



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE
MARRAKECH



Maîtrise Es Sciences et Techniques d'Hydrogéologie

Mémoire de fin d'études

Le bassin versant du N'Fis (Haut Alas de Marrakech)
Situation hydro-pluviométrique et bilans hydrologiques

Réalisé par:

Abou-Elaaz Khalid
Ibrahim Maïmouna

Encadrés par :

M^r Mohamed El Mehdi SAIDI

Soutenu le 28 juin 2006 devant un Jury composé de:

M^r . E. Boumagard
M^{lle} . N. Khamli

REMERCIEMENTS

Ce n'est pas par coutume mais par reconnaissance que nous tenons à préfacier ce rapport par ces quelques lignes, tout en étant conscients qu'elles seront insuffisantes pour exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus tout au long de notre travail.

Nous exprimons une gratitude toute particulière à notre encadrant, M^r. 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, qu'il a dirigé par ses conseils et son raisonnement scientifique.

Nous remercions également les membres du jury, M^r. Boumaggard et M^{lle}. Khamli, qui ont 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.

Enfin, nous remercions toutes les personnes du département de géologie de la faculté des sciences et techniques de Marrakech, ainsi que nos collègues et nos amis.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
Première partie : présentation générale et géomorphologie du bassin versant du N'fis	4
I- Généralité sur l'oued N'fis.....	5
II- Localisation géographique du bassin du N'fis	5
III- Aperçu géomorphologique.....	5
IV- Facteurs climatiques et couvert végétal.....	5
V- Géologie.....	8
a- Domaine de la chaîne atlasique	8
b- Relief et courbe hypsométrique.....	9
c- Le rectangle équivalent.....	11
d- La pente moyenne.....	11
e- Temps concentration.....	12
f- Organisation du réseau hydrographique.....	12
Deuxième partie : Analyse hydro pluviométrique et bilan hydrologique.....	14
Chapitre1 : Traitement des données hydro-pluviométriques	15
A- Présentation et critique	15
B- Précipitation annuelles	15
1- Station d'Aghbar.....	16
2- Station d'Idni.....	16
3- Station d'Ijoukak.....	17
4- Station d'Iguir N'kouris.....	17
5- Station de Talat N'os.....	18
6- Station d'Ouirgane.....	18
7- Station d'Imin El Hammam.....	19
C- Précipitations mensuelles.....	20
1- Station d'Aghbar.....	20
2- Station d'Idni.....	21
3- Station d'Ijoukak.....	21
4- Station d'Iguir N'kouris.....	22
5- Station de Talat N'os.....	22
6- Station d'Ouirgane.....	23
7- Station d'Imin El Hammam.....	23
D- Précipitations saisonnières	24
Chapitre II : Le régime fluvial de l'oued N'fis.....	25
A- Les débit moyens annuels.....	26
1- Station d'Iguir N'kouirs.	26

2-Station d'Imin El Hammam	26
B- Les débits moyens mensuels..	27
1- Station d'Iguir N'kouris.....	27
2- Station d'Imin El Hammam.....	28
C- Les débits moyens saisonniers.....	28
1- Station d'Iguir N'kouris.....	28
2- Station d'Imin El Hammam.....	29
Chapitre III : Relation pluie-débit.....	30
A- Corrélation entre précipitations et débits.....	30
1- Corrélation entre précipitations et annuels.....	30
1-1 Au niveau du sous bassin d'Iguir N'kouris.....	30
1-2 Au niveau du bassin d'Imin El Hammam.....	31
2- Corrélation entre précipitations et les écoulements mensuels.....	31
2-1 Au niveau du bassin d'Imin El Hammam.....	31
2-2 Au niveau du bassin d'Iguir N'kouris.....	32
B- Corrélation débit-débit entre les stations d'Iguir N'kouris et d'Imin El Hammam..	33
1- A l'échelle annuelle.....	33
2- A l'échelle mensuelle.....	34
C- Corrélation entre les débits à Imin EL hammam et ceux du barrage de Lalla Takerkoust.....	35
1- A l'échelle annuelle.....	35
2- A l'échelle mensuelle.....	35
Chapitre IV : Bilans hydrologiques	
A- Lame d'eau écoulée.	36
B- Le déficit d'écoulement.....	36
C- Le coefficient d'écoulement.....	38
D- Le bilan global.....	41
CONCLUSION GENERALE.....	43
Annexes.....	43

INTRODUCTION

Le contexte hydrologique du Maroc est principalement influencé par une irrégularité annuelle et une variabilité inter-annuelle très marquées des précipitations et une hétérogénéité de leur distribution. L'alternance de séquences de forte hydraulité et de séquences de sécheresse d'intensité et de durée variables est également un trait dominant des régimes hydrologiques du pays.

Cette répartition inégale, dans le temps et dans l'espace de la pluviométrie, et des ressources en eau qu'elle génère, impose la construction d'ouvrages de gestion, tels de grands barrages réservoirs pour stocker les apports des années humides au profit de leur utilisation pendant les années sèches. Elle impose également, lorsque cela est possible, la réalisation des transferts d'eau des régions favorisées vers les régions déficitaires en eau dans le but de permettre un développement économique et social équilibré sur l'ensemble du territoire du pays.

Le présent travail se propose de contribuer à l'étude du bassin versant du N'Fis qui fait partie du Haut Atlas de Marrakech et sur lequel est déjà construit le barrage de Lalla Takerkoust.

Notre étude s'articulera en deux grandes parties :

- La première, consacrée à l'analyse des caractères morphologiques et géologiques du bassin notamment sa forme, ses pentes, la hiérarchie du réseau hydrographique en plus de quelques éléments du climat.
- La deuxième partie s'intéresse à l'étude des données hydropluviométriques, à l'analyse du régime pluvial et fluvial, à l'étude des relations entre les pluies et les débits et à l'étude des bilans hydrologiques de ce bassin versant.

PREMIERE PARTIE :

**PRESENTATION GENERALE ET
GEOMORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT**

I-GENERALITES SUR L'OUED N'FIS

Le bassin versant de l'oued N'fis est un sous bassin de l'oued Tensift. Il draine une superficie de 1686 km² au niveau du barrage de LALLA TAKERKOUST dont le bassin versant coïncide pratiquement avec la limite aval des zones de ruissellement actif. Son cours d'eau mesure 152 km jusqu'à la confluence avec l'oued Tensift. Son réseau hydrographique mesure 3322 km environ au barrage, soit une densité de drainage de 1,97 km/km².

II- Localisation géographique du bassin versant du N'fis

Le bassin versant du N'fis se localise au flanc Nord du massif central à l'ouest de Toubkal entre 30,5 et 31,2° Nord et entre les longitudes 7, 55° et 8, 40° W.

En ce qui concerne la séparation entre le Haouz occidental et le Haouz central, la position de Jean Dresch est nette, il inclut le N'fis dans le Haouz occidental.

Le N'fis constitue l'un des principaux oueds atlasiques qui débouchent dans la plaine du Haouz et qui sont responsables de son comblement, il appartient au système hydrographique du Tensift qui n'est que sa colature naturelle et l'évacuateur vers l'océan du surplus des apports ayant ruisselé ou percolé à travers la plaine (fig-1).

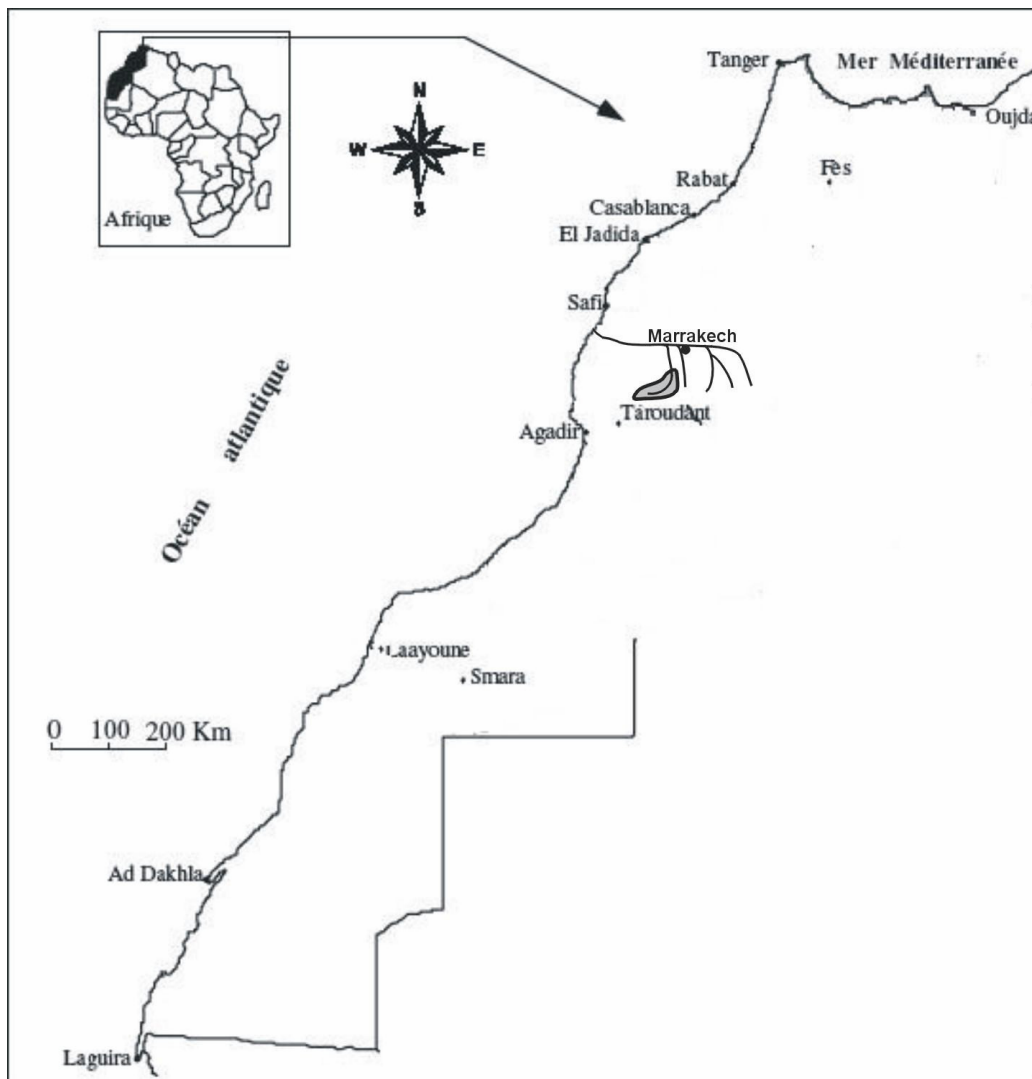


Fig. 1 : Situation géographique du bassin du N'Fis

III- Aperçu géomorphologique

La morphologie du bassin versant du N'fis est diversifiée par l'effet de multiples mouvements tectoniques et de l'érosion affectant cette structure géologique, on y observe :

- Des sommets et des crêtes
- Des plateaux disséqués en collines
- Des dépressions
- Des vallées étroites et profondes de plus de 500 m pouvant atteindre jusqu'à 1500 à 2000 m
- Des niveaux de terrasses alluviales étagées ou emboîtées qui peuvent atteindre une centaine de mètres de hauteur de talus.
- Un contraste brutal entre les plans horizontaux des hauts lieux et les versants.

IV- Facteurs climatiques et couvert végétal

La dénivellation et les expositions différentes des versants contribuent à l'hétérogénéité climatique du bassin versant.

Par sa position géographique, le bassin versant du N'fis se trouve dans l'aire subtropicale couverte souvent par l'anticyclone des Açores, alors qu'au sud-est se trouve l'anticyclone saharien. L'irrégularité spatio-temporelle des éléments du climat de ce bassin versant s'explique par la position géographique citée ci-dessus ainsi que par un relief montagneux. D'après les documents de l'Agence de Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT) :

- Les précipitations nivales sont exceptionnelles sur le piémont.
- Les précipitations tant nivales que pluviales connaissent une grande variabilité inter-annuelle.
- Les températures sont plus fraîches en amont qu'en aval. La seule station équipée d'appareils de mesure climatologique est celle du barrage de Lalla Takerkoust.
 - La température moyenne est de 17,7°C
 - La température maximale absolue est 45°C
 - La température minimale absolue est -7,4°C
 - Les mois les plus froids sont Décembre et Janvier
- L'évaporation : la hauteur évaporée annuellement à Takerkoust est de 1758 mm (Bac Colorado).

- La vitesse du vent : est de 1,2 m/s à Takerkoust

Ces conditions climatiques et morphologiques entraînent l'hétérogénéité biogéographique de ce bassin versant. Le couvert végétal est constitué par :

- Des espaces steppiques et/ou herbacés s'adaptant à la chaleur du piémont (Jujubier, Doum...etc.)
- Des espaces steppiques et herbacés s'adaptant au froid des hautes altitudes (Buplèvres épineuxetc.)
- Des espaces à végétation ligneuse et arborée.

V- Géologie

Le bassin versant du N'fis se compose essentiellement d'un socle primaire affecté par l'orogénèse hercynienne dont la couverture est d'âge secondaire et tertiaire. Il se divise en deux parties :

a- Domaine de la chaîne atlasique

Il se compose de chaînes intercontinentales longues et étroites à formations mésozoïques qui reposent sur le socle hercynien ou précambrien.

b-Plaine du Haouz

La plaine du Haouz est un bassin de sédimentation dans lequel se sont accumulées au Néogène et au quaternaire des formations détritiques continentales et fluviatiles issues du démantèlement de la chaîne atlasique.

c- Lithologie du Bassin

La morphologie du bassin versant du N'Fis est due non seulement aux événements tectoniques mais aussi à la nature lithologique hétérogène (fig-3).

Il se compose de 3 formations :

- Une formation calcaire perméable du crétacé, Eocène, jurassique à primaire
- Une formation marno-gréseuse souvent salifère du crétacé, jurassique permo-trias souvent très peu perméable
- Une formation métamorphique ou éruptive du primaire du primaire et du précambrien imperméable.

On note que dans l'ensemble, les faciès imperméables restent prédominants dans la partie active du bassin.

Quant à la plaine du Haouz, elle est constituée en surface d'alluvions du quaternaire récents et sur sa frange sud du quaternaire moyen et ancien. Ce sont des formations perméables qui ne permettent pas de ruissellement conséquent.

SOL PERMEABLE	SOL SEMI-PERMEABLE	SOL IMPERMEABLE
20 %	9 %	71 %

Source : ABHT

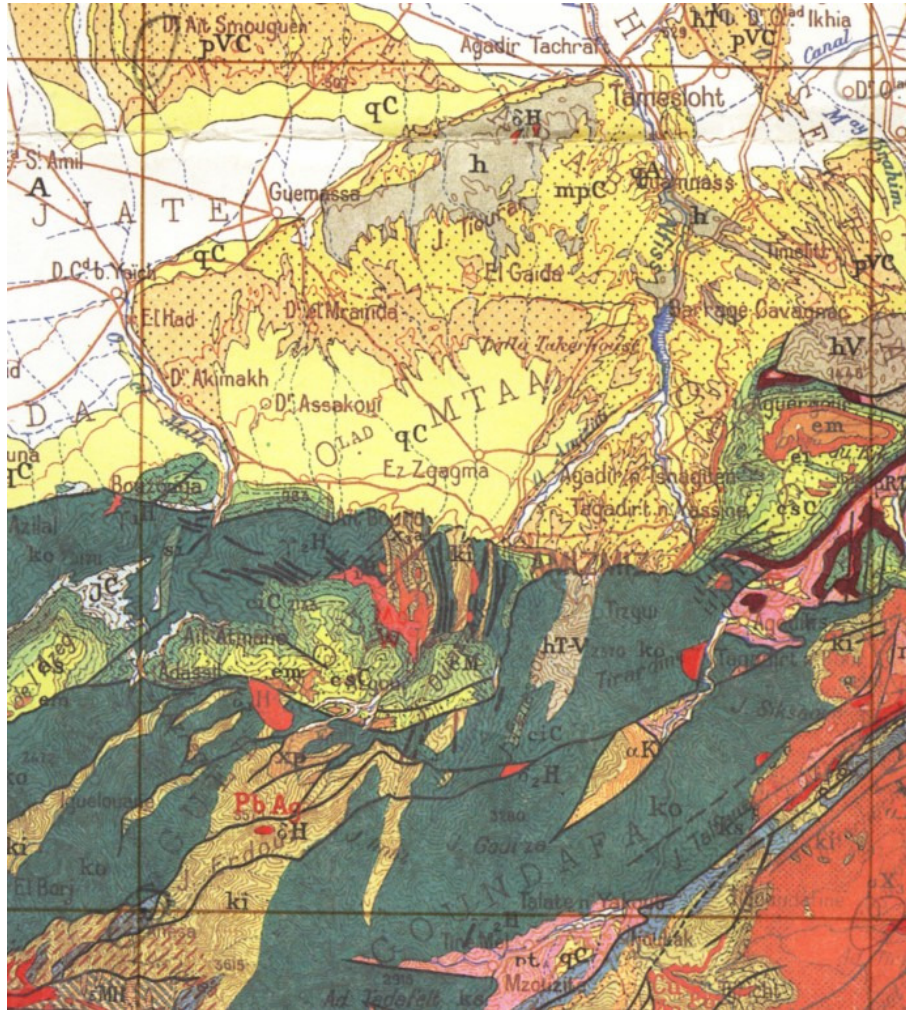


Fig. 2 : Formations géologiques du bassin versant du N'Fis

VI- ASPECT MORPHOLOGIQUE

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

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 :

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

P: périmètre du bassin en km mesuré au curvimètre

A : surface du bassin en km² mesurée au planimètre.

Les résultats des mesures pour le bassin versant du N'Fis à la station d'Imin El Hammam sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Superficie du bassin	1282 km ²
Périmètre du bassin	214 km
Indice de compacité	1,67

Tableau-1 : calcul de l'indice de compacité

D'après ces résultats, il ressort que le bassin versant du N'fis est à peu près 7 fois plus long que large. Cette forme allongée va permettre dans le B.V du N'fis un léger amortissement des écoulements qui ne seront pas simultanés comme dans le cas d'un bassin terrassé (Ourika avec $K_c = 1,3$ par exemple).

b-Le relief et la 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 (voir carte hypsométrique, fig-4).

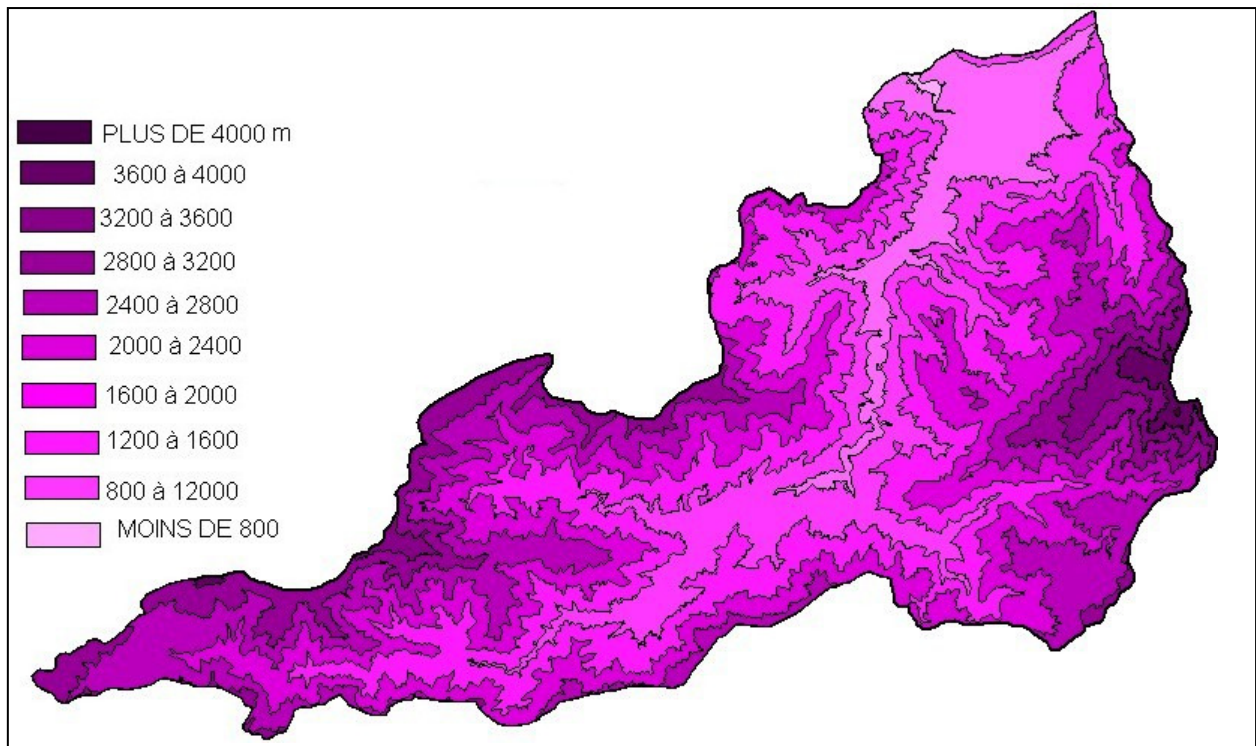


Fig. 4 : carte hypsométrique du bassin du N'Fis

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 :

Tranches d'altitudes (m)	Surfaces élémentaires (km ²)	Fractions de surface (%)
770 -800	1,4	0,1
800-1200	89,6	7
1200-1600	193	15
1600-2000	305	23,82
2000-2400	322,6	25,2
2400-2800	223,4	17,44
2800-3200	107,6	8,4
3200-3600	27,7	2,16
3600-4000	9,8	0,76
4000-4088	0,2	0,01
Total	1280,3	99,89

Tableau-2 : Répartition hypsométrique de BV du N'fis à Imin El Hammam

La courbe hypsométrique peut être établie à partir du tableau ci-dessus en portant les tranches d'altitude (en m) en ordonnées et les fractions de surface (%) en abscisses ; 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 **77,79 %** alors que le piémont occupe **22,1 %**

-l'altitude moyenne : 2074m

-l'altitude médiane : 2080m

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

On remarque que les altitudes de ce bassin versant sont relativement élevées, ce qui va favoriser des précipitations importantes dans ce milieu semi-aride.

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 (fig-5).

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

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

Avec :

Kc: indice de compacité

A : surface du bassin

Pour le B.V du N'Fis à Imin El Hammam : **L = 92,92 km** et **l = 13,77 km**

L et l confirme le résultat de l'indice de compacité c'est à dire que le bassin est 6 à 7 fois plus long que large et que les écoulements seront légèrement amortis.

d- La pente moyenne

La pente influence puissamment l'importance de l'écoulement. Lorsque la pente augmente, l'écoulement s'accélère vers le bas.

La pente moyenne est donnée par les moyennes pondérées des pentes de toutes les surfaces élémentaires :

$$P \text{ (pente moyenne)} = Dt/L$$

Avec L la longueur du rectangle et Dt la dénivellée totale
On trouve $P = 3,5\%$.

P est la pente moyenne de tout le bassin. Les versant montagneux auront des pentes fortes et les cours principaux une pente relativement douce.

e-Temps de concentration :

Concernant ce paramètre on tient compte des caractéristiques géométriques et morphologiques du bassin,

Surface du B.V	1282 Km ²
Longueur du rectangle équivalent	92.92
Altitude à l'exutoire	770m
Altitude moyenne du bassin	2074m
Temps de concentration	8 heures 30 min d'après l'ABHT

Tableau-3 : Caractéristiques physiques du bassin versant de N'Fis

Le calcul a donné une valeur de 8 heures 30 min qui correspond au temps maximal nécessaire au ruissellement en provenance du point le plus éloigné d'atteindre l'exutoire.

f-Organisation du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique a été conditionné par de pulsations orogéniques et la nature lithologique qui ont obligé l'eau à ruisseler au sein d'une succession de dépression et de ravins.

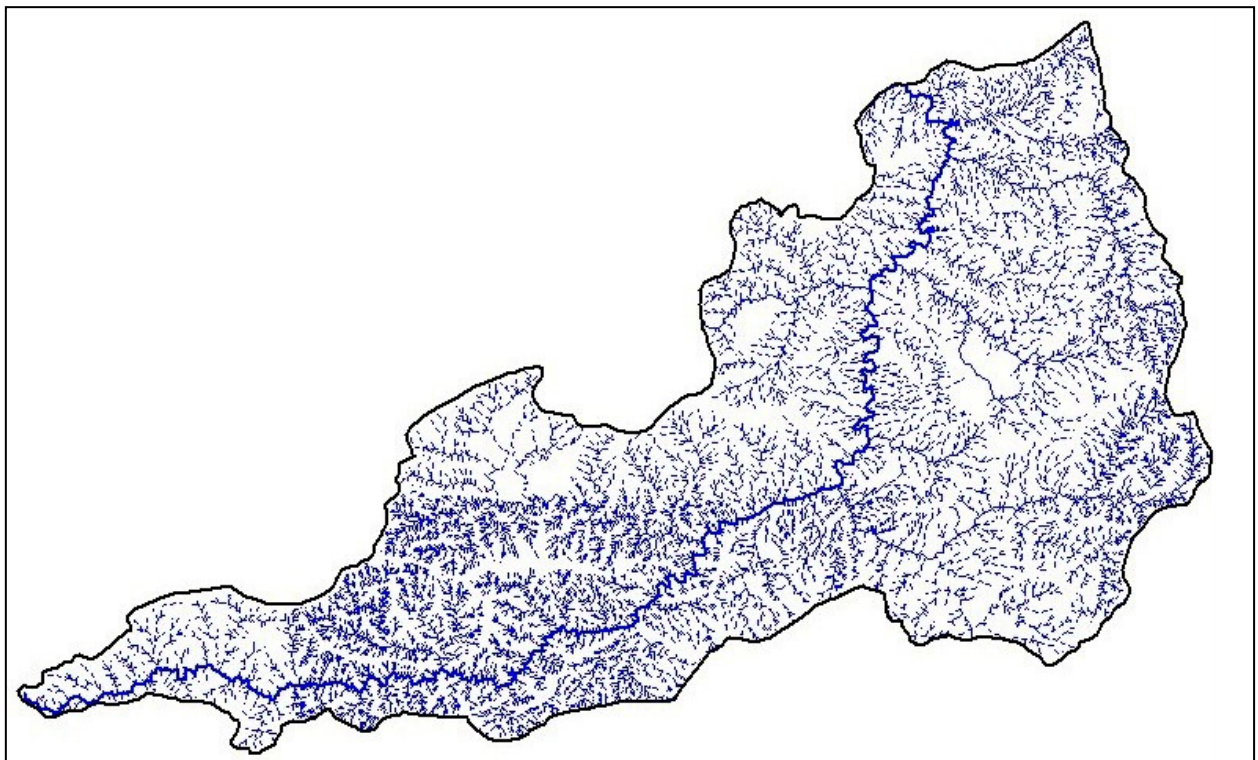


fig. 6 : réseau hydrographique du bassin versant du N'Fis

L'examen de ce réseau (carte hydrographique, fig-6) nous a permis de déterminer une forte densité de drainage de l'ordre de 1,97 km/km². Cette dernière, définie comme la moyenne du réseau par km², témoigne de la forme fortement arborescente et dendritique du réseau hydrographique du bassin du N'Fis. Ceci pourrait accentuer la brutalité des crues sur le cours principal, surtout en cas de pluies homogènes arrosant la quasi-totalité du bassin-versant.

De part et d'autre de la vallée principale, le N'fis reçoit de nombreux affluents, plus ou moins courts avec des formes d'écoulement différentes.

Les principaux affluents sont :

1-L'oued Amezmiz : draine un bassin de 105 km² à la station hydrologique Sidi Hssain, il rejoint le N'fis en aval de notre exutoire d'Imin El Hammam.

2-Assif Ougdemot : Affluent rive gauche, qui prend naissance aux environs d'Igdat à une altitude de 3616 m

3-Oued Ouirgane : Affluent rive droite, il prend naissance dans la région de Tazaghant à une altitude de 3650 m environ.

4-Assif Imigdal : Affluent rive droite, il prend naissance à une altitude de 3400 m environ.

5-Assif N'Augrandis : Affluent rive droite il prend naissance dans la région de Ouanoukrim à une altitude 3600 m environ.

DEUXIEME PARTIE

**ANALYSE HYDRO-PLUVIOMETRIQUE
ET BILANS HYDROLOGIQUES**

Chapitre I : Traitement des données hydro-pluviométriques

A-Présentation et critiques des données :

Les données hydro-pluviométriques correspondent à des mesures qui ont été prise au niveau d'un certain nombre de stations pluviométriques du bassin de N'fis, au cours d'une série d'années variable selon les stations.

De l'amont du bassin de N'Fis jusqu'au barrage de Lalla takerkoust, il existe treize stations pluviométriques connues par leurs coordonnées Lambert :

Station	N° IRE	Pluie moyenne En mm (35/85)	Nb Ans Observés	X	Y	Z
Zte Lalla Takerkoust ONE	8968	275	48	239,400	80,200	636
Amezmiz EF	1009	485	36	228,80	71,600	1120
Tizigui EF	8664	473	16	234,10	469,50	1410
Tizi Ghouran EF	8468	507	13	226,000	70,000	1150
Ouirgane EF	5913	453	44	244,65	67,730	950
Talat N'os EF	7608	325	30	239,55	458,550	1240
Ijoukak EF	4328	352	35	236,90	446,70	1150
Idni EF	4284	626	13	223,25	437,90	1670
Aghbar EF	1232	624	34	216,20	434,75	1750
Tizin'Test SMN	8512	532	9	215,60	433,70	2100
N'Kouris DRHT	4299	230	23	238,90	453,800	1100
Imin El Hammam DRHT	4432	393	28	241,40	72,40	770
Barrage Takerkoust	8969	264	34	239,50	88,200	630

Pour notre étude de ce bassin versant fermé à Imin El Hammam, nous nous sommes servies des données de 7 stations dont la répartition spatiale est illustrée par la carte représentée sur la fig-7 :

Le fonctionnement de l'équipement du bassin versant du N'fis est discontinu, il présente des lacunes parfois si nombreuses que pour certaines il y'a absence totale de renseignements. Signalons que les postes de mesure sont mal repartis dans un milieu montagneux où les accidents du relief multiplient les contrastes d'altitude et d'exposition et aussi le manque de postes en altitude.

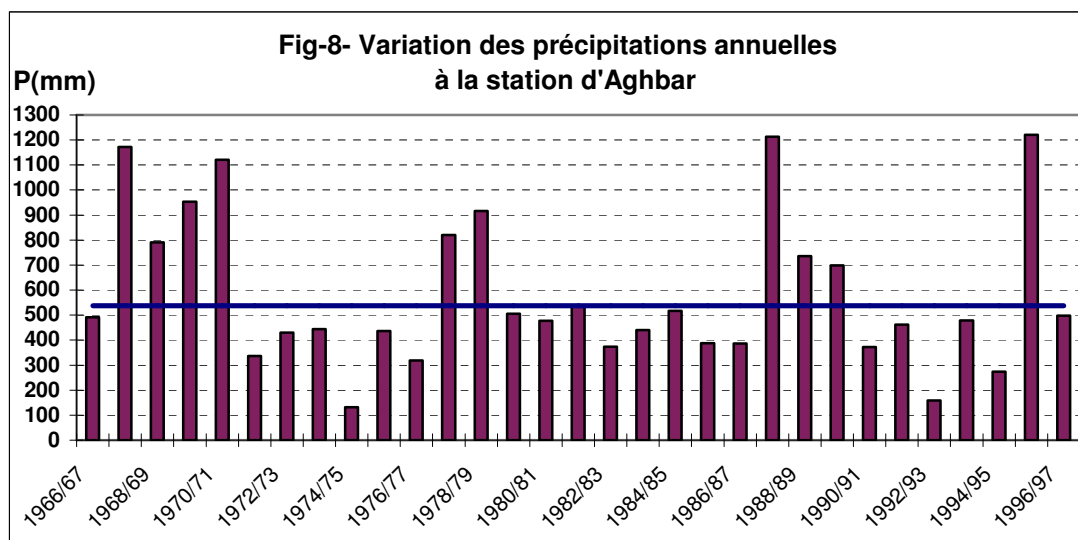
B-Précipitations annuelles

La quantité d'eau reçue par le bassin est un élément de base important pour caractériser son climat. Les précipitations moyennes annuelles sont obtenues à partir de la somme des moyennes mensuelles.

Le tableau -4 donne la répartition de la pluviométrie moyenne annuelle pour une période variable selon les postes d'observations.

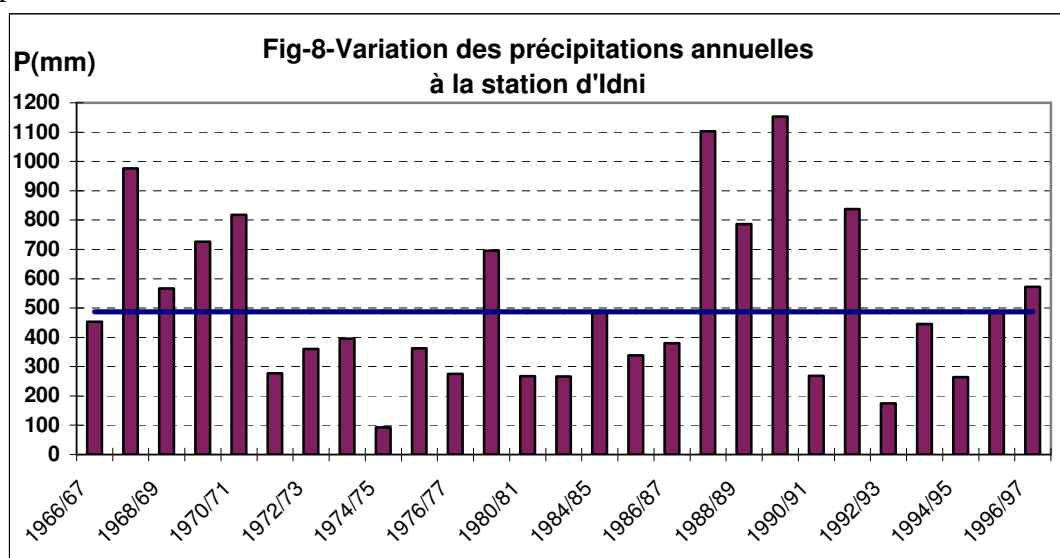
1-Station d'Aghbar

Les précipitations varient de façon irrégulière d'une année à l'autre avec une moyenne inter-annuelle de **537,4 mm**. Pour une série d'années dépouillée de 1966/67 à 1996/97, le maximum pluvieux de 1221,3 mm a été enregistré en 95-96 et le minimum de 131,9 mm en 74/75 (Fig-8). C'est une station relativement pluvieuse à cause de son altitude importante (1750 mm). Elle montre le caractère humide et pluvieux en haute montagne, ce qui va engendrer des écoulements plus importants.



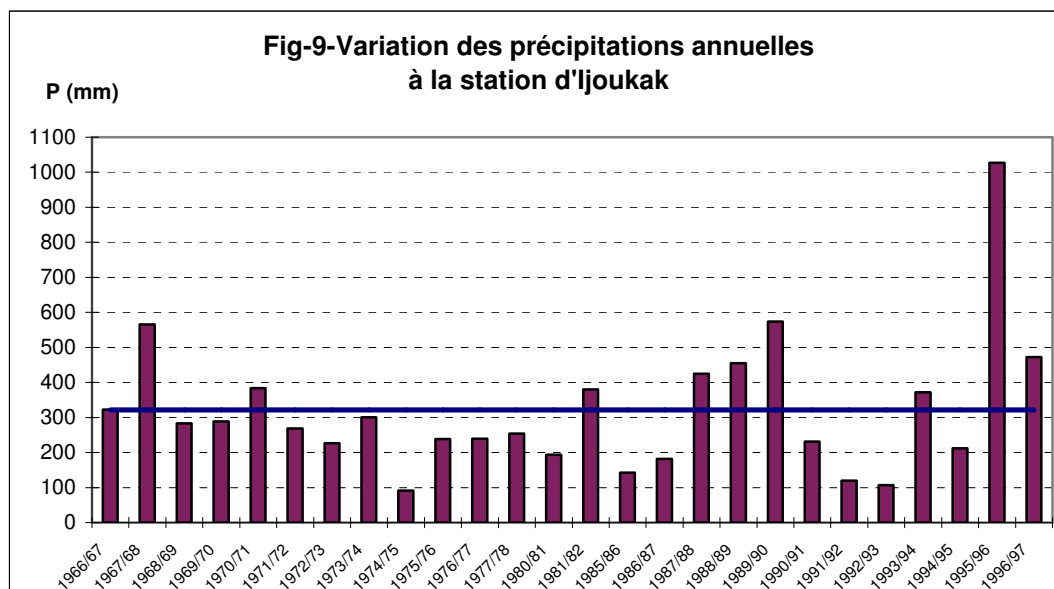
2-Station d'Idni

Pour une période d'observation allant de 1966/67 à 1996/97, cette station présente des lacunes de données pluviométriques pour les années suivantes : 78/79, 79/80, 82/83, et 83/84. La moyenne inter-annuelle est de **487,1 mm** avec un maximum de 1152,6 mm en 89/90 et un minimum de 92,8 mm en 74/75 (Fig-8). C'est également une station amont (1670m) comme Aghbar, son altitude lui a permis de jouir d'une pluviosité élevée pour un milieu semi-aride.



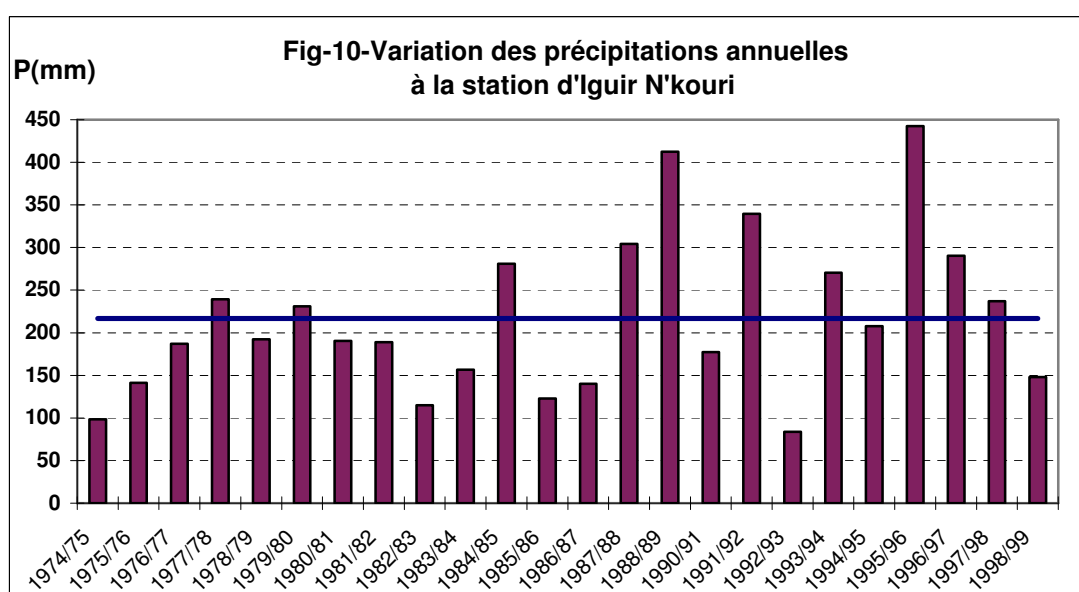
3-Station d'IjoukaK

Avec la même période d'observation que les deux stations précédentes et des lacunes pour les années 78/79,79/80,82/83,83/84, et 84/85.La station d'Ijoukak présente un module annuel de **321,4 mm**, un maximum de 1026,9 mm en 95/96 et un minimum de 91,4 en 74/75(Fig-9). Les pluies ne sont pas très élevée et ne dépassent qu'exceptionnellement 500mm parce que c'est une station aval.



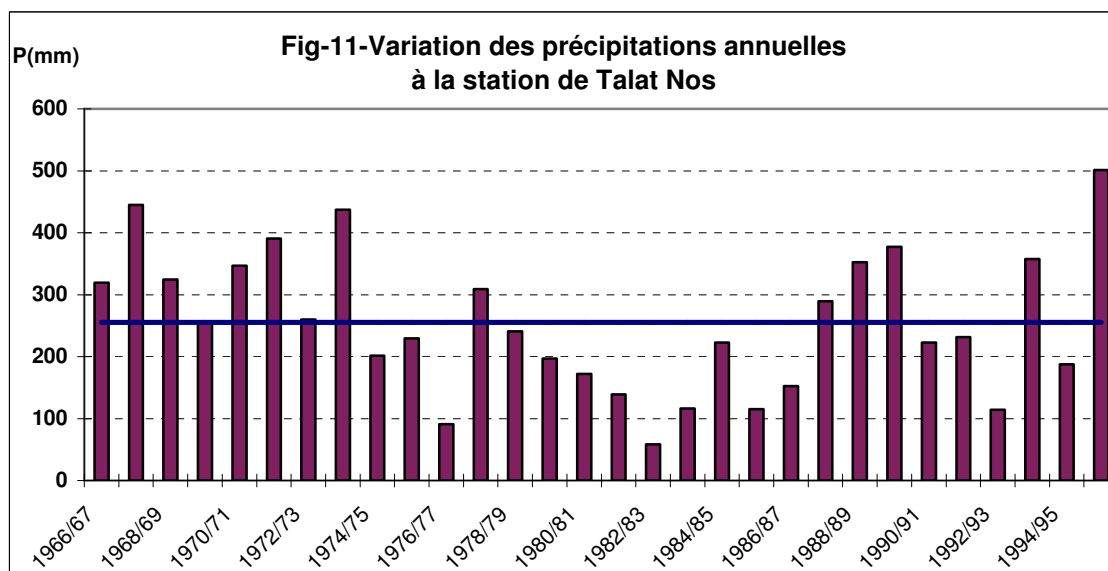
4-Station d'Iguir N'kouris

La pluviométrie annuelle varie de 83,7 mm en 92/93 à 442,5 mm en 95/96 pour une série d'observation de 74/75 à 98/99 avec une lacune en 89/90.la moyenne inter-annuelle est **216,6 mm**. Signalons que la pluviométrie est faible malgré l'altitude assez élevée de la station(1100m), cela est dû au fait que cette station est abritée par un relief montagneux car installée au fond de la vallée pour servir également de station hydrologique(Fig-10).



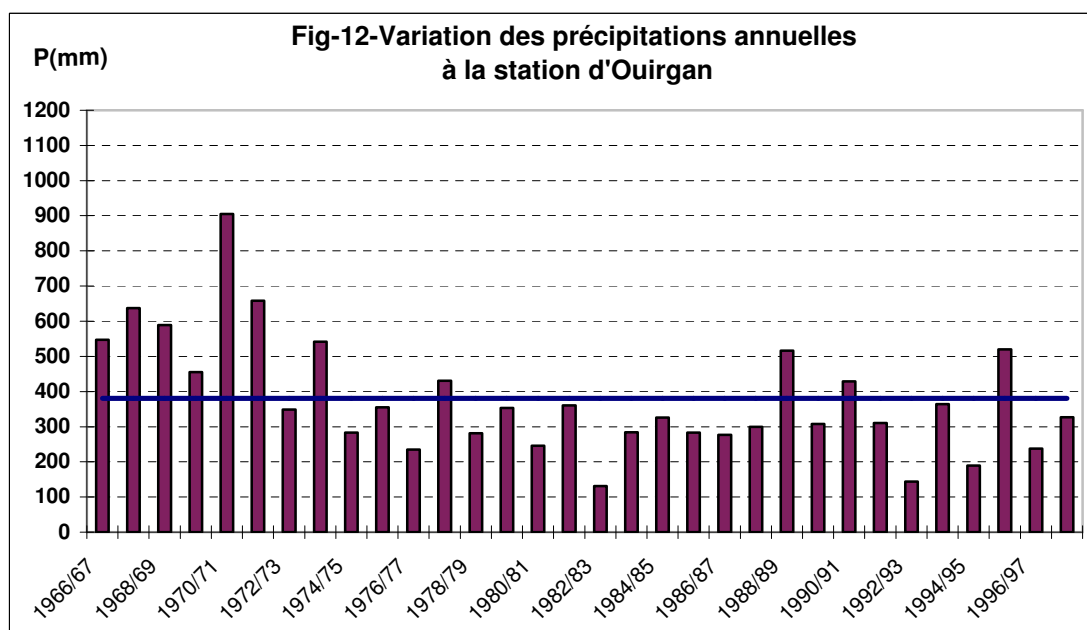
5-Station de Talat N'os

La moyenne arithmétique des pluies annuelles de 1966/67 à 1995/96 est de l'ordre de **255,3 mm**. Les hauteurs de précipitations varient d'un maximum de 501,4 mm en 95/96 à un minimum de 58,5 mm en 82/83(Fig-11). Comme à la station d'Ijoukak, les pluies ne sont très élevées et ne dépassent que très rarement 500 mm à cause de sa situation aval.



6-Station d'Ouirgane

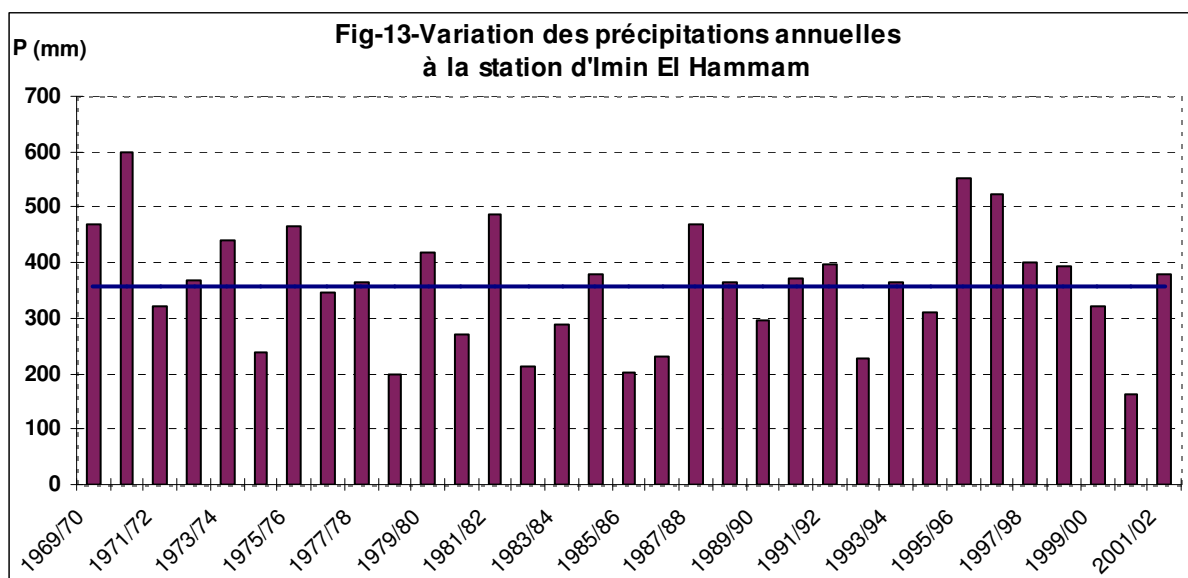
Malgré son altitude moins élevée, cette station présente une pluviométrie assez importante qui s'étale sur période allant de 1966/67 à 1998/99 avec un maximum de 904,9 mm en 70/71 et un minimum de 130,9mm en 82/83 et dont le module annuel est **380,5 mm (Fig-12)**. Sa pluviométrie montre qu'elle ne souffre pas d'un effet d'abri, donc elle reçoit des précipitations conformes à son altitude (950m)



7-Station d'Imin El Hammam

C'est l'exutoire du bassin versant et donc le point le plus bas (770m).

La période d'observation s'étale de 1969/70 à 2001/02 avec un module pluviométrique annuel de **358,6 mm**. Le maximum pluvieux est de 598,9 mm en 70/71 et un minimum de 161,6 mm en 2000/01 (Fig-13).

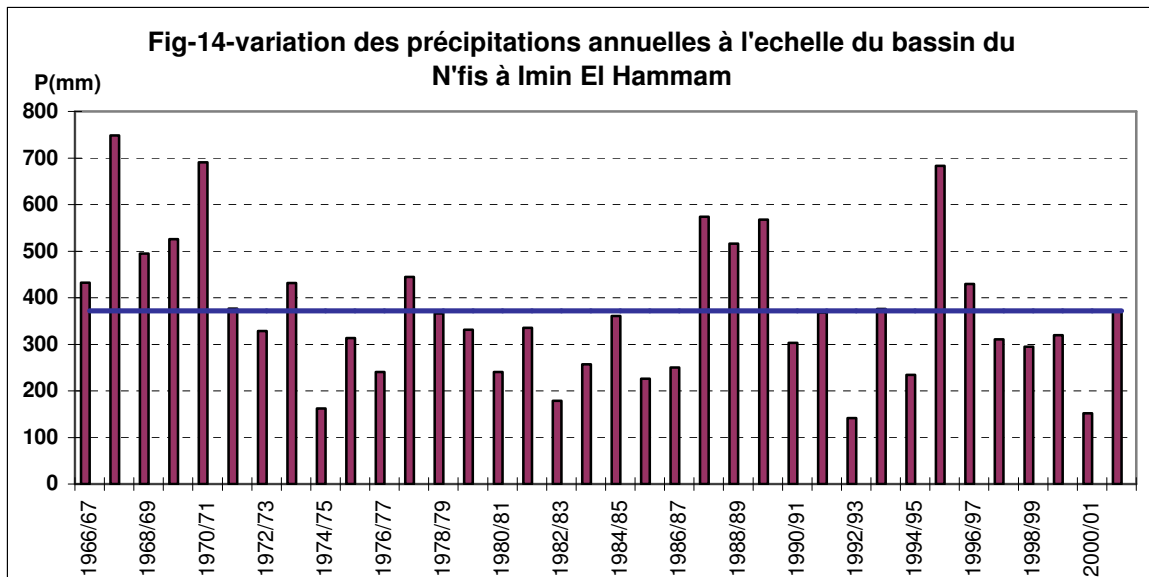


Les modules annuels des précipitations de chaque station sont représentés dans le tableau-5 : on remarque qu'on a des hauteurs de pluies variables selon les stations, Aghbar étant la plus pluvieuse et Iguir N'kouris la moins pluvieuse. L'examen de ces données montre le rôle capital de l'orographie dans la répartition des précipitations, en effet les hauts reliefs font face aux masses d'air humide. Ces dernières s'y condensent et y déversent leurs contenus hydriques.

Station	Aghbar	Idni	Ijoukak	I.N'kouris	Talat N'os	Ouirgane	I.Hammam
Module annuel	537,4 mm	487,1 mm	321,4 mm	216,6 mm	255,3 mm	380,5 mm	358,6 mm

Tableau-5 : Modules annuels des stations étudiées

D'après le tableau 4 (annexe) donnant la pluviométrie de toutes ces stations selon leurs périodes d'observations, on a pu établir la fig-14 qui illustre la variation des précipitations annuelles à l'échelle du bassin du N'Fis à Imin El Hammam en y intégrant les données des sept stations :



Comme dans toutes les autres stations, cette fig-14 montre une variabilité importante et une répartition irrégulière des précipitations d'une année à l'autre avec un module annuel de 373,2 mm. Pour ce bassin versant, les années 1967/68, 1969/70, 1970/71, 1987/88, 1988/89, 1989/90 et 1995/96 sont les plus humides, les précipitations dépassent en moyenne 500 mm et les années 1974/75, 1982/83, 1992/93 et 2000/01 sont les plus sèches avec des précipitations inférieures à 180 mm.

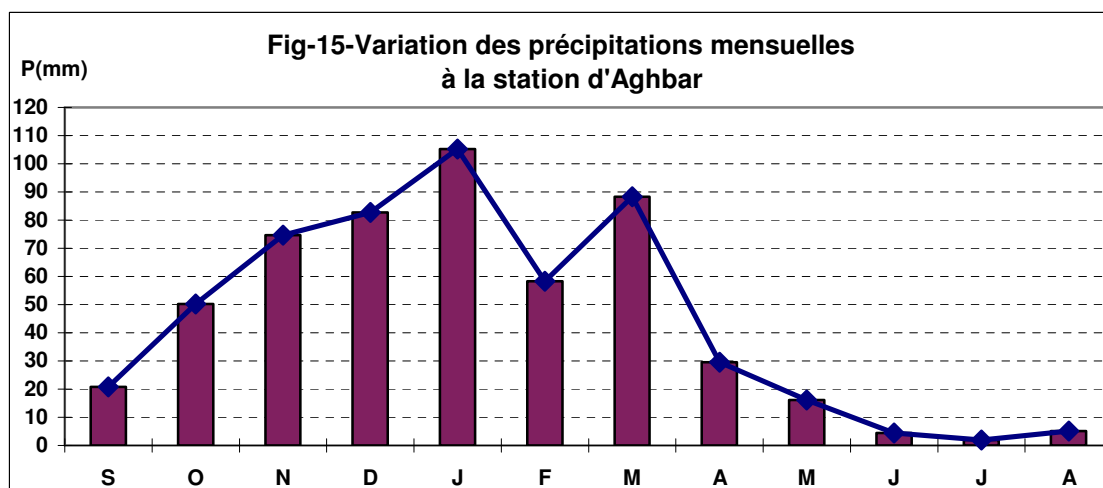
La moyenne de 373 mm permettra au bassin versant de disposer de ressources en eau importantes si les pluies sont bien réparties dans l'année et leur intensité n'est pas excessive.

C- Précipitations mensuelles :

Les moyennes mensuelles inter-annuelles ont été obtenues à partir des moyennes mensuelles annuelles selon la période d'observation pour chaque station.

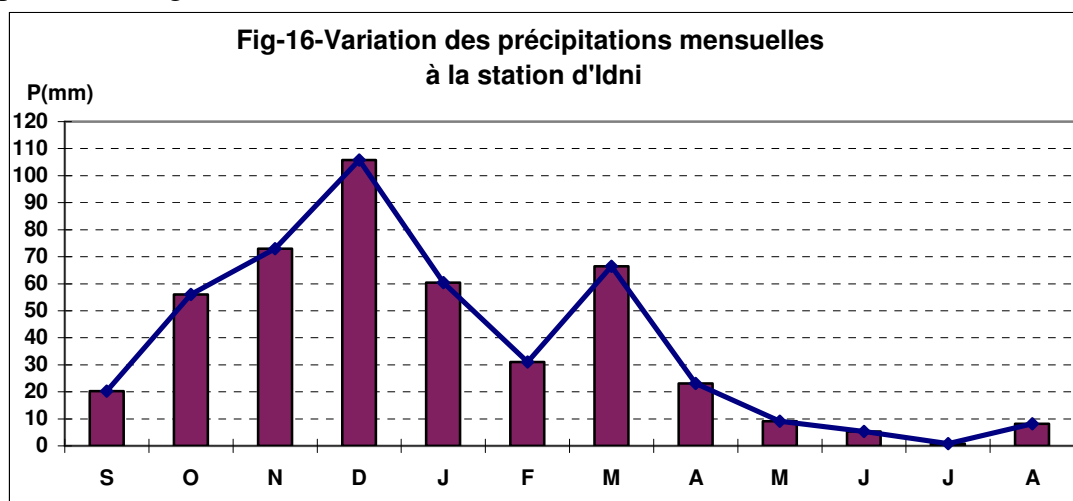
1-Station d'Aghbar

La fig-15 montre une variation irrégulière de précipitations mensuelles avec une moyenne de 44,8 mm. Les mois d'octobre à mars dépassent la moyenne avec deux pics en janvier et mars, les mois de juin, juillet et août étant les plus secs ne dépassant pas 5 mm. Il s'agit donc d'un régime pluvial à deux pics l'un d'automne-hiver et l'autre du printemps-été.



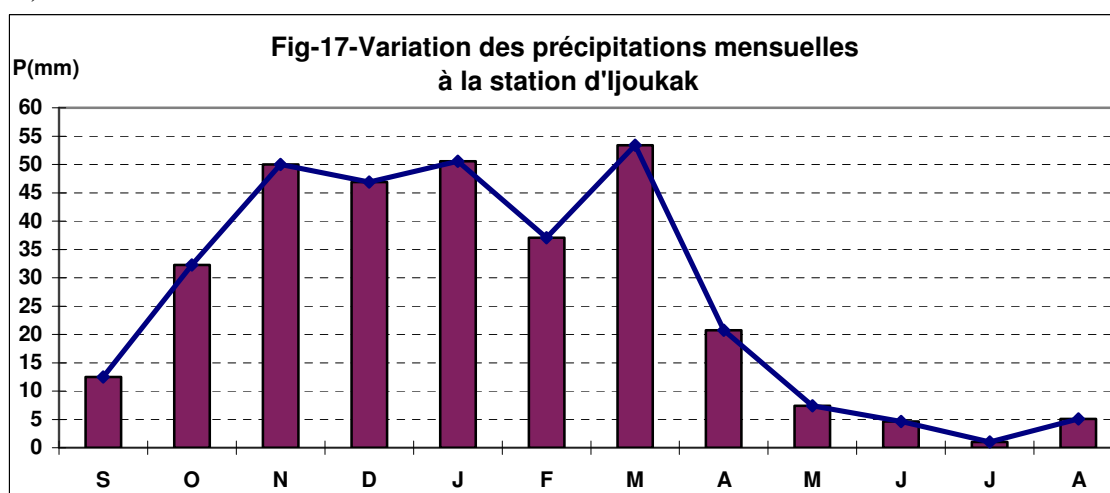
2-Station d'Idni

Les mois d'octobre à mars sauf février dépassent la moyenne de 40,6 mm avec deux pics en décembre (105,8 mm) et mars (66,5 mm). Le mois juillet est le plus sec n'atteignant pas 1 mm (Fig16).



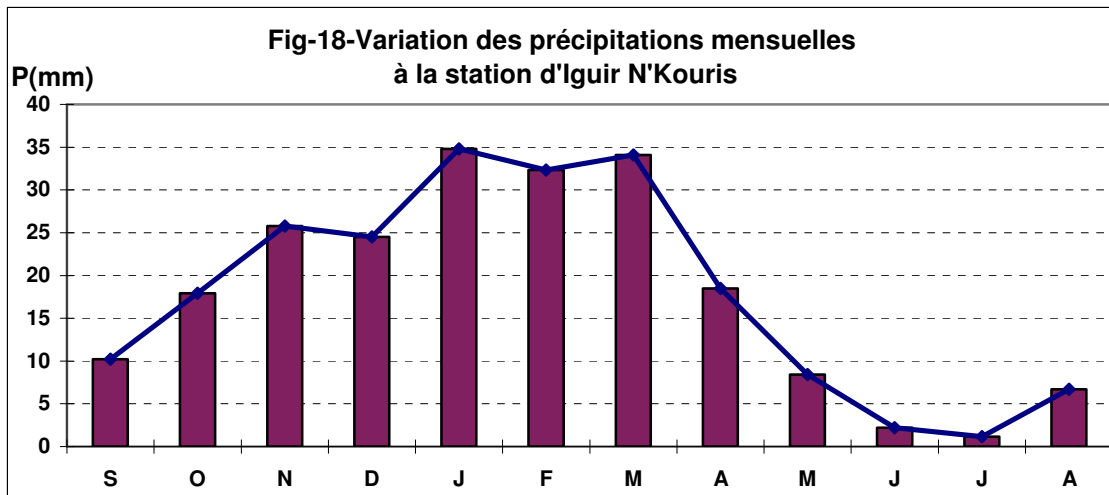
3 -Station d'Ijoukak

Elle présente deux pics dont celui du printemps est le mieux individualisé. La moyenne mensuelle de cette station est de 26,8 mm. Le mois le plus sec étant juillet avec 1mm (Fig-17).



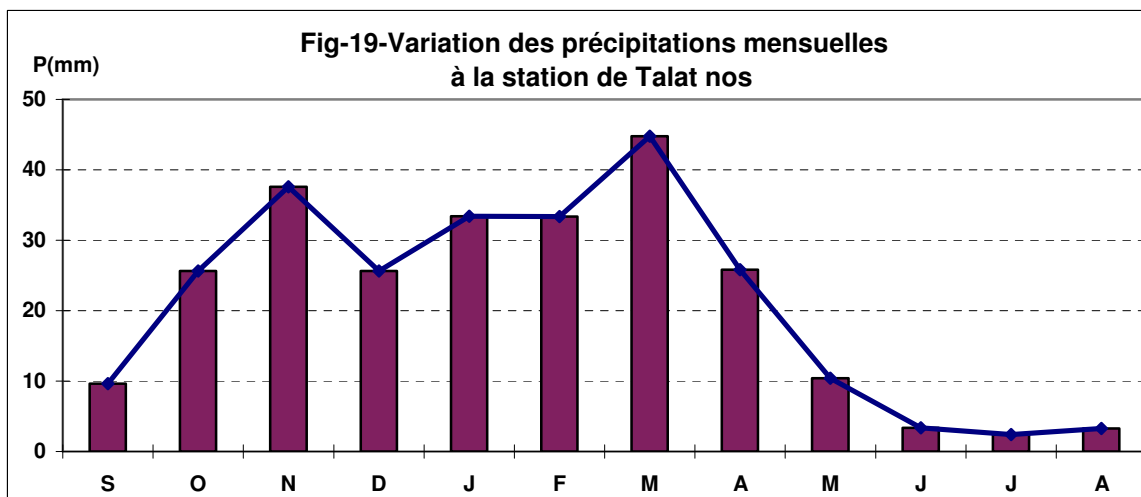
4-Station d'Iguir N'kouris

Sur l'ensemble de cette station, les précipitations moyennes mensuelles ne dépassent pas 40 mm avec une moyenne de 18 mm. Ces précipitations montre une variation relativement régulière. Le mois de juillet étant le plus sec (Fig-18).



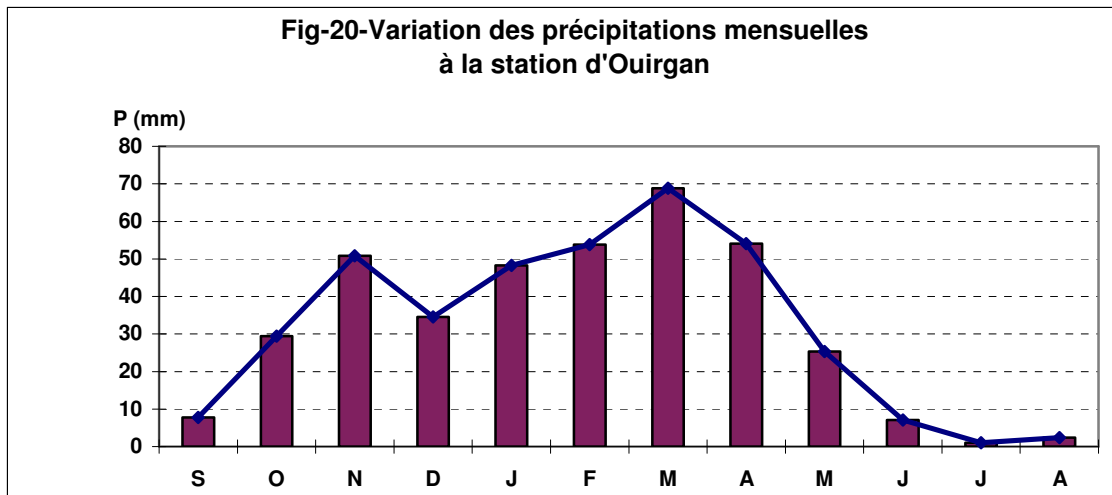
5-Station de Talat N'os

La variation de la pluviométrie mensuelle présente deux pics bien individualisés en novembre et mars avec une moyenne de 21,2 mm. Les mois d'octobre à avril dépassent cette moyenne, le mois de juillet est le plus sec (Fig-19).



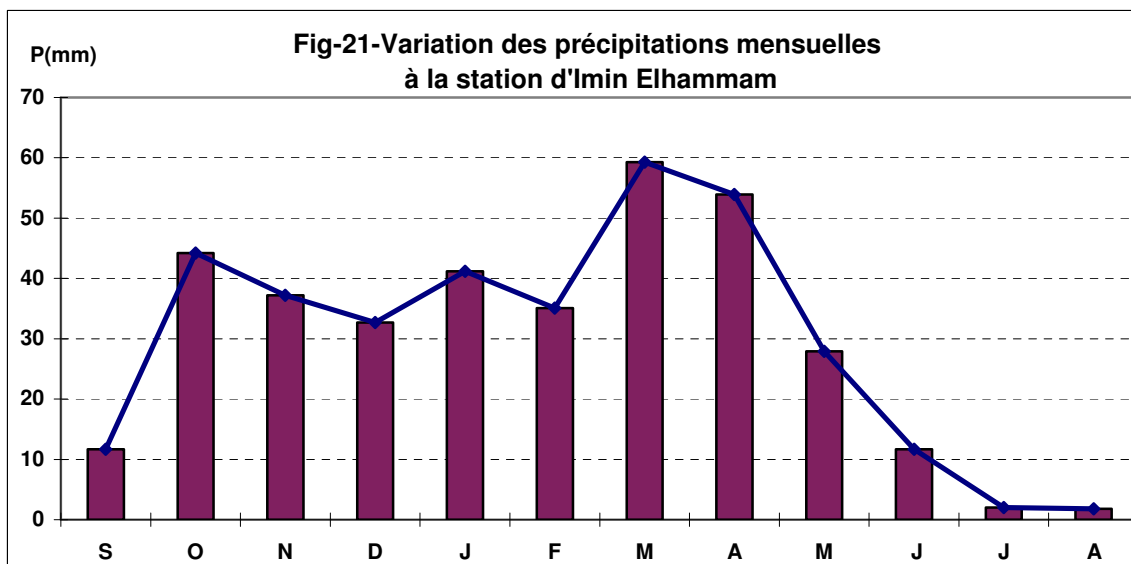
6- Station d'Ouirgane

Les mois de novembre à avril dépassent la moyenne qui est de 31,7 mm. La fig-20 présente deux pics en novembre et mars. Comme dans la majorité des stations le mois de juillet est plus sec !



7- Station d'Imin El Hammam

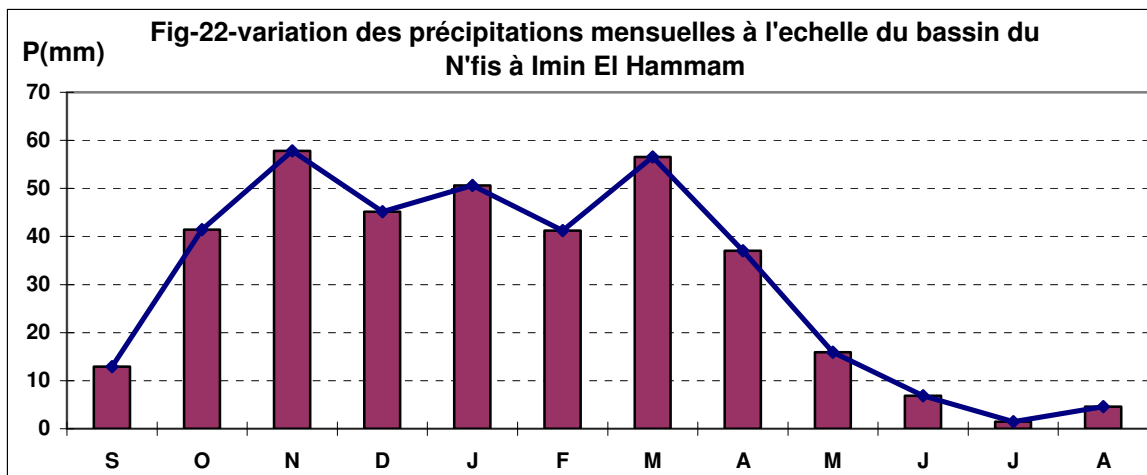
Pour cette station, la moyenne mensuelle est de 29,8 mm. On a deux pics en octobre, janvier et mars, les mois de juillet et août étant les moins pluvieux avec des hauteurs atteignant à peine 2 mm (Fig-21).



A l'échelle du bassin versant du N'Fis à Imin El Hammam, la variation des précipitations mensuelles est illustrée par la fig-22. cette dernière montre des histogrammes qui reflètent la variation relativement régulière de la pluviométrie durant toute l'année. On peut ainsi distinguer deux périodes :

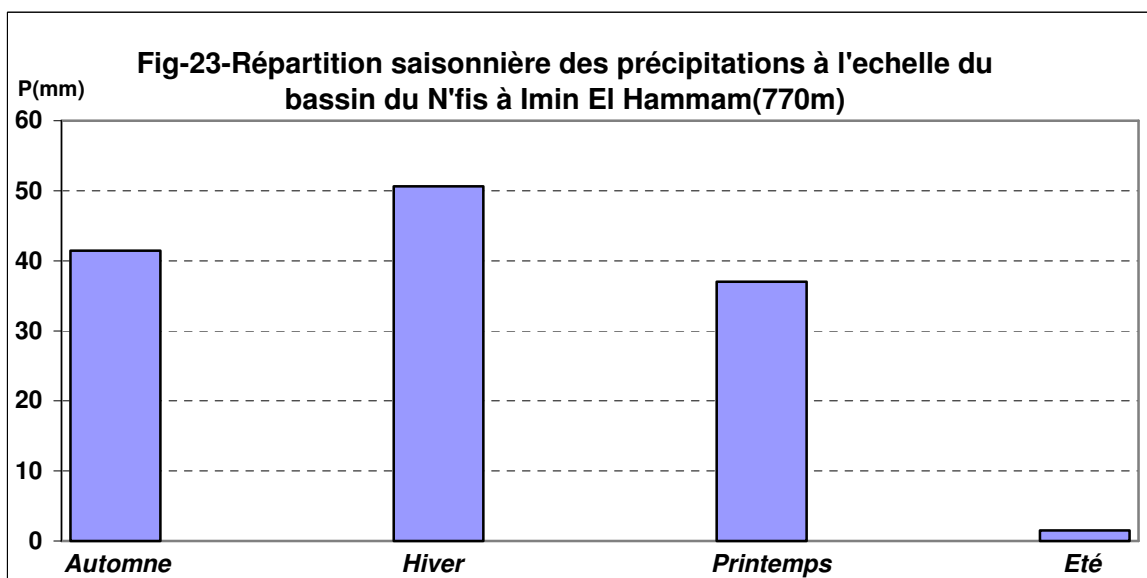
- Une période humide et pluvieuse qui s'étend depuis le mois d'octobre jusqu'au mois d'avril avec des hauteurs dépassant 37mm.
- Une période sèche depuis le mois de mai jusqu'en septembre avec des hauteurs inférieures à 16 mm.

Les écoulements devraient donc être importants en automne-hiver sauf si les pluies sont en partie nivales et si les formations géologiques du bassin retiennent l'eau en hiver pour la restituer en été.

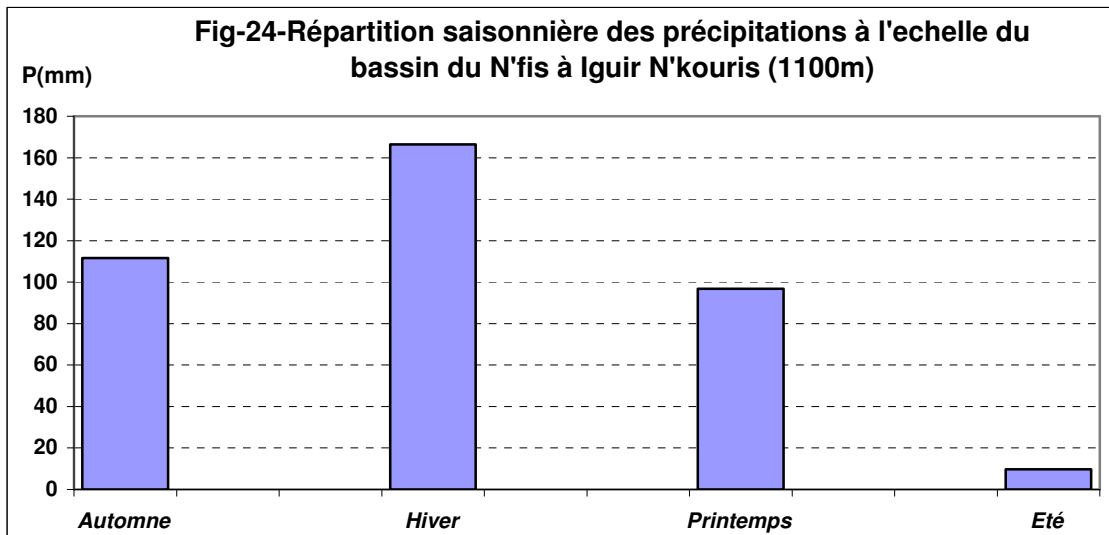


D- Précipitations saisonnières :

D'après la fig-23, on remarque que le bassin du N'fis est arrosé durant toutes 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 50,6 mm puis diminuent du printemps à l'été avec un minimum de 1,5 mm.



Dans le cas où on limiterait le bassin versant du N'Fis à Iguir N'kouris, on note le même comportement de la pluviométrie saisonnière mais avec des hauteurs de pluie très importante pouvant dépasser 150 mm en hiver (fig-24). Ce qui est logique car l'altitude moyenne du bassin versant à Iguir N'kouris est plus importante.



Chapitre II : Le régime fluvial de l'oued N'Fis :

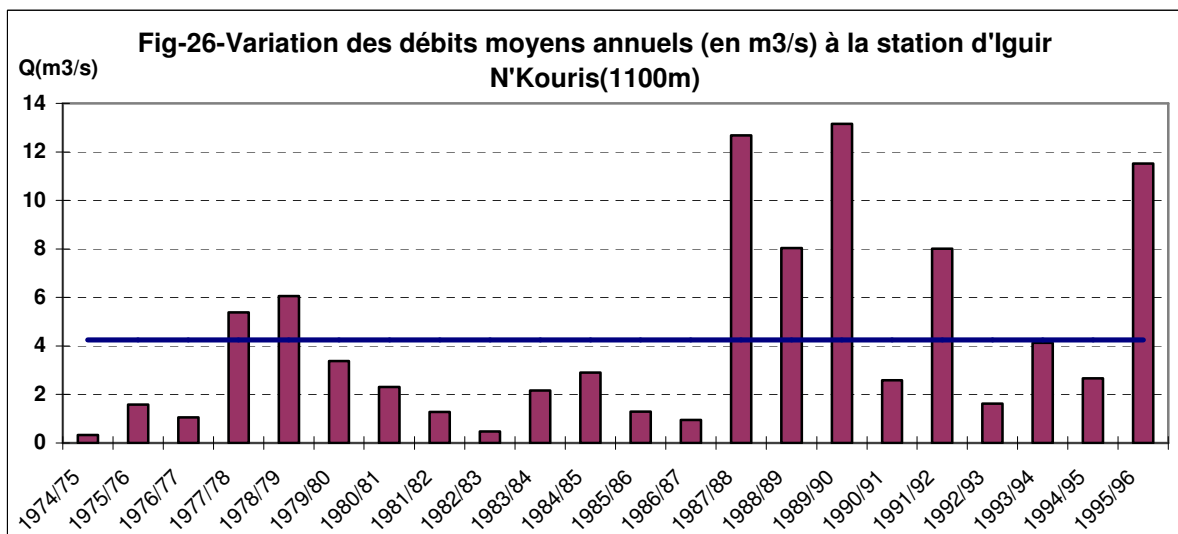
Le traitement, l'analyse et l'interprétation des données représentant les débits s'effectuent à deux endroits le long du N'Fis, ce qui implique donc deux bassins versants emboîtés l'un dans l'autre (fig-25) : Le N'Fis à Iguir N'kouris (839 km²) et le N'fis à Imin El Hammam (1282) km².

A- Les débits moyens annuels

L'apport annuel aux deux stations du N'Fis est mis en relief pendant deux périodes d'observation différentes.

1-Station d'Iguir N'kouris

Pour une période d'observation allant de 74/75 à 95/96 soit 22 ans, la valeur moyenne annuelle de l'écoulement est de l'ordre de 4,25 m³/s. D'après la fig-26, on note que les années 87/88, 89/90, et 95/96 dépassent largement cette moyenne alors que 8 années sur 22 ont connu des écoulements inférieurs à 2 m³/s avec un minimum de 0,32 enregistré en 74/75.

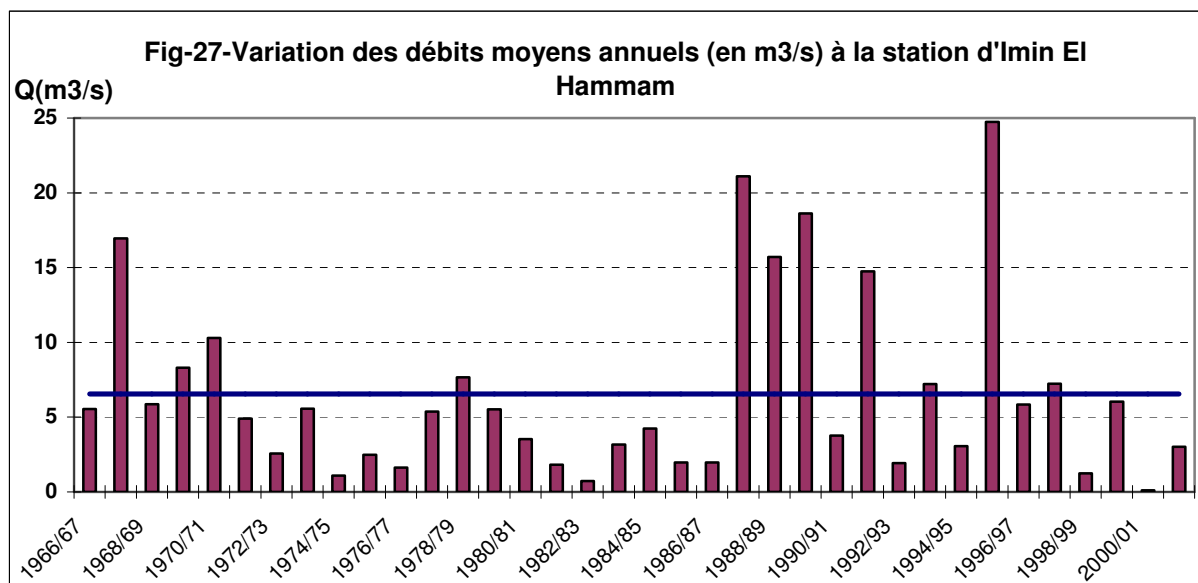


L'irrégularité inter-annuelle est très grande, c'est un caractère des oueds en milieu semi-aride où la pluviosité est aléatoire et ne suit pas un cycle régulier.

2-Station d'Imin El Hammam

La période d'observation est ici de 36 ans allant de 1966/67 à 2000/01 avec une moyenne annuelle de 6,4 m³/s. Les débits sont nettement plus importants qu'à Iguir N'kouris en raison des apports des affluents entre les deux stations.

La variation des débits moyens annuels présente un maximum de 24,75 m³/s enregistré en 95/96 et un minimum de 0,1 m³/s en 2000/01. Notons que 9 années sur 36 ne dépassent pas 2 m³/s (Fig-27).



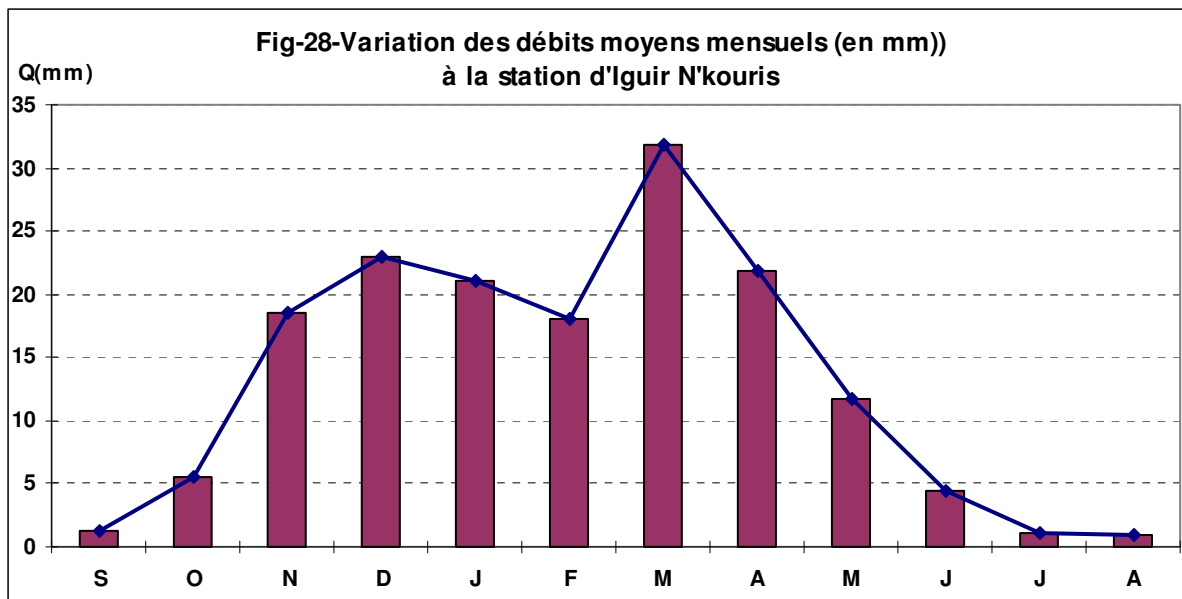
L'irrégularité est également importante et on note des années hydrologiques exceptionnelles qui émergent au milieu de nombreuses années sèches.

B- Les débits moyens mensuels

Les débits moyens mensuels inter-annuels ont été obtenus à partir des moyennes mensuelles annuelles enregistrées selon la série d'observation pour chaque station.

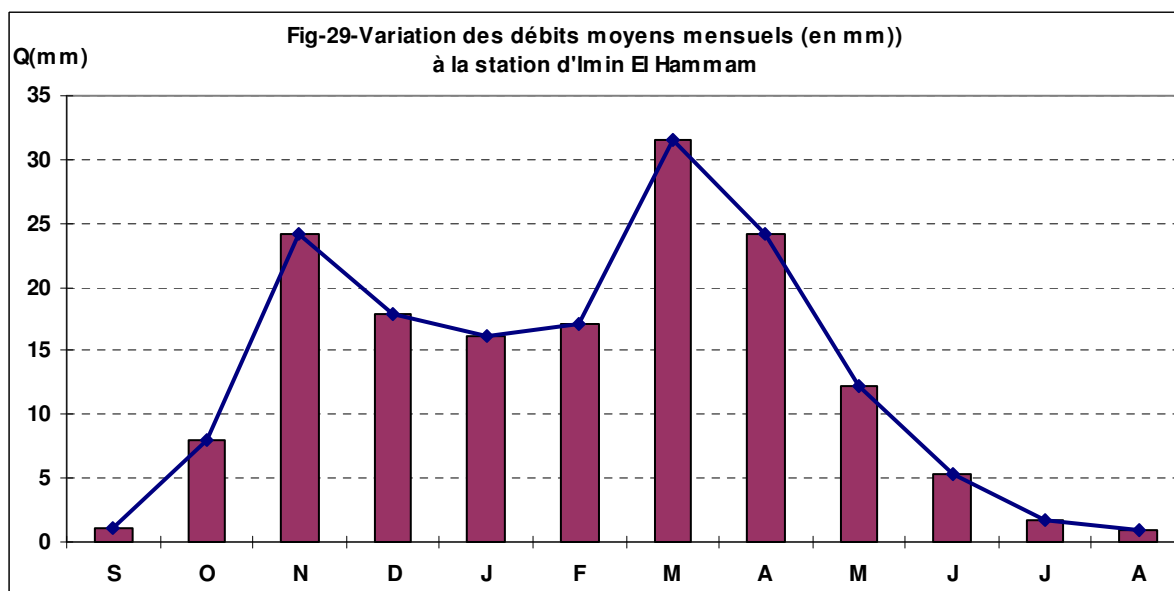
1- Station d'Iguir N'kouris

La fig-28 montre que le débit augmente de septembre à décembre et atteint 7,18m³/s, puis il diminue légèrement en janvier et février, ensuite il augmente rapidement pour atteindre sa valeur maximale de 9,98 m³/s en mars ; enfin il diminue jusqu'à atteindre sa valeur minimale de 0,30 m³/s en août. Donc on a un régime fluvial à deux pics : l'un en automne-hiver et l'autre au printemps.



2-Station d'Imin El Hammam

On a le même comportement pour la variation des débits moyens mensuels qu'à la station d'I.N'kouris, sauf le premier pic de débit est atteint en novembre à Imin El Hammam et les débits sont aussi plus importants (fig-29). Sur cette dernière, le débit marque une pose de décembre à février, due à la rétention nivale. C'est ce qui explique le léger décalage entre la variation des précipitations (fig-22) et des débits mensuels (fig-29) à l'échelle du bassin du N'fis à Imin EL Hammam.

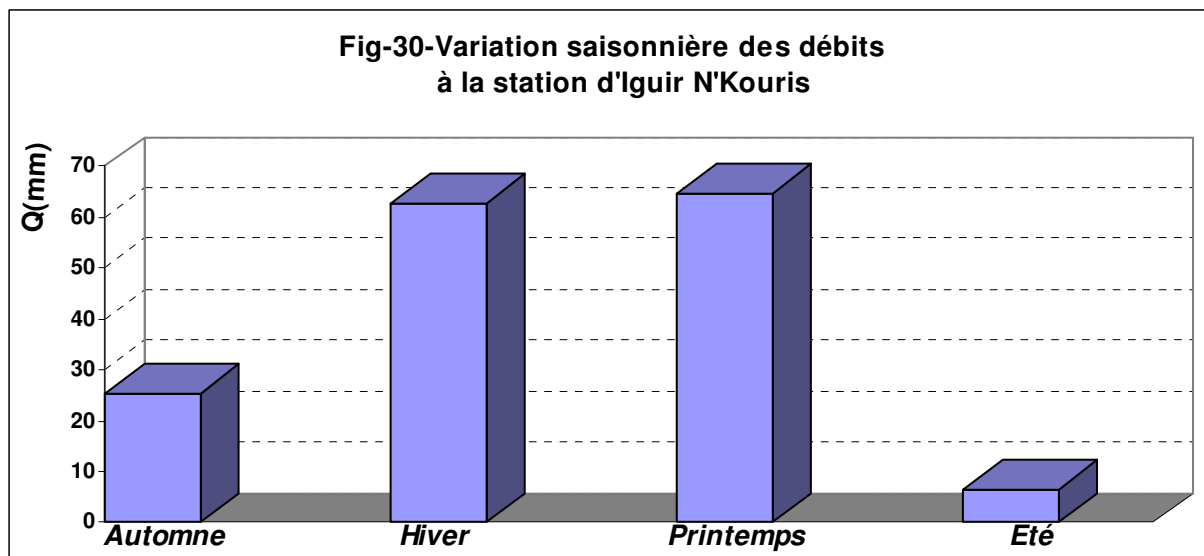


C- Les débits moyens saisonniers

A partir des valeurs moyennes mensuelles inter-annuelles, on a calculé les écoulements moyens saisonniers exprimés en mm pour chaque station.

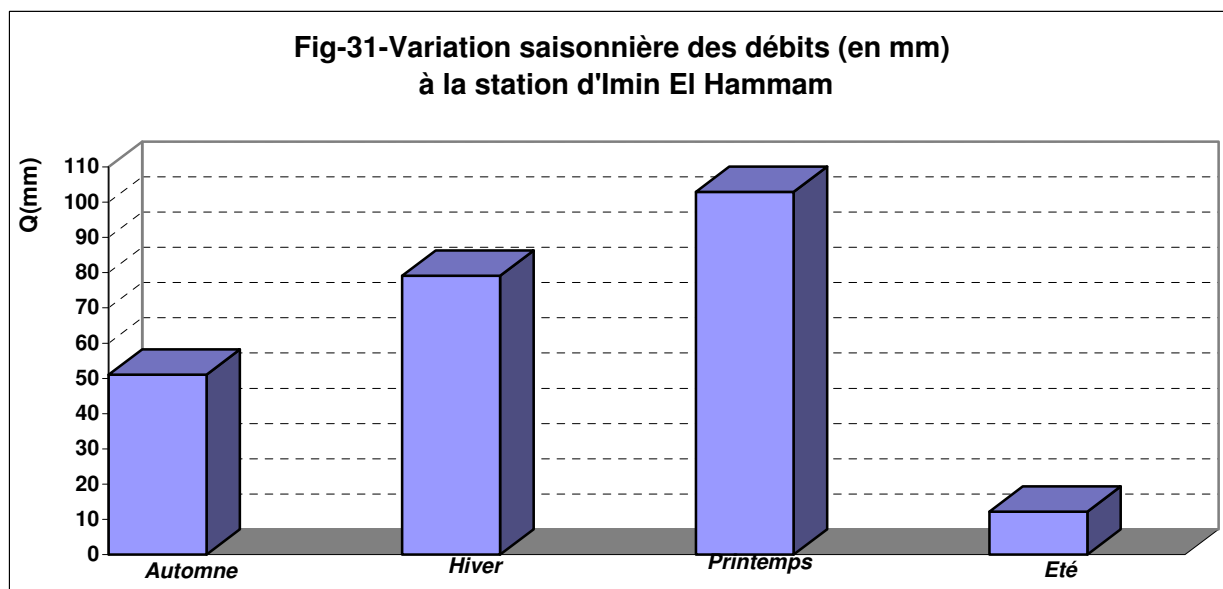
1-Station d'Iguir N'kouris

La lame d'eau écoulee augmente de l'automne au printemps où elle atteint une valeur maximale de 64,7 mm puis diminue rapidement jusqu'en été avec un minimum de 6,6 mm (fig-30).



2-station d'Imin El Hammam

On a le même comportement des débits saisonniers qu'à Iguir N'kouris mais avec des écoulements plus importants. Le maximum enregistré au printemps est de 102,9 mm et le minimum de 12,1 mm en été (fig-31).



Pour les deux stations d'Imin El Hammam et d'Iguir N'kouris, la saison pluvieuse est représentée par l'hiver (fig-23 et 24) alors que c'est le printemps qui a connu les plus grands écoulements suivis par l'hiver puis l'automne .

D'une manière générale, les débits du N'fis 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 N'fis au printemps.

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

Chapitre III : Relations pluie-débit :

A-Corrélation entre précipitations et débits :

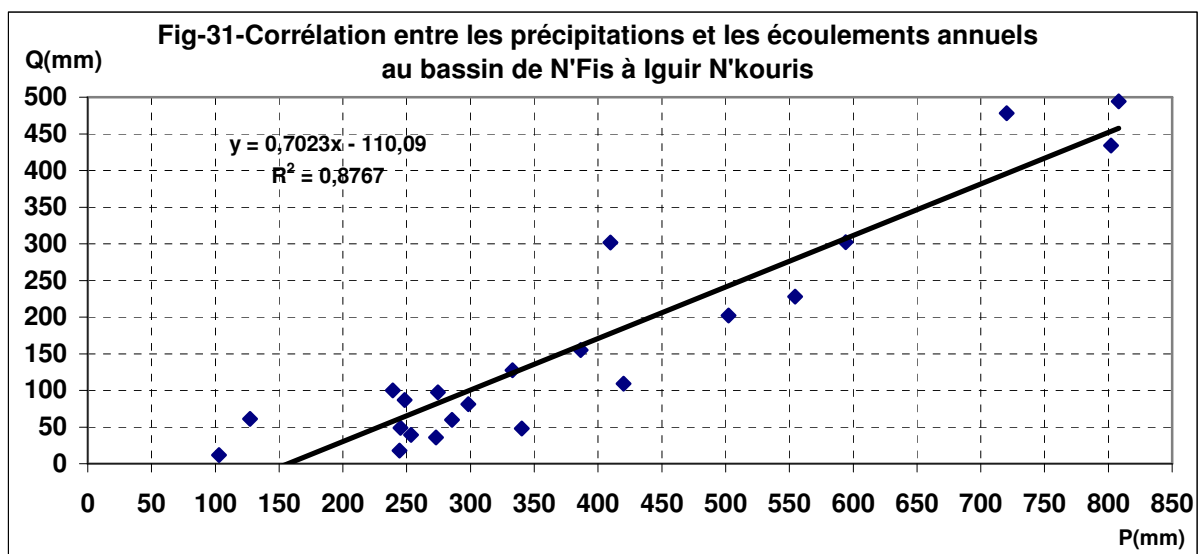
Le bassin versant fonctionne comme un collecteur chargé de recueillir toutes les pluies et les transformer en écoulement mais les précipitations, une fois au sol ne se transforment pas toutes en écoulement : une partie s'évapore selon les conditions climatiques du bassin et une partie s'infiltré selon le comportement physique du substratum.

La corrélation entre les précipitations et les débits a pour but de mettre en évidence la part des pluies, des écoulements et des pertes dans le bilan, et les inter-relations entre ces différents paramètres. Ceci, afin de mieux comprendre les mécanismes et de comparer les différents sous bassins versants. Pour cela, une étude des interactions entre les pluies et les débits à des pas de temps annuels et mensuels, s'avère nécessaire pour confirmer les hypothèses sur l'intervention de l'évaporation, l'évapotranspiration et l'infiltration sur les débits que l'on trouve à l'exutoire.

1-Corrélation entre les précipitations et les écoulements annuels :

1-1 Au niveau du sous bassin d'Iguir N'kouris

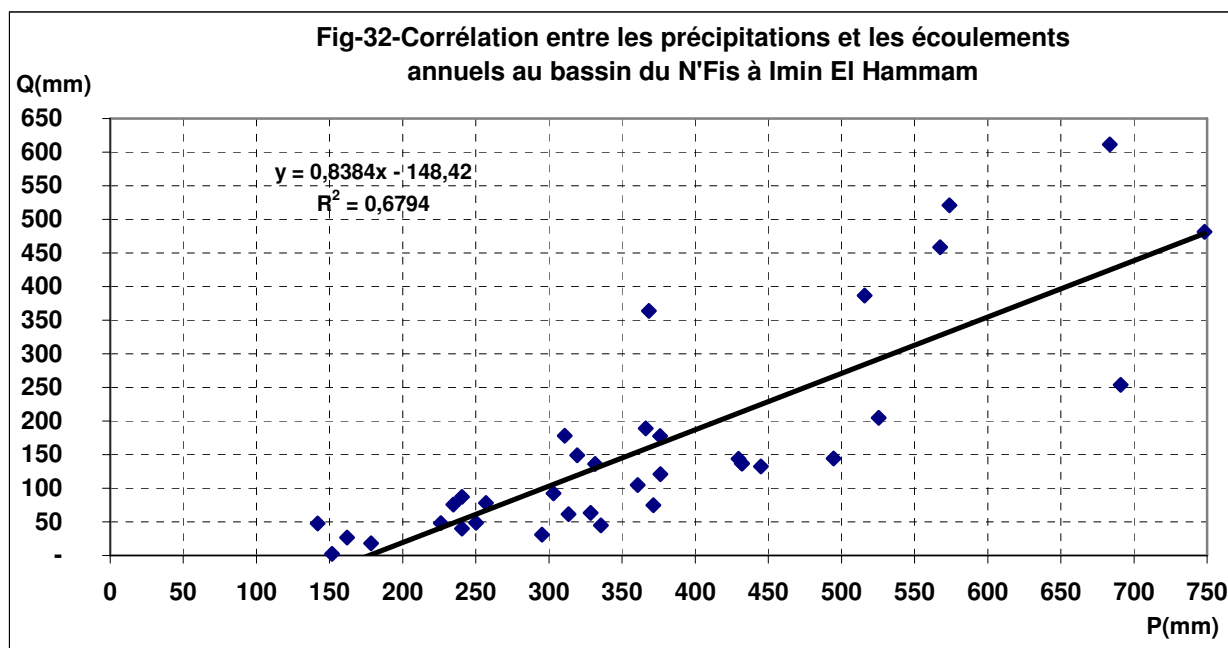
Pour cette corrélation, nous avons tenu compte des débits à Iguir N'kouris et des précipitations moyennes annuelles des 4 stations (Iguir N'kouris, Ijoukak, Idni et Aghbar) qui constituent ce sous bassin sur une période de 22 ans (1974/75-1995/96).



La fig-31 montre la variation de la lame d'eau écoulee en fonction des précipitations avec un coefficient de détermination élevé de 0,93. Les précipitations et les débits sont donc étroitement liés. En effet, ce qui est retenu en automne et hiver, ressort au printemps et en été, ce qui donne des années hydrologiques relativement indépendantes.

1-2 Au niveau du bassin d'Imin El Hammam

Ici (Fig-32), la corrélation porte sur une période de 36 ans (1966/67-2000/01) entre les débits à Imin El Hammam et les précipitations moyennes annuelles à l'échelle de tout le bassin du N'Fis en prenant en considération les précipitations des 7 stations qui couvrent ce bassin (I.Hammam, Ouirgane, Talat N'os, I.N'kouris, Ijoukak, Idni et Aghbar).

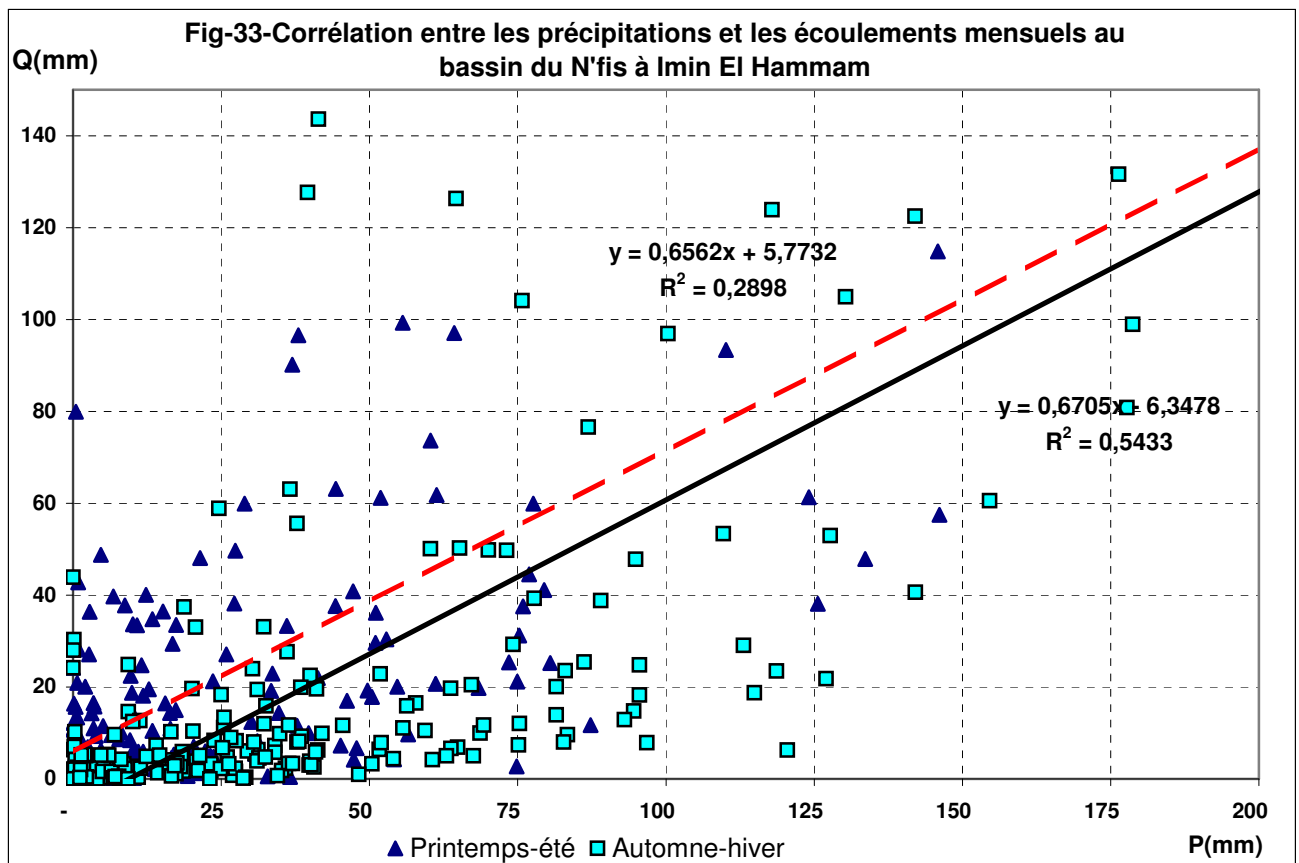


Comme à Iguir N'kouris le coefficient de corrélation est élevé ($R = 0,82$) donc une même conclusion s'impose : les pluies et les débits sont étroitement liés. Les années de forte pluviosité ont des écoulements élevés et les années de faible pluviosité ont généralement des débits faibles.

2- Corrélation entre les précipitations et les écoulements mensuels

2-1 Au niveau du bassin à Imin El Hammam

A l'échelle mensuelle, on a deux familles de corrélation entre les débits et les précipitations (fig-33) :

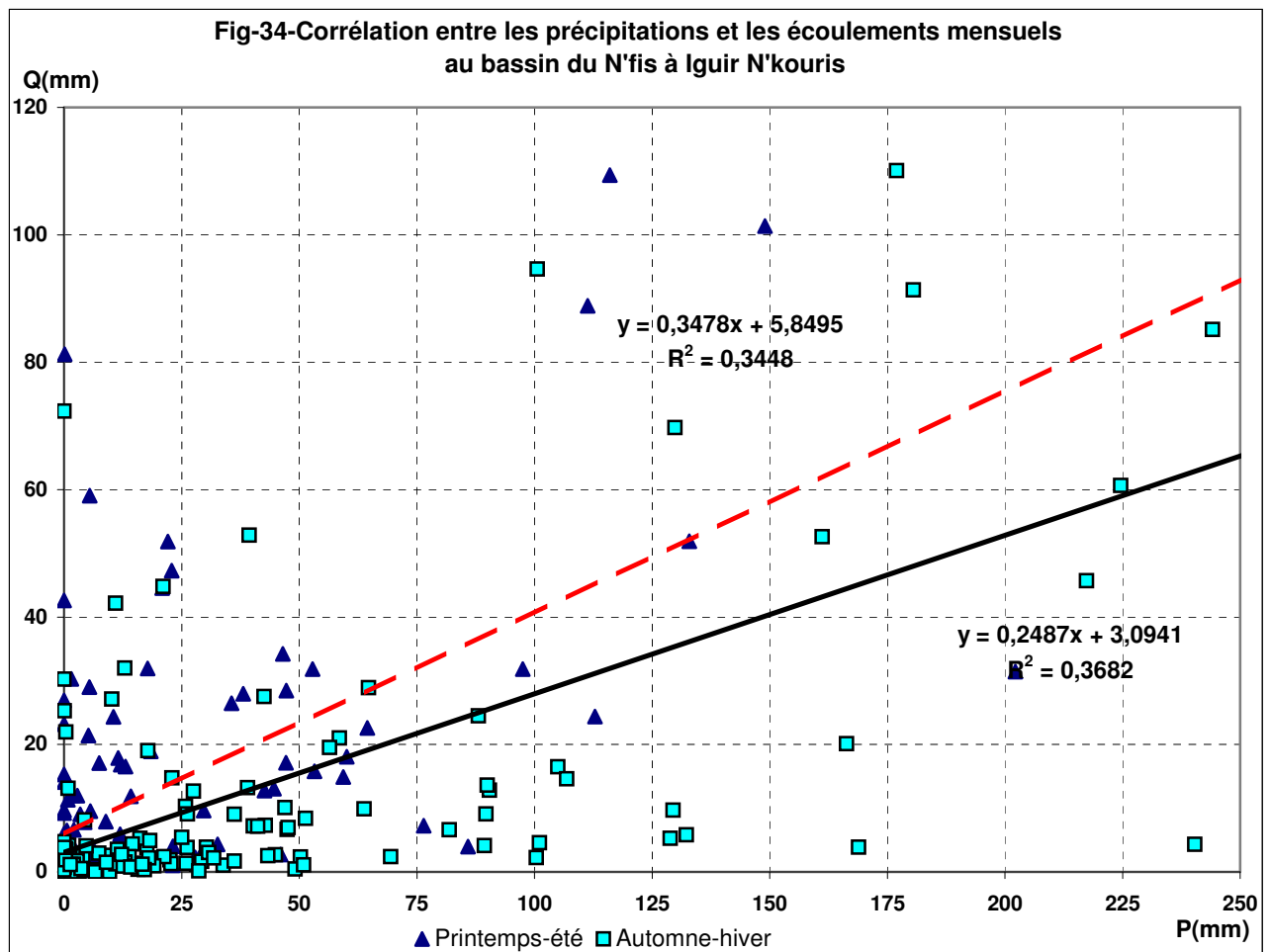


- La première famille regroupe les mois de l'automne et de l'hiver, avec des hauteurs de précipitations élevées et des débits faibles qu'on peut expliquer par la rétention nivale et la rétention de l'eau par le sol sec surtout en automne. Il y'a cependant des endroits où les pics de débits sont supérieurs aux pics des précipitations, cela est dû au débit des nappes qui nous donne des écoulements même en absence de précipitations. Le coefficient de corrélation est de 0,73.

- La deuxième famille regroupe les mois du printemps et de l'été avec un coefficient de corrélation de 0,53. Parfois les débits sont plus importants que les précipitations, cela est dû à la fonte des neiges qui s'ajoutent aux précipitations de la même période, mais il y'a des endroits où on a le contraire qu'on peut expliquer par l'évapotranspiration et par la dérivation de l'eau des riverains.

2-2 Au niveau du bassin à Iguir N'kouris

Comme à Imin El Hammam, on a aussi deux familles de corrélation (Fig-34), présentant les mêmes tendances avec coefficient de corrélation de 0,6.



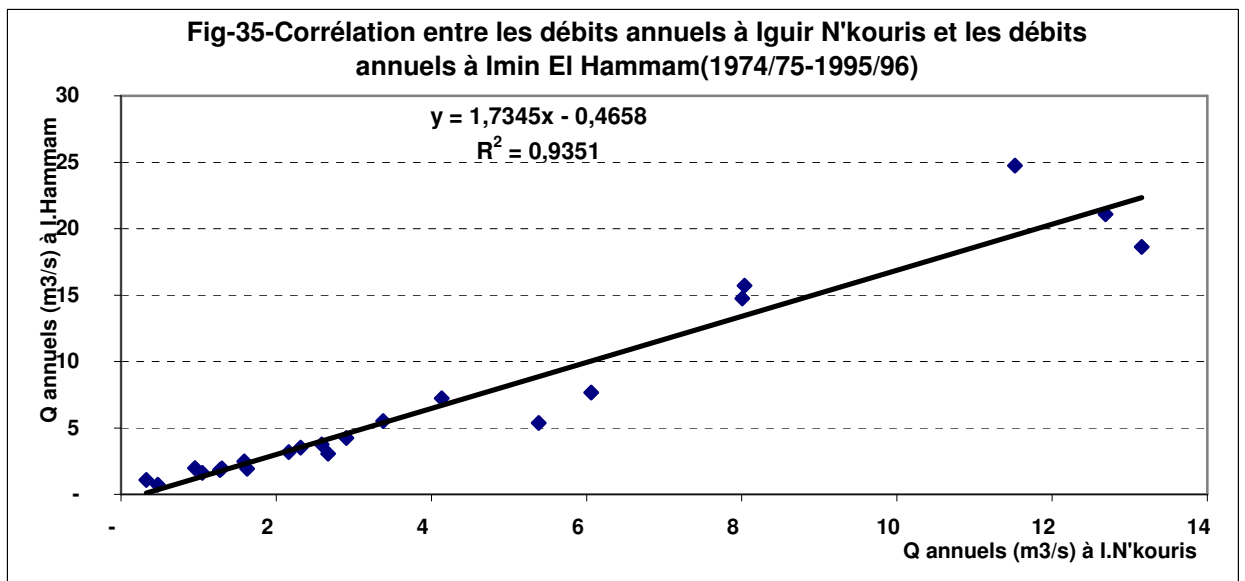
B- Corrélacion débit-débit entre les station d'Iguir N'kouris et d'Imin El Hammam

Le régime moyen d'écoulement du N'Fis montre une variabilité spatio-temporelle. Pour cerner cette dernière une corrélation des débits à l'échelle annuelle et mensuelle des deux stations (Iguir N'kouris et Imin El Hammam distant, de 33 km) s'impose. Pour cela, nous avons tenu compte de différents paramètres tels que : les prélèvements, les évapotranspirations, les infiltrations ...etc.

1- A l'échelle annuelle

Cette corrélation va nous permettre de suivre les changements que subit le débit d'une station à l'autre. Le coefficient de corrélation est élevé ($R = 0,96$), ce qui implique qu'il existe une bonne corrélation entre les débits des deux stations à l'exception des années 77/78, 89/90 et 95/96 où on note une certaine anomalie correspondant parfois à une augmentation du débit parfois à une diminution des écoulements qui suivent la situation climatique durant ces années (fig-35).

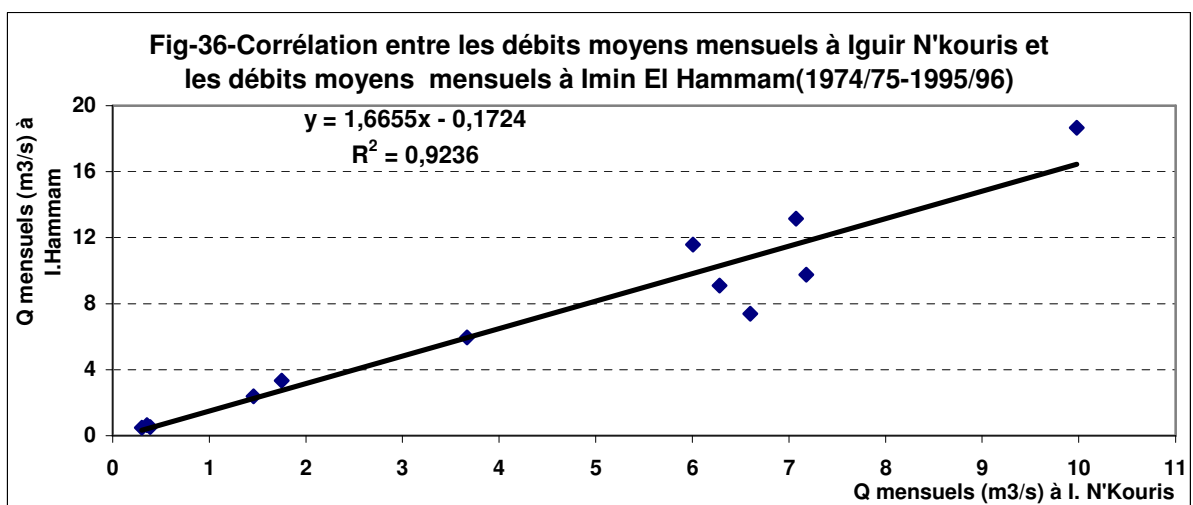
L'augmentation du débit s'explique par une contribution de la partie aval et sa diminution à une non contribution de cette partie aval.



En général, on constate à l'échelle annuelle le même aspect de variabilité des écoulements au niveau des deux stations, même si, l'écart augmente au niveau d'Imin El Hammam en raison des affluents qui s'ajoutent. Ceci s'explique par le fait que le bassin versant du N'Fis est presque entièrement montagneux, les pentes y sont fortes, et les écoulements superficiels ne sont pas trop influencés ou perturbés par des infiltrations ou des évapotranspirations trop variables.

2- A l'échelle mensuelle

Comme à l'échelle annuelle, la corrélation entre les débits des deux stations est bonne avec un coefficient de corrélation proche de 1 ($R = 0,96$), donc les débits des deux stations sont fortement liés (fig-36) et rien ne semble perturber d'une façon conséquente l'évolution des écoulement d'Iguir N'kouris et d'Imin El Hammam. Ceci nous permettrait de prévoir les débits en aval à partir de ceux observé en amont.



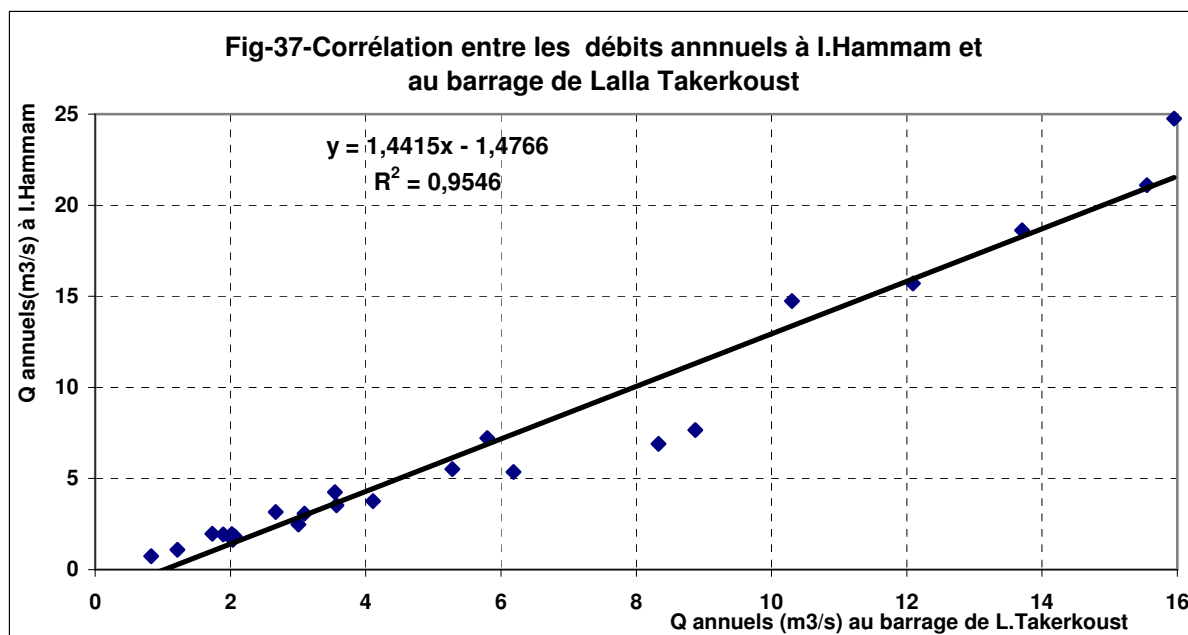
D'après l'étude ci-dessus, on peut donc conclure que dans le bassin versant du N'Fis, les phénomènes qui perturbent les relations entre les débits des deux stations sont très faibles.

C- Corrélation entre les débits à Imin El Hammam et ceux du barrage de Lalla Takerkoust

Dans le but de comparer les entrées et les sorties d'eau dans l'hydrosystème du barrage Lala Takerkoust on a fait appel à des corrélations à l'échelle mensuelle et annuelle entre les débits du barrage et ceux d'Imin El Hammam situé en amont.

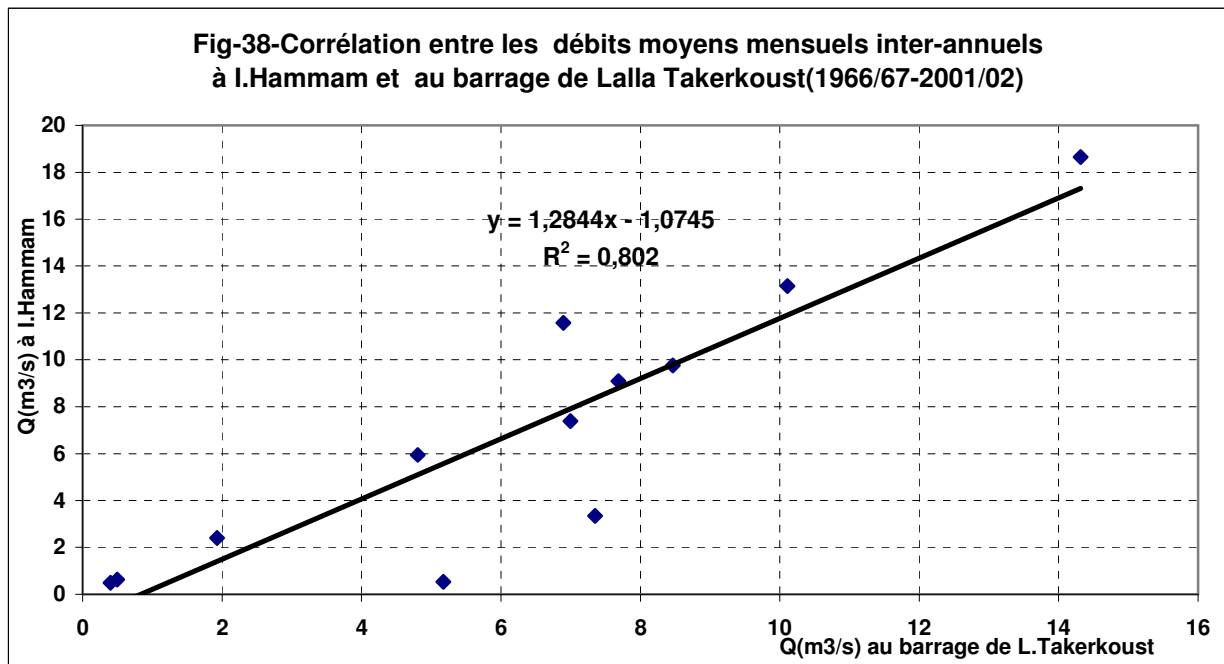
1- A l'échelle annuelle

D'après la fig-37, on note une bonne corrélation ($R=0,97$) entre les débits annuels du barrage et d'Imin El Hammam. Les débits à I. Hammam avec une moyenne de $6,91 \text{ m}^3/\text{s}$ sont légèrement supérieurs à ceux du barrage avec une moyenne de $5,58 \text{ m}^3/\text{s}$, cela peut être dû à des prélèvements par les riverains pour l'irrigation.



2- A l'échelle mensuelle

La fig-38 montre à peu près la même corrélation qu'à l'échelle annuelle avec aussi un coefficient de corrélation élevé de $0,89$; donc les débits des deux stations sont étroitement liés, à part quelques exceptions en septembre et octobre où les débits au niveau du barrage sont supérieurs à ceux d'Imin El Hammam, cela peut s'expliquer par l'absence de prélèvements entre les deux stations durant ces deux mois.



Chapitre IV : Les bilans hydrologiques :

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 :

A- 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 m³/s

S : la surface du bassin versant en m²

B- Le déficit d'écoulement :

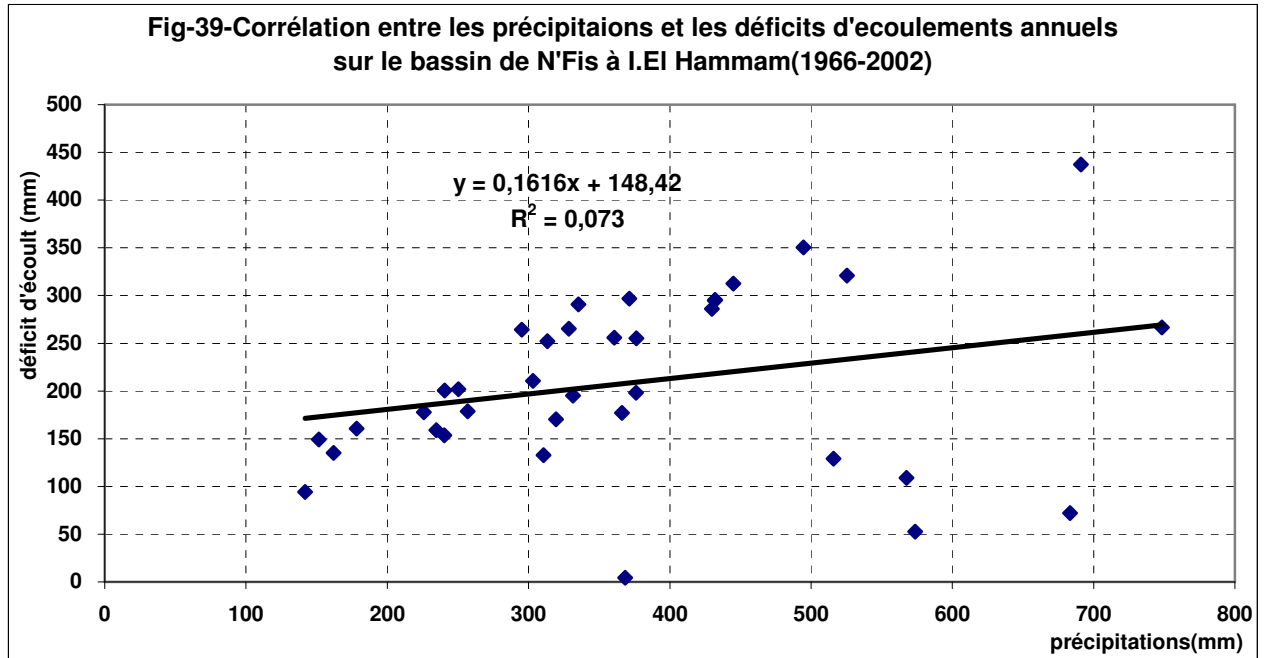
Le déficit d'écoulement constitue le troisième terme du bilan hydrologique après les pluies et les débits. Il exprime la différence entre la hauteur d'eau reçue par un bassin versant et les écoulements superficiels issus de ce bassin pendant une même période. Théoriquement, il correspond à la quantité 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

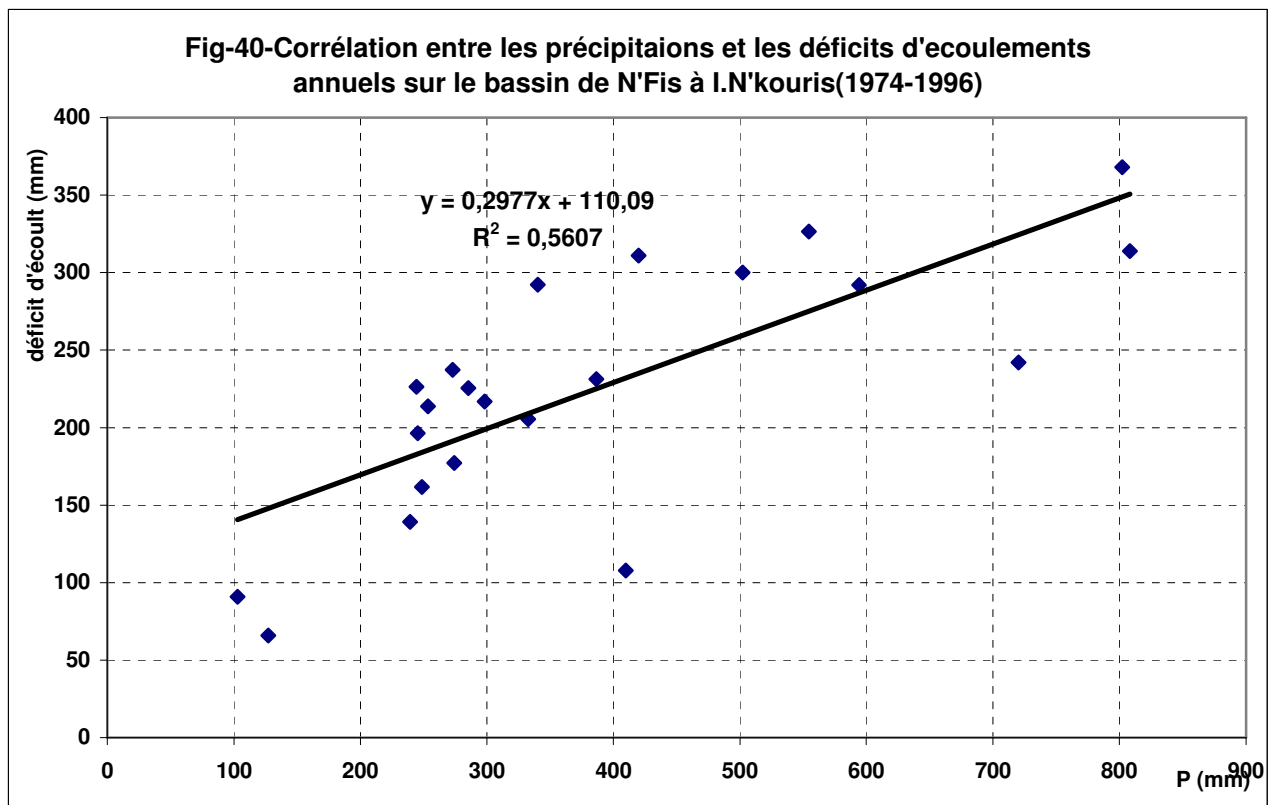


Le bassin du N'fis présente des déficits d'écoulement qui varient naturellement d'une année à l'autre selon plusieurs facteurs. Les déficits annuels varient de 4,4 mm en 1991/92 à 437,3 mm en 1970/71 ; le déficit moyen est de l'ordre de 208,5 mm. On note que la très grande variation spatio-temporelle des pluies semble être la principale cause de la variabilité du déficit 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 fig-39 confirme la faible corrélation entre les déficits d'écoulement et les pluies avec un coefficient de corrélation de 0,27.

Si on limitait le bassin du N'Fis à Iguir N'kouris, on aura la fig-40 :



Ici le déficit d'écoulement varie de 65,9 mm en 1992/93 à 368 mm en 1995/96 avec un déficit moyen de 224,9 mm. Contrairement à Imin El Hammam, la corrélation entre les précipitations et les déficits d'écoulements à Iguir N'kouris est plutôt bonne avec un coefficient de corrélation de 0,75.

C- Le coefficient d'écoulement :

C'est le rapport entre la lame d'eau écoulee 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

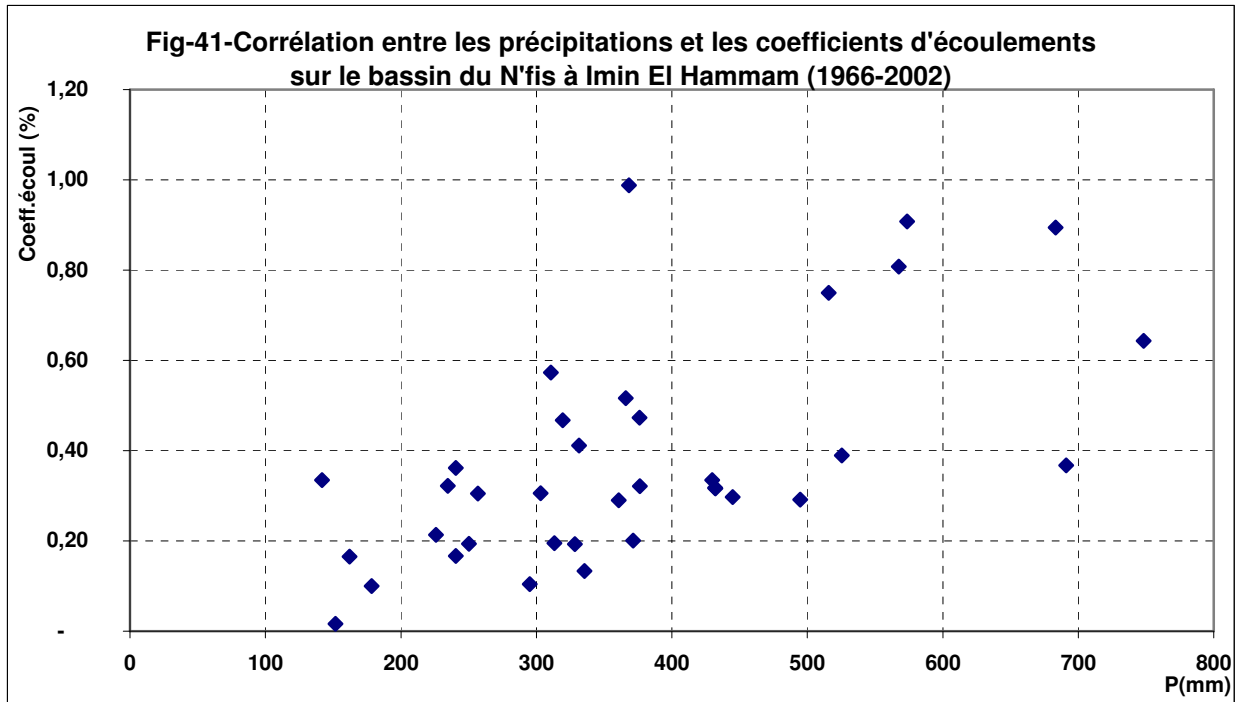
CE : coefficient d'écoulement en %

P : précipitations en mm

H : la lame d'eau écoulee en mm

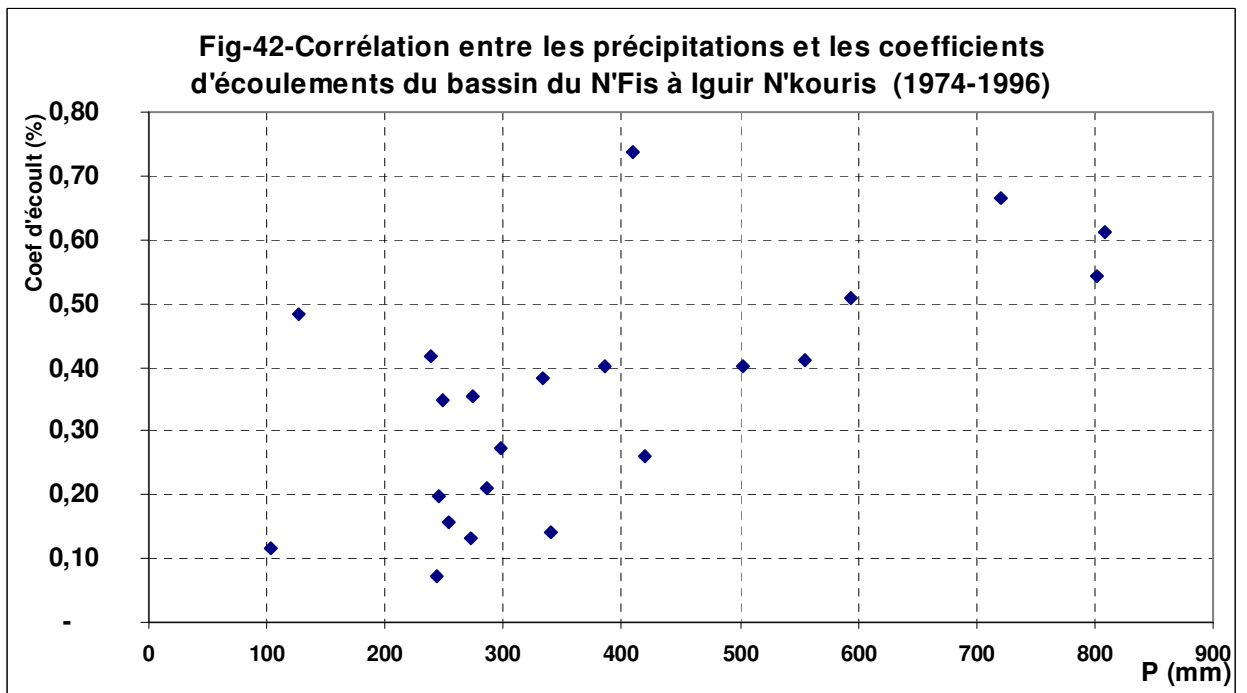
Le coefficient d'écoulement dépend généralement de trois facteurs principaux :

- 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.



La fig-41 montre la relation entre les coefficients d'écoulements et les précipitations à l'échelle annuelle ; le coefficient d'écoulement varie de 2 % en 2000/01 à 99 % en 1991/92. La corrélation entre ces deux paramètres est peu convaincante comme l'indique le coefficient de corrélation de 0,62 raison pour laquelle on a pas tracé la courbe de tendance.

A Iguir N'kouris, le bassin montre aussi une faible corrélation entre les coefficients d'écoulements et les précipitations avec un coefficient de corrélation de 0,65. Le coefficient d'écoulement varie ici de 0,1 en 1974/75 à 0,7 1991/92.



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.

Bilans hydrologiques annuels dans le bassin du N'fis à Imin El Hammam

Années	Préipitations P (mm)	Écoulement H (mm)	Déficit d'écoulement (mm)	Coeff d'écoulement (%)
1966/67	432,0	136,5	295,52	0,32
1967/68	748,3	481,6	266,70	0,64
1968/69	494,7	144,3	350,36	0,29
1969/70	525,5	204,7	320,80	0,39
1970/71	691,0	253,7	437,27	0,37
1971/72	376,3	121,0	255,30	0,32
1972/73	328,5	63,3	265,17	0,19
1973/74	431,8	137,2	294,62	0,32
1974/75	162,0	26,8	135,24	0,17
1975/76	313,4	61,2	252,20	0,20
1976/77	240,5	40,1	200,40	0,17
1977/78	444,9	132,3	312,57	0,30
1978/79	366,1	189,0	177,06	0,52
1979/80	331,5	136,3	195,24	0,41
1980/81	240,5	87,0	153,47	0,36
1981/82	335,4	44,8	290,61	0,13
1982/83	178,4	17,9	160,48	0,10
1983/84	256,9	78,3	178,62	0,30
1984/85	360,7	104,7	256,00	0,29
1985/86	226,0	48,3	177,67	0,21
1986/87	250,2	48,5	201,74	0,19
1987/88	573,7	521,0	52,75	0,91
1988/89	515,8	386,7	129,11	0,75
1989/90	567,6	458,6	108,97	0,81
1990/91	303,2	92,6	210,56	0,31
1991/92	368,4	364,0	4,37	0,99
1992/93	141,8	47,5	94,27	0,34
1993/94	376,1	177,8	198,26	0,47
1994/95	234,7	75,6	159,09	0,32
1995/96	683,4	611,3	72,07	0,89
1996/97	429,7	143,8	285,90	0,33
1997/98	310,7	178,0	132,68	0,57
1998/99	295,1	30,8	264,33	0,10
1999/00	319,4	149,2	170,20	0,47
2000/01	151,6	2,5	149,10	0,02
2001/02	371,3	74,6	296,70	0,20
Moy	371,6	163,1	208,48	0,44
max	748,3	611,3	437,3	1,0
min	141,8	2,5	4,4	0,0

Bilans hydrologiques annuels dans la bassin versant du N'fis à Iguir N'Kouris

Années	Précipitations (mm)	Écoulement (mm)	Déficit d'écoul. (mm)	Coef d'écoul. (%)
1974/75	103,0	12	91,0	0,12
1975/76	285,5	60	225,5	0,21
1976/77	253,3	39,5	213,8	0,16
1977/78	502,2	202,2	300,0	0,40
1978/79	554,4	227,8	326,6	0,41
1979/80	332,8	127,4	205,4	0,38
1980/81	248,5	86,8	161,7	0,35
1981/82	340,2	48,1	292,1	0,14
1982/83	244,3	18	226,3	0,07
1983/84	298,3	81,4	216,9	0,27
1984/85	420,0	109	311,0	0,26
1985/86	245,2	48,8	196,4	0,20
1986/87	273,0	35,7	237,3	0,13
1987/88	720,4	478,3	242,1	0,66
1988/89	594,2	302,2	292,0	0,51
1989/90	808,1	494,3	313,8	0,61
1990/91	274,4	97,3	177,1	0,35
1991/92	409,7	301,9	107,8	0,74
1992/93	127,2	61,3	65,9	0,48
1993/94	386,5	155,2	231,3	0,40
1994/95	239,1	100	139,1	0,42
1995/96	802,2	434,2	368,0	0,54
Moy	384,6	159,7	224,9	0,42
max	808,1	494,3	368,0	0,7
min	103,0	12,0	65,9	0,1

D- Bilan global :

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

Bassin versant	À Iguir N'kouris	À Imin El Hammam
Superficie (km ²)	839	1283
Altitude moyenne (m)	2102	2074
Température moyenne (°C)	18,6	17,7
Précipitations (mm)	384,6	371,6
Écoulement (mm)	159,7	163,1
Déficit (mm)	224,9	208,5
Coefficient d'écoulement (%)	0,42	0,44
Période d'observation	1974/75-1995/96	1966/67-2001/02

Tableau -5: Bilan global du bassin du N'fis.

- Les hauteurs des précipitations à Iguir N'kouris sont supérieures à celles d'Imin El Hammam, cela est dû au fait que les hauteurs des précipitations sont liées à l'altitude moyenne.
- Les écoulements moyens globaux d'Imin El Hammam sont supérieurs à ceux d'Iguir N'kouris. Ils dépendent de la surface drainée (qui est plus grande à Imin El Hammam), du réseau hydrographique et des affluents ajoutés entre Iguir et Imin El Hammam, ce qui a donné une lame d'eau écoulée plus importante à l'exutoire.
- Il n'y a pas de grande différence entre les coefficients d'écoulements au niveau des deux stations. Les conditions géomorphologiques et la nature des précipitations ne changent pas d'une façon importante entre les deux stations.

CONCLUSION GENERALE

Le N'Fis est l'un des plus grands affluents du Tensift, il se situe au flanc nord du massif central à l'ouest de Toubkal. Le 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 ($Kc= 1,67$) et les altitudes y sont élevées (altitude moyenne = 2074 m). Les pentes des versants montagneux du bassin du N'Fis sont très élevées. Elles confèrent à l'écoulement de l'oued des vitesses élevées surtout en cas de précipitations intenses. Ces précipitations ont une grande variabilité spatio-temporelle : Elles sont importantes en amont et sont plus faibles en aval et au fond des vallées. Ce qui nous a permis de constater un gradient pluviométrique important de l'aval vers l'amont (de 358,6 mm/an à Imin El Hammam située à 770 m à 537,4 mm à Aghbar à 1750 m d'altitude). 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. La construction du barrage Lalla Takerkoust répond justement à ce souci. Il a permis depuis son inauguration en 1935, de régulariser le débit de l'oued, grâce à une retenue de 69 millions de m³. Cette eau permet l'irrigation de 9800 Hectares de terrains cultivés.

Le régime hydrologique du bassin versant de l'oued N'fis est pluvio-nival, avec une prédominance pluviale. Il se caractérise par une irrégularité temporelle, aux pas de temps annuel, saisonnier et mensuel. Ceci est lié aux apports pluviométriques et à leurs irrégularités. Les hautes eaux du N'Fis s'observent au printemps, mais les débits d'hiver sont également importants. L'été est une saison sèche, et ses écoulements faibles proviennent du débit de base assuré par la nappe phréatique et éventuellement de la fonte du reliquat de neige en cas d'année humide. C'est pendant cette saison d'été que le rôle du barrage est important pour l'irrigation et pour la production d'électricité.

La relation entre les pluies et les débits, à l'échelle annuelle est assez bonne avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0.82 au niveau d'Imin El Hammam et même 0.93 au niveau d'Iguir N'Kouris. Ça signifie que pendant les années humides, l'écoulement est important et les facteurs qui perturberaient la corrélation sont absents (transfert entre les bassins, rétention nivale pluriannuelle ...). Par ailleurs, les coefficients d'écoulements semblent peu dépendants des hauteurs des pluies annuelles, mais plutôt de l'intensité de ces dernières. En effet, des averses d'une certaine violence peuvent déclencher des ruissellements importants alors que les pluies fines et peu intenses pourraient se perdre par évapotranspiration.

Nous avons enfin cherché le degré de corrélation entre les écoulements en trois niveaux du bassin versant pour voir s'il y aurait des pertes entre les stations. D'Iguir N'kouris à Imin El Hamman (33 km de distance), la corrélation est très bonne entre leurs débits annuels respectifs ($R = 0.96$) ; et d'Imin El Hammam au barrage Lalla Takerkoust, la corrélation entre leurs débits est de l'ordre de 0.89. Ces bonnes corrélations montrent que des pertes aléatoires et conséquentes d'eau sont négligeables entre les stations et le barrage récolterait sans problèmes les eaux provenant de l'amont.

Bibliographie

-ABHT : Oued N'fis, station d'Imin El Hammam, N° IRE 1566/53, rapport interne. Marrakech.

- Khabzaoui.O et B jagho.R : les crues de oued N'Fis, analyse statistique et étude dynamique, mémoire de maîtrise, FSTG, Marrakech, 1999.

- Pascon Paul: Le Haouz de Marrakech, tome 1.Editions Marocaines et internationales.Rabat-1983.

- Saidi M.E.: Thèse de doctorat : Contribution à l'hydrologie profonde et superficielle du bassin du Souss (Maroc)- Paris, 1995.