

# *Maîtrise és-Sciences et Techniques - Hydrogéologie*

**Université Cadi-Ayyad**  
**Faculté des Sciences et Techniques**  
**Agence du Bassin Hydraulique du Tensift**  
**Année universitaire 2004-2005**



## *Comportement hydrologique dans le Haut Atlas occidental*

### *Le cas du bassin du ksob*



#### **Projet supervisé par**

M<sup>r</sup> .Mohamed .El Mehdi. SAIDI  
M<sup>r</sup> .Hassan .Arsmouk

#### **Jury:**

M<sup>r</sup> .L.Hanich  
M<sup>r</sup> .L.Daoudi

#### **Réalisé par**

*OUSSOUSS Abdelouahed*  
*ESSALHI Khalid*

# REMERCIEMENT

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

A l'issu de ce travail, nous nous sommes rendus comptes que tant est grand le nombre de ceux qui avec compétence et gentillesse, nous ont aidés à le mener à bien.

M<sup>f</sup> M.E.SAIDI Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, Département de Géologie.

M<sup>f</sup> B.BOUGADIR chef de Formation d'Hydrogéologie et Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, Département de Géologie.

M<sup>f</sup> L.DAOUDI Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, Département de Géologie

C'est à eux que nous devons la réalisation de ce projet de fin d'études, grâce à leurs expériences qui nous ont donné toujours une référence et un soutien dans le raisonnement scientifique.

Nos remerciements vont également aux membres de jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nous remercions M<sup>f</sup> H. ARSMOUK chef de service de l'hydrologie et M<sup>f</sup> S. LKIHHEL technicien à l'ABHT, également M<sup>f</sup> A. MAIMOUNI pour son aide et ses conseils.

En fin nous remercions toutes personnes de Département de Géologie qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, ainsi que nos collègues et nos amis.

# SOMMAIRE

<b>Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>Première partie.....</b>	<b>5</b>
<b><u>Chapitre : I</u> Représentation du secteur d'étude.....</b>	<b>6</b>
<b>I- Cadre géographique.....</b>	<b>6</b>
<b>1- localisation et donnée générale sur le bassin de Ksob.....</b>	<b>6</b>
<b>2- Hydrographie de l'oued Ksob.....</b>	<b>6</b>
<b>-Localisation de secteur d'étude par apport aux domaines</b>	
<b>structuraux du Maroc.....</b>	<b>7</b>
<b>-Carte hydrologique du bassin versant de l'oued Ksob.....</b>	<b>8</b>
<b>3- Le relief et le climat.....</b>	<b>9</b>
<b>4- la population et les activités économiques .....</b>	<b>9</b>
<b>II- Géologie du bassin versant de l'ou Ksob.....</b>	<b>9</b>
<b>-Carte géologique du bassin versant de l'oued Ksob.....</b>	<b>10</b>
<b>III- Morphologie du basin.....</b>	<b>11</b>
<b>* Caractéristiques physique du bassin.....</b>	<b>11</b>
<b>- Indice de compacité .....</b>	<b>11</b>
<b>- Rectangle équivalent.....</b>	<b>12</b>
<b>- Carte hypsométrique du bassin versant de l'oued Ksob.....</b>	<b>14</b>
<b>- Relief et courbe hypsométrique du bassin versant de Ksob.....</b>	<b>15</b>
<b>- Temps de concentration.....</b>	<b>16</b>
<b>IV- Données climatiques.....</b>	<b>16</b>
<b>1-Introduction .....</b>	<b>16</b>
<b>2-Température.....</b>	<b>16</b>
<b>3- Le vent.....</b>	<b>17</b>
<b>4- L'évapotranspiration.....</b>	<b>17</b>
<b>5- La végétation.....</b>	<b>17</b>
<b>Deuxième partie.....</b>	<b>18</b>
<b><u>Chapitre : II</u> Traitement des données hydropluviométriques .....</b>	<b>19</b>

1-Critiques des données .....	19
2-Traitement des données hydro pluviométriques.....	19
A- Les stations du bassin.....	19
B- Précipitations moyennes annuelle.....	19
-Méthode arithmétique .....	20
C- Précipitation moyenne saisonnière (1977-2004).....	21
D- Précipitation moyenne mensuelle (1977-2004).....	22
<b>Chapitre : III Régime fluvial de l’oued Ksob.....</b>	<b>24</b>
<b>I- Régime fluvial à Igrounzar.....</b>	<b>24</b>
1- Variations annuelles des débits .....	24
2- Variations saisonnières des débits .....	24
3- Variations mensuelles des débit .....	25
<b>II- Régime fluvial de Zelten.....</b>	<b>25</b>
1- Variations annuelles des débits.....	25
2- Variations saisonnières des débits .....	26
3- Variations mensuelles des débits .....	26
<b>III- Régime fluvial d’Adamna.....</b>	<b>27</b>
1- Variations annuelles des débits .....	27
2- Variations saisonnières des débits.....	27
3- Variations mensuelles des débits.....	28
<b>IV- Variations saisonnières sur l’ensemble du bassin .....</b>	<b>28</b>
<b>Chapitre : IV Etudes des débits à l’échelle de l’événement: Les crues .....</b>	<b>29</b>
<b>I- INTRODUCTION.....</b>	<b>29</b>
<b>II- Crue de 07/01/1985 et 22/01/1996 à Zelten.....</b>	<b>33</b>
1- Crue de 07/01/1985.....	33
2- Crue de 22/01/1996.....	34
<b>III- Crue de 07/01/1985 et 22/01/1996 à Igrounzar.....</b>	<b>35</b>
1- Crue de 07/01/1985.....	35
2- Crue de 22/01/199.....	36

<b>IV- Crue de 07/01/1985 et 22/01/1996 à Adamna .....</b>	<b>37</b>
<b>1- Crue de 07/01/1985.....</b>	<b>37</b>
<b>2- Crue de 22/01/1996.....</b>	<b>38</b>
<b>»Photo montrant les apports de la crue de 1996 de L'oued Ksob au niveau du littoral d'Essaouira .....</b>	<b>39</b>
<b>»Photo montrant de L'oued Ksob lors de l'étiage .....</b>	<b>39</b>
<b>Troisième partie.....</b>	<b>40</b>
<b><u>Chapitre : V</u> Corrélation pluie-débit.....</b>	<b>41</b>
<b>A- Corrélation des précipitations et des débits.....</b>	<b>41</b>
<b>I- Corrélation entre les précipitations et les débits moyens annuels.....</b>	<b>41</b>
<b>II- Corrélation entre les précipitations et les débits moyens saisonniers.</b>	<b>42</b>
<b>III- Corrélation entre les précipitations et les débits moyens mensuels...</b>	<b>42</b>
<b>B- Variation comparative des précipitations et des débits.....</b>	<b>43</b>
<b>I- Variations comparatives mensuelles sur l'ensemble du bassin.....</b>	<b>43</b>
<b>II- Variations comparatives annuelles sur l'ensemble du bassin.....</b>	<b>44</b>
<b><u>Chapitre : VI</u> Bilans particuliers.....</b>	<b>46</b>
<b>I- La lame d'eau écoulée .....</b>	<b>46</b>
<b>II- Le déficit d'écoulement .....</b>	<b>46</b>
<b>III- Le coefficient d'écoulement.....</b>	<b>47</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>49</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>50</b>

## INTRODUCTION

Le présent travail se propose de contribuer à l'étude du bassin versant de l'oued Ksob 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, surtout que la zone d'étude se situe dans une région touristique dont une campagne d'étude menée depuis 2002 par le Département du Tourisme du ministère de l'Economie et de Finance, afin de lancer un projet de développement durable du tourisme de Mogador.

A cet effet et en vue d'assurer la sécurité des futurs aménagements on se propose de réaliser cette étude hydrologique.

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

- La première partie consacrée à la géographie, 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 parties va aborder l'étude des précipitations et des débits sur l'ensemble du bassin versant en se basant sur données, annuelles, saisonniers et mensuelles et leurs variabilités, ainsi que les crues.
- La troisième partie repose sur la corrélation précipitations-débits et les bilans hydrologiques.

# Première partie

# **Chapitre I : PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDES**

## **I- Cadre géographique.**

### **1- Localisation et données générales sur le bassin de Ksob**

Le secteur d'étude est le bassin versant de l'oued Ksob. Il fait partie de l'Atlas Atlantique qui est la partie la plus occidentale du bassin Sud-Ouest Marocain (Dufaud, 1960 et Dufaud et al, 1966).

Le Bassin de Ksob se situe au Sud-est de la ville d'Essaouira à l'intérieur d'une chaîne de montagne qui s'étend du Haut Atlas vers la mer.

L'oued Ksob résulte de la confluence des oueds Igronzar et zelten à l'amont de la gorge zerrar à environ 29 km de l'océan Atlantique.

Ce bassin est subdivisé en trois sous bassins :

-Sous bassin d'oued Igronzar, qui s'étend sur la partie Nord de notre bassin.

-Sous bassin d'oued Zelten s'étendant sur la partie Sud.

-Sous bassin de l'Adamna dans la partie extrême Ouest.

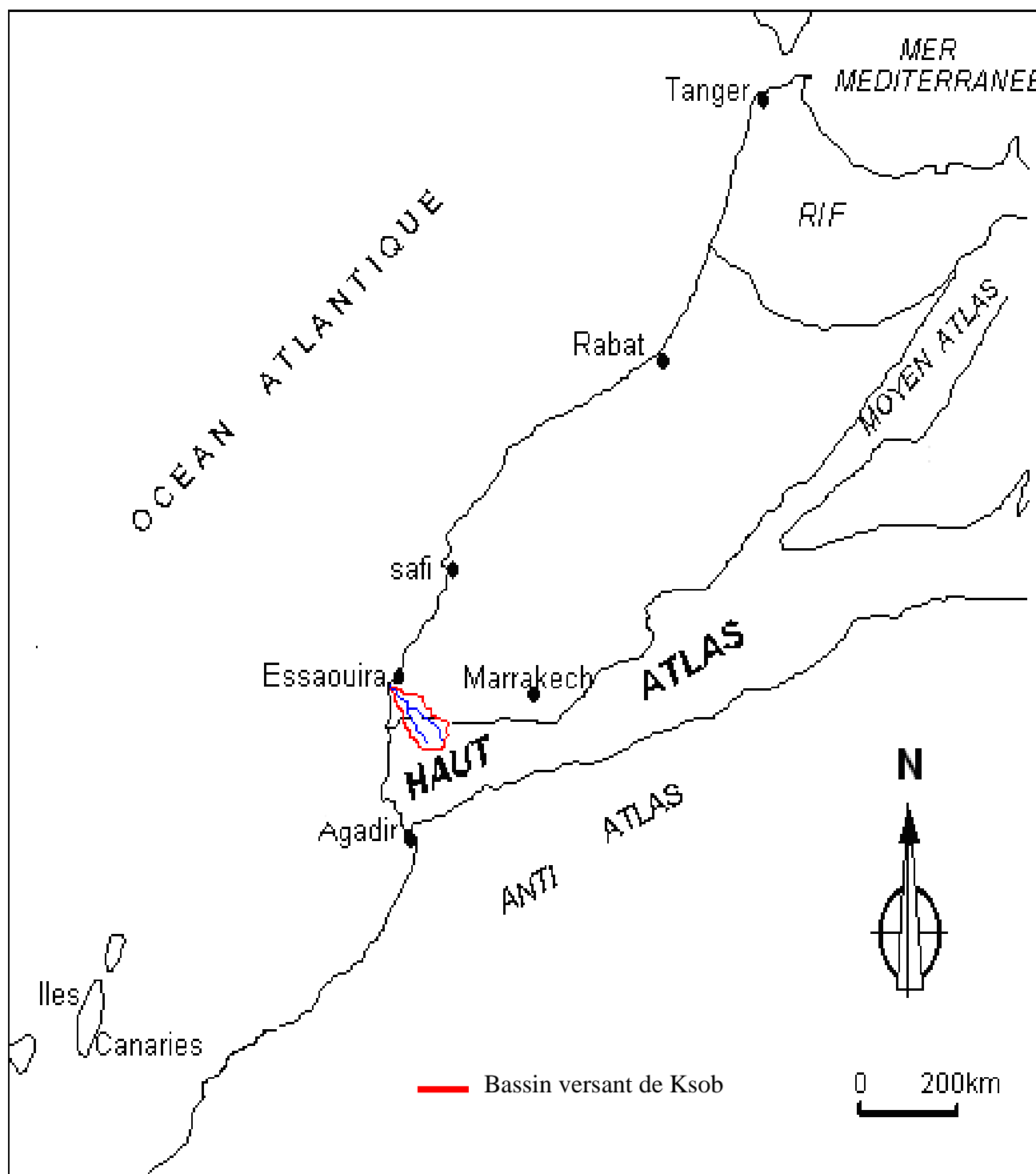
L'oued Ksob draine les eaux de ruissellement de la cuvette synclinal de Bouabout et du versant Nord du Haut Atlas occidental, les événements pluvieux sur le Haut Atlas entraînent souvent des crues importantes de cet oued qui peuvent dépasser 1000 m<sup>3</sup>/s

Plusieurs crues sont enregistrées : 1927-1961-1965-1985 et 1996, mais cette dernière est la plus marquante de l'histoire des crues de l'oued Ksob avec un débit de 1600 m<sup>3</sup>/s.

Le bassin de l'oued Ksob couvre une superficie de 1580 km<sup>2</sup> dont 882 km<sup>2</sup> pour le sous bassin d' Igronzar, 435 km<sup>2</sup> pour le sous bassin de Zelten et 194 km<sup>2</sup> pour le sous bassin de l'oued Ksob. La forme du bassin ainsi que son cours principal d'eau ont une direction SE-NW.

### **2- Hydrographie de l'oued Ksob**

L'oued Ksob résulte de la confluence de deux oueds Igronzar et Zelten. Son bassin versant est marqué par un réseau hydrographique très dense (Figure : I-1), sauf dans la région de Khemis Meskala et dans la zone synclinal d'Essaouira (partie aval) où il devient plus lâche. La collecte des eaux de surface se fait par des vallées qui entaillent parfois profondément les différents niveaux calcaires traversés. Mis à part les deux cours principaux (Igronzar et Zelten), la majorité des cours d'eau est temporaire et s'écoulent uniquement lors des crues.



**Figure : I- 1 Localisation de secteur d'étude par apport aux domaines structuraux du Maroc**



Figure : I-1' carte hydrographique du bassin versant de Ksob

### **3- Le relief et le climat**

De point de vue morphologique, la zone étudiée est constituée par un ensemble de cuvettes synclinales à remplissage de terrains méso-cénozoïques. Les altitudes varient entre plus de 1600m au Sud-est à moins 200m dans la partie septentrionale. Le climat est semi-aride, avec une moyenne annuelle des précipitations de l'ordre de 316 mm. La région est soumise à deux types d'influence climatiques ; les unes sont marines venant de l'Ouest, les autres sont continentales qui arrivent de l'Est.

### **4- la population et les activités économiques**

Les habitats de la région sont surtout les berbères de « Haha » au Sud de l'oued Igrounzar et les « Chiadma » sur sa rive droite. Ils sont regroupés en de nombreux centres dont les plus importants sont : Bouabout, Ida Ou Zemzem, Ait Zelten Khemis Meskala. La principale activité économique de la région est l'agriculture et l'élevage, alors que l'industrie est pratiquement inexistante. La succession des dernières années de sécheresses a eu des répercussions négatives sur les habitants. D'où, l'exode rural d'un nombre important de jeunes vers les villes les plus proches et surtout, Marrakech, Agadir, Essaouira et Casablanca.

## **II- Géologie du bassin versant de l'oued Ksob**

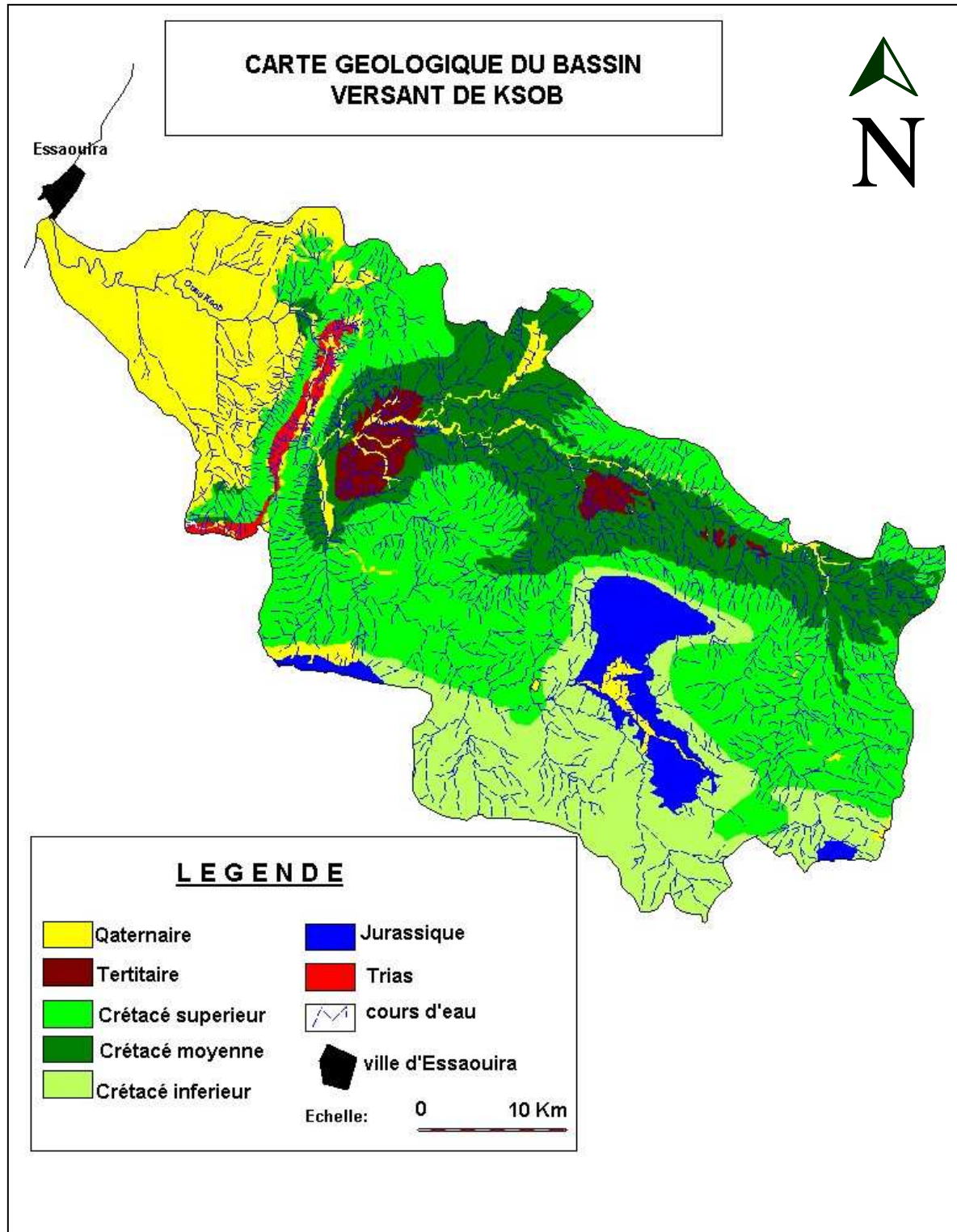
Le bassin versant de l'oued Ksob est formé par des terrains très divers allant du Trias au Quaternaire (figure : I-2). La série lithostratigraphique commence par le Trias qui affleure au niveau de la partie aval du bassin, il s'agit d'argile salifère et de basaltes du diapir de Tidsi. Ces terrains jouent un rôle très important dans la minéralisation des eaux de l'oued qui alimente dans sa partie aval le système aquifère de la zone synclinale d'Essaouira.

Le Jurassique affleure à des altitudes supérieures à 1000 mètres et forme une auréole au niveau de l'anticlinal de Jbel Ihchech

Les terrains carbonatés du Crétacé sont dominants et intéressent l'ensemble du bassin.

L'Eocène occupe la partie médiane du bassin, il formé de pointements alignés selon une direction Est-Ouest au niveau du synclinal de Bouabout.

Enfin le plio-Quaternaire affleure dans la partie inférieure du bassin, au niveau de la zone synclinale d'Essaouira. La diversité pédologique du bassin versant de l'oued Ksob s'ajoute à son intense structuration pour conférer aux écoulements un caractère souvent torrentiel



**FIGURE : I-2 Carte géologique du bassin versant de ksob**

### III- Morphologie du bassin

Tout approche du milieu naturel doit s'efforcer dans un temps de fournir des indications chiffrées permettant de caractériser la zone d'étude, raison pour laquelle nous allons faire une analyse des principales caractéristiques morphologiques et hydrographiques du bassin de Ksob. L'étude de la répartition des altitudes se fait d'après une carte en courbe de niveau. En mesurant au planimètre et en cumulant les aires situées entre chaque deux courbes successives on obtient un histogramme de fréquence d'altitudes et la courbe hypsométrique. Une carte hypsométrique donne une idée sur les proportions du bassin affectées par les chutes nivales en hiver.

#### \* Caractéristiques physiques du bassin

Avant de traiter le régime de l'oued Ksob à différents points de son parcours, il serait utile de rappeler les caractéristiques morphologiques de son bassin versant.

#### -Indice de compacité :

L'une des caractéristiques essentielles d'un bassin versant est son contour qui à une certaine forme en cercle et enclôt, une superficie A. Ce qui normal c'est de voir que l'écoulement global et l'allure de la courbe des débits  $Q=f(t)$  de ce bassin est influencée par sa forme dans toute section transversale du cours d'eau. Ce coefficient de compacité KC est destiné à comparer la forme d'un bassin à celui d'un cercle de même surface :

$$KC = P / 2 * (A\pi)^{1/2} = 0.28 * P / (A)^{1/2}$$

P : périmètre du bassin versant.

A : aire du bassin versant.

Il suffit donc de calculer P en utilisant le curvimètre et A au planimètre pour cela on doit styliser un peu le contour du bassin versant avant de mesurer son périmètre, car le contour peut être trop tourmenté et par conséquent une valeur exagérée du périmètre due aux irrégularités qui n'ont aucune influence sur l'écoulement de l'eau du bassin versant

**P = 246 Km**

**A = 1580 Km<sup>2</sup>**

**KC = 1.73**

Le bassin versant de l'oued Ksob est de forme allongé. Sa direction principale d'allongement est Sud-est –Nord-ouest. Elle est parallèle au sens d'écoulement général des eaux. Le tableau : I-1 résume les caractéristiques physiques des différents sous bassins. De point de vue surface, le bassin d'Igrounzar est deux fois plus important que celui de Zelten. Les deux ont des indices de compacité supérieurs à 1, c'est-à-dire de forme allongée. Sur le plan altitudinal, le cours principal de Zelten prend naissance dans des terrains plus élevés que celui d'Igrounzar. Ceci est également valable pour les altitudes moyennes des deux bassins. La pente moyenne du bassin de Zelten est aussi plus importante que celle des deux autres. Ces

disparités morphologiques vont se retrouver au niveau du fonctionnement hydrologique relevé à chaque station hydrométrique.

Paramètres	IGROUNZAR	ZELTEN	ADAMNA
Superficie (Km <sup>2</sup> )	882	435	1580
Périmètre (Km)	148	99	246
Indice de compacité	1,39	1,33	1,73
Altitude moyenne (m)	970	933	835
Altitude maximale (m)	1694	1620	1694
Altitude minimale (m)	245	246	76
L .rectangle équivalent	59	38,1	108,4
l.rectangle équivalent	15	11,4	14,6
Dénivelée globale	920	770	960
Indice de pente moyenne	15,6	20,2	8,9
Pente moyenne	0,018	0,026	0,017

Tableau : I-1 Caractéristiques physiques des différents sous bassin de l'oued Ksob

#### **-Dénivelée globale : $DG = H5 - H95$**

Avec H5 et H95 correspondent respectivement à 5% au-dessus et au-dessous de la surface du bassin sur la courbe de distribution des fréquences altitudinale.

#### **-Indice de pente global : $IG = DG / L$ (L : longueur du rectangle équivalent).**

Les pentes sont en général plus fortes sur les zones amont du bassin, au contact des flancs des anticlinaux puis s'affaiblissent dans les plaines Plio-Quaternaires de la partie aval.

**-Rectangle équivalent :** C'est un rectangle ayant le même périmètre et la même surface que le bassin versant ;

$$L = 0.25 * P * [1 + ((1 - 1.12 / KC)^2)^{1/2}] \quad l = (P/2) - 2$$

Les altitudes du bassin de l'oued Ksob (figure : I-4) sont comprises entre 76m au niveau de son exutoire à Adamna et plus de 1600 m. L'examen des courbes hypsométriques de chaque sous bassin permet de calculer les différentiels paramètres caractéristiques tels que la dénivelée globale, indice de pente globale et la dénivelée spécifique. Pour les trois sous bassin, le relief peut être qualifié de très fort du fait que les valeurs de la dénivelée spécifique sont supérieures à 250 m.

La répartition du bassin versant par tranches d'altitude donne une importance capitale pour les études hydrologiques du fait que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont influencés par l'altitude. Ainsi on a eu recours au planimétrage des surfaces comprises entre les courbes de niveau pour le bassin versant de l'oued Ksob à Adamna et au niveau des deux affluents Igrounzar et Zelten

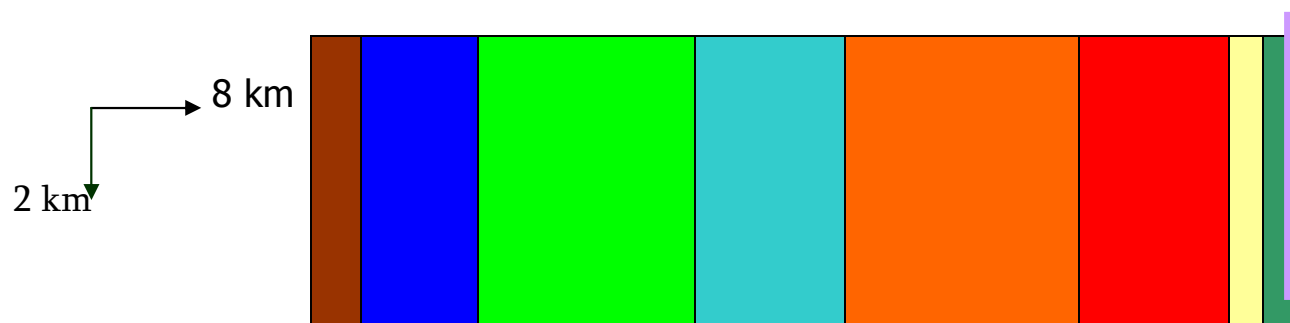


Figure : I-3 Rectangle équivalent avec les tranches d'altitudes du bassin Versant de Ksob

Altitudes (m)	Igrounzar		Zelten		Adamna	
	S(Km <sup>2</sup> )	%	S(Km <sup>2</sup> )	%	S(Km <sup>2</sup> )	%
0-200	00.00	00.00	00.00	00.00	74.73	04.73
200-400	84.49	09.58	25.14	05.78	193.55	12.25
400-600	304.99	34.58	43.76	10.06	378.25	23.94
600-800	140.50	19.93	80.99	18.62	273.79	15.05
800-1000	203.38	23.06	149.03	34.26	382.83	24.23
1000-1200	91.37	10.36	125.71	28.90	243.47	15.41
1200-1400	37.66	04.27	06.48	01.49	45.18	02.86
1400-1600	17.11	01.94	03.69	00.85	21.48	01.36
1600-1800	02.29	00.26	00.00	00.00	02.21	00.14
<b>TOTAL</b>	<b>882</b>	<b>100</b>	<b>435</b>	<b>100</b>	<b>1580</b>	<b>100</b>

Tableau : I-2 Répartition par tranches d'altitudes de la superficie (Km<sup>2</sup>) du bassin versant de l'oued Ksob.

L'altitude la plus fréquente pour le sous bassin d'Igrounzar est comprise entre 400 m et 600 m, alors qu'elle est située entre 800 m et 1000m pour les deux autres. Ceci est dû au fait que l'oued Igrounzar contrôle une superficie qui est située en grande partie au niveau du plateau tabulaire au Sud de Kourimat et Meskala. Le bassin de Zelten est au contraire localisé dans la partie méridionale correspondant à la zone haute du Haut Atlas Occidental. De même, la superficie totale du bassin d'Igrounzar est deux fois plus importante que celle de Zelten. La station Adamna contrôle une surface correspondant à la somme de celles des deux sous bassins amont et celle située à l'aval de Zerrar.

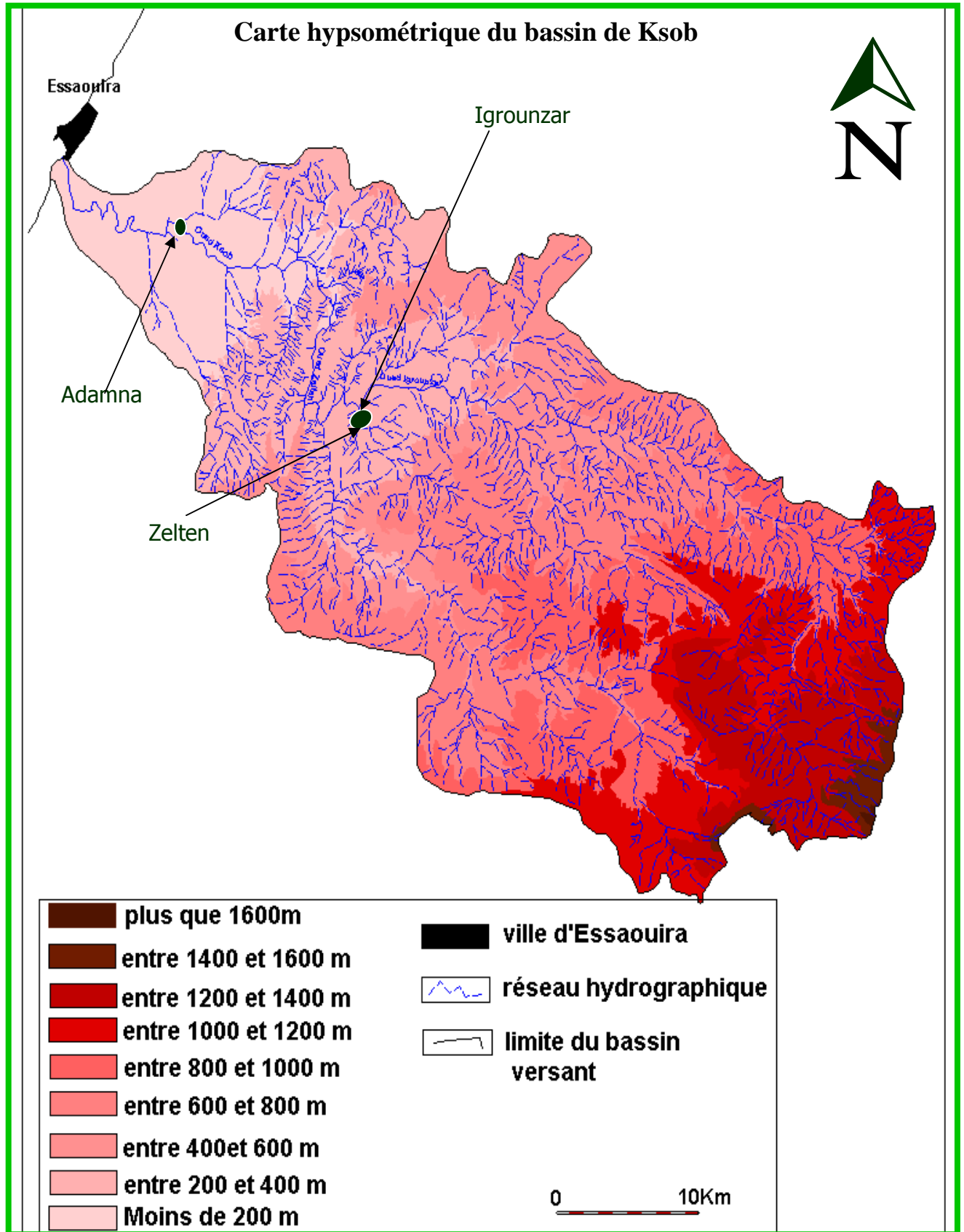
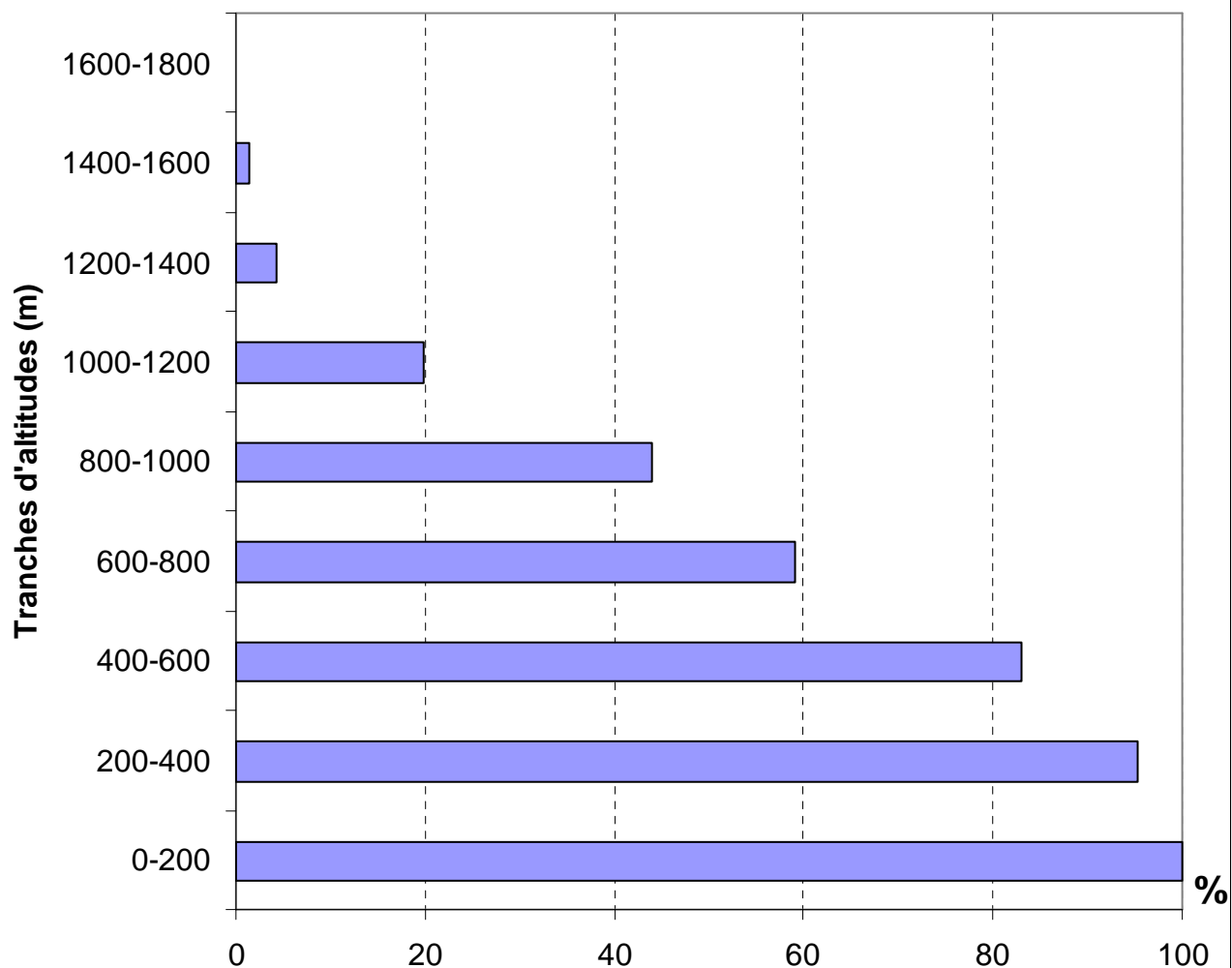


Figure : I-4 : Carte hypsométrique du bassin versant de Ksob

## Relief & courbe hypsométrique du bassin versant de Ksob



## -Temps de concentration

Pour ce paramètre on tient compte des caractéristiques géométriques et morphologiques du bassin, on le calcule à partir de la relation de GIANDOHT

$$TC = 4(S)^{1/2} + 1.5 * L / 0.8 (H_{moy} - H_{min})^{1/2}$$

Avec : S : surface du bassin versant = 1580 Km<sup>2</sup>, L: longueur du rectangle équivalent

H<sub>moy</sub> : altitude moyenne, H<sub>min</sub> : altitude de l'exutoire (*Adamna*).

Le calcul a donné une valeur de 15h, elle correspond au temps maximal nécessaire qu'il faut pour que l'eau ruisselle en provenance du point le plus éloigné de l'exutoire.

## V- Données climatiques

### 1- Introduction

Tout étude hydrologique doit obligatoirement passer par une estimation du bilan des éléments climatiques : les précipitations, la température, l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent et l'évaporation.

Dans cette partie on va essayer de traiter la variabilité spatiale et temporelle des différentes variables climatiques.

### 2-La température

Pour l'étude de ce paramètre climatique tant aussi important que les précipitations, nous avons utilisé les données thermiques des stations d'Essaouira et Igrounzar (Tableau : I-3). Pour raisons de comparaison, nous discuterons aussi les données thermiques de l'Abadla (plain du Houz). Cette extrapolation trouve son explication dans le fait que les deux premières stations sont proches l'une de l'autre et qu'elles ne contrôlent que la partie occidentale de la zone étudiée.

station	Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	année
Essaouira (1971-91)	T moy	19.7	18.7	17.4	15.8	14.7	15.1	15.8	16.2	16.6	18.1	18.9	19.1	17.17
	CV	4.9	7.3	10	14.2	11.7	10.5	8.7	5.8	5.6	4.8	4.3	7.4	5.10
	Ecart-type	0.9	1.2	1.5	1.7	1.3	1.3	1.1	0.8	0.8	0.8	0.7	1.3	0.80
Igrounzar (1988-97)	T moy	23.8	18.9	17	13.8	11.2	13.1	15.5	27.9	19.4	21.8	26.2	26.4	18.6
	CV	7.86	8.28	19.50	8.23	13.70	7.66	6.29	1.90	9.82	6.7	5.97	6.17	5.41
	Ecart-type	1.9	1.6	3.3	1.1	1.5	1.0	1.0	19.4	1.9	1.5	1.6	1.6	1.0
Abadla (1981-96)	T moy	26.1	21.1	17.3	13.6	12.3	14.3	16.9	18.5	21.4	24.5	28.5	28.2	20.2
	CV	4.92	6.38	8.14	9.11	7.93	7.56	8	6.30	7.28	5.05	4	5.1	2
	Ecart-type	1.3	1.4	1.4	1.2	1.0	1.1	1.5	1.2	1.6	1.2	1.2	1,4	2.00

Tableau : I-3 Caractéristiques statistiques des températures mensuelles.

La moyenne thermique n'est pas variable d'une année à l'autre. Le tableau suivant donne les moyennes arithmétiques de la température interannuelle des trois stations.

STATIONS	ESSAOUIRA	IGROUNZAR	ABADLA
PERIODE	1971-1991	1988-1997	1981-1996
MOYENNE (°c)	17.17	18.6	20.2

Tableau : I.4 Températures moyennes interannuelles

On note que la température moyenne interannuelle augmente de l'Ouest vers l'Est, cela peut être s'expliquer par l'éloignement des influences marines

### 3- Le vent

Concernant le vent, les données disponibles sont celles de la station Igrounzar. Elles ne reposent que sur la mesure de la vitesse (Tableau : I-5).

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	moy
V m/s	2.32	2.08	1.91	1.78	1.64	1.70	1.93	2.34	2.56	2.62	2.63	2.4	2.18

Tableau : I-5 Variation mensuelle de la vitesse moyenne du vent à la station D'Igrounzar (1988-1997)

La vitesse moyenne du vent dans la région étudiée est de l'ordre de 2.18 m/s. cette valeur est relativement constante au cours de l'année, cependant elle est plus forte en été (2.63 m/s), alors qu'elle diminue en hiver jusqu'à 1.64 m/s en janvier.

### 4- L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un terme très important pour le calcul du bilan hydrique. Elle regroupe un phénomène physique qui est l'évaporation à partir des sols et des plans d'eau (rivières, lacs ...) et un phénomène biologique qui est la transpiration (dégagement de l'eau par les feuilles des plantes). On distingue l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Les valeurs de l'évaporation directe mesurées par bac Colorado ainsi que celles de l'évapotranspiration potentielle évaluées par la méthode de Thornthwaite sont très fortes. Elles oscillent entre 715 mm à Essaouira et 1050 mm à Abadla.

### 5- La végétation

Le couvert végétal est dominé par une plante endémique, l'arganier ou « Argania Spinosa » qui joue un rôle très important dans l'économie de la région. Elle est utilisée pour l'extraction d'une huile à saveur particulière. La pratique agricole la plus utilisée est les céréalicultures dans les terres « Bour » alors que les champs irrigués à partir des sources et des puits personnels sont occupés par les oliviers, luzerne, maïs et certaines légumineuses. Il faut noter tout de même, le début d'aménagement d'un périmètre irrigué dans la région de Kourimat.

# Deuxième partie

## Chapitre : II

### Traitement des données hydropluviométriques

#### 1-Critiques des données

Les données pluviométriques ont été fournies par l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT). Nous avons à notre disposition les données des trois stations hydrologiques localisées au niveau du bassin versant.

Les relevés pluviométriques journaliers manquent pour nos études mais on dispose des relevés mensuels ainsi que annuels, la continuité et la durée de ces relevés varient selon les stations, certaines séries montrent des discontinuités importantes.

L'ABHT a mise notre disposition pour :

-Les données de débits instantanés en m<sup>3</sup>/s :

\* de septembre 1965 à Août 2001 pour la station d'Igrounzar avec une lacune de données pour 1972 et 1973.

\* de septembre 1975 à Août 2001 pour la station de Zelten.

\* de septembre 1970 à Août 2001 pour la station de l'Adamna.

- Les données de précipitations mensuelles en (mm) :

\* de septembre 1977 à Août 2004 pour la station de l'Adamna.

\* de septembre 1977 à Août 2004 pour la station d'Igrounzar.

Malgré la discontinuité de certaines séries, l'analyse a été réalisée de telle façon à tirer le maximum d'informations des données, l'autre problème qui se pose, c'est l'intervalle de temps qui n'est pas similaire pour les trois stations, pour cette raison l'intervalle de temps a été choisi de tel sorte à optimiser la station où les données sont moins complètes.

#### 2-Traitement des données hydropluviométriques

Pour la réalisation de traitement de ces données, il a été choisi de travailler à différents pas de temps pour aboutir à une comparaison à l'échelle mensuelle, saisonnière et annuelle.

##### A-les stations du bassin

Dans le bassin de l'oued Ksob il existe trois stations pluviométriques connues par leurs coordonnées Lambert :

Station	X	Y	Z
Adamna	95.90	104.15	70
Igrounzar	103.50	91.30	205
Zelten	*****	*****	*****

Tableau : II-1 Les coordonnées Lambert des trois stations.

##### B- Précipitations moyennes annuelles

La quantité d'eau reçue par le bassin versant est un élément de base important pour caractériser son climat. Les Précipitations moyennes annuelles peuvent être déterminées par

trois méthodes principales ; la méthode de la moyenne arithmétique, la méthode de Thiessen et la méthode d'isohyètes, mais pour notre cas on a utilisé la méthode arithmétique.

### -Méthode arithmétique :

Cette technique consiste à calculer la moyenne arithmétique des valeurs obtenues au niveau des stations étudiées. Les résultats donnés par cette méthode sont de bonne qualité dans le cas où les stations sont bien réparties même si les reliefs du bassin sont hétérogènes, cette méthode ne reflète pas souvent la hauteur réelle des pluies abattues sur la totalité du bassin versant car les hautes montagnes souvent dépourvues de station de mesure. Ce présent tableau donne la répartition des précipitations moyennes annuelles des trois stations :

Station	Période d'observation	Précipitation annuelle moy.
IGROUNZAR	1977-2004	301.54 mm
ADAMNA	1977-2004	329.63 mm

Tableau : II-2 Précipitation moyenne annuelle des deux stations.

Les figure : II-1et II-2 montrent que les précipitations varient d'une année à l'autre autour d'une moyenne interannuelle (329.63 mm pour l'Adamna et 301.54 pour l'Igrounzar). Pour la série d'années dépouillée (de 1977-1978 jusqu'à 2003/2004), on trouve des années pluvieuses dont la hauteur dépasse la moyenne à savoir les années 87-88, 88-89, 95-96 et 96-97, et d'autres n'atteignent pas la moyenne telles: 93-94, 94-9. Donc les précipitations montrent une irrégularité interannuelle frappante.

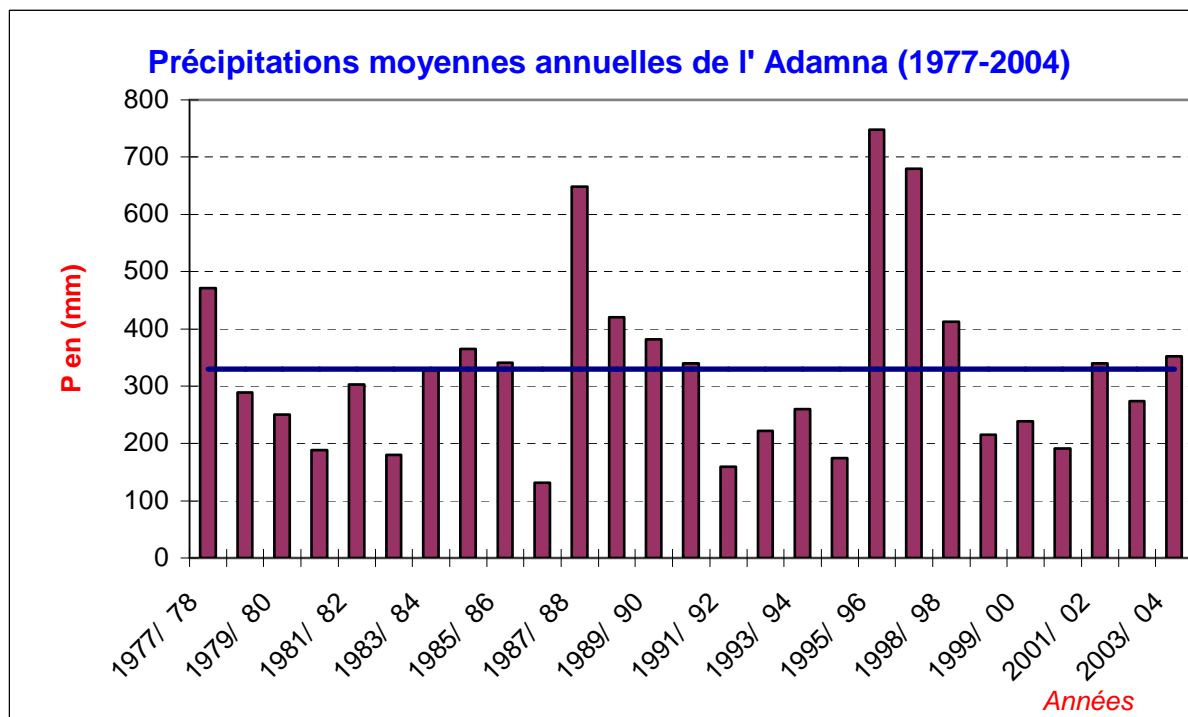


Figure : II-1 Précipitation moyenne annuelle de l' Adamna (1977-2004)

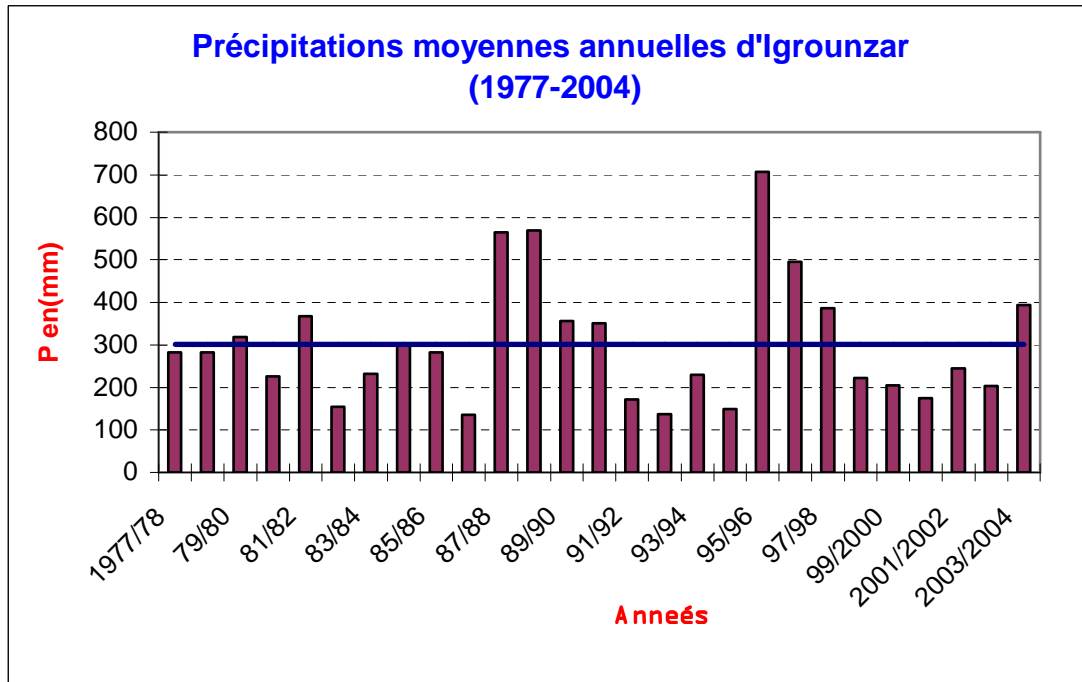


Figure : II-2 Précipitation moyenne annuelle d'Igrounzar

On remarque aussi que les précipitations des deux stations sont presque les mêmes avec une légère augmentation au niveau de sous bassin de l'Adamna car celui-ci est le plus exposé au vent humide venant de l'Océan Atlantique alors qu'au niveau de l'Igrounzar cela peut s'expliquer par l'altitude.

L'analyse de ces données montre le rôle capital de l'orographie dans la répartition des précipitations. Les reliefs se mettent comme des obstacles en bloquant les masses d'air humides.

**C) Précipitation moyenne saisonnière (1977-2004)**

	Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Adamna	Moyenne mensuelle	2.9	29.3	55.2	68.3	63.1	39.6	41.6	21.9	7.2	0.8	0.0	0.0
	Moyenne saisonnière	87.4			171			70.7			0.8		
Igrounzar	Moyenne mensuelle	2.0	20.8	51.9	54.7	55.0	43.8	40.3	27.4	6.8	1.5	0.0	0.2
	Moyenne saisonnière	74.7			153.5			74.5			1.7		

Tableau : II-3 Précipitations saisonnières à l'Adamna (1977-2004).

Dans les deux stations de mesure, l'Adamna et Igrounzar, c'est la saison d'hiver qui reçoit le maximum de précipitation, suivi d'automne et du printemps, ainsi elle représente la saison pluvieuse avec 171mm pour l'Adamna et 153.5 mm pour l'Igrounzar. On remarque aussi que l'été qui constitue la saison sèche avec 1.7 mm pour l'Igrounzar et 0.8 mm pour l'autre station (Tableau : II-3), ne reçoit pas de pluie à part quelques orages localisés et moins importants. L'automne et le printemps reçoivent une hauteur presque moyenne (Figure : II-3).

Ainsi les précipitations qui ont lieu durant la saison des pluies sont d'habitudes associées au mouvement de l'air humide au dessus de la mer vers la terre et elles sont réparties sur une région plus vaste que celles des orages d'été.

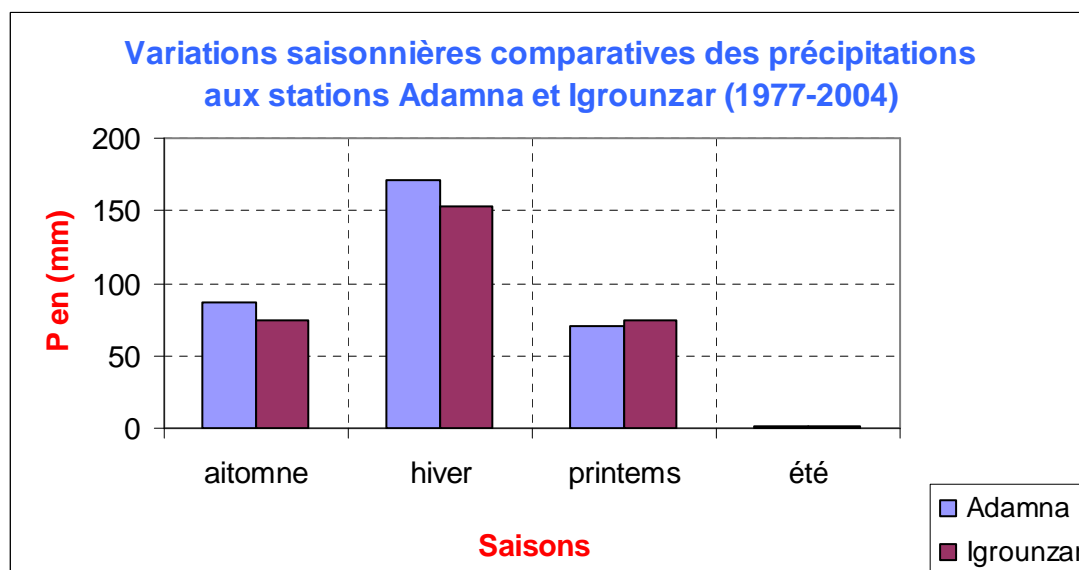


Figure : II-3 Variations comparative saisonnières des précipitations à Igrounzar et Adamna

#### D) Précipitation moyenne mensuelle (1977-2004)

Les figures II-4 et II-5 montrent la variation mensuelle des précipitations avec une moyenne de 27.49 mm pour l'Adamna et 27.37 mm pour Igrounzar.

On voit que les précipitations s'étendent sur les mêmes mois pour l'Adamna que pour Igrounzar. Les mois de novembre, décembre, janvier, février et mars dépassent la moyenne pour les deux stations ; le maximum se situe au moi de décembre pour l'Adamna et janvier pour Igrounzar. Le minimum s'établit toujours sur les mois de juillet et août.

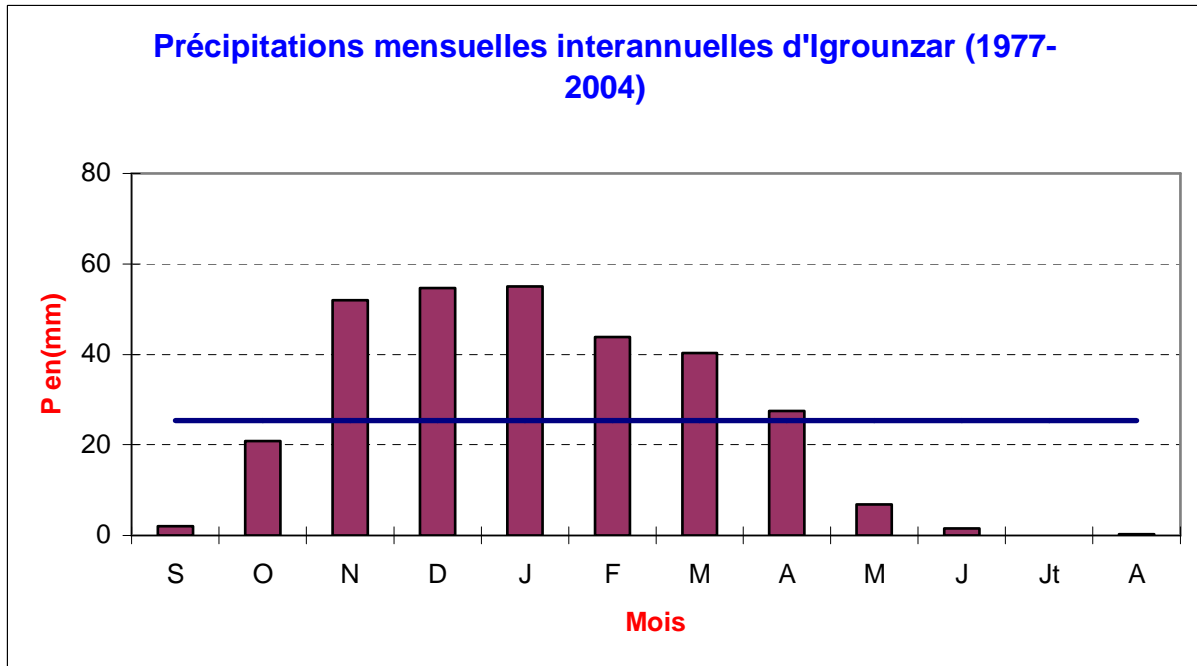


Figure : II-4 Précipitation moyenne mensuelle interannuelles d'Igrounzar (1977-2004)

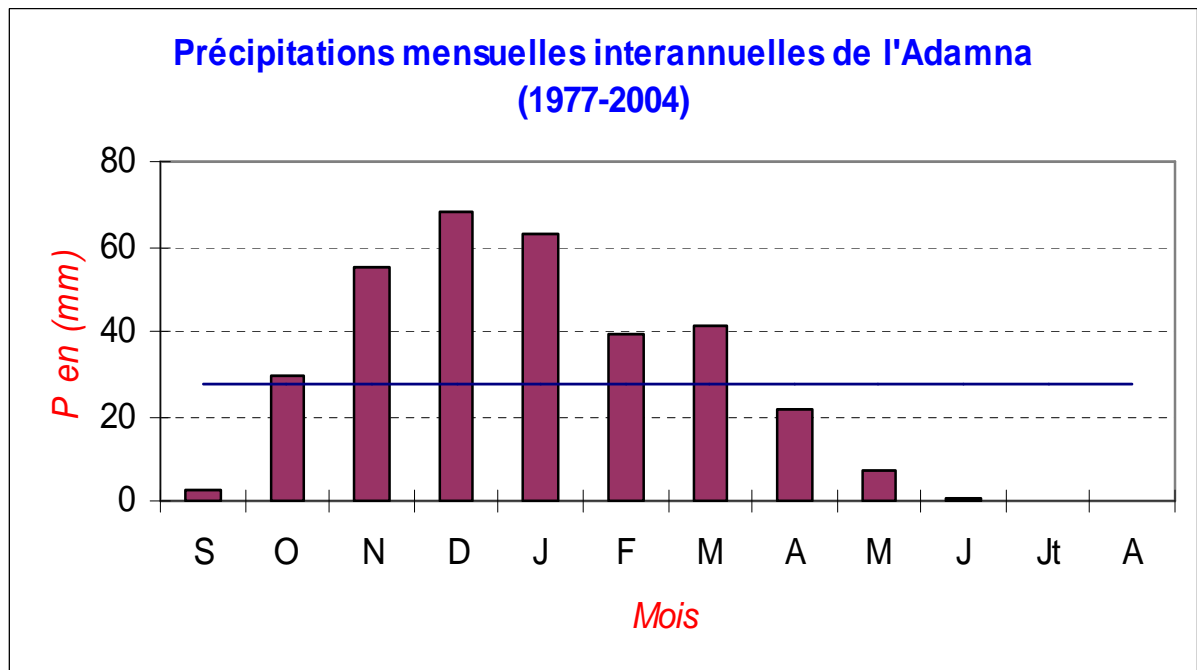


Figure : II-5 Précipitation moyenne mensuelle interannuelles de l'Adamna (1977-2004)

L'évolution des précipitations mensuelles, est la même pour les deux stations, montre un seul maximum en décembre et janvier et un seul minimum en juillet août, ce qui fait que le régime est pluvial.

## Chapitre : III Régime fluvial de l'oued Ksob

### I- Régime fluvial à Igrounzar

#### 1- variations annuelles des débits

Le débit moyen annuel de la série étudiée est de l'ordre de 0.44 m<sup>3</sup>/s, alors qu'il peut atteindre 1.72 m<sup>3</sup>/s (en 95-96) et 1.5 m<sup>3</sup>/s (en 96-97) où il y avait des chutes de pluies très importantes, alors le débit le moins important est enregistré lors de l'année 1992-93 où il n'a même pas dépassé 0.05 m<sup>3</sup>/s FIGURE : III-1.

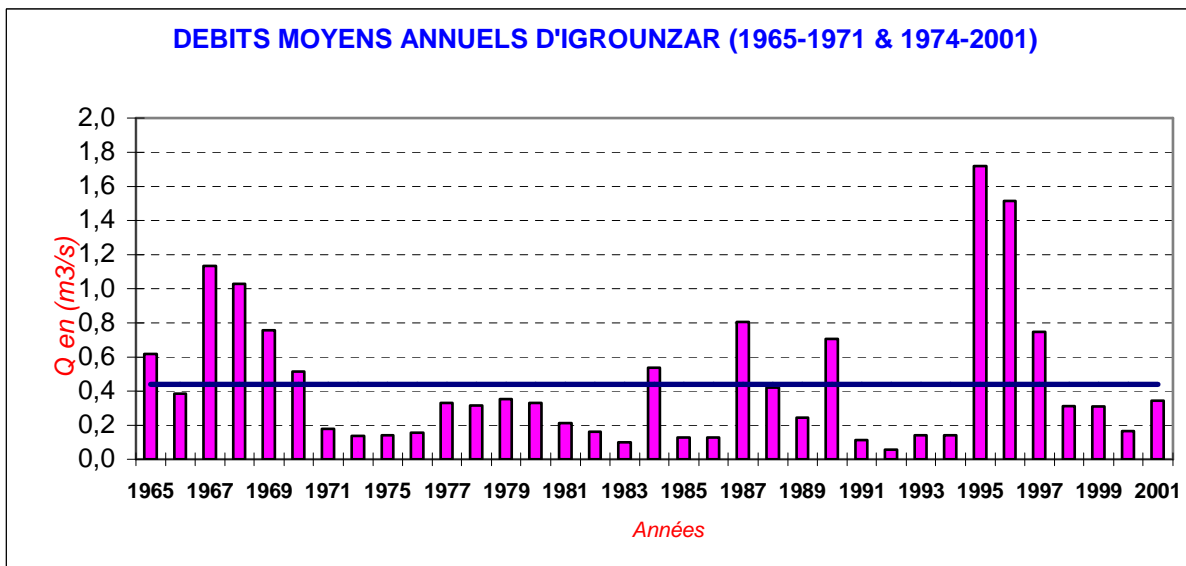


Figure : III-1 Débits moyens annuels d'Igrounzar (1965-71 & 1974-2001).

#### 2- Variations saisonnières des débits

Les écoulements hivernaux dépassent les eaux des autres saisons (0.8 m<sup>3</sup>/s), suivi par l'automne et le printemps avec une moyenne de 0.4 m<sup>3</sup>/s, alors que les écoulements d'été sont les moins importants de toutes les saisons avec un débit de 0.2 m<sup>3</sup>/s (FIGURE : III-2).

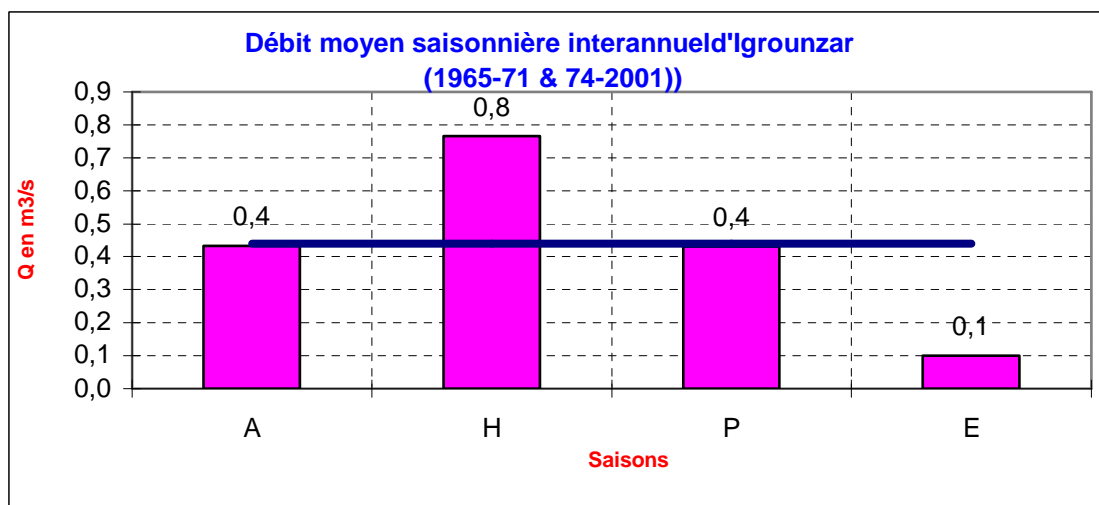


Figure : III-2 Débits moyens saisonniers d'Igrounzar (1965-71 & 1974-2001).

### 3- Variations mensuelles des débits

Il y a deux différentes périodes d'écoulement, une saison des hautes eaux qui correspond à une période relativement pluvieuse qui s'étend de novembre à avril et une saison des basses eaux de mai à octobre (Figure : III-3).

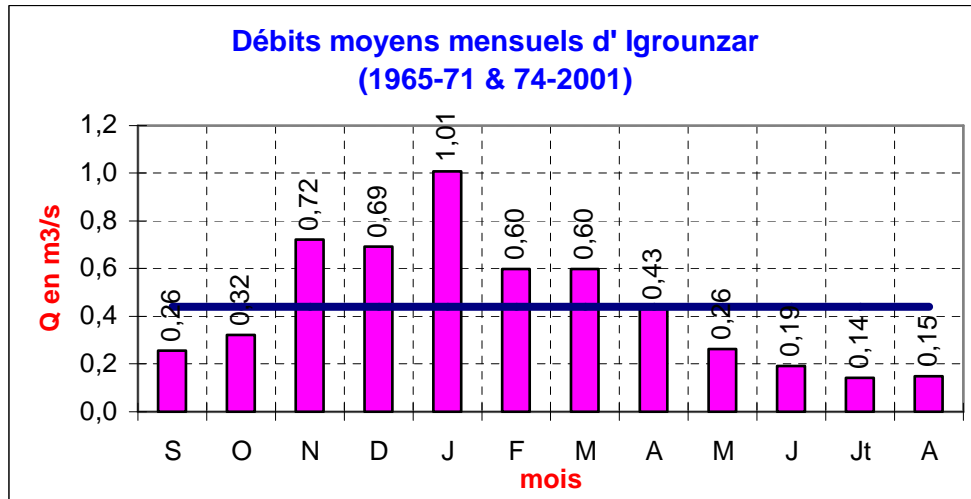


Figure : III-3 Débits moyens mensuels d'Igrounzar (1965-71 & 1974-2001).

## II- Régime fluvial de Zelten

### 1- Variations annuelles des débits

Le débit moyen est de l'ordre de 0.51 m<sup>3</sup>/s, le plus important est celui de l'année 95-96 avec une moyenne de 3.5 m<sup>3</sup>/s, alors qu'il n'a pas dépassé 0.07 m<sup>3</sup>/s en 1991-1992 ce qui montre une irrégularité remarquable (Figure : III-4).

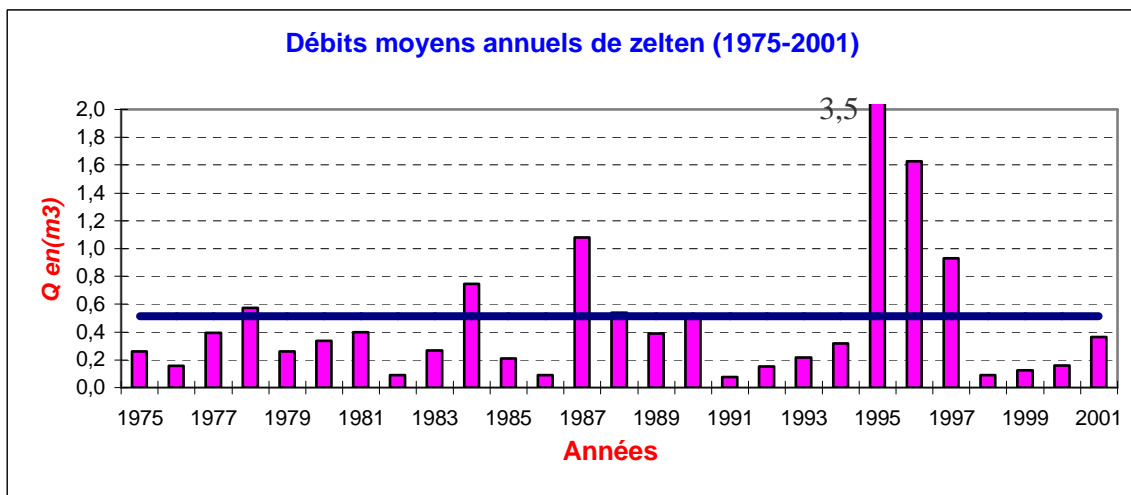


Figure : III-4 Débits moyens annuels de Zelten (1975-2001)

## 2- Variations saisonnières des débits

On note que la conséquence d'écoulement de janvier va se sentir pour la saison d'hiver où on enregistre le débit le plus important de 1.25 m<sup>3</sup>/s avec un pourcentage de 60% des écoulements moyens interannuels figure : III-5.

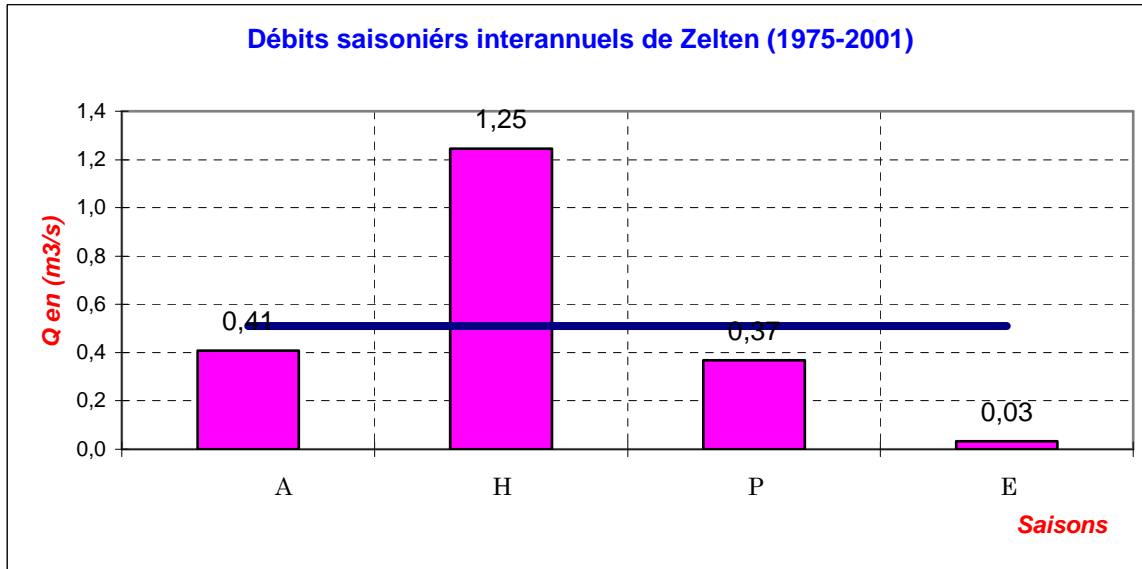


Figure : III-5 Débits moyens saisonniers de Zelten (1975-2001).

## 3- Variations mensuelles des débits

Le débit moyen mensuel le plus important est enregistré en janvier (1.77 m<sup>3</sup>/s) suivi de décembre avec une moyenne de 1.22 m<sup>3</sup>/s, une période des hautes eaux s'étale de novembre à mars, et celles des basses eaux correspond à la période de la saison sèche (Figure : III-6).

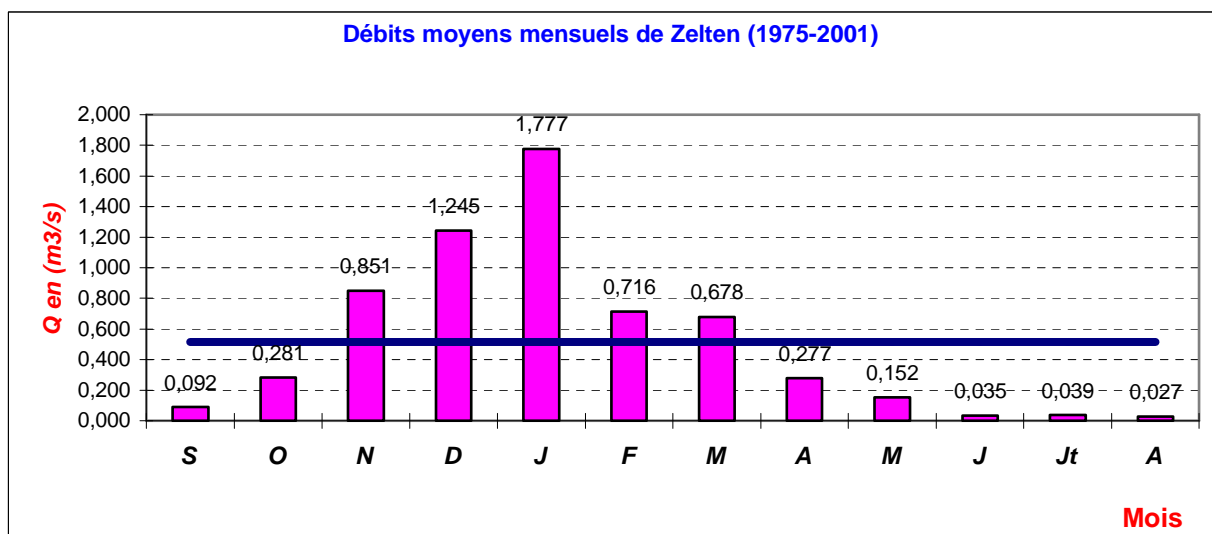


Figure : III-6 Débits moyens mensuels de Zelten (1975-2001)

### III- Régime fluvial d'Adamna

#### 1-Variations annuelles des débits

La saison des hautes eaux correspondre à une période relativement pluvieuse de novembre à avril avec un maximum de 3.75 m<sup>3</sup>/s en janvier, alors que la période des basses eaux s'étend de mai à octobre avec un minimum de 0.035 m<sup>3</sup>/s en août (Figure : III-7).

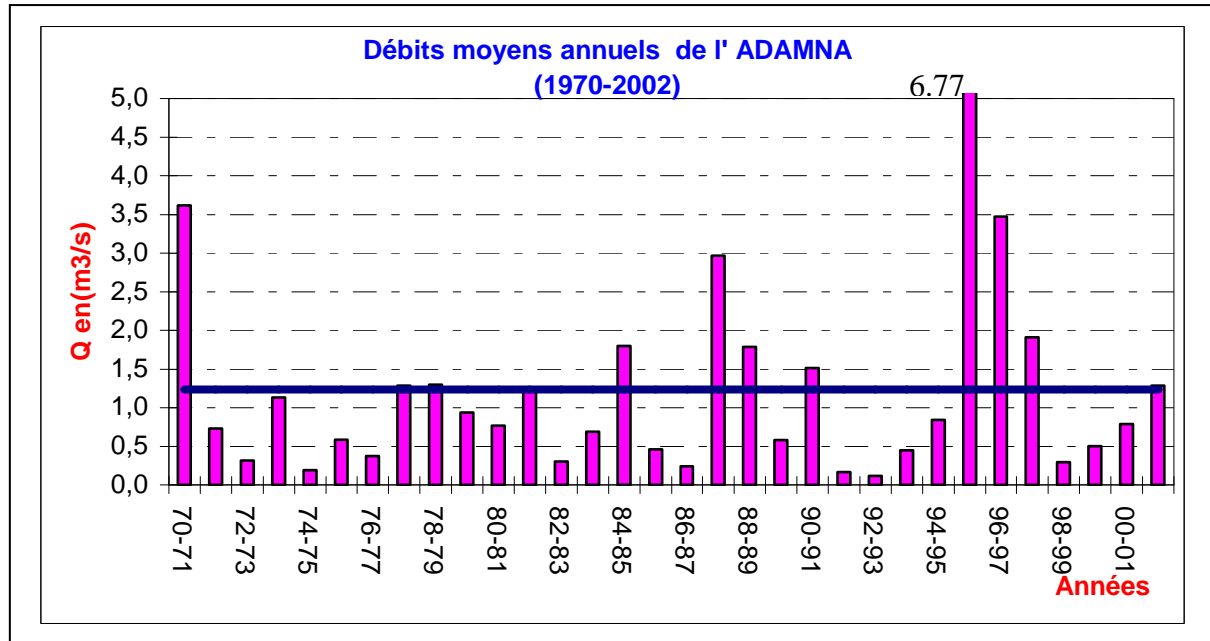


Figure : III-7 Débits moyens annuels de L'Adamna (1970-2002)

#### 2-Variations saisonnières des débits

La figure : III-8 montre que l'écoulement est plus important en hiver où il représente 58 % des quatre saisons. Bien que l'été est la saison la plus sèche avec une moyenne de 0.05 m<sup>3</sup>/s, l'automne et le printemps ont un écoulement qui n'atteint pas la moyenne saisonnière interannuelle (1.23 m<sup>3</sup>/s).

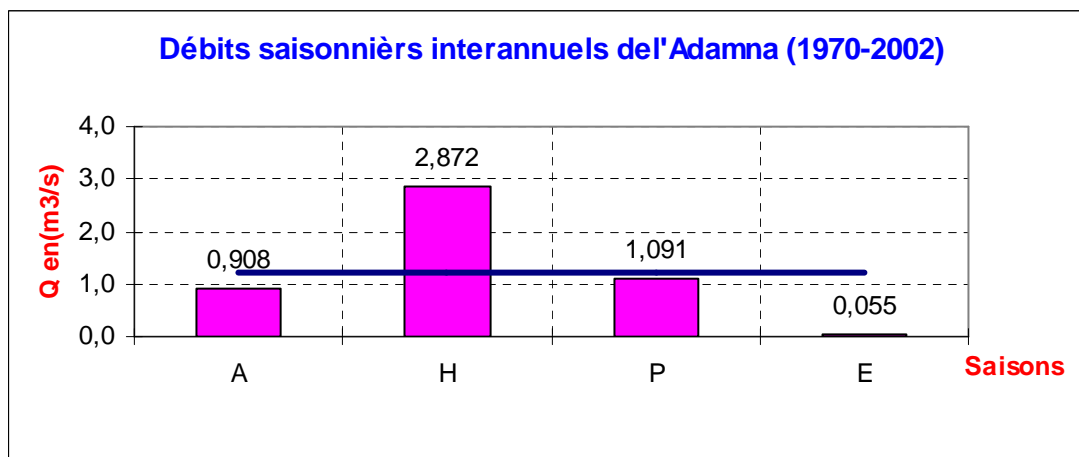


Figure : III-8 Débits moyens saisonniers de L'Adamna (1970-2002)

### 3-variations mensuelles des débits

La saison des hautes eaux correspond à une période relativement pluvieuse de novembre à avril avec un maximum de 3.75 m<sup>3</sup>/s en janvier, alors que la période des basses eaux s'étend de mai à octobre avec un minimum de 0.035 m<sup>3</sup>/s en août (Figure : III-9).

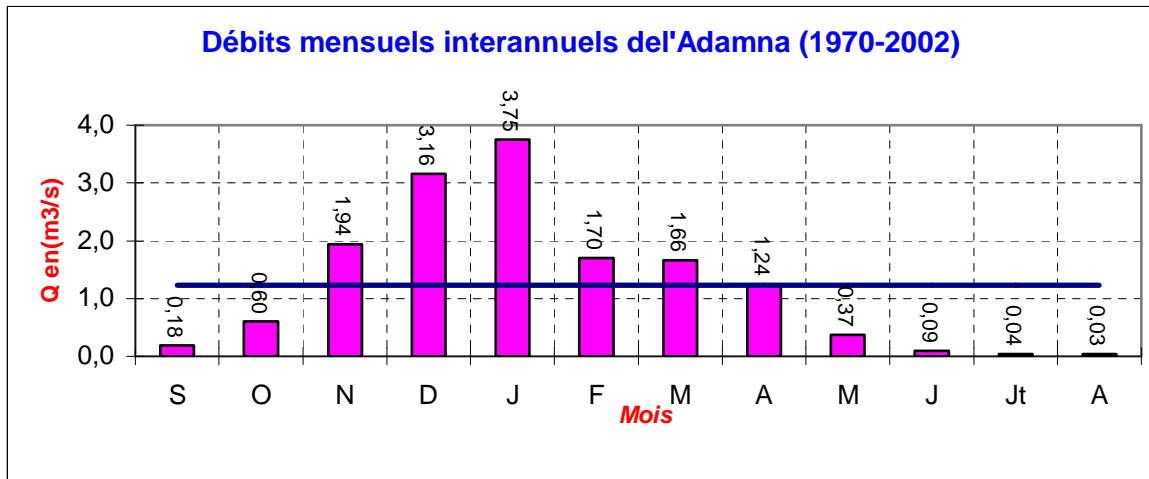


Figure : III-9 Débits moyens mensuels de L'Adamna (1970-2002)

### IV- Variations saisonnières sur l'ensemble du bassin.

A l'échelle saisonnière, c'est la saison d'hiver qui l'emporte avec un débit moyen de 1.63 m<sup>3</sup>/s, alors que l'été enregistre le minimum avec une moyenne de 0.08 m<sup>3</sup>/s (Figure : III-10).

On remarque que l'automne reçoit une hauteur d'eau plus importante que celle du printemps, mais l'écoulement qui en ressort lors du printemps est assez important que celui d'automne. Ce qui s'explique par le fait que les précipitations reçues pendant l'automne ne se transforment pas totalement en écoulement à cause de l'infiltration et l'évaporation excessives.

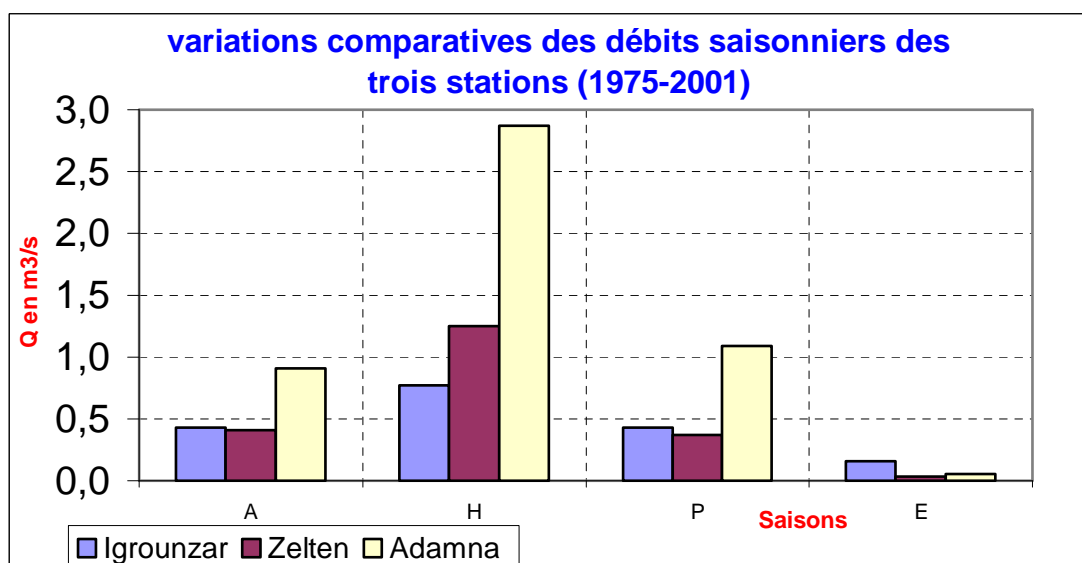


Figure : III-10 Variations comparatives des débits saisonniers des trois stations (1975-2001)

## Chapitre : IV Etudes des débits à l'échelle de l'événement : Les crues

### I- INTRODUCTION

Dans cette partie nous allons comparer les épisodes de crue aux trois stations étudiées sur une période de 1963-64 à 2001-2002 pour l'Adamna, de 1975-76 à 2001-2002 pour Zelten et de 1965-66 à 2001-2002 pour Igrounar avec une lacune de quatre ans (71-72 à 74-75) pour cette dernière. Les débits maximums mesurés sont reportés avec la date de l'événement dans le tableau suivant :

Année	ADAMNA		ZELTEN		IGROUNAR	
	Date	Q en (m3/s)	Date	Q en (m3/s)	Date	Q en (m3/s)
1963-64		1145				
64-65		1145				
65-66		350			04/11à22h	71,3
66-67		70			16/04 à 23h	4,5
67-68		320			19/11 à 16h	60
68-69		162			23/02 à 14h	13,6
69-70		135			09/02 à 19h	12,7
70-71	29/12 à 10h	658			01/01 à 04h	23,5
71-72	29/02 à 12h30	73,3				
72-73	25/09 à 18h10	20,5				
73-74	24/12 à 00h30	140				
74-75	16/01 à 03h	94,3				
75-76	05/02 à 11h	79,6	16/12 à 06h	15,6	05/02 à 13h	7,2
76-77	19/12 à 23h	162	19/12 à 18h	15,6	19/12 à 22h	4,5
77-78	17/10 à 20h	255,3	17/10 à 18h	275	17/10 à 19h	65,4
78-79	28/01 à 01h	217	27/01 à 22h	184	28/01 à 11h	
79-80	18/10 à 20h	144,4	23/02 à 20h	65,7	18/10 à 17h	28,3
80-81	08/11 à 19h	613	08/11à 16h	413	08/11 à 17h	172
81-82	14/01 à 06h	197	08/05 à 22h	313	26/04 à 16h	33,2
82-83	08/11 à 08h	83	08/11 à 07h	52,3	08/11 à 09h	4,1
83-84	16/11 à 04h	429	16/11 à 05h	146	16/11à 06h	24,1
84-85	07/01 à 07h	1330	07/01 à 05h	660	07/01 à 05h	673
85-86	01/03 à 06h	141	01/03 à 6h	48,6	01/03 à 05h	14,4
86-87	11/02 à 15h	84,1	11/02 à 13h	59,8	17/03 à 19h30	19,6
87-88	04/12 à 04h30	583	04/12 à 7h30	364	28/09 à 18h	232
88-89	10/11 à 04h30	1050	10/11 à 01h	265	10/11 à 05h30	232
89-90	26/11 à 09h	66,4	14/11 à 18h	42,8	26/12 à 13h	4,09
90-91	07/03 à 11h	568	07/03 à 07h30	210	19/02 à 11h30	93,1
91-92	10/10 à 21h	55,7	11/10 à 00h	34,5	10/12 à 19h30	25,3
92-93	05/05 à 03h	19,4	04/05 à 23h	26,1	05/05 à 01h	3,4
93-94	04/11 à 03h	176,6	03/11à 23h	207	23/11 à 13h30	7,5
94-95	16/04 à 20h30	222	16/04 à 17h	327	14/03 à 20h	167
95-96	22/01 à 18h	1600	22/01 à 17h	670	22/01 à 17h	263
96-97	21/12 à 18h30	930	21/12 à 16h	458	21/12 à 16h30	175
97-98	03/02 à 01h	606	02/02 à 21h	331	03/02 à 02h	65,6
98-99	13/03 à 17h	44,3	13/03 à 14h30	12,7	27/08 à 00h30	3,98
99-00	14/10 à 05h30	150	11/10 à 18h30	49,7	14/10 à 01h30	23,7
00-01	22/12 à 10h30	304	22/12 à 08h30	140	26/12 à 20h	29,8
2001-2002	24/12 à 19h30	1240	24/12 à 16h30	600	24/12 à 19h	255
Moy.Q max.		401,63		221,72		87,87

Tableau:IV-1 débits de crue aux trois stations.

Le tableau : IV-1 présente les valeurs de débits atteints lors d'une crue ainsi que la date et l'heure. La dernière ligne du tableau représente la moyenne des débits maximum. Il a été considéré comme crue importante, les débits dépassent la valeur moyenne des débits maximum. Ces valeurs sont en bleu dans le tableau. Nous pouvons constater que certaine année les crues ont été importantes dans les trois stations du bassin versant. Ceci est le cas pour les années; 84-85, 95-96,96-97 et 2001-2002. Pour l'année, 77-78 seul la station de Zelten qu'a été touché par une crue de l'ordre de 275 m<sup>3</sup>/s. On peut aussi constater que les crues les plus importantes (401.63 m<sup>3</sup>/s) sont enregistrées au niveau de la station d'Adamna (de 1963-64 à 2001-2002), par contre les moins importantes (87.87 m<sup>3</sup>/s) sont enregistrées à Zelten, d'après la constatation du tableau on voit qu'une variabilité aussi bien pour l'intensité que pour la fréquence des crues sur le même bassin versant.

Il est nécessaire de pouvoir prédire le retour d'une crue dévastatrice pour en éviter les conséquences bien souvent tragiques pour la prédétermination des débits maximums de crue et leurs période de retour, des techniques statistiques d'analyse sont mis en œuvre en se basant sur des crues précédentes pour arriver avoir la probabilité pour qu'un débit supérieur à une valeur données survienne un nombre de fois donnée pendant une durée donnée.

Les données de base pour l'analyse de la fréquence des crues sont constituées par une série de mesure de débit ou de hauteurs d'eau relative à une période aussi longue que possible. On essaye après d'ajuster à une série de crue une loi de probabilité théorique qui la représentera fidèlement que possible.

Réurrence (ans)	2	5	10	20	50	100	200
Q en m <sup>3</sup> /s Igrounzar	77	207	293	376	482	562	642
Q en m <sup>3</sup> /s Zelten	188	368	486	601	784	859	967
Q en m <sup>3</sup> /s Adamna	330	709	959	1200	1511	1744	1977

Tableau : IV-2 Ajustement statistique par loi de GUMBEL des débits (en m<sup>3</sup>/s) maximums annuels

	QMAX	QMAX TRIE	RANG	FRÉQUENCE	FND	Y
63/64	1145	1600	1	0,0125	0,988	4,376
64/65	1145	1330	2	0,0375	0,963	3,264
65/66	350	1240	3	0,0625	0,938	2,740
66/67	70	1145	4	0,0875	0,913	2,391
67/68	320	1145	5	0,1125	0,888	2,126
68/69	162	1050	6	0,1375	0,863	1,911
69/70	135	930	7	0,1625	0,838	1,730
70/71	658	658	8	0,1875	0,813	1,572
71/72	37,7	613	9	0,2125	0,788	1,432
72/73	20,5	606	10	0,2375	0,763	1,305
73/74	140	583	11	0,2625	0,738	1,189
74/75	94,3	568	12	0,2875	0,713	1,082
75/76	79,6	429	13	0,3125	0,688	0,982
76/77	162	350	14	0,3375	0,663	0,887
77/78	255,3	320	15	0,3625	0,638	0,798
78/79	217	304	16	0,3875	0,613	0,713
79/80	144,4	255,3	17	0,4125	0,588	0,631
80/81	613	222	18	0,4375	0,563	0,553
81/82	179	217	19	0,4625	0,538	0,477
82/83	83	179	20	0,4875	0,513	0,403
83/84	429	176,6	21	0,5125	0,488	0,331
84/85	1330	162	22	0,5375	0,463	0,260
85/86	141	162	23	0,5625	0,438	0,190
86/87	84,1	150	24	0,5875	0,413	0,122
87/88	583	144,4	25	0,6125	0,388	0,053
88/89	1050	141	26	0,6375	0,363	-0,015
89/90	66,4	140	27	0,6625	0,338	-0,083
90/91	568	135	28	0,6875	0,313	-0,151
91/92	55,7	94,3	29	0,7125	0,288	-0,220
92/93	19,4	84,1	30	0,7375	0,263	-0,291
93/94	176,6	83	31	0,7625	0,238	-0,363
94/95	222	79,6	32	0,7875	0,213	-0,437
95/96	1600	70	34	0,8375	0,163	-0,597
96/97	930	66,4	35	0,8625	0,138	-0,685
97/98	606	55,7	36	0,8875	0,113	-0,782
98/99	44,3	44,3	37	0,9125	0,088	-0,890
99/00	150	37,7	38	0,9375	0,063	-1,020
00/01	304	20,5	39	0,9625	0,038	-1,189
01\02	1240	19,4	40	0,9875	0,013	-1,478
ECARTYPE	428,327641					
MOYENNE	400,264103					
Q°	207,49					
1/A	334,09556					

TABLEAU : IV-3 AJUSTEMENT DE LA LOI DE GUMBLE AUX CRUES DE L'ADAMNA

$$Y=A (Q-Q^{\circ})$$

$$Y=0,002993(Q-207.49)$$

### • LOI DE GUMBEL

La fonction de répartition de Gumbel est une fonction doublement exponentiel

$F(X)=e (-e^{-Y})$  AVEC  $Y=A (Q-Q^{\circ})$  est la droite de Gumbel

\* Paramètre d'échelle  $1/a=0.78$ \*ecartype de la série des crues

\* Paramètre de forme  $Q^{\circ}=Q_m-(1/a*0.577)$  avec  $Q_m$  est la moyenne des crues

### Ajustement de la loi de Gumbel

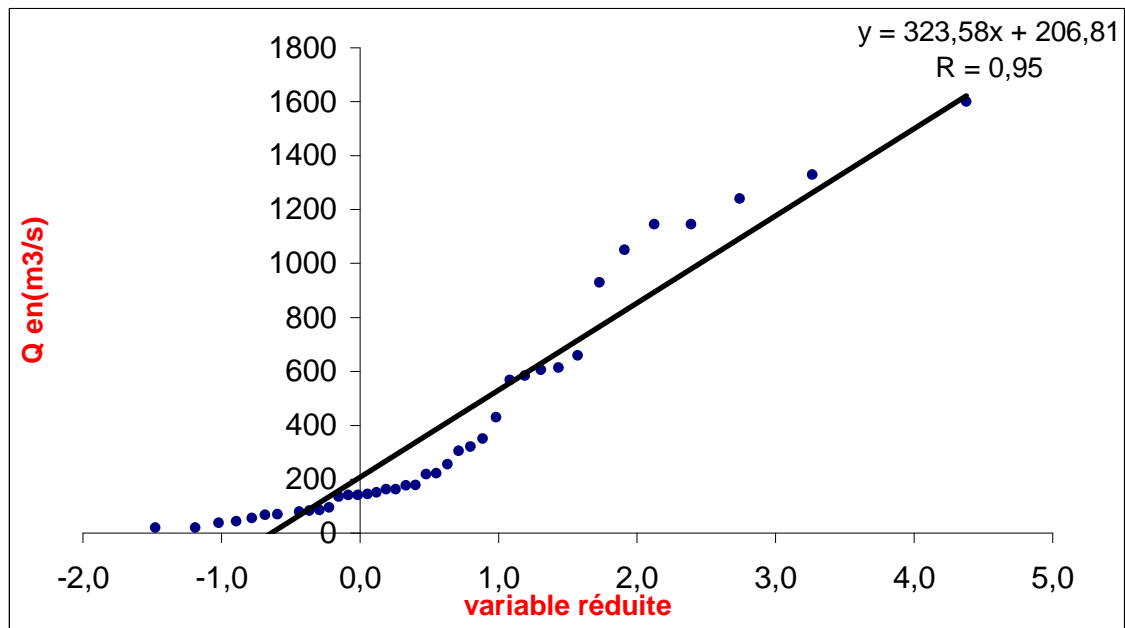


Figure : IV-1. Ajustement de la loi de Gumbel de crues du bassin Ksob.

Pour l'étude de crues on a pris comme exemple celles des années 1985 et 1996 vue leurs importances et leurs conséquences.

## II- Crues de 07/01/1985 et 22/01/1996 à Zelten

### 1 -Crue de 07/01/1985

La figure et le tableau montrent que la montée des eaux s'est faite en 2 heures et la décrue en 16 heures. Le débit est passé à Zelten de 2.63 m<sup>3</sup>/s avant la crue à 660 m<sup>3</sup>/s à 5h30min. Cette crue a une période de retour d'une année sur 29.

<b>Date de début</b>	<b>07/01/1985 – 03h</b>
<b>Date fin</b>	<b>07/01/1985 – 20h</b>
<b>Débit de pointe</b>	<b>660.00</b>
<b>Debit max. Moy (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>181.4</b>
<b>Débit base avant (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>2.630</b>
<b>Débit base après (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>4.400</b>
<b>Volume 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>10.449</b>
<b>Temps de base (heures).</b>	<b>16.00</b>
<b>Temps de montée (heures).</b>	<b>2.00</b>
<b>Coefficient de pointe</b>	<b>3.60</b>
<b>Caractéristiques de la crue</b>	

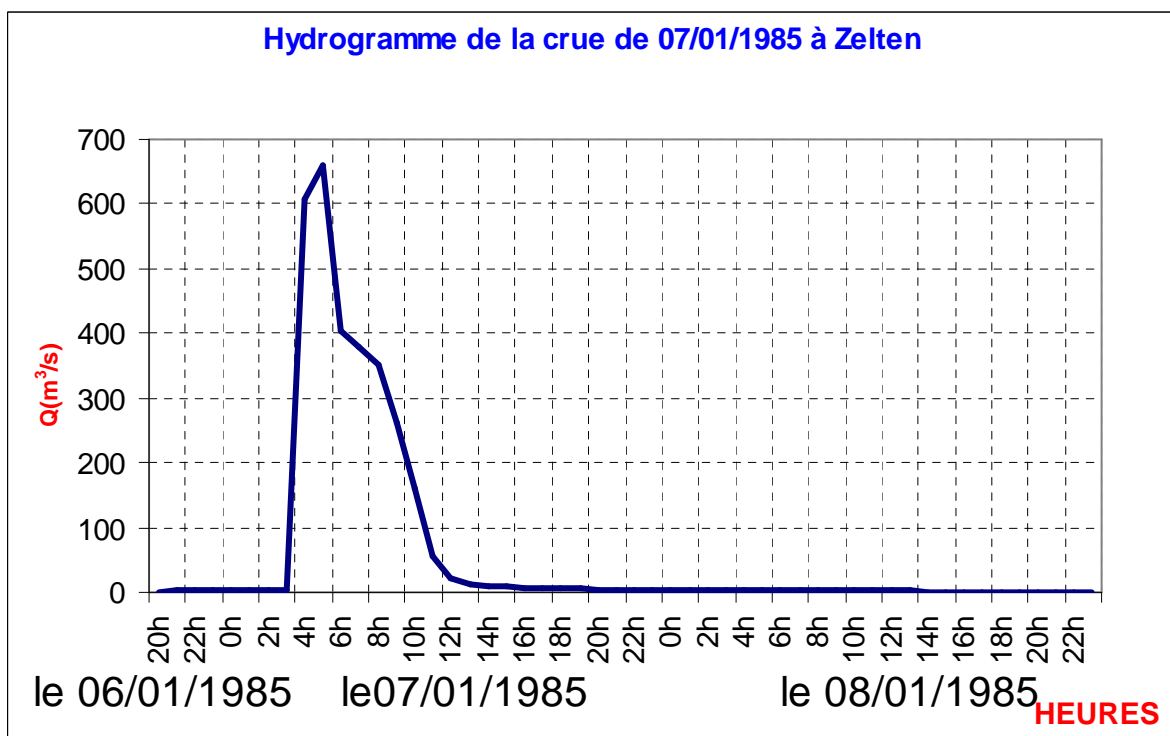


Figure : IV-2

## 2-Crue de 22/01/1996

La figure et le tableau montrent que la montée des eaux s'est faite en 23 heures et la décrue en 104h30min. Le débit passe cette fois de 0.6 m<sup>3</sup>/s à 670 m<sup>3</sup>/s, avec une période de retour d'une année sur 31.

<b>Date de début</b>	<b>21/01/1996 – 18h</b>
<b>Date fin</b>	<b>26/01/1996 – 3h</b>
<b>Débit de point</b>	<b>670.00</b>
<b>Débit max. Moy (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>66.179</b>
<b>Debit base avant (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>0.600</b>
<b>Débit base après (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>7.270</b>
<b>Volume 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>24.896</b>
<b>Temps de base (heures).</b>	<b>104.5</b>
<b>Temps de montée (heures).</b>	<b>23.00</b>
<b>Coefficient de pointe</b>	<b>10.10</b>
<b>Caractéristiques de la crue</b>	

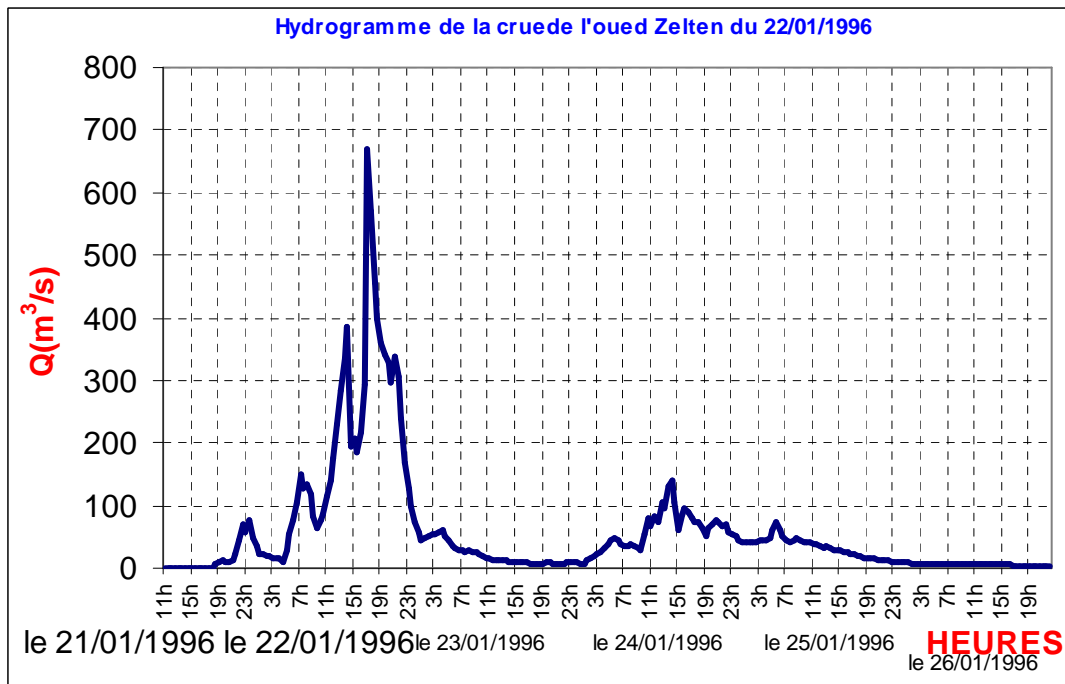


Figure : IV-3

Ceci concorde avec ce qu'on a vu sur les caractéristiques géographiques, physiographiques et géologiques sur l'écoulement modéré de ce bassin.

### III- Crue de 07/01/1985 et 22/01/1996 à Igrounzar

#### 1-Crue de 07/01/1985

La figure et le tableau montrent que la montée des eaux se fait en 2 heures et la décrue en 17 heures. Le débit à Igrounzar, est passé de 1.65 m<sup>3</sup>/s à 673 m<sup>3</sup>/s. Cette crue a une période de retour d'une année sur 262.

<b>Date de début</b>	<b>07/011985 – 3h</b>
<b>Date fin</b>	<b>07/01/1985 – 21h</b>
<b>Débit de point</b>	<b>673.00</b>
<b>Débit max. Moy (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>166.594</b>
<b>Débit base avant (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>1.650</b>
<b>Débit base après (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>12.60</b>
<b>Volume 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>10.196</b>
<b>Temps de base (heures).</b>	<b>17.00</b>
<b>Temps de montée (heures).</b>	<b>2.00</b>
<b>Coefficient de pointe</b>	<b>4.00</b>
<b>Caractéristiques de la crue</b>	

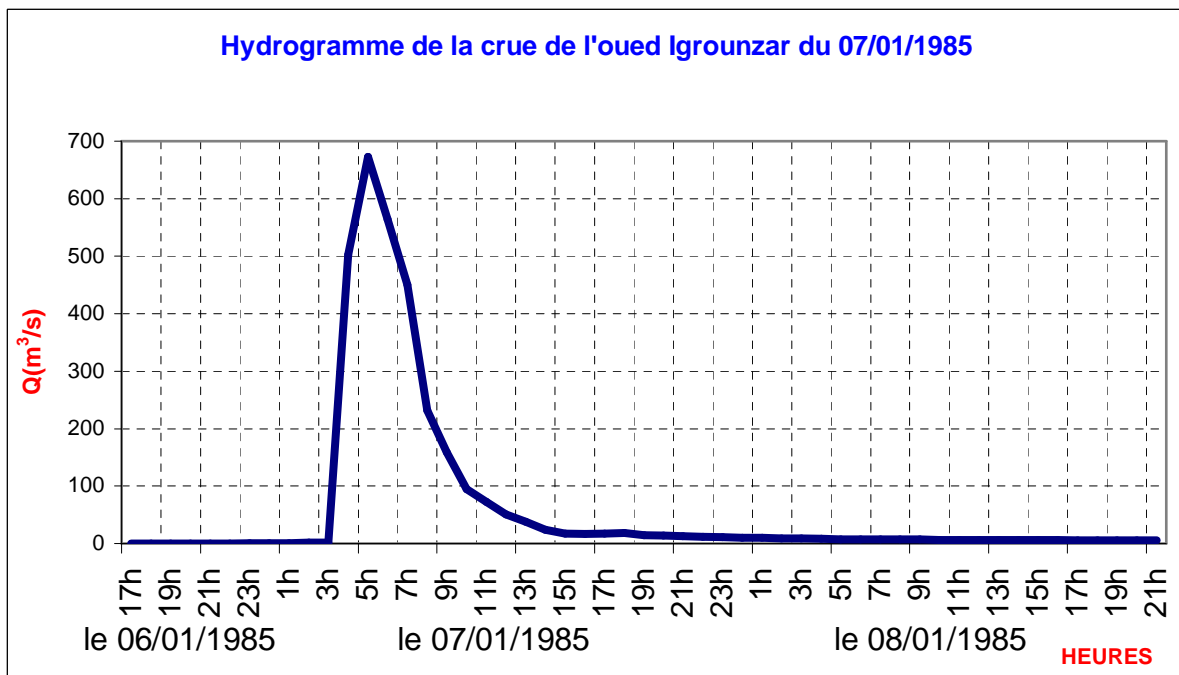


Figure : IV-4

## 2-Crue de 22/01/1996

La figure et le tableau montrent que la montée des eaux se fait en 25 heures et la décrue en 39h30min. Cette fois le débit passe de 1.48 m<sup>3</sup>/s à 263 m<sup>3</sup>/s. Cette crue a une période de retour d'une année sur 8.

<b>Date de début</b>	<b>21/01/1996 - 16h</b>
<b>Date fin</b>	<b>23/01/1996 - 8h</b>
<b>Débit de point</b>	<b>263.00</b>
<b>Débit max. Moy. (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>83.621</b>
<b>Débit base avant (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>1.480</b>
<b>Débit base après (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>7.800</b>
<b>Volume 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>11.891</b>
<b>Temps de base (heures).</b>	<b>39.5</b>
<b>Temps de montée (heures).</b>	<b>25.00</b>
<b>Coefficient de pointe</b>	<b>3.10</b>
<b>Caractéristiques de la crue</b>	

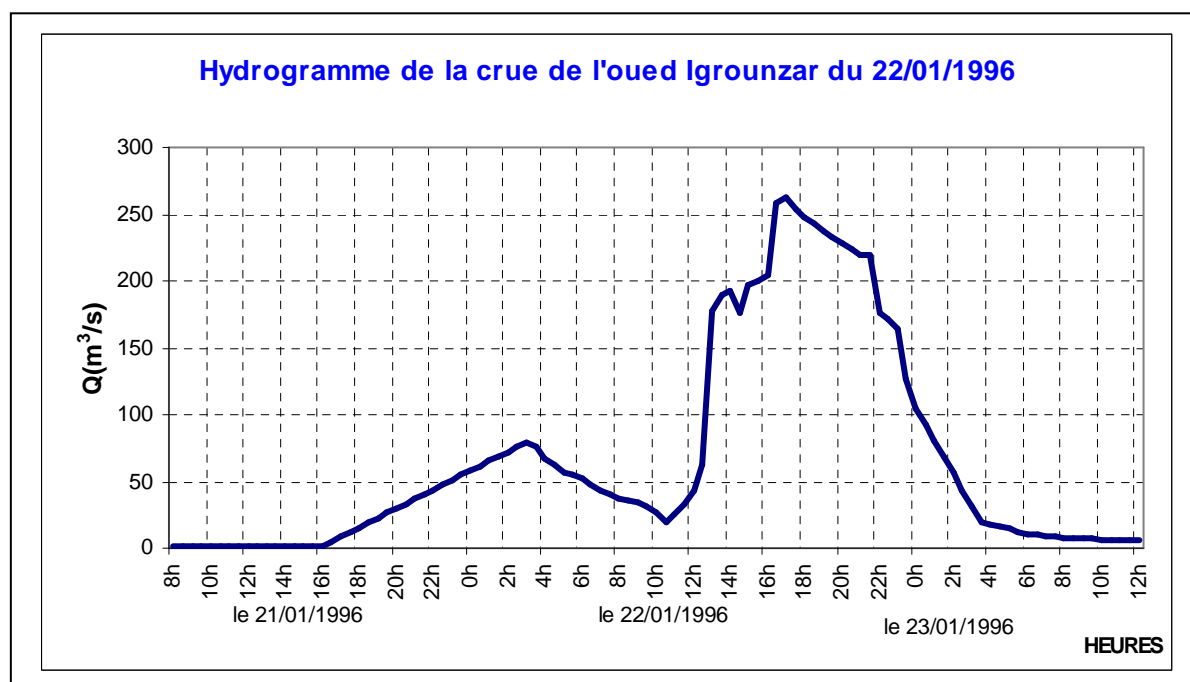


Figure : IV-5

Ceci reflète ce qu'on a vu sur les caractéristiques géographiques, physiographiques et géologiques sur l'écoulement fort de ce bassin.

## IV- Crues de 07/01/1985 et 22/01/1996 à Adamna

### 1 -Crue de 07/01/1985

La figure et le tableau montrent que la montée des eaux se fait en 7 heures et la décrue en 31 heures. Le débit à Igrounzar, est passé de 3.65 m<sup>3</sup>/s à 1335 m<sup>3</sup>/s Cette crue a une période de retour d'une année sur 29.

<b>Date de début</b>	<b>07/01/1985 - 00h</b>
<b>Date fin</b>	<b>08/01/1985 – 7h</b>
<b>Débit de point</b>	<b>1335.00</b>
<b>Débit max. Moy. (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>222.00</b>
<b>Débit base avant (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>3.650</b>
<b>Débit base après (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>21.900</b>
<b>Volume 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>24.823</b>
<b>Temps de base (heures).</b>	<b>31.00</b>
<b>Temps de montée (heures).</b>	<b>7.00</b>
<b>Coefficient de pointe</b>	<b>6.00</b>
<b>Caractéristiques de la crue</b>	

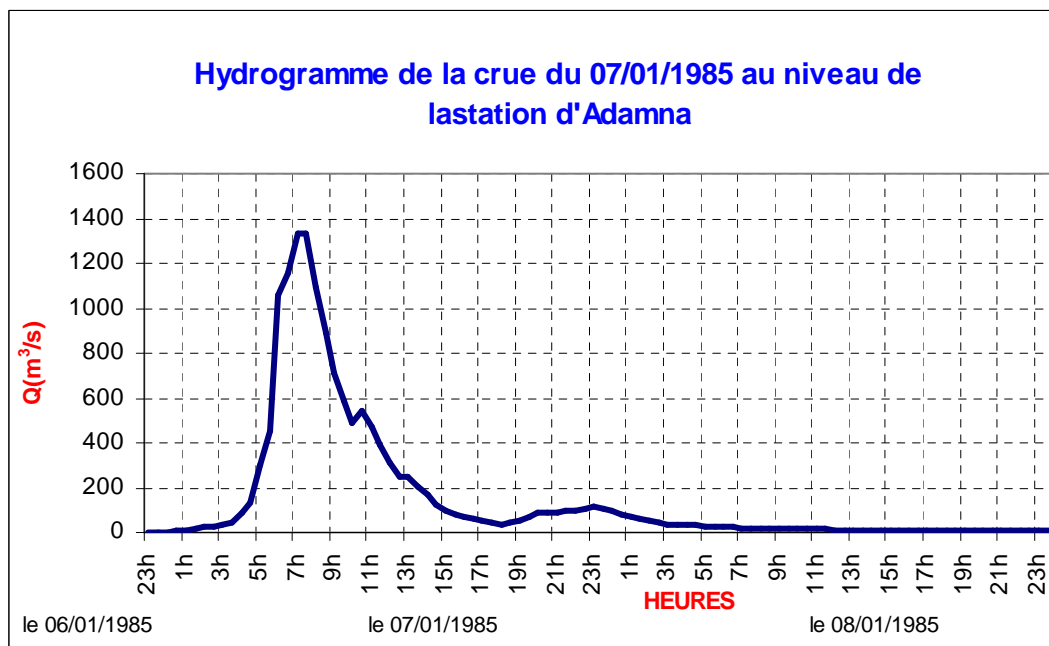


Figure : IV-6

## 2-Crue de 22/01/1996

La figure et le tableau montrent que la montée des eaux se fait en 21.5 heures et la décrue en 17 heures. Le débit à Igrounzar, est passé de 6 m<sup>3</sup>/s à 1602 m<sup>3</sup>/s. Cette crue a une période de retour d'une année sur 65.

<b>Date de début</b>	<b>21/01/1996 – 20h30</b>
<b>Date fin</b>	<b>26/01/1996 – 5h</b>
<b>Débit de point</b>	<b>1602.00</b>
<b>Débit max. Moy. (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>162.860</b>
<b>Débit base avant (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>6.00</b>
<b>Débit base après (m<sup>3</sup>/s).</b>	<b>15.70</b>
<b>Volume 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>61.268</b>
<b>Temps de base (heures).</b>	<b>104.5</b>
<b>Temps de montée (heures).</b>	<b>21.5</b>
<b>Coefficient de pointe</b>	<b>980</b>
<b>Caractéristiques de la crue</b>	

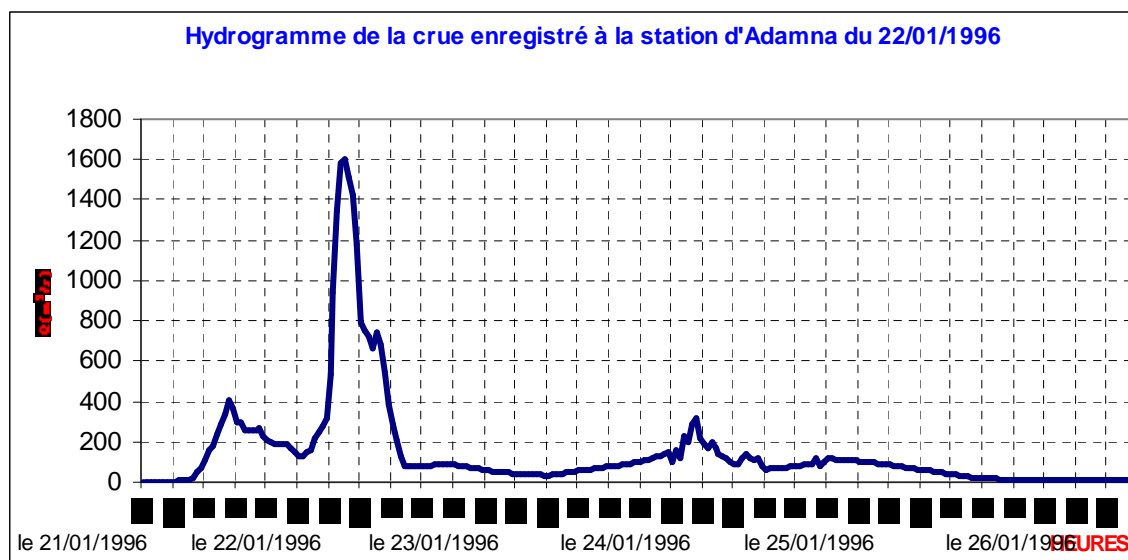


Figure : IV-7

Ceci concorde avec ce qu'on a vu sur les caractéristiques géographiques, physiographiques et géologiques sur l'écoulement fort de ce bassin.



**Photo montrant les apports de la crue de 1996 de L'oued Ksob au niveau du littoral d'Essaouira**



**Photo montrant de L'oued Ksob lors de l'été**

# Troisième partie

## Chapitre : V    **Corrélation pluie-débit**

### **A- corrélation entre les précipitations et les débits**

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  $Y = aX + b$ , 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.

#### **I- 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'Adamna. On remarque que le coefficients de corrélations ( $R=0.89$ ) est proche de 1. Les précipitations et les débits sont étroitement liés, cela peut s'expliquer par le fait que l'écoulement proviendrait quasiment de la pluie.

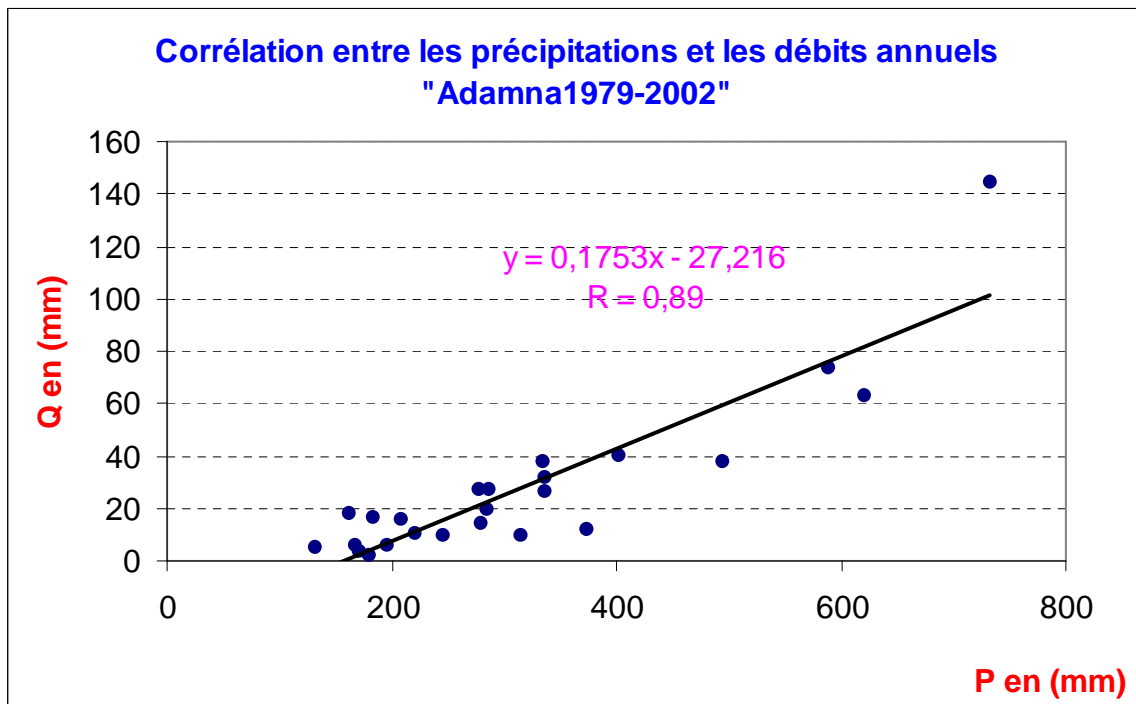


Figure : V-1

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

La corrélation débit –pluie à l'échelle mensuel est bonne puisque son coefficient ( $R=0.83$ ) est proche de 1. Les précipitations sont étroitement liées aux débits, Seul la pluie qui contribue à l'écoulement au niveau de l'exutoire du bassin Figure : V-2.

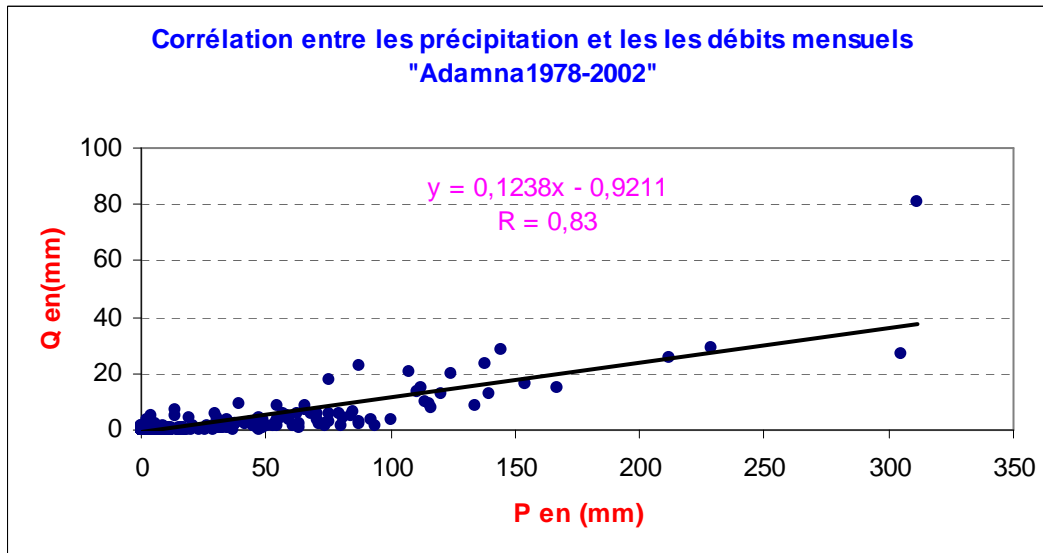


Figure : V-2

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

La figure : V-3 montre que le coefficient de corrélation débit – précipitation de 1979 à 2002 est excellent, ça veut dire que les débits proviennent essentiellement de la chute de pluie.

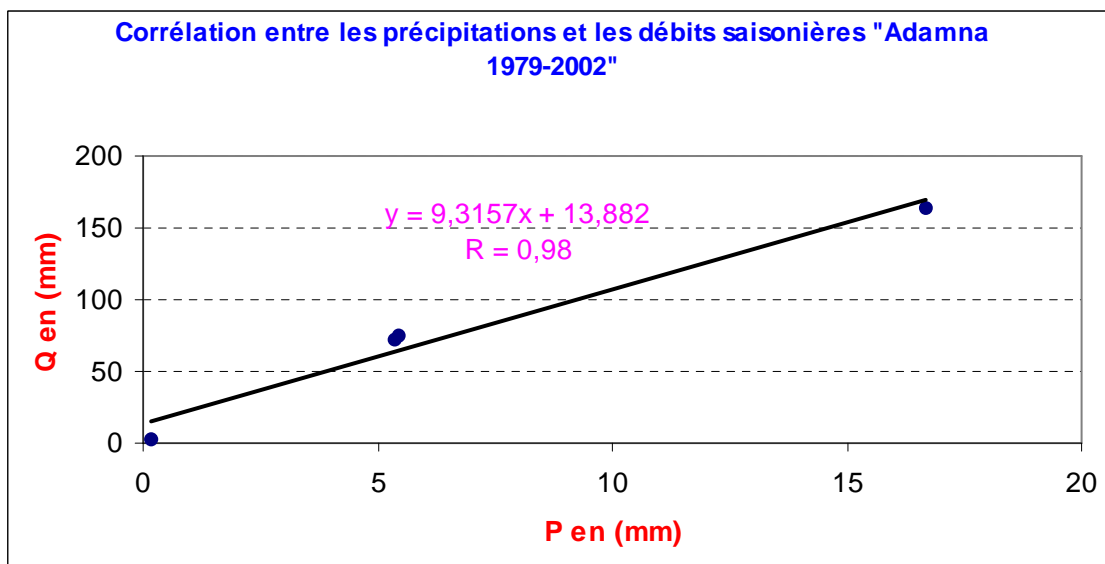


Figure : V-3

**Remarque**

Les figures montrent, que les débits augmentent quand les précipitations augmentent, et que tous les couples (P, Q) forment un nuage à part un point qui sort de l'ordinaire du bassin et qui correspond à la fameuse crue de 22/01/1996.

**B- Variation comparative des précipitations et des débits****I- Variations comparatives mensuelles sur l'ensemble du bassin**

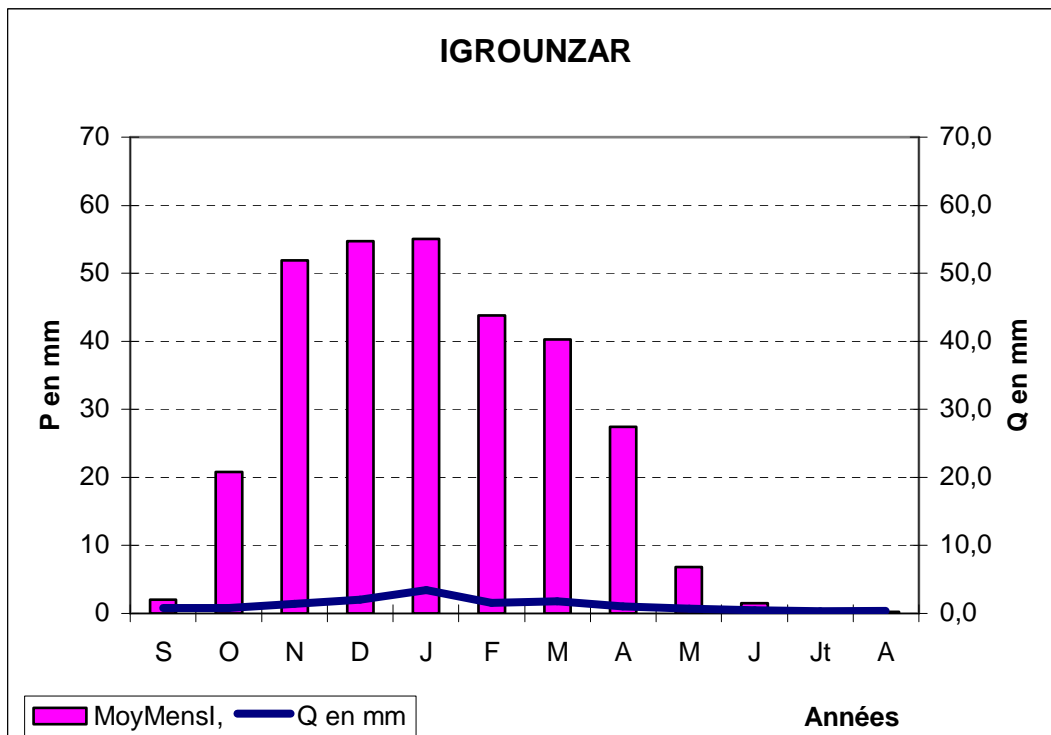
Le régime moyen d'écoulement mensuel de l'oued Ksob montre une distribution unimodale centrée sur le mois de janvier.

L'analyse des résultats permet de voir que les coefficients de variation des débits mensuels sont très variables. Les mois dont les maximums sont enregistrés correspondent au début de la phase de reprise pendant laquelle les précipitations sont généralement occasionnelles ce qui aboutit à des débits très irréguliers et torrentiels.

La répartition des débits mensuels suit bien les variations de la pluie, ainsi les débits les plus forts sont observés pendant la saison humide de l'année.

Les débits mensuels montrent une évolution unimodale simple avec un seul pic et un seul creux pour les deux stations, Igrounzar & l'Adamna. Il s'agit donc d'un régime pluvial océanique.

D'après les deux courbes de débits (figure : V-4) ce régime est bien marqué pour l'Adamna que pour Igrounzar, Ceci s'explique par la distance qui les sépare de l'océan, alors la première est plus proche de l'océan que la deuxième.



**Figure : V-4 Variations comparatives des précipitations et des débits mensuels à Igrounzar.**

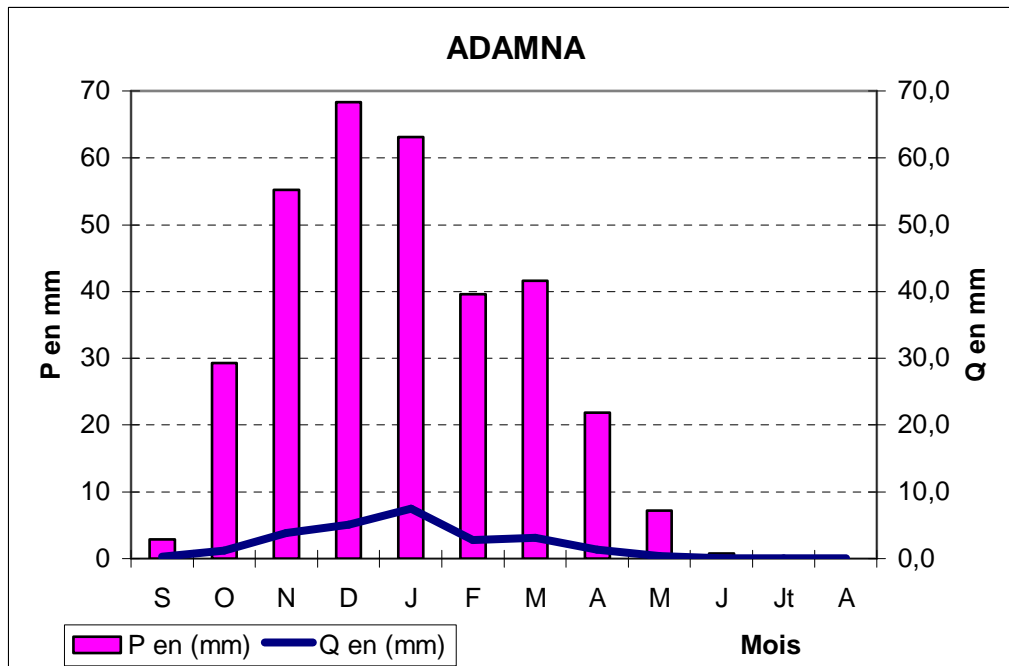


Figure : V-4 Variations comparatives des précipitations et des débits mensuels à Adamna

## II- Variations comparatives annuelles sur l'ensemble du bassin

Les écoulements annuels aux trois stations de jaugeage sont très variables d'une année à l'autre en fonction des aléas climatiques. Pour apprécier cette variabilité du régime annuel de l'oued nous avons dressé le tableau suivant :

Stations	Q moyen	Ecartype	CV	Q max	Q min	R ext.
Igrounzar	0,49	0,74	0,96	1,95	0,057	34,21
Zelten	0,51	0,69	1,35	3,49	0,078	44,74
Adamna	1,23	1,36	1,1	6,77	0,12	56,41

Tableau : V-1 Paramètres statistiques des débits annuels moyens (m<sup>3</sup>/s) au niveau des différentes stations de l'oued Ksob, pour la période 1977-2004.

L'analyse de ce tableau amène plusieurs commentaires.

Les débits moyens interannuels peuvent être classés par ordre décroissant dans la séquence suivant : Adamna, Zelten et Igrounzar. Ce classement semble être normal si on considère la superficie contrôlée par chaque station (notion de débit spécifique).

La diminution des débits entre la gorge zerrar et Adamna serait due aux pertes des eaux par évaporation et infiltration entre les deux stations. En effet les travaux menés en 1993 par Fikri sur le jaugeage différentiel avait montré que 67 l/s des eaux de l'oued Ksob s'infiltrèrent par les calcaires fracturés du Cénomano-Turonien, sur une longueur de 2 Km, contre 42 l/s sur 7 Km infiltrés par les terrains du Plio-quaternaire

Le coefficient de variation est très important attestant de l'extrême variabilité des débits d'une année à l'autre.

Il en est de même pour le rapport des extrêmes ( $R=Q_{max}/Q_{min}$ ) qui montre des valeurs variant de 34.2 (Igrounzar) à 56.4 (Adamna).

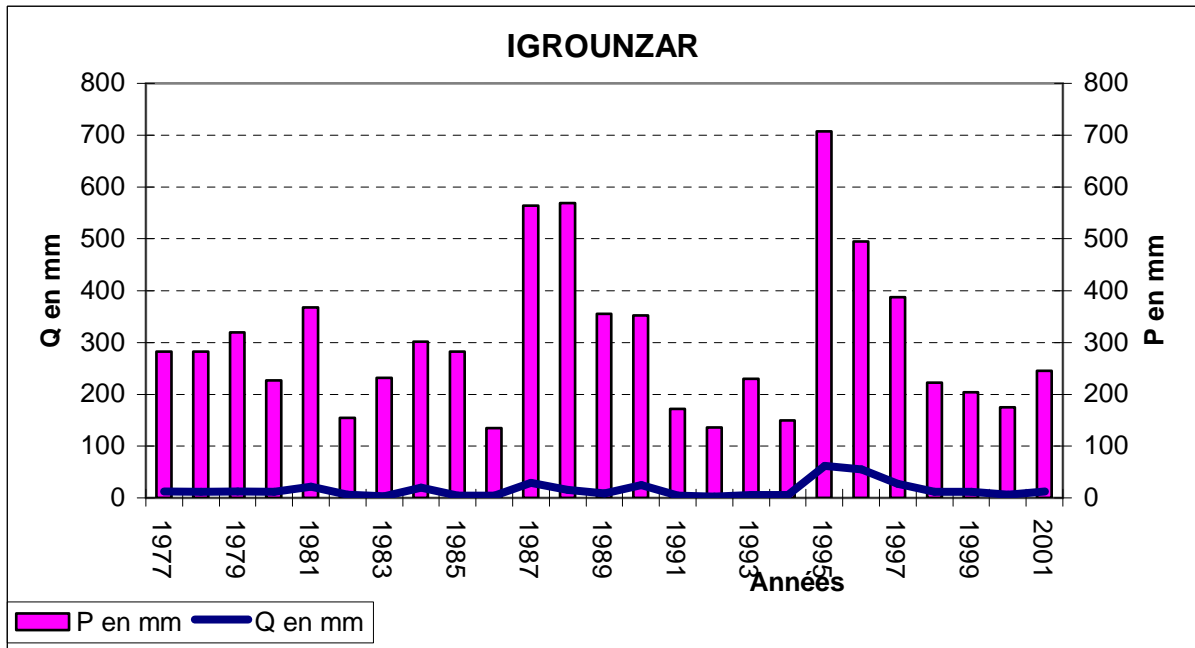


Figure : V-5 Variations comparatives des précipitations et des débits annuels à Igrounzar

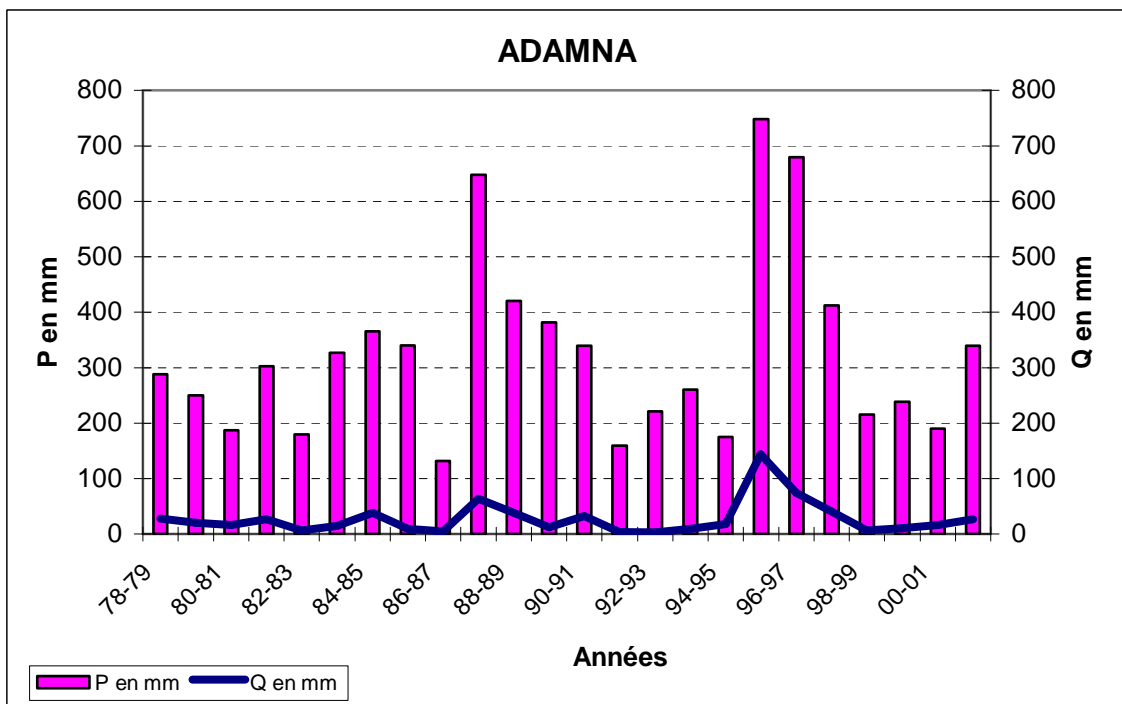


Figure : V-5 Variations comparatives des précipitations et des débits annuels à Adamna

L'évolution de la variation des débits suit de façon identique celle des précipitations, exemple de l'année 1995/1996 pour les deux stations qui enregistrent un maximum de précipitations et par conséquent de débits Figure : V-5.

## Chapitre : VI Bilans particuliers

La réalisation d'un bilan hydrologique a pour but de comparer les entrées et les sorties d'eau dans un bassin versant. Raison pour laquelle trois paramètres sont à calculer :

### I- La lame d'eau écoulée :

La lame d'eau écoulée est donnée par la relation établit 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: surface du bassin versant en m<sup>2</sup>

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

### II- Le déficit d'écoulement :

Le déficit d'écoulement exprime la différence entre la hauteur d'eau reçue par un bassin versant et les écoulements superficiels issu de ce bassin pendant une même période. Théoriquement on peut l'assimilé à la quantité d'eau évapotranspirée et celle infiltrée vers les nappes souterraines, mais cette partie d'eau infiltrée pourra ultérieurement être drainée par l'oued et ressortir par des résurgences ou des sources, elle correspond donc à un écoulement diffère pouvant être comptabilisé avec les débits. Ceci va nous faire penser que seul l'évapotranspiration réelle qui correspond au déficit d'écoulement calculer par la relation suivante :  $D = P - H$

Avec :

D: le déficit d'écoulement en mm

P : les précipitations en mm

H : la lame d'eau écoulée en mm

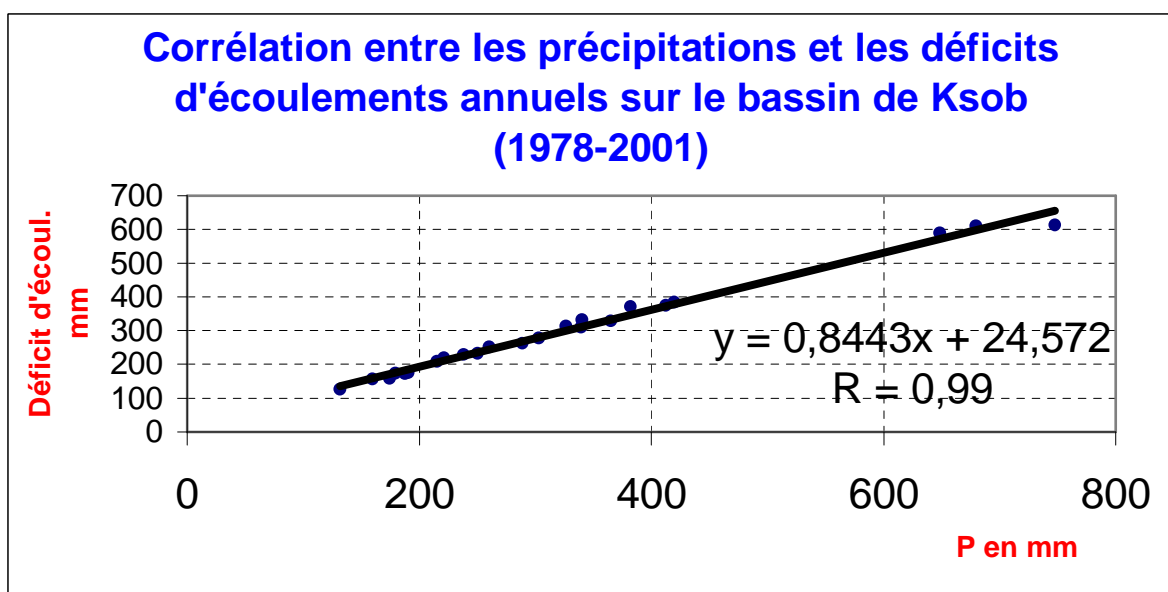


Figure : VI-1

Dans le bassin de Ksob les déficits d'écoulements varient naturellement d'une année à l'autre selon plusieurs facteurs. Cette variation est de 126 mm en 86-87 jusqu'à 612 mm en 95-96, le déficit moyen est de l'ordre de 298.56 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 précipitation à l'échelle annuelle ainsi que leur répartition dans l'année

On peut dire que la figure IV-1 montre nettement cette excellente corrélation entre le déficit d'écoulement et les précipitations.

### III- Le coefficient d'écoulement :

Le coefficient d'écoulement c'est le rapport entre la lame d'eau écoulée et les précipitations. Il s'exprime en pourcentage de la tranche d'eau qui ruisselle jusqu'à l'exutoire du bassin versant. Ce coefficient est donnée par la relation :  $CE = H / P$

Avec :

CE : coefficient d'écoulement en %

P : les précipitations en mm

H : la lame d'eau écoulée en mm

Ce dernier dépend généralement de trois facteurs principaux :

- \* La pluie : qui influence par son intensité et sa répartition **spatio-temporelle**
- \* Les caractères physiques : surtout la surface, la pente, la nature du substratum, la perméabilité, la végétation et l'état d'humidité du sol quand commence la pluie.
- \* La température : qui fait régir l'évaporation.

La figure VI-2 montre la relation entre le coefficient d'écoulement et la hauteur de précipitation à l'échelle annuelle, ce coefficient varie entre 0.01 pour l'année hydrologique 1992-93 et 0.18 pour 1995-96. La corrélation entre ces deux paramètres apparaît convaincante.

Aussi une année pluvieuse qui suit une année sèche n'aura pas le même résultat d'écoulement que s'elle faisait suit à une année très humide.

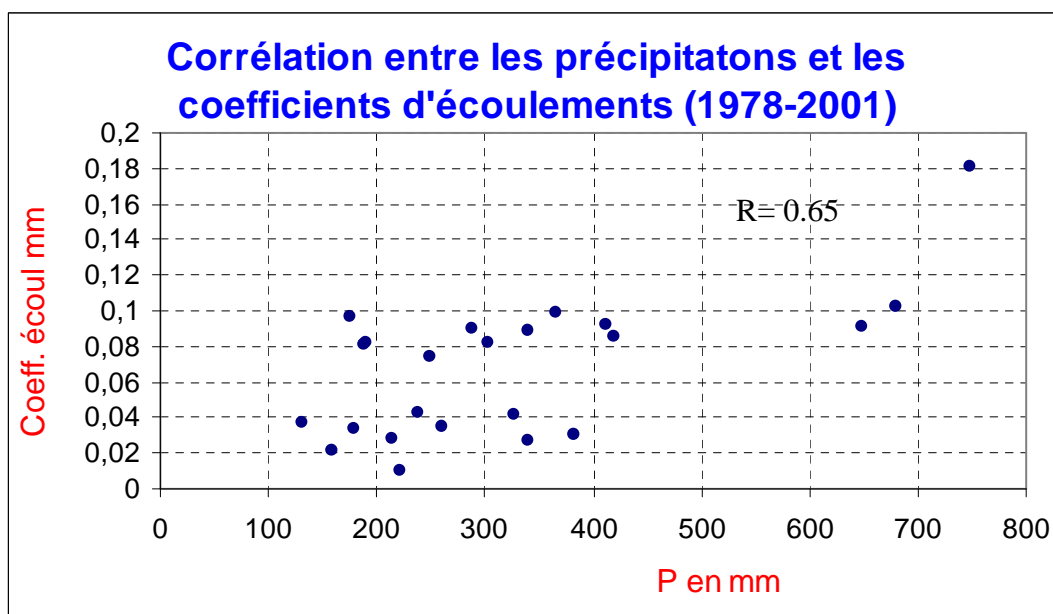


Figure : VI-2

ANNEES	P en (mm)	Q annuels (m3/s)	Q annuels (mm)	Coeff. d'écoulement	Déficit d'écoulement
78/79	288,8	1,29	25,82	0,09	262,98
79/80	250,3	0,94	18,68	0,07	231,62
80/81	187,8	0,76	15,26	0,08	172,54
81/82	303,1	1,25	24,90	0,08	278,20
82/83	179,7	0,30	6,06	0,03	173,64
83/84	326,7	0,69	13,75	0,04	312,95
84/85	365,1	1,80	35,93	0,10	329,17
85/86	340,4	0,47	9,29	0,03	331,11
86/87	131,6	0,24	4,83	0,04	126,77
87/88	648,4	2,97	59,24	0,09	589,16
88/89	419,9	1,79	35,70	0,09	384,20
89/90	382,2	0,58	11,56	0,03	370,64
90/91	339,6	1,51	30,20	0,09	309,40
91/92	159,6	0,17	3,36	0,02	156,24
92/93	221,4	0,12	2,35	0,01	219,05
93/94	260,3	0,45	8,94	0,03	251,36
94/95	174,6	0,84	16,79	0,10	157,81
95/96	747,6	6,77	135,14	0,18	612,46
96/97	679,5	3,47	69,18	0,10	610,32
97/98	412,6	1,91	38,18	0,09	374,42
98/99	215,2	0,30	5,97	0,03	209,23
99/2000	238,4	0,50	10,07	0,04	228,33
2000/2001	190,8	0,78	15,63	0,08	175,17
moyenne	324,50	1,30	25,95	0,07	298,56

Tableau : VI-1 Débits moyens mensuels (en m3/s) a la station d'Adamna.

## CONCLUSION

L'hydrographie du bassin de Ksob est représentée essentiellement par les oueds Igrounzar et Zelten dont la confluence au niveau de la région Zerrar donne naissance à l'oued Ksob, principal collecteur des eaux de surface de l'ensemble du bassin. Le bassin versant est de forme allongée avec des pentes plus fortes en amont et qui deviennent plus modérées à l'aval. La géologie du même bassin est plus compliquée aussi bien sur le plan lithostratigraphique, que sur le plan structural, terrains souvent accidentés.

Le régime hydrologique du bassin versant de l'oued Ksob se caractérise par une extrême irrégularité saisonnière et interannuelle qui est directement liée aux apports pluviométriques. Les crues sont brèves et importantes et affectent le littoral d'Essaouira et ses installations touristiques, surtout à l'amont du bassin en relation avec la nature lithologique qui correspond en grande partie à des terrains imperméables. De même, l'érosion est intense et les apports sont importants en phase de crue, d'où la nécessité de l'installation d'ouvrages de protection.

D'après cette étude on s'aperçoit que le sous bassin de **Zelten**, malgré sa superficie qui est deux fois moins importante que celle d'Igrounzar, est hydrologiquement le plus important. Raison pour laquelle présente un intérêt aux aménagements de retenus (barrage) et l'installation d'ouvrages de dérivations pour l'irrigation des terrains de la partie aval.

# Annexe

**Annexe**

année/mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	P annuel
1977/ 78	7,5	125,1	57,3	111,2	69,6	56,2	4,2	31,5	8,7	0	0	0	471,3
1978/ 79	0	3,6	11	51,5	163,8	34,1	18,6	6,2	0	0	0	0	288,8
1979/ 80	0	74,6	0	5,3	40,3	49,8	68	9,3	3	0	0	0	250,3
1980/ 81	0,5	10,5	60,8	0	5,6	53,4	34,4	17,2	5,4	0	0	0	187,8
1981/ 82	0	16,2	0	36,9	140,1	26,3	38,7	40,6	4,3	0	0	0	303,1
1982/ 83	0	0	47,1	5,9	2,8	96	15,8	8,4	3,7	0	0	0	179,7
1983/ 84	0	4,6	161,9	28,3	0	20,2	78,6	12,5	20,6	0	0	0	326,7
1984/ 85	0,3	0	162,5	13,3	143	30,9	1,2	8,4	5,5	0	0	0	365,1
1985/ 86	0	0	7,6	66,4	34,5	106,1	71,1	53,5	0	1,2	0	0	340,4
1986/ 87	9,2	0,4	12	1,1	58,1	33,3	12,4	3,9	1,2	0	0	0	131,6
1987/ 88	9,1	57,6	65,3	257,2	161,1	51,3	27,3	0	17,8	1,7	0	0	648,4
1988/ 89	0	30,6	163,1	0	96,1	17,3	32,8	78,8	1,2	0	0	0	419,9
1989/ 90	0	23,4	124,6	76,2	35,6	0	69,7	47,9	0,5	4,3	0	0	382,2
1990/ 91	0	2,8	11	91	11,5	107,9	111,4	4	0	0	0	0	339,6
1991/ 92	10,5	78,5	16,4	11,8	0,5	7,7	18,3	13,3	0	2,6	0	0	159,6
1992/ 93	0	2,1	5,5	58,3	42,6	2,8	72,3	3,3	34,5	0	0	0	221,4
1993/ 94	0	89,6	65,7	4,6	35,2	47,1	17,1	0,6	0,4	0	0	0	260,3
1994/ 95	0	44,6	9,5	18,6	0	33	62,1	6,8	0	0	0	0	174,6
1995/ 96	1,1	13,5	103,4	133,4	355,9	34,3	61,3	1,7	32	11	0	0	747,6
1996/ 97	1,6	12,3	161,9	329,2	102,2	1,7	24,4	46,2	0	0	0	0	679,5
1998/ 98	2,9	36,3	30,4	76	71,5	148,6	35,3	9,3	1,5	0,8	0	0	412,6
1998/ 99	0	0	0	44,2	63	29,5	68,3	2,2	8	0	0	0	215,2
1999/ 00	4	78,6	32,4	16,9	31,5	2	0,8	66,7	5,5	0	0	0	238,4
2000/ 01	0	12,4	5,5	122,4	29,3	3	17,5	0	0,7	0	0	0	190,8
2001/ 02	32,7	0	1,6	136,3	0	14,9	82,8	49,3	22	0	0	0	339,6
2002/ 03	0	4,6	90,1	81,7	10,3	12,2	23,5	51	0	0	0	0	273,4
2003/ 04	0	70	83,4	67,1	0	48,7	45,8	18,5	18,3	0	0	0	351,8
Moy mensl	2,9	29,3	55,2	68,3	63,1	39,6	41,2	21,9	7,2	0,8	0,0	0,0	329,6

**Tableau de précipitations mensuelles à la station de l'Adamna**

Année/mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Q annuel.
70-71	0,063	0,128	1,83	14,8	4,99	1,8	1,95	13,2	3,36	0,73	0,32	0,182	3,61
71-72	0,223	0,257	0,831	0,427	0,421	1,96	2,18	1,08	0,66	0,39	0,215	0,159	0,73
72-73	0,821	0,272	0,166	1,07	0,395	0,235	0,397	0,405	0,05	0,03	0,001	0	0,32
73-74	0	0,071	0,157	5,93	0,276	0,115	2,71	3,48	0,67	0,12	0	0	1,13
74-75	0	0	0	0,007	1,2	0,617	0,034	0,31	0,13	0	0	0	0,19
75-76	0	0	0	2,31	0,06	3,05	0,451	0,722	0,44	0	0	0	0,59
76-77	0	0,617	0,105	1,6	1,49	0,61	0,056	0	0	0	0	0	0,37
77-78	0,588	3,69	3,19	2,75	2,42	2,04	0,351	0,139	0,16	0	0	0,088	1,28
78-79	0,147	0,636	0,213	1,82	9,14	2,58	0,923	0,067	0	0	0	0	1,29
79-80	0,557	3,05	0,249	0,249	1,28	2,34	3,27	0,229	0,01	0	0	0	0,94
80-81	0	0,016	4,88	0,152	0,076	3,79	0,217	0,011	0	0,03	0	0	0,76
81-82	0	0,074	0,001	0,229	6,91	0,075	1,86	2,9	2,91	0,01	0	0	1,25
82-83	0	0	1,54	0,019	0,014	1,94	0,132	0	0	0	0	0	0,3
83-84	0	0	7,28	0,08	0,003	0	0,715	0,14	0,05	0	0	0	0,69
84-85	0	0	5,06	0,137	15,7	0,393	0,049	0,133	0,01	0,12	0	0	1,8
85-86	0	0	0	0,294	0,658	0,825	2,96	0,847	0	0	0	0	0,47
86-87	0	0	0,066	0	1,21	1,39	0,238	0	0	0	0	0	0,24
87-88	2,68	1,41	3,15	14	8,21	2,23	3,29	0,09	0,56	0	0	0	2,97
88-89	0	0,659	16,7	0,349	1,32	0,056	0,485	1,83	0,06	0	0	0	1,79
89-90	0	0,381	2,03	2,02	0,997	0,154	0,601	0,717	0,05	0	0	0	0,58
90-91	0	0	0	3,04	0,576	5,92	7,55	1,06	0,01	0	0	0	1,51
91-92	0	1,01	0	0,293	0,095	0,065	0,044	0,514	0	0	0	0	0,17
92-93	0	0	0	0,133	0,31	0,38	0,322	0	0,27	0	0	0	0,12
93-94	0	0,955	3,24	0,036	0,318	0,671	0,125	0	0	0	0,028	0	0,45
94-95	0	0,062	0,014	0	0	1,1	4,8	4,11	0,01	0	0	0	0,84
95-96	0	0,055	5,29	13,1	44,7	5,3	9,82	1,13	0,78	0,86	0,129	0,091	6,77
96-97	0,114	0,119	4,45	14,7	12,5	2,16	2,45	2,49	0,93	0,65	0,538	0,485	3,47
97-98	0,625	2,07	1,15	1,11	2,03	12,3	2,76	0,686	0,17	0,05	0	0	1,91
98-99	0	0	0,031	0,425	1,35	0,276	0,923	0,033	0,45	0	0	0,099	0,3
99-00	0,046	3,75	0,39	0,437	0,243	0,108	0	1,08	0	0	0	0	0,5
00-01	0	0	0	8,36	0,958	0,049	0,033	0	0	0	0	0	0,78
2001-02	0,035	0	0	11,3	0,202	0	1,49	2,37	0,02	0	0	0	1,29
Moy mens	0,184	0,603	1,938	3,162	3,752	1,704	1,662	1,243	0,367	0,093	0,038	0,035	1,23

Tableau de débits mensuels à la station de l'Adamna

Année/mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	P annuel
1977/78				114,1	63,5	49,6	3,5	46,5	4,7	0	0	0	281,9
78/79	0	8,8	2	58,1	143,7	27,7	23,6	18,1	0	0	0	0	282
79/80	0	77,1	0	2,6	42,8	112,6	67,9	15,3	0,5	0	0	0	318,8
80/81		0	71,5	0	3,7	116,8	23	6,2	4,8	0	0	0	226
81/82	0	16,8	0,8	27,1	100,2	30,9	59,7	128,4	4	0	0	0	367,9
82/83	0	0	41,3	3,5	1,7	78,2	14	8	8,1	0	0	0	154,8
83/84	0	5,4	117,9	17,9	0	9,4	44,2	5,9	31,4	0	0	0	232,1
84/85	0	0	106,2	10,2	145,6	32,4	3,5	3,2	0	0,5	0	0	301,6
85/86	0	0	10,7	60,1	18,4	81,6	70,6	37,2	0	3,9	0	0	282,5
86/87	10	0	16,1	1,2	50	42,6	8,8	0	0,6	0,3	0	5,2	134,8
87/88	13,6	50,8	48,5	167,4	172,5	41,5	31,8	0	15,9	21,9	0	0	563,9
88/89	0	32,2	294,4	0	79	18,4	38,4	106,6	0,6	0	0	0	569,6
89/90	0	8,7	76,2	64,7	39,9	0	90,8	57,9	14,3	3,1	0	0	355,6
90/91	0,2	7	9,8	68,5	10,4	120,6	110,5	6,7	0	0	0	0	351,7
91/92	9,2	69	15,6	10,6	0,3	9,5	22,1	28,1	0	7,4	0	0	171,8
92/93	2,7	1	5,5	36,1	23,2	16,6	25,3	5,6	20,2	0	0	0	136,2
93/94	0	57,9	60	2,7	34,2	54,5	18,1	0,2	1,6	0	0	0	229,2
94/95	0	29,8	6,7	4,3	0	41,8	47	20,1	0	0	0	0	149,7
95/96	0,1	4,7	127,4	142,9	266,9	43,8	89,3	2,4	25,8	1,6	0	0	707,6
96/97	2,4	1	71,7	281,4	73,2	2,8	13,8	48,6	0	0	0	0	494,9
97/98	4,9	32,7	37,2	67,6	47,7	100,5	81,7	9	2,6	2,8	0	0	386,7
98/99	0	0	0	49,4	27,8	31,2	40,2	6,2	22,4	0	0	0	222,2
99/2000	3,8	53	26,9	16,1	40,8	2,2	0	60,7	0,3	0	0	0	203,8
2000/2001	0	8,5	4	101,8	42,7	2,7	13,6	1,6	0	0	0	0	174,9
2001/2002	4,2	0	4,8	79,2	0,3	21,9	68,8	63,7	2,1	0	0	0	245
2002/2003	0	8,3	97,2	28,4	10,2	10	15,1	34,1	0	0	0	0	203,3
2003/2004	0	65,8	96,6	43,6	0	82,5	63,5	18,6	22,6	0	0	0	393,2
Moy mens	2	20,8	51,9	54,7	55	43,8	40,3	27,4	6,8	1,5	0	0,2	304,4

**Tableau de précipitations mensuelles à la station d'Igrounzar**

Année/Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Q annuel
1965	0,2	0,6	3,2	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6
1966	0,3	0,6	0,1	0,4	0,4	0,6	0,5	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4
1967	0,1	1,5	5,7	0,5	0,4	0,8	1,8	1,8	0,4	0,3	0,2	0,2	1,1
1968	0,2	0,2	1,3	1,0	1,3	1,8	1,6	1,4	1,1	0,9	0,8	0,8	1,0
1969	0,9	1,0	1,2	0,9	2,0	1,0	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,8
1970	0,3	0,4	0,6	2,5	0,5	0,1	0,1	0,8	0,5	0,3	0,2	0,1	0,5
1971	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	--	--	--	--	--	--	--	0,2
1974	--	--	--	--	--	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1975	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1976	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
1977	0,3	0,8	0,4	0,7	0,6	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,3
1978	0,2	0,1	0,2	0,5	1,5	0,7	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
1979	0,1	0,9	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4
1980	0,2	0,2	1,6	0,6	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
1981	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,1	0,2	0,3	0,6	0,1	0,1	0,1	0,2
1982	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
1983	0,1	0,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1984	0,0	0,0	0,2	0,0	5,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	0,5
1985	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1986	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1987	2,7	0,5	0,6	2,2	1,0	0,9	1,0	0,3	0,4	0,2	0,1	0,1	0,8
1988	0,1	0,2	2,7	0,3	0,4	0,2	0,2	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4
1989	0,1	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
1990	0,1	0,1	0,1	0,6	0,2	1,5	2,8	1,6	0,6	0,4	0,3	0,3	0,7
1991	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1992	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
1993	0,0	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
1994	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1995	0,0	0,0	1,1	1,7	9,2	2,0	2,6	1,5	1,3	0,9	0,2	0,2	1,7
1996	0,2	0,2	1,2	4,1	5,6	1,9	2,3	1,3	0,4	0,3	0,3	0,3	1,5
1997	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	3,1	1,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,7
1998	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3
1999	1,1	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
2000	0,1	0,1	0,2	0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
2001	0,1	0,1	0,1	2,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3
Moy. mens.	0,3	0,3	0,7	0,7	1,0	0,6	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,4

Tableau de débits mensuels à la station d'Igrounzar

Année/mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Q annuel
1975	0,03	0,03	0,03	0,81	0,07	1,01	0,36	0,29	0,34	0,06	0,05	0,04	0,26
1976	0,04	0,32	0,08	0,35	0,67	0,25	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,16
1977	0,12	1,47	0,99	0,75	0,53	0,58	0,08	0,07	0,05	0,03	0,03	0,03	0,39
1978	0,06	0,15	0,05	0,73	5,01	0,54	0,19	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,57
1979	0,03	0,82	0,01	0,01	0,38	0,83	0,79	0,09	0,05	0,04	0,04	0,03	0,26
1980	0,03	0,03	2,38	0,03	0,02	1,27	0,11	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,34
1981	0,03	0,06	0,03	0,04	1,91	0,03	0,42	0,39	1,83	0,02	0,02	0,01	0,40
1982	0,01	0,01	0,56	0,05	0,05	0,38	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09
1983	0,00	0,00	2,71	0,03	0,03	0,03	0,25	0,08	0,03	0,02	0,02	0,01	0,27
1984	0,01	0,01	1,97	0,05	6,66	0,09	0,05	0,09	0,02	0,02	0,01	0,01	0,75
1985	0,01	0,01	0,01	0,10	0,02	0,48	1,53	0,25	0,03	0,03	0,03	0,03	0,21
1986	0,03	0,03	0,09	0,02	0,26	0,51	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,09
1987	1,54	0,64	0,89	4,88	2,43	0,82	1,10	0,10	0,35	0,08	0,07	0,07	1,08
1988	0,06	0,45	3,25	0,50	0,82	0,07	0,36	0,87	0,03	0,02	0,02	0,02	0,54
1989	0,02	0,08	1,45	1,57	0,50	0,14	0,37	0,47	0,05	0,01	0,01	0,01	0,39
1990	0,01	0,01	0,01	1,21	0,01	2,80	1,71	0,11	0,08	0,06	0,05	0,06	0,51
1991	0,07	0,37	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,38	0,01	0,01	0,01	0,01	0,08
1992	0,01	0,01	0,01	0,10	0,33	0,17	0,36	0,04	0,41	0,06	0,33	0,02	0,15
1993	0,02	0,33	1,66	0,03	0,10	0,33	0,06	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,22
1994	0,02	0,07	0,03	0,02	0,02	0,32	1,93	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
1995	0,00	0,06	3,26	8,43	20,80	2,41	6,31	0,22	0,27	0,08	0,05	0,04	3,50
1996	0,04	0,04	2,76	7,80	5,43	0,48	1,16	1,57	0,10	0,07	0,06	0,05	1,63
1997	0,17	1,82	0,57	0,63	1,45	5,59	0,63	0,14	0,06	0,05	0,04	0,04	0,93
1998	0,04	0,04	0,04	0,14	0,28	0,10	0,21	0,02	0,14	0,04	0,04	0,04	0,09
1999	0,03	0,68	0,09	0,11	0,07	0,05	0,04	0,32	0,04	0,04	0,03	0,03	0,13
2000	0,03	0,04	0,04	1,56	0,11	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,16
2001	0,02	0,02	0,02	3,68	0,01	0,01	0,12	0,37	0,04	0,03	0,02	0,02	0,36
Moy. Mens.	0,09	0,28	0,85	1,25	1,78	0,72	0,68	0,28	0,15	0,03	0,04	0,03	0,51

Tableau de débits mensuels à la station de Zelten

**LISTES DES TABLEAUX ET FIGURES****FIGURES**

**Figure : I-1** Carte du réseau hydrographique du bassin de Ksob.

**Figure : I-2** Carte géologiques du bassin de Ksob.

**Figure : I-1'** Localisation de secteur d'étude par rapport aux domaines structuraux du Maroc.

**Figure : I-3** Rectangle équivalent avec les tranches d'altitudes du bassin Versant de Ksob.

**Figure : I-4** Carte hypsométrique du bassin de Ksob.

**Figure : II-1** Précipitation moyenne annuelle de Adamna (1977/2004).

**Figure : II-2** Précipitation moyenne annuelle d'Igrounzar (1977/2004).

**Figure : II-3** Variations comparatives des précipitations aux stations Adamna et Igrounzar (1977/2004).

**Figure : II-4** Précipitation mensuelle interannuelle d'Igrounzar (1977/2004).

**Figure : II-5** Précipitation mensuelle interannuelle d'Adamna (1977/2004).

**Figure : III-1** Débits moyens annuels de Zelten (1975-2002).

**Figure : III-2** Débits saisonniers interannuels de Zelten (1975-2002).

**Figure : III-3** Débits mensuels interannuels de Zelten (1975-2002).

**Figure : III-4** Débits moyens annuels d'Igrounzar (65-71/74-2001).

**Figure : III-5** Débits saisonniers interannuels d'Igrounzar (65-71/74-2001).

**Figure : III-6** Débits mensuels interannuels d'Igrounzar (65-71/74-2001).

**Figure : III-7** Débits moyens annuels d'Adamna (1970-2002).

**Figure : III-8** Débits saisonniers interannuels d'Adamna (1970-2002).

**Figure : III-9** Débits mensuels interannuels d'Adamna (1970-2002).

**Figure : III-10** Variations saisonniers comparative des débits aux stations Adamna, Zelten et Igrounzar (1977/2004).

**Figure : IV-1.** Ajustement de la loi de Gumbel de crues du bassin Ksob.

**Figure : IV-2** Hydrogramme et tableau des caractéristiques de la crue de 07/01/85 à Zelten.

**Figure : IV-3** Hydrogramme et tableau des caractéristiques de la crue de 22/01/96 à Zelten.

**Figure : IV-4** Hydrogramme et tableau des caractéristiques de la crue de 07/01/85 à Igrounzar.

**Figure : IV-5** Hydrogramme et tableau des caractéristiques de la crue de 22/01/96 à Igrounzar.

**Figure : IV-6** Hydrogramme et tableau des caractéristiques de la crue de 07/01/85 à Adamna.

**Figure : IV-7** Hydrogramme et tableau des caractéristiques de la crue de 22/01/96 à Adamna.

**Figure : V-1** Corrélation entre les précipitations et les débits moyens annuels « Adamna 1979-2002 ».

**Figure : V-2** Corrélation entre les précipitations et les débits moyens mensuels « Adamna 1979-2002 ».

**Figure : V-3** Corrélation entre les précipitations et les débits moyens saisonniers « Adamna 1979-2002 ».

**Figure : V-4** Variations comparatives des précipitations et des débits mensuels (1977-2002).

**Figure : V-5** Variations comparatives des précipitations et des débits annuels (1977-2002).

**Figure : VI-1** Corrélation entre les précipitations et les déficits d'écoulements annuels sur le bassin de Ksob (1978-2001).

**Figure : VI-2** Corrélation entre les précipitations et les coefficients d'écoulement annuels sur le bassin de Ksob (1978-2001).

## **TABLEAUX**

**Tableau : I-1** Caractéristiques physiques des différents sous bassin de l'oued Ksob.

**Tableau : I-2** Répartition par tranches d'altitudes de la superficie ( $\text{Km}^2$ ) du bassin versant de l'oued Ksob.

**Tableau : I-3** Caractéristiques statistiques des températures mensuelles.

**Tableau : I.4** Températures moyennes interannuelles.

**Tableau : I-5** Variation mensuelle de la vitesse moyenne du vent à la station D'Igrounzar (1988-1997).

**Tableau : II-1** Les coordonnées Lambert des trois stations.

**Tableau : II-2** Précipitation moyenne annuelle des deux stations.

**Tableau : II-3** Précipitations saisonnières à l'Adamna (1977-2004).

**Tableau : IV-1** Débits de crue aux trois stations.

**Tableau : IV-2** Ajustement statistique des débits (en  $\text{m}^3/\text{s}$ ) maximums annuels.

**Tableau : IV-3** Ajustement de la loi de Gumbel aux crues de l'Adamna.

**Tableau : V-1** Paramètres statistiques des débits annuels moyens ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) au niveau des différentes stations de l'oued Ksob, pour la période 1977-2004.

**Tableau : VI-1** Débits moyens mensuels (en  $\text{m}^3/\text{s}$ ) a la station d'Adamna.

**Annexe :**

**Tableau de précipitations mensuelles à la station de l'Adamna**

**Tableau de débits mensuels à la station de l'Adamna**

**Tableau de précipitations mensuelles à la station d'Igrounzar**

**Tableau de débits mensuels à la station d'Igrounzar**

**Tableau de débits mensuels à la station de Zelten**

## Bibliographie

-**Thèse de M. JALAL (2001).** « Potentialités hydrogéologiques de l'aquifère Cénomano-Turonien du bassin synclinal de Meskala- Kourimat-Ida Ou Zemzem (Essaouira, Maroc) ». (C.E.A Géo-Sciences et matières premières). Université Cadi Ayyad – F.S.S.M.

-**Thèse de N. LAFTOUHI. (1991).** « Hydrogéologie et Hydrochimie de l'aquifère Turonien du bassin synclinal de Meskala- Kourimat-Ida Ou Zemzem (Essaouira, Maroc) ». (C.E.A Hydrogéologie). Université Cadi Ayyad – F.S.S.M.

-**Département de Tourisme. D.A.I. (2002).** Projet d'Elaboration des Relevés Topographique et des Etudes Hydrologiques et Hydrauliques des Sites de l'Oued de Bouisafen et de L'Oued Ksob pour le compte des Etudes de Faisabilité d'Aménagement des Stations Touristique Balnéaires de Plage Blanche de Mogador.

-**Ministre des Travaux Publics. D.G.H. (1996).** Crues survenues dans la région d'Essaouira en janvier 1996. Service Hydrologie. Direction de la Région Hydraulique du Tensift

-MARRAKECH-