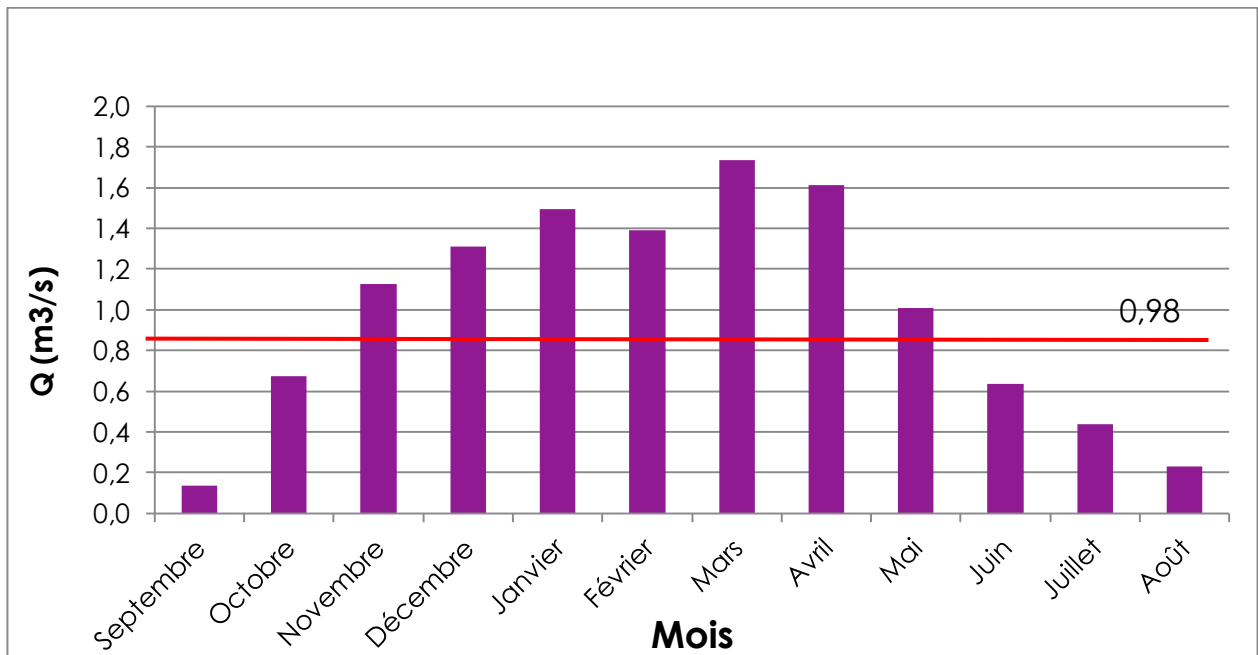


Figure18 : Variation des débits moyens mensuels à Iloudjane

## 1. Ajustement de lois

### a. Méthode visuelle (analyse des graphes)

La figure montre les graphiques des résultats obtenus. Ils représentent les probabilités empiriques et théoriques des distributions, Gumbel, exponentielle, Log-pearson type III, Gamma et Generalized Gamma sur papier de probabilité normal à l'aide du logiciel.

Visuellement, on peut conclure que les lois gamma, log-pearson et Generalized gamma présentent les meilleurs ajustements de la variable débit maximal journalier.

### b. Méthode numérique (analyse des critères statistiques)

Le tableau illustre la valeur observée des critères d'information bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC). D'après les résultats numériques obtenus, les lois Gamma et log-pearson III représentent les meilleurs ajustements de la variable débit maximal journalier.

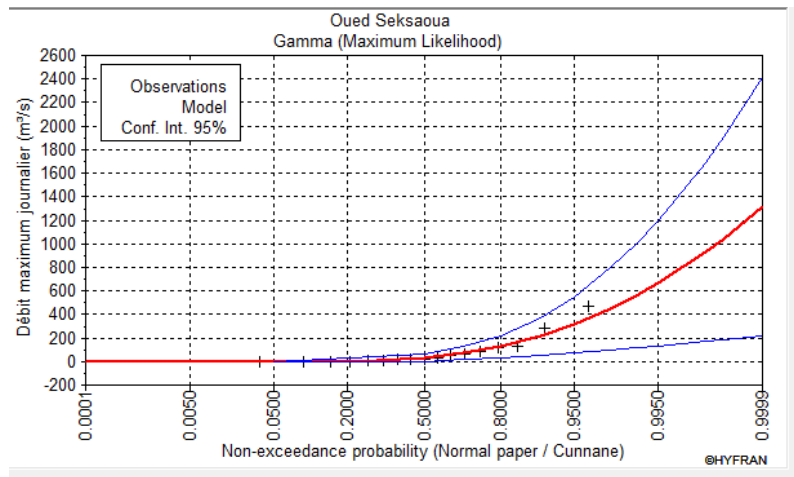
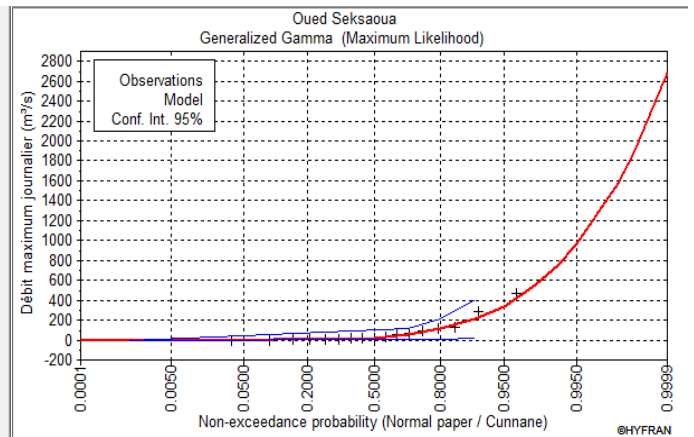
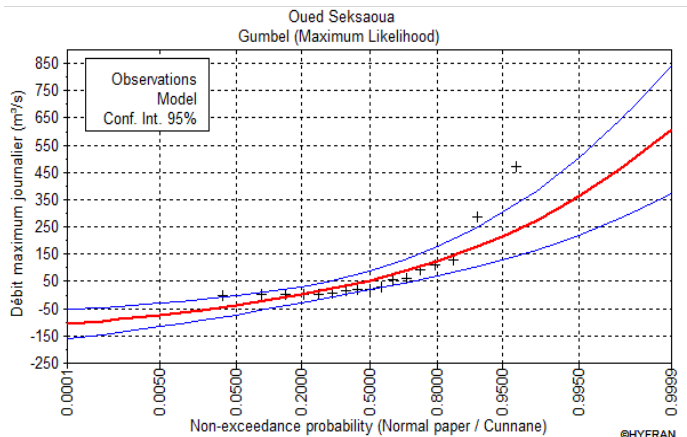
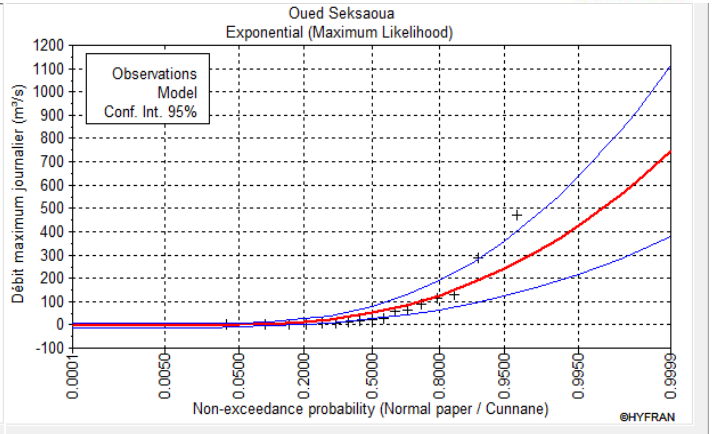
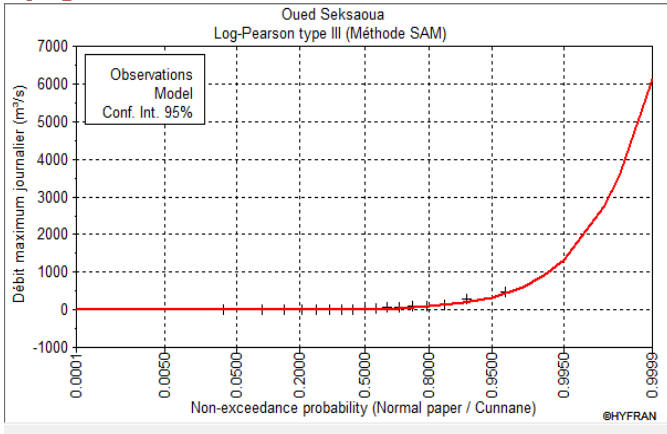


Figure 19 : Graphiques des ajustements des lois de débit maximal journalier

Modèle	BIC	AIC
Gamma (Maximum Likelihood)	175.467	173.800
Generalized Gamma (Maximum Likelihood)	177.955	175.455
Log-Pearson type III (Méthode SAM)	179.111	176.611
Exponential (Maximum Likelihood)	189.303	187.637
Gumbel (Maximum Likelihood)	203.872	202.206

**Tableau 10 : Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station hydrologique Ioudjane**

**c. Estimation des débits de pointe de certaines périodes de retour**

Dans le tableau figurent les débits estimés pour quatre périodes de retour à partir des paramètres calculés précédemment pour les cinq lois de probabilité.

Modèle	Période de retour			
	10ans	20ans	50ans	100ans
Gamma (Maximum Likelihood)	<b>214.914</b>	<b>312.767</b>	<b>449.728</b>	<b>557.194</b>
Generalized Gamma (Maximum Likelihood)	<b>211.014</b>	<b>554.736</b>	<b>554.736</b>	<b>747.887</b>
Log-Pearson type III (Méthode SAM)	<b>177.760</b>	<b>340,703</b>	<b>611.945</b>	<b>922,926</b>
Exponential (Maximum Likelihood)	<b>183.195</b>	<b>322,161</b>	<b>314.428</b>	<b>370.947</b>
Gumbel (Maximum Likelihood)	<b>171.681</b>	<b>216,662</b>	<b>274.886</b>	<b>318.516</b>

**Tableau 11 : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d'ajustement**

On remarque que les résultats estimés pour les grandes périodes de retour sont très variables d'une loi à l'autre. Par contre, les périodes de retour de 10 ans et 20 ans présentent une faible variabilité.

Les lois de Gumbel, des Log-Pearson et Exponentielle semblent inadaptées à l'ajustement, elles sousestiment les hauteurs de débits de pointe de faible fréquence (50, 100 ans).

#### d. Critères de la loi d'ajustement le mieux adapté pour l'estimation

Le tableau 12 montre que la loi la mieux adaptée pour l'analyse fréquentielle des débits maximums journaliers est la loi de Gamma. Les caractéristiques de la distribution selon cette loi donnent des résultats identiques (même moyenne, même Ecart-Types et coefficient de variation) aux caractéristiques statistiques de l'échantillon.

	Caractéristiques de l'échantillon	Caractéristiques de la population (Gamma)
Minimum	0.240	
Maximum	470	
Moyenne	77.0	77.0
Ecart-Type	125	125
Médiane	30	21.8
Coefficient de variation	1.62	1.62
Coefficient d'asymétrie	2.44	3.06
Coefficient d'aplatissement	6.32	17.1

**Tableau 12 : Statistiques descriptives de débit maximal journalier à la station d'Ioudjane**

<b>Période de retour</b>	200	100	50	20	10	5	3	2
<b>Débit estimé</b>	667	557	450	313	215	125	70	30

**Tableau 13: Débit estimé pour chaque période de retour selon l'ajustement de la loi Gamma**

La comparaison des critères statistiques et graphiques, entre les différentes lois utilisées dans l'ajustement de la variable Débit maximal journalier, mais parmi les trois meilleures lois d'ajustement la loi Gamma est la mieux adaptée pour les observations extrêmes.

Pour conclure, l'analyse fréquentielle des débits et pluies maximaux journaliers a un rôle très important dans l'estimation de risque d'apparition d'une crue donnée pour une période de retour. Ainsi, on peut dire que La loi de Gamma est la mieux adaptée pour l'estimation des débits maximums journaliers et la loi Normal est la mieux adaptée pour l'estimation des pluies maximales journalières.

## Chapitre III : Relation pluie-débit

Le présent chapitre a pour but de mettre en évidence la contribution de la pluie sur les débits afin de mieux comprendre les mécanismes et de comparer les différents sous bassins versants. Nous allons aboutir à une étude des interactions entre la pluie et le débit à des pas de temps annuel et mensuel pour conforter nos hypothèse sur l'intervention de l'évaporation et l'infiltration sur les débits que l'on trouve à l'exutoire. Les débits mensuels et les hauteurs de pluie forment un nuage de point sur les graphiques. Les droites de régression seront de la forme  $Y = a X + b$ , avec (X, Y) représentant l'abscisse et l'ordonnée de chaque point, a étant le coefficient directeur de la droite et b représentant l'ordonnée à l'origine. Un coefficient de corrélation est affecté à chaque droite, il montre la relation entre les deux paramètres étudiés.

### A. Corrélation entre les précipitations et les débits

#### 1-Corrélation entre les précipitations et les débits moyens annuels

La figure dont on dispose montre nettement le lien existant entre les précipitations et les débits annuels à la station d'Iroudjane. On remarque que le coefficient de corrélations ( $R=0.177$ ) est loin de 1. Les précipitations et les débits sont séparés, cela peut s'expliquer qu'il y a eu captage des eaux en amont qui aurait empêché l'eau infiltré de rejoindre l'Oued de ce fait le débit ne peut croître en même temps que les précipitations .

Il peut être expliqué probablement aussi aux données non fiables des précipitations ou des débits, qui laisse cette corrélation moins faible.

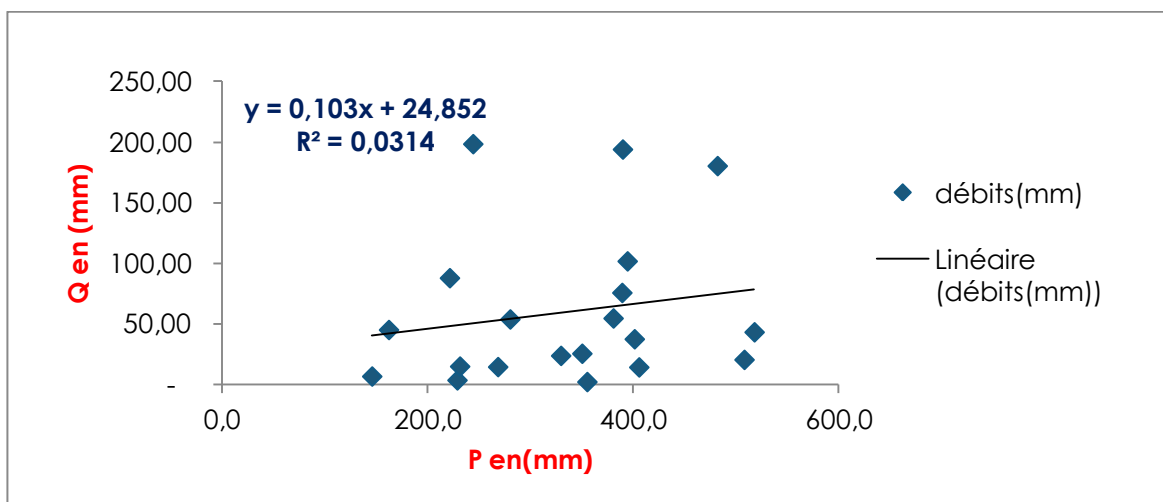


Figure 20: Corrélation entre les précipitations et les débits annuels

#### 2 -Corrélation entre les précipitations et les débits moyens saisonniers

La figure montre que le coefficient de corrélation débit – précipitation de 1989 à 2009 est bonne. Les précipitations et les écoulements sont étroitement liés. L'amplitude des température saisonnière est faible

pour influencer de façon remarquable l'eau évaporée, (taux de prélèvement) et aussi les précipitation ( qui conditionne la quantité infiltrée ) sont plus ou moins régulière durant un moi.

Prenons un exemple : pendant l'été il ne pleut presque pas et le besoin d'eau augmente pour les agriculteurs( irrigations, boissons pour les bétails) contrairement à d'autres périodes où on a des précipitations sont abondantes et il ya rechargement des nappes ainsi le taux de prélèvement diminue vue que on irrigue moins d'où cette irrégularité.

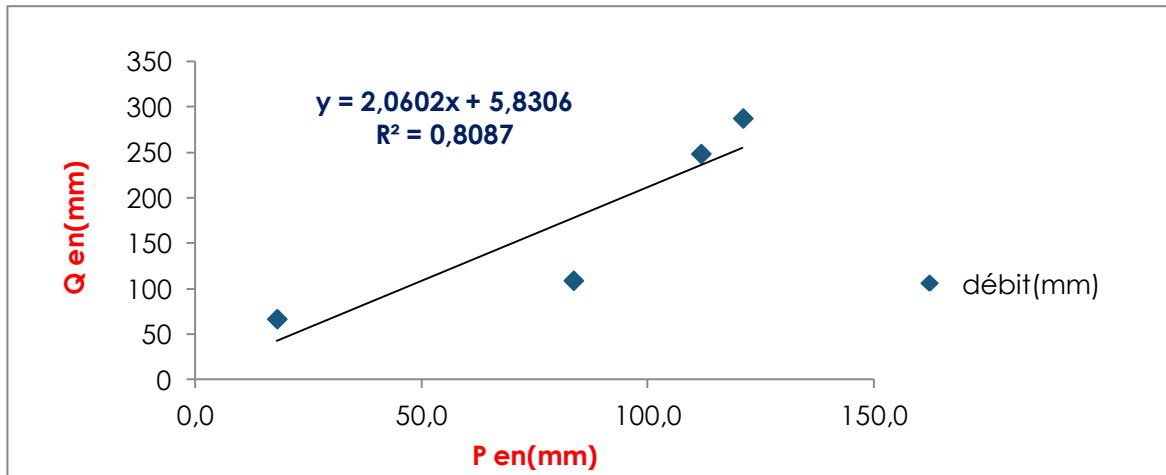


Figure21 : Corrélation entre les précipitations et les débits saisonières (1989-2009)

### 3 -Corrélation entre les précipitations et les débits moyens mensuels

On déduit une bonne relation linéaire mensuelle avec un coefficient de corrélation ( $R=0.83$ ) proche de 1 témoignant d'une étroite dépendance mensuelle. Les précipitations sont étroitement liées aux débits .

La variation mensuelle est donc semblable à celle des précipitations, montrant une bonne corrélation entre les deux variables, la station montre un décalage au niveau des mois de mars et avril, le temps de réponse peut être évalué à quelques jours seulement.

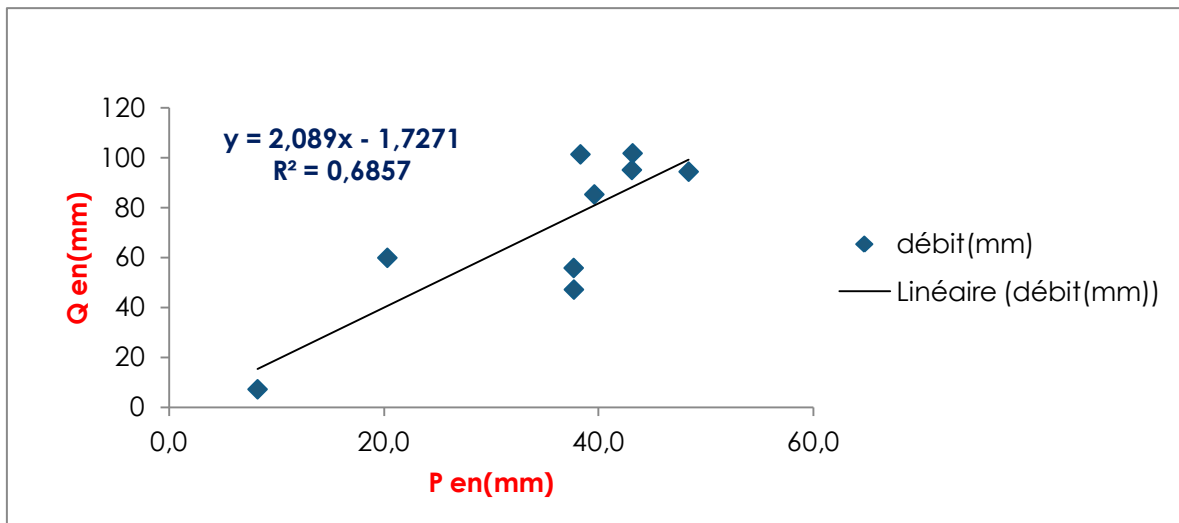


Figure 22: Corrélation entre les précipitation et les les débits mensuels (1989-2009)

### B- Variation comparative des débits et les pluies moyens annuels

L'évolution de La variation des débits ne suit pas de façon identique celle des précipitations ; exemple dans les années 1989/90,1998/99 et 2004 /05 les précipitations augmentent alors que les débits diminuent .

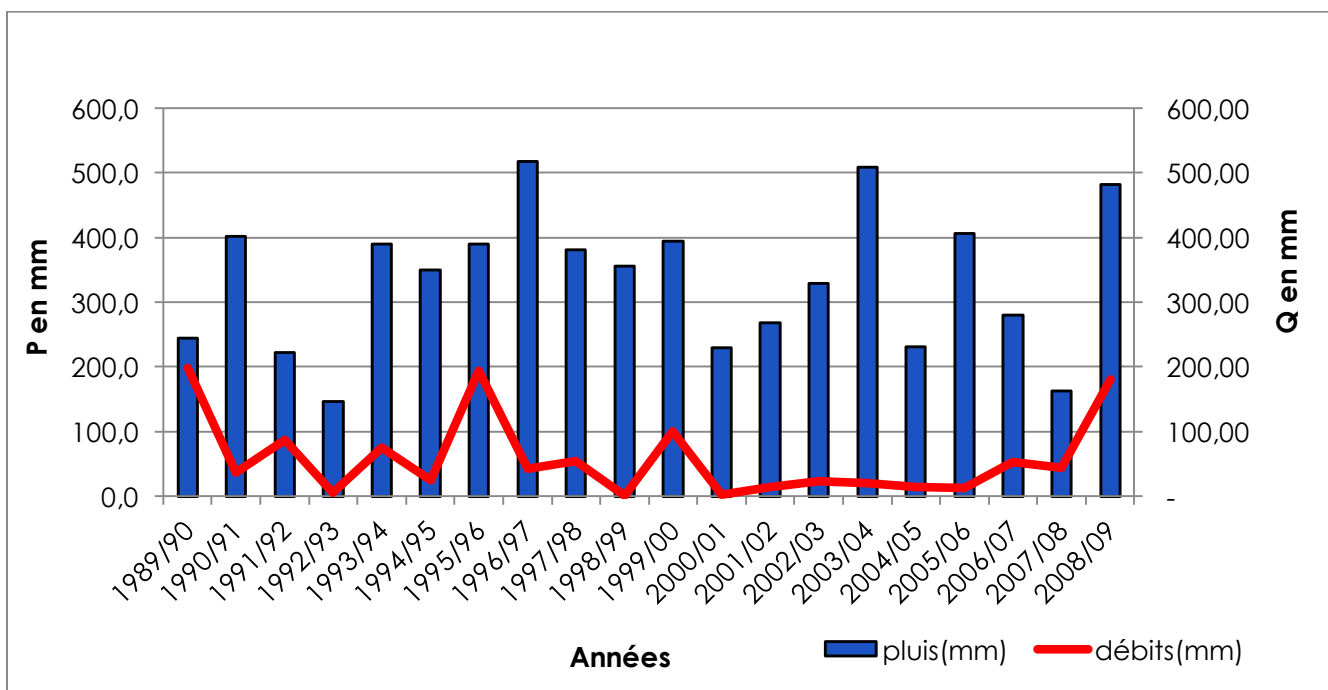


Figure23 : Variation comparative entre les pluies et les débits moyens annuels à Iloudjane

Les précipitations et les débits sont séparés ils ne varient pas d'une façon identique, cela peut s'expliquer qu'il y a eu captage des eaux en amont qui aurait empêché l'eau infiltrée de rejoindre l'Oued .De ce fait le

débit ne peut croître en même temps que les précipitations. Les prélèvements ont commencé à partir de 2001 où les écoulements ont commencé de diminuer.

### C-Variation comparative des débits et les pluies mensuelles

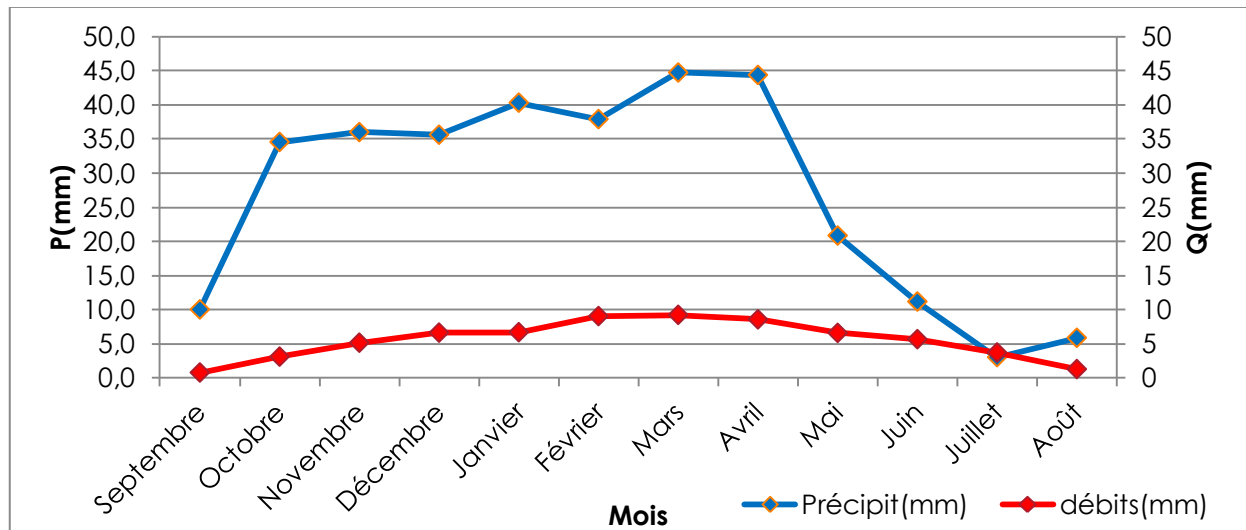


Figure24 : Variation entre les débits et les pluies moyennes mensuelles à Iloudjane

On remarque que la courbe des débits n'est pas complètement calquée sur celle des pluies et il y a un léger déphasage entre les deux courbes : Le maximum pluviométrique est en mars alors que le maximum hydrologique parvient un mois plus tard en avril.

Ceci est dû à la rétention nivale en hiver et sa grande fonte au printemps en plus des débits de base restitués par la nappe phréatique, ce qui renforce l'écoulement pendant cette saison.

### D-Conclusion

En général, on peut dire qu'il existe une liaison saisonnière et mensuelle étroite entre les précipitations et les régimes des oueds, puisque les précipitations sont évidemment le facteur essentiel qui conditionne les régimes hydrologiques et qu'elles constituent la matière première des débits du cours d'eau. Quand à la corrélation au niveau annuel elle est influencée par des perturbations des prélèvements ayant lieu en amont.

Le calcul des rapports des débits extrêmes sur le débit moyen permet d'indiquer une très grande irrégularité des régimes de oued seksaoua.

## **Chapitre IV : Bilans hydrologiques**

### **A-Bilans hydrologiques particuliers**

L'élaboration d'un bilan hydrologique a pour but de comparer les entrées et les sorties de l'eau dans un bassin versant, pour cela trois paramètres sont à calculer :

#### **1-La lame d'eau écoulée :**

La lame d'eau écoulée représente la hauteur d'eau écoulée à l'exutoire définie comme étant le rapport entre le débit et la surface du bassin versant du laps de temps considéré.

Elle est donnée par la relation établie en 2004 :

$$H = Q * [ ( 3600 * 24 * 365 ) / S ]$$

Avec :

H : lame d'eau écoulée en mm

Q : débit à l'exutoire en m<sup>3</sup>/s

S : la surface du bassin versant en m<sup>2</sup>

#### **2- Le déficit d'écoulement :**

Le déficit d'écoulement constitue le troisième terme du bilan hydrologique après les pluies et les débits. Il exprime la différence entre la hauteur d'eau reçue par un bassin versant et les écoulements superficiels issus de ce bassin pendant une même période. Théoriquement, il correspond à la quantité d'eau évapotranspirée et celle infiltrée vers les nappes souterraines ; mais cette partie d'eau infiltrée pourra ultérieurement être drainée par la rivière et ressortir des résurgences ou des sources. Elle correspond donc à un écoulement différé pouvant être comptabilisé avec les débits. Ceci laisse supposer que seule l'évapotranspiration annuelle correspond au déficit d'écoulement calculé par la formule suivante :

$$D = P - H .$$

Avec :

D : déficit d'écoulement en mm

P : précipitation en mm

H : lame d'eau écoulée en mm

#### **3- Le coefficient d'écoulement :**

C'est le rapport entre la lame d'eau écoulée et les précipitations contemporaines. Il s'exprime en pourcentage de la tranche d'eau qui ruisselle jusqu'à l'exutoire du bassin versant et est donné par la relation suivante :

$$CE = H / P$$

Avec :

CE : coefficient d'écoulement en %

P : précipitations en mm

H : la lame d'eau écoulée en mm

Le coefficient d'écoulement dépend généralement de trois facteurs principaux :

- La pluie : qui intervient par son intensité et sa répartition spatio-temporelle.
- Les caractéristiques physiques du bassin versant notamment sa superficie, ses pentes, la nature du substratum, la perméabilité, la végétation et l'état d'humidité d'un sol

quand commence la pluie.

- La température qui régit l'évapotranspiration

#### 4- Bilans hydrologiques annuels dans le bassin de Seksaoua à Iloudjane

Années	Précipitations P(mm)	Ecoulement H (mm)	Déficit d'écoulement (mm)	Coeff d'écoulemen t (%)
1989/90	244,4	198,07	46,3	0,81
1990/91	401,5	36,83	364,7	0,09
1991/92	221,7	87,31	134,4	0,39
1992/93	146,1	6,04	140,1	0,04
1993/94	389,4	75,11	314,3	0,19
1994/95	350,5	24,88	325,6	0,07
1995/96	390,0	193,63	196,4	0,50
1996/97	518,1	42,59	475,5	0,08
1997/98	380,9	54,04	326,9	0,14
1998/99	355,4	1,48	353,9	0,00

<b>1999/2000</b>	394,6	101,19	293,4	0,26
<b>2000/01</b>	229,0	2,86	226,1	0,01
<b>2001/02</b>	268,6	13,85	254,7	0,05
<b>2002/03</b>	329,9	23,11	306,8	0,07
<b>2003/04</b>	508,3	19,79	488,5	0,04
<b>2004/05</b>	231,6	14,26	217,3	0,06
<b>2005/06</b>	405,9	13,58	392,3	0,03
<b>2006/07</b>	280,5	53,21	227,3	0,19
<b>2007/08</b>	162,4	44,49	117,9	0,27
<b>2008/09</b>	482,2	179,94	302,3	0,37
<b>Moy</b>	334,55	59,31	275,24	0,18
<b>Max</b>	518,10	198,07	488,51	0,81
<b>Min</b>	146,10	1,48	46,33	0,00

Tableau 14 : Bilan hydrologique annuel du bass versant de Seksaoua

## B- Corrélation entre les précipitations et les déficits d'écoulements annuels

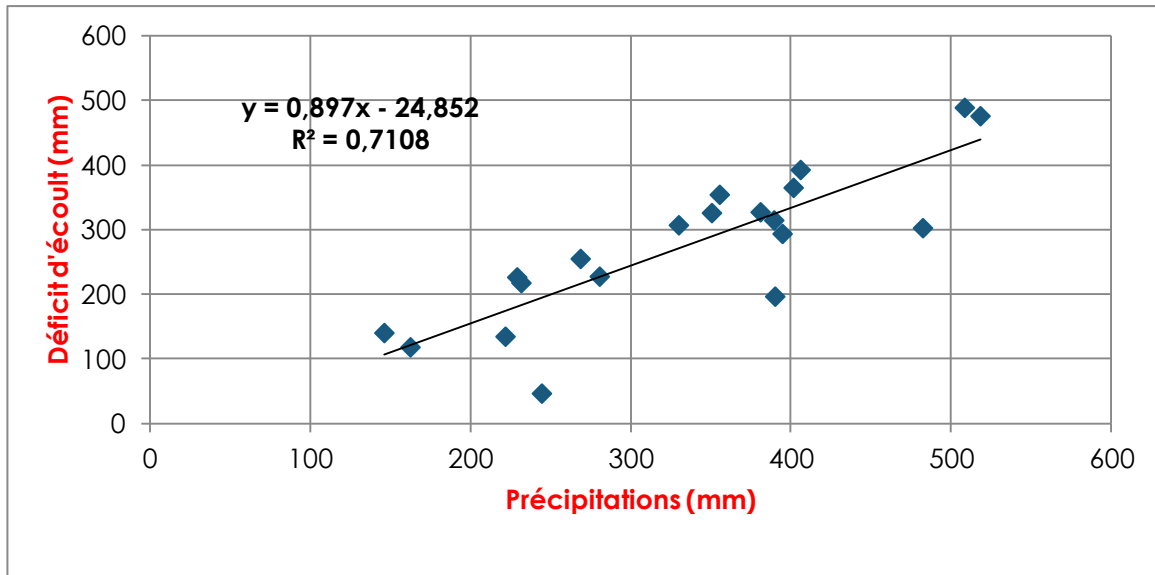


Figure25 : Corrélation entre les précipitations et les déficits d'écoulements à Iloudjane

Dans le bassin de Seksaoua les déficits d'écoulements varient naturellement d'une année à l'autre selon plusieurs facteurs. Cette variation est de 46 ,33 mm en 89-90 jusqu'à 488,5 mm en 2003-04, le déficit moyen est de l'ordre de 275,24 mm d'après l'observation on voit que la très grande variabilité des pluies a pour conséquence une variation au niveau des déficits, cette éventuelle variation semble être due à la variation des précipitations à l'échelle annuelle ainsi que leur répartition dans l'année. On peut dire que la figure montre nettement cette excellente corrélation entre le déficit d'écoulement et les précipitations.

### C- Corrélation entre les précipitations et les coefficients d'écoulements annuels :

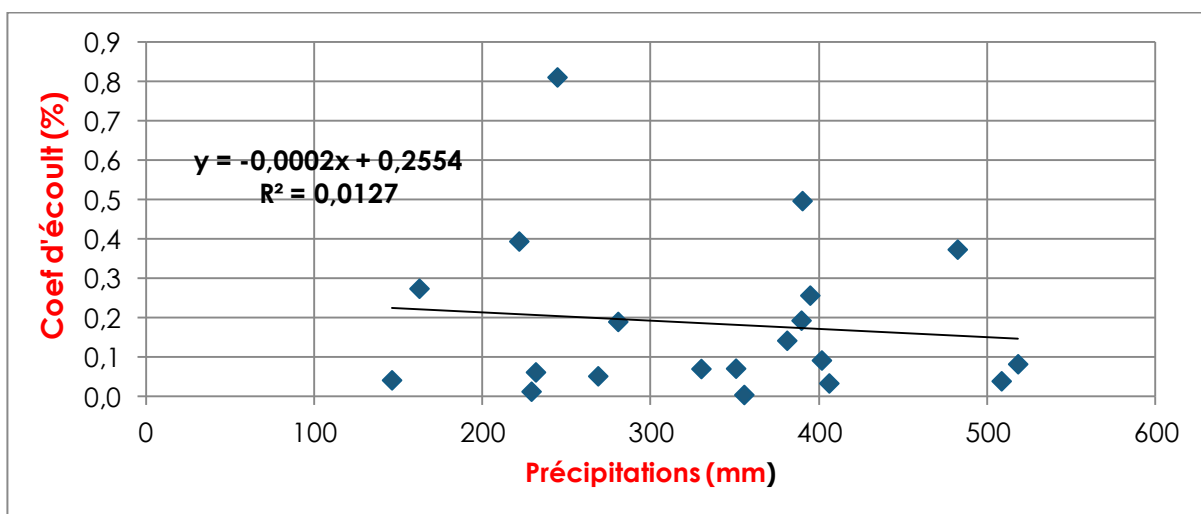


Figure 26: Corrélation entre les précipitations et les coefficients d'écoulement à Iloudjane

La figure montre la relation entre les coefficients d'écoulements et les précipitations à l'échelle annuelle ; le coefficient d'écoulement varie de 0,00% en 1998/99 à 0,81 % en 1989/90. On note que la très grande variation spatio-temporelle des pluies semble être la principale cause de la variabilité du coefficient d'écoulement.

D'autre part les températures peuvent aussi avoir une influence sur la hauteur des déficits annuels surtout quand ils ont une grande variabilité annuelle.

La figure confirme la faible corrélation entre les déficits coefficient et les pluies avec un coefficient de corrélation de 0,11.

En effet, un facteur important intervient ici, c'est l'état d'humidité des sols et le niveau d'eau dans les réserves souterraines au moment de la pluie. Une année pluvieuse qui fait suite à une année sèche n'aura pas le même résultat d'écoulement que si elle faisait suite à une année très humide.

En plus, la répartition temporelle et l'intensité des pluies jouent aussi un rôle déterminant dans la relation entre ces deux paramètres. C'est pourquoi on ne devrait pas s'attendre à une bonne corrélation entre les hauteurs annuelles des pluies et les coefficients d'écoulements qui en ressortent.

## D- Bilan global

Le bilan hydrologique global est élaboré dans le but de découvrir, au niveau du bassin versant De Seksaoua, les valeurs moyennes de tous les paramètres de ce bilan sur la période étudiée, et les rapports entre ces différents paramètres :

Bassin versant	A Iloudjane
Superficie (km <sup>2</sup> )	570
Altitude moyenne (m)	1820
Température moyenne (°C)	18,5
Précipitations (mm)	320,7
Écoulement (mm)	45,46
Déficit (mm)	275,24
Coefficient d'écoulement (%)	0,18
Période d'observation	1989-2008

Tableau 15 : Bilan global du bassin de Seksaoua

## Conclusion générale

Oued Chichaoua est considéré comme le principal cours d'eau drainant la plaine de Mejjate. C'est le collecteur des oueds Ameznas, Imintanout et Seksaoua qui prennent naissance dans le Haut Atlas et dont le point de confluence est à environ 15 Km au Sud de Chichaoua. Oued **seksaoua** est l'un des plus grands affluents du Sous bassin Chichaoua caractérisé par la station hydrométrique « **Iloudjane** » située en aval, une superficie de **570 km<sup>2</sup>**, des apports de **1,72 l/s/Km<sup>2</sup>** et un module annuel de **0,98 m<sup>3</sup>/s**.

Ce bassin versant est le résultat d'une évolution géomorphologique très longue où s'esquissent les caractères généraux des phases tectoniques affectant la région. Il est de forme allongé ( $Kc = 1,47$ ) et les altitudes sont élevées (altitude moyenne = 1820m), ce qui va favoriser les formations de neiges en montagnes, la pente moyenne des versants montagneux du bassin du seksaoua est de 23,6°.

Afin de connaître le régime de oued Seksaoua drainant le secteur étudié, la station hydrométrique iloudjane, a été installée pour assurer le contrôle et le suivi des débits et pluies, leurs caractéristiques :

Les précipitations ont une grande variabilité. A l'échelle temporelle, les précipitations varient beaucoup d'une année à l'autre. Elles varient également à l'échelle saisonnière et mensuelle. Cette variabilité spatio-temporelle est un caractère habituel en milieu semi aride où les paramètres climatiques sont irréguliers et aléatoires, d'où l'importance d'une gestion rationnelle des ressources en eau en ce milieu.

les débits de Seksaoua suivent les précipitations avec un certain décalage dans le temps, en effet ils sont généralement faibles, avec un régime pluvio-nival avec un pic pluviométrique en hiver et un pic hydrologique au printemps

L'analyse fréquentielle des débits et pluies maximums journaliers a un rôle très important dans l'estimation de risque d'apparition d'une crue donnée pour une période de retour donnée. A cet effet, on trouve que La loi Gamma est la mieux adaptée pour l'estimation des débits maximums journaliers et la loi Normal est la mieux adaptée pour l'estimation des pluies maximales journalières.

La relation entre les pluies et les débits, à l'échelle saisonnière et mensuel est assez bonne par contre à l'échelle annuel est faible voire nulle à cause des données peu fiables des précipitations ou des débits, ainsi que le captage des eaux en amont par ( les prélèvements) pour l'irrigation.

la corrélation entre les précipitations et les déficits d'écoulements est bonne, par contre celle entre le coefficient d'écoulements et les pluies est faible parce que ce coefficient dépend essentiellement de la façon avec laquelle est tombée cette pluie, c'est-à-dire son intensité et non pas sa hauteur.

## Liste des figures

<b>Figure 1,2,3</b> : Situation géographique du bassin versant de l'Oued Seksaoua	P 8,9
<b>Figure 4</b> : la station hydrologique de seksaoua Iloudjane	p10
<b>Figure 5</b> : Croquis de situation de la station	p11
<b>Figure 6</b> : Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Seksaoua	p14
<b>Figure 7</b> : Courbe hypsométrique du bassin versant de Seksaoua à Iloudjane	p16
<b>Figure 8</b> : Carte des pentes du bassin versant de Seksaoua à Iloudjane	p17
<b>Figure 9</b> : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de Seksaoua (d'après l'ABHT)	p20
<b>Figure 10</b> : Classification du réseau hydrographique du bassin Seksaoua à Iloudjane par la méthode de Strahler	p21
<b>Figure 11</b> : Carte géologique du bassin versant de Seksaoua	p23
<b>Figure 12</b> : Précipitations totales annuelles au niveau du bassin versant de Seksaoua	p26
<b>Figure 13</b> : Précipitations moyennes saisonnières au niveau de Seksaoua	p27
<b>Figure 14</b> : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles au niveau du bassin versant de Seksaoua	p28
<b>Figure 15</b> : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon les lois de Gumbel, Gamma, Normal et Lognormal	p30
<b>Figure 16</b> : Débits moyens annuels au niveau du bassin versant de Seksaoua	p34
<b>Figure 17</b> : Variation saisonnière des débits moyens à Iloudjane	p35
<b>Figure 18</b> : Variation des débits moyens mensuels à Iloudjane	p36
<b>Figure 19</b> : Graphiques des ajustements des lois de débit maximal journalier	p37
<b>Figure 20</b> : Corrélation entre les précipitations et les débits annuels	p40
<b>Figure 21</b> : Corrélation entre les précipitations et les débits saisonnières	p41
<b>Figure 22</b> : Corrélation entre les précipitation et les les débits mensuels	p42
<b>Figure 23</b> : Variation comparative entre les pluies et les débits moyens annuels à Iloudjane	p42
<b>Figure 24</b> : Variation entre les débits et les pluies moyennes mensuelles à Iloudjane	p43
<b>Figure 25</b> : Corrélation entre les précipitations et les déficits d'écoulements à Iloudjane	p47
<b>Figure 26</b> : Corrélation entre les précipitations et les coefficients d'écoulement à Iloudjane	p47

## Liste des tableaux

<b><u>Tableau1</u></b> : Caractéristiques morphologiques du bassin versant de Seksaoua	P13
<b><u>Tableau2</u></b> : Répartition hypsométrique du bassin versant de Seksaoua à Iloudjane	p15
<b><u>Tableau3</u></b> : Caractéristiques physiques du bassin versant de Seksaoua	p19
<b><u>Tableau 4</u></b> : caractéristiques géomorphologiques du bassin de Seksaoua	p19
<b><u>Tableau5</u></b> : Ajustements numériques des Lois Normal et de Gamma ( Période 20 ans)	p31
<b><u>Tableau6</u></b> : Ajustements numériques des Lois Normal et de Gamma ( Période 50 ans)	p31
<b><u>Tableau7</u></b> : Ajustements numériques des Lois Normal et de Gamma ( Période 100 ans)	p 32
<b><u>Tableau 8</u></b> : Estimation des précipitations maximales journalières annuelles selon la loi de Gumbel	p32
<b><u>Tableau 9</u></b> : Statistiques descriptives des précipitations maximales journalières	p33
<b><u>Tableau 10</u></b> : Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station Hydrologique Iloudjane	p 38
<b><u>Tableau 11</u></b> : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d'ajustement	p38
<b><u>Tableau 12</u></b> : Statistiques descriptives de débit maximal journalier à la station d'Iloudjane	p39
<b><u>Tableau 13</u></b> : Débit estimé pour chaque période de retour selon l'ajustement de la loi Gamma	p39
<b><u>Tableau 14</u></b> : Bilan hydrologique annuel du bass versant de Seksaoua	p46
<b><u>Tableau 15</u></b> : Bilan global du bassin de Seksaoua	p48



## **Références bibliographiques**

ABHT (2001), Base de données de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift. Marrakech.

ABHT (2007), Fiche technique du bassin versant de Seksaoua à Illoudjane ; rapport interne, Marrakech, 15 p.

# ANNEXE

OUED :SEKSAOUA

STATION :ILOUDJANE

N° IRE : 628/52

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	P annuel
1989/90	0,5	20,3	53,2	40,0	30,2	0,0	57,6	7,3	35,3	0,0	0,0	0,0	244,4
1990/91	0,0	0,9	0,6	35,6	0,7	194,3	114,3	39,5	0,0	1,0	7,3	7,3	401,5
1991/92	10,9	24,6	11,9	16,6	0,0	41,4	40,0	47,7	22,6	6,0	0,0	0,0	221,7
1992/93	0,0	22,6	15,0	17,8	70,4	3,2	10,9	3,7	2,5	0,0	0,0	0,0	146,1
1993/94	0,0	33,9	124,2	31,1	65,8	45,0	63,9	0,0	0,5	0,0	0,0	25,0	389,4
1994/95	0,0	114,5	0,0	0,5	0,0	71,7	38,7	124,6	0,0	0,0	0,0	0,5	350,5
1995/96	0,0	8,2	5,8	54,0	104,8	72,7	89,9	14,9	6,4	33,3	0,0	0,0	390,0
1996/97	14,6	0,0	58,2	83,9	123,8	5,2	64,2	126,0	41,4	0,8	0,0	0,0	518,1
1997/98	27,4	29,1	33,1	57,4	66,4	28,9	26,5	52,2	47,4	12,5	0,0	0,0	380,9
1998/99	8,1	7,4	0,0	24,4	77,1	51,4	160,8	3,3	19,4	0,0	0,0	3,5	355,4
1999/00	12,6	180,9	45,2	80,0	15,0	0,0	0,0	48,0	9,0	0,8	0,0	3,1	394,6
2000/01	2,3	39,2	12,3	43,2	49,7	2,8	20,3	57,5	0,0	0,0	0,0	1,7	229,0
2001/02	1,3	0,0	9,2	28,9	1,0	3,5	64,2	86,4	28,9	43,8	0,0	1,4	268,6
2002/03	2,4	9,1	58,7	40,4	47,9	0,0	57,5	45,8	22,6	13,5	21,0	11,0	329,9
2003/04	2,0	103,1	95,9	72,1	0,0	40,1	36,8	56,3	75,9	19,1	1,7	5,3	508,3
2004/05	15,4	17,8	24,6	55,8	3,4	40,3	54,5	4,4	4,3	1,6	0,0	9,5	231,6
2005/06	0,0	54,4	50,5	33,5	92,0	52,4	8,6	63,6	2,7	12,3	34,4	1,5	405,9
2006/07	8,2	14,5	16,9	24,4	12,9	58,3	5,7	79,3	56,3	0,0	0,0	4,0	280,5
2007/08	0,0	13,3	81,9	5,1	20,2	7,8	3,5	0,7	29,9	0,0	0,0	0,0	162,4
2008/09	58,9	59,8	56,8	21,5	82,1	73,1	49,9	0,8	1,3	76,8	1,2	0,0	482,2
Moy	8,2	37,7	37,7	38,3	43,2	39,6	48,4	43,1	20,3	11,1	3,3	3,7	320,7

Tableau de précipitations mensuelles en (mm) à la station Iloudjane

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Q annuel
1989/90	1,45	5,54	5,83	8,89	6,36	3,63	4,82	1,85	1,35	0,320	2,72	0,040	3,58
1990/91	0,042	0,037	0,030	0,041	0,028	0,444	1,33	4,18	1,03	0,418	0,246	0,197	0,67
1991/92	0,011	0,006	0,007	6,17	2,28	2,37	2,69	2,79	1,93	0,547	0,088	0,030	1,58
1992/93	0,053	0,156	0,155	0,156	0,184	0,084	0,093	0,134	0,091	0,084	0,072	0,047	0,11
1993/94	0,000	0,031	2,97	2,51	2,26	0,542	3,00	2,22	1,06	0,177	0,162	1,29	1,36
1994/95	0,000	0,166	0,109	0,000	0,000	0,342	0,654	3,62	0,195	0,154	0,111	0,101	0,45
1995/96	0,100	0,008	0,094	8,58	13,7	6,60	6,32	2,54	1,82	2,17	0,021	0,027	3,50
1996/97	0,036	0,046	0,400	0,659	1,76	1,75	1,81	1,65	1,05	0,043	0,058	0,053	0,77
1997/98	0,039	0,102	0,156	0,188	0,149	4,78	2,40	2,87	1,30	0,026	0,027	0,028	0,98
1998/99	0,029	0,012	0,000	0,000	0,008	0,033	0,052	0,058	0,060	0,061	0,009	0,000	0,03
1999/00	0,000	10,5	3,36	2,32	1,47	1,04	0,804	0,812	0,780	0,262	0,195	0,191	1,83
2000/01	0,052	0,000	0,000	0,026	0,122	0,164	0,188	0,037	0,025	0,014	0,001	0,000	0,05
2001/02	0,000	0,000	0,000	0,301	0,097	0,011	0,015	1,08	1,20	0,222	0,035	0,032	0,25
2002/03	0,000	0,000	0,000	1,85	2,03	0,200	0,322	0,323	0,144	0,039	0,035	0,013	0,42
2003/04	0,003	0,005	0,199	0,575	0,586	0,609	0,665	1,01	0,417	0,187	0,039	0,023	0,36
2004/05	0,010	0,000	0,120	0,345	0,257	0,306	0,360	0,360	0,391	0,430	0,353	0,164	0,26
2005/06	0,000	0,052	0,012	0,307	0,294	0,251	0,224	0,418	0,469	0,313	0,307	0,292	0,25
2006/07	0,001	0,163	0,326	1,51	1,42	1,38	1,20	1,74	0,965	1,37	1,30	0,195	0,96
2007/08	0,000	0,015	0,293	0,112	1,19	1,81	0,901	0,963	0,978	1,16	1,83	0,469	0,80
2008/09	0,642	3,19	2,87	2,03	2,50	4,39	6,19	5,65	6,31	5,10	0,271	0,026	3,25
moy	0,123	1,004	0,847	1,828	1,835	1,537	1,702	1,715	1,077	0,655	0,394	0,161	1,072

Tableau de débits mensuels à la station Iloudjane



Vue en long





**Rive droite du cours d'eau**



**ECHELLES LIMNIMETRIQUES DE LA RIVE GAUCHE DE 0m à 3m**



**LOCAL DE LA STATION HYDROMETRIQUE**