



كلية العلوم
والتقنيات - مراكش
FACULTÉ DES SCIENCES
ET TECHNIQUES - MARRAKECH



وكالة الحوض المائي لتانسيفت
Agence de Bassin Hydraulique du Tensift

Département des sciences de la terre

Licence en Sciences et Techniques

Eau et Environnement

PROJET DE FIN D'ETUDE

**MODELISATION HYDROLOGIQUE DU
BASSIN VERSANT D'OURIKA A LA
STATION AGHBALOU**

Réalisé par : Mazouk Mounia

Soutenu : le 05 Février 2020

Devant le jury:

- **Mr. Saidi Mohamed El Mehdi: FST- Marrakech / Encadrant**
- **Mme. Choukri Fatiha: ABHT- Marrakech / Co-encadrante**

2019/2020

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce projet de mémoire de fin d'études.

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon encadrant interne Monsieur **SAIDI MOHAMED EL MEHDI** qui m'a accordé sa confiance pour m'encadrer, pour sa disponibilité, son sens d'appréciation scientifique, sa rigueur pour que le travail soit bien fait.

J'adresse également mes sincères remerciements à Mon encadrante externe Madame **CHOUKRI FATIHA** pour sa patience, sa gentillesse, sa modestie, sa riche expérience et l'accueil cordial qu'elle m'a toujours réservé m'ont inspiré une grande admiration à son égard.

Je remercie également toute l'équipe de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift pour leur accueil et leur assistance.

Je tiens enfin à remercier tout particulièrement ma famille pour leur encouragement et la patience nécessaires pour réaliser ce travail ainsi que toutes les personnes qui m'ont soutenu.

SOMMAIRE

INTRODUCTION :	7
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'ABHT :	8
• Objectifs de l'ABHT :	8
• Organigramme du l'ABHT :	9
CHAPITRE 2 : CONTEXTE GENERAE DE LA ZONE D'ETUDE :	10
I. Situation géographique du bassin versant d'Ourika :	10
II. La délimitation du bassin versant d'Ourika :	11
1. Présentation du logiciel Arc GIS :	11
2. Méthode de la délimitation du bassin versant par Arc Map :	11
III. Cadre géologique :	14
IV. Caractérisation climatique :	15
1. Température :	15
2. Précipitation :	15
3. Végétation :	16
V. Le régime pluviométrique et hydrométrique du bassin versant d'Ourika :	17
1. Le régime pluviométrique :	17
a. Précipitations moyennes mensuelles :	17
b. Précipitations moyennes saisonnières :	18
c. Précipitations annuelles :	19
2. Le régime hydrométrique :	20

a. Débit moyens annuels :	20
b. Débit moyens mensuels et saisonnier :	21

CHAPITRE 3 : ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN

VERSANT :	23
------------------------	-----------

I. Caractéristiques géométriques :	23
---	-----------

II. Caractéristiques topographiques :	24
--	-----------

1. La pente :	24
---------------------	----

1.1. La pente moyenne :	24
-------------------------------	----

1.2. La carte de pente :	25
--------------------------------	----

2. Hypsométrie :	26
------------------------	----

2.1. La carte hypsométrique :	26
-------------------------------------	----

2.2. La courbe hypsométrique :	27
--------------------------------------	----

III. Calcul des débits de pointe et le temps de concentration :	30
--	-----------

1. Calcul du temps de concentration :	30
---	----

a. Formule de Kripich :	30
-------------------------------	----

b. Formule de Turazza :	30
-------------------------------	----

c. Formule de Passini :	30
-------------------------------	----

d. Formule Espagnole :	31
------------------------------	----

e. Formule de Californienne :	31
-------------------------------------	----

2. Calcul des débits de pointe :	32
--	----

2.1. Méthodes empiriques :	32
----------------------------------	----

a. Débits par Mallet Gauthier :	32
---------------------------------------	----

b. Débits par Hazan Lazareviç :	33
---------------------------------------	----

c. Débits par Fuller 2 :	35
--------------------------------	----

2.2. Méthode de Gradex :	37
--------------------------------	----

a. Fonction de répartition des pluies :	37
---	----

b. Mode d'application :	37
-------------------------------	----

2.3. Ajustement statistique :	41
-------------------------------------	----

a. Présentation du logiciel HYFRAN PLUS :	41
b. Lois d'ajustement :	42
c. L'analyse des graphes :	42
d. L'analyse des critères statistiques :	43
IV. CONCLUSION :	46
BIBLIOGRAPHIE :	47
ANNEXES :	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : situation géographique du bassin versant d'Ourika	10
Figure 2 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Ourika.....	13
Figure 3 : Esquisse géologique du bassin versant de l'Ourika.....	14
Figure 4 : Variations mensuelles des précipitations et des écoulements à Aghbalou	15
Figure 5 : Niveaux de dégradation du couvert végétal dans le bassin versant d'Ourika	16
Figure 6 : Pluies moyennes mensuelles d'Ourika 1970/2016.....	17
Figure 7 : Pluies moyennes saisonnières d'Ourika 1970/2016.....	18
Figure 8 : Pluies annuelles d'Ourika 1970/2016.....	19
Figure 9 : Débits moyens annuels d'Ourika 1970/2017	20
Figure 10 : Débits moyens mensuels d'Ourika 1970/2017.....	21
Figure 11 : Histogramme des débits moyens saisonniers d'Ourika 1970/2017.....	22
Figure 12 : Carte des pentes en degrés du bassin versant d'Ourika	25
Figure 13 : Carte hypsométrique du bassin versant d'Ourika.....	26
Figure 14 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'Ourika Aghbalou.....	28
Figure 15: Application de la loi du Gradex (Ourika Aghbalou)	40
Figure 16: Ajustement graphique des débits maximaux instantané selon les lois statistiques ...	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveau.....	27
Tableau 2 : Caractéristiques physiques du bassin versant d'Ourika	29
Tableau 3 : récapitulatif du temps de concentration du bassin selon les différentes méthodes ..	31
Tableau 4 : Débits calculé par la formule de Mallet Gauthier	33
Tableau 5 : Paramètres régionaux de Hazan Lazareviç	33
Tableau 6 : Débits calculé par la formule de Hazan- Lazareviç	34
Tableau 7 : Paramètres régionaux de Fuller 2.....	35
Tableau 8 : Débits calculé par la formule de Fuller 2	36
Tableau 9 : Résultats des débits de pointe par les formules empiriques	36
Tableau 10 : Débits calculé par la méthode du Gradex.....	41
Tableau 11 : Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station d'Aghbalou du temps de retour (100 ans)	44
Tableau 12 : Débits calculé par la méthode d'ajustement statistique	44
Tableau 13 : Confidence intervalle des lois statistiques	45
Tableau 14 : Résultats des débits de pointe.....	45

INTRODUCTION

L'eau, une des plus importantes ressources naturelles, toutes les activités s'articulent autour de cette substance. Mais cette ressource connaît plusieurs problèmes, elle pose des problèmes d'usage, de pénurie et d'inondation surtout avec les changements climatiques.

Au Maroc, on s'est intéressé depuis longtemps aux phénomènes hydrologiques extrêmes. Car le pays connaît des crues et inondations répétitives dans différentes régions (la Vallée du Ziz en 1965, celles de 1995 à Ourika, la région d'El Hajeb en 1997, celle de la région de Taroudant et Errachidia en 2019 ...) Les crues considérées comme des phénomènes exceptionnels contre lesquels il faut se protéger par la prévision et la prévention. Elles sont violentes et destructrices puisqu'elles influencent la vie humaine les infrastructures de base, les terrains agricoles et la plaine en aval.

Notre région d'étude fait partie du Haut Atlas. C'est le bassin versant Ourika à la station Aghbalou, c'est une zone montagneuse semi aride à subhumide.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'étude élaboré au sein de l'ABHT dont l'objectif est la modélisation hydrologique du bassin versant d'Ourika à la station Aghbalou par l'utilisation combinée des logiciels Arc-Gis, Hyfran plus.

La première partie consacrée à la présentation du contexte général de la zone d'étude Ourika à la station Aghbalou à savoir le cadre géographique, géologique, climatique, la délimitation du bassin versant et l'étude pluviométrique et hydrométrique.

La deuxième partie montre l'étude hydrologique du bassin versant à savoir les caractéristiques géométriques, topographiques, le calcul du temps de concentration et les débits de pointes.

CHAPITRE1 : PRESENTATION DE L'ABHT

L'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT) est instaurée par le décret N° 2-00-479 du 14 Novembre 2000. Elle a pour mission d'évaluer, de planifier, de développer et de gérer les ressources en eau au niveau de sa zone d'action. Elle traduit la politique de décentralisation de la gestion de l'eau induite par le nouveau concept de la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin hydraulique, et constitue ainsi un organisme fédérateur des acteurs concernés par la gestion de l'eau au niveau régional. (El Bahri et El Bahtari, 2009)

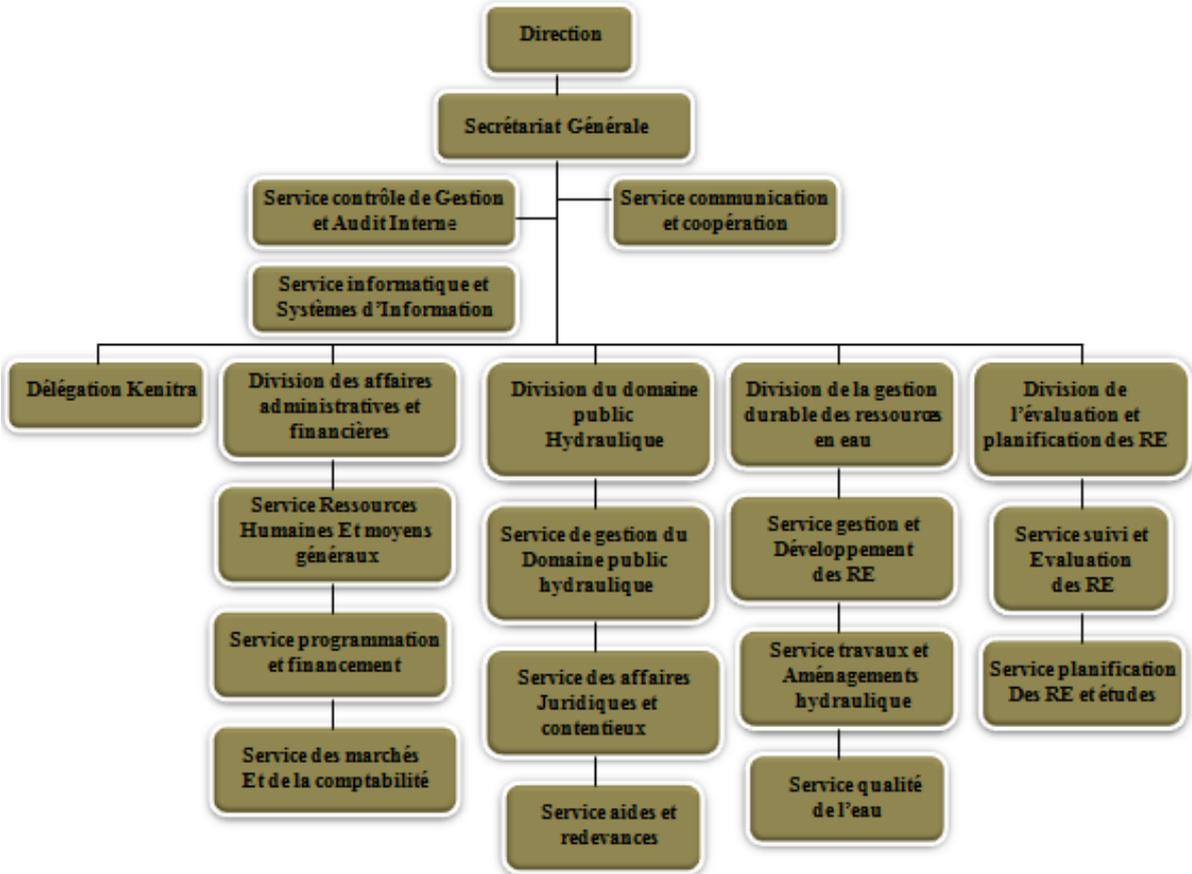
L'Agence du bassin est chargée des missions suivantes :

- Elaborer un plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau relevant de sa zone d'action.
- Veiller à l'application du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau à l'intérieur de sa zone d'action.
- Assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau déclarée.
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
- Réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.
- Réaliser toutes les mesures piézométriques et de jaugeages ainsi que les études hydrologiques, hydrogéologiques, de planification et de gestion de l'eau tant au plan quantitatif que qualitatif.
- Fournir toute aide financière et toute prestation de service, notamment d'assistance technique, aux personnes publiques ou privées qui en feraient la demande, soit prévenir la pollution des ressources en eau, soit en vue d'un aménagement ou d'une utilisation du domaine public hydraulique.

Objectifs de l'ABHT :

- Protection et conservation quantitative et qualitative des ressources en eau.
- Utilisation rationnelle et optimale de l'eau.
- Gestion intégrée, décentralisée et forcée des ressources en eau et du domaine public hydraulique.
- Planification cohérente et obligatoire à l'échelle du bassin hydraulique.

Organigramme du l'ABHT :



CHAPITRE 2 : CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

I. Situation géographique du bassin versant d'Ourika à la station Aghbalou

L'oued d'Ourika fait partie du grand bassin du Tensift, il se situe à 31° et 31°20' de latitude Nord et à 7°30' et 8° de longitude. . Son bassin versant à Aghbalou se situe dans le Haut Atlas occidental au centre de la province d'Al Haouz à 35 km de Marrakech. . Il se trouve entre les bassins versants de la Ghiraya et du N'fis. Le bassin est un hydro système bien individualisé. Il se répartit principalement sur trois Communes rurales : Ourika, Setti Fadma, et l'Oukaïmden.

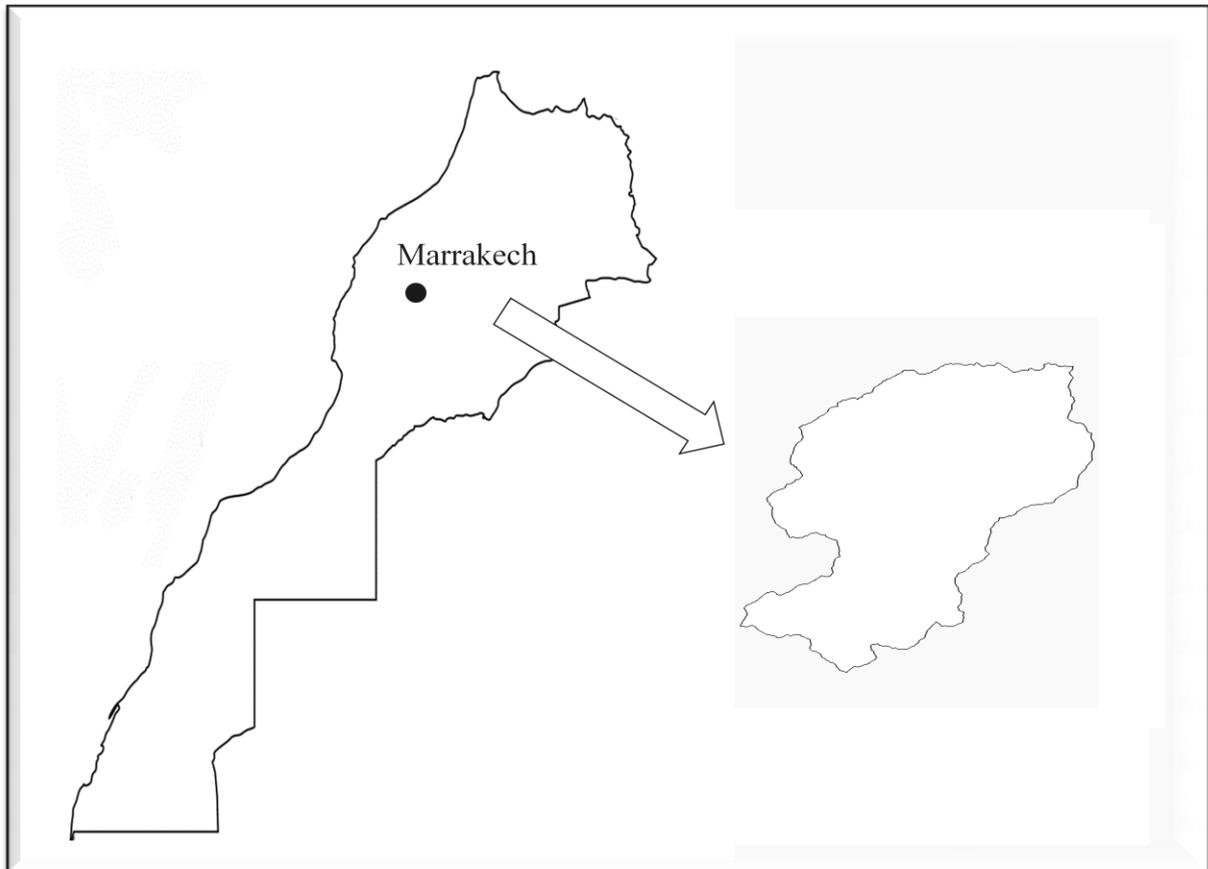


Figure 2 : Situation géographique du bassin versant d'Ourika

II. La délimitation du bassin versant d'Ourika Aghbalou

1) Présentation du logiciel Arc GIS

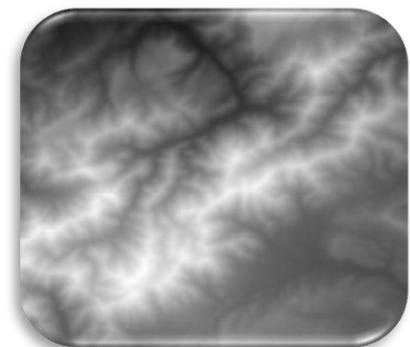
Arc GIS est la suite logicielle SIG produite par ESRI (Environmental Systems Research Institute). C'est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques.

Arc GIS comprend une suite d'applications intégrées les unes aux autres

- **Arc Catalog** facilite l'organisation et la gestion de toutes les données SIG (cartes, jeux de données, modèles,...)
- **Arc Globe** et **Arc Scene** sont spécialisées dans l'analyse et la visualisation en trois dimensions.
- **Arc Toolbox** est Composée d'un ensemble d'outils de transformation des données.
- **Arc Map** est l'application principale dans Arc GIS. Il permet l'édition, la modification de données géographiques, l'analyse, la conception et l'édition de cartes. Il représente les informations géographiques sous forme d'un ensemble de couches et les autres éléments sous forme d'une vue de carte. Il y a deux vues cartographiques principales dans ArcMap : le mode donné et le mode mise en page.
 - Le mode donné présente une fenêtre géographique, ou bloc cartographique pour afficher et utiliser les informations géographiques sous forme d'une série de couches.
 - Le mode Mise en page affiche une page pour organiser les éléments cartographiques (par exemple, le bloc de données, une barre d'échelle et un titre de carte) pour l'impression de la carte.

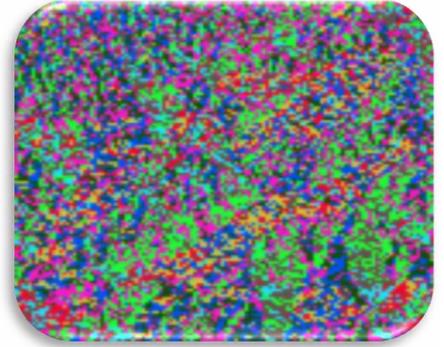
2) Méthode de la délimitation du bassin versant par Arc Map

- Exploration du modèle numérique de terrain MNT sur lequel porte l'analyse hydrologique.



Traitement des données

- Le remplissage / Fill (Outil : Spatial Analyst) : Remplit les cuvettes d'une surface raster pour supprimer de légères imperfections dans les données.
- La direction du flux / Flow direction (Spatial Analyst) : consiste à déterminer la direction dans laquelle l'eau s'écoulera dans le MNT.



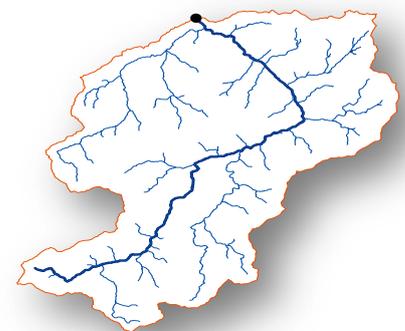
- La cumulation de flux / Flow Accumulation (Spatial Analyst) : présente une couche raster qui indique à quel endroit il est le plus probable que l'eau s'accumule.



- Con / (Spatial Analyst) : permet de déterminer la valeur en sortie pour chacune des cellules selon que la valeur de cellule renvoie un résultat vrai ou faux dans l'instruction conditionnelle définie.



- Bassin versant / Watershed (Spatial Analyst) : il permet la capture des bassins versants et création du contour et les réseaux hydrographiques.



Les coordonnées Lambert de l'exutoire du bassin versant

Coordonnées	X	Y	Z
Station Aghbalou	275990	83318	107

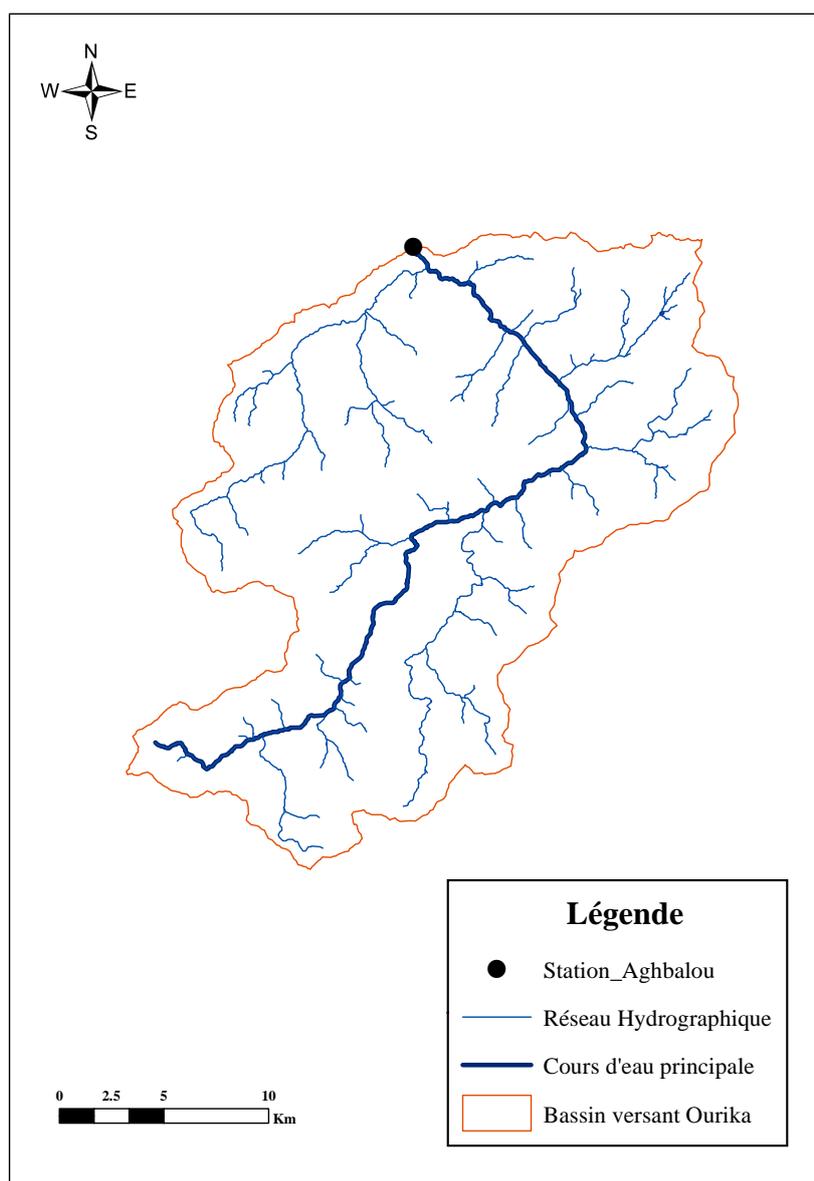


Figure 2 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Ourika

Le réseau hydrographique est l'ensemble des ruisseaux de drainage permanents ou temporaires, par ou s'écoulent les eaux de ruissellement ou celles restituées par les nappes souterraines sous forme de sources.

III. Cadre géologique

Le bassin versant d'Ourika à la station Aghbalou montre deux grands types de faciès :

La partie montagne :

- Située à des altitudes supérieures à 2000 m.
- Constituée par :
 - Des roches magmatiques
 - Des roches métamorphiques (Gneiss, migmatites)
 - Des roches plutoniques (Granites, Granodiorites)
 - Des roches volcaniques (Andésites, Rhyolite)

La partie plaine :

- Située à des altitudes inférieures à 2000 m.
- Composée par des dépôts permo-triasiques et quaternaires plus tendre.
- Comprendre au Nord un faciès formé de Conglomérats, Grés et Silites. Au sud un faciès formé essentiellement de Silites argileuses et localement de Grés massif.

La lithologie du bassin versant est donc dans l'ensemble assez imperméable selon les chiffres de l'Agence du Bassin Hydraulique Tensift. (Saidi et al. 2006 ; Fniguire et Boukrim, 2007)

Sols perméables	6%
Sols semi-perméables	39%
Sols imperméables	55%

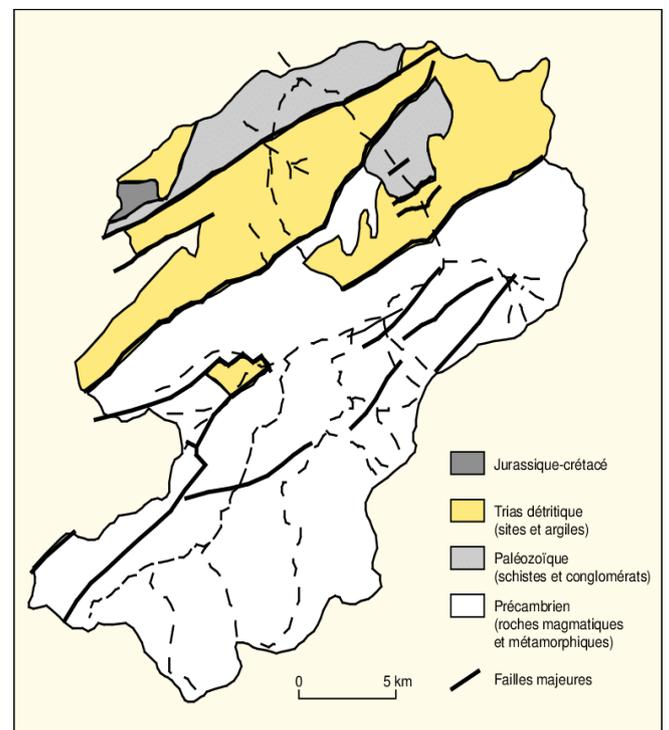


Figure 3 : Esquisse géologique du bassin versant d'Ourika

IV. Caractérisation climatique

Le climat est un élément fondamental dans l'étude d'un bassin versant .C'est le cadre géographique des phénomènes météorologiques.

1. Température

Le climat de la région est de type semi-aride. La température moyenne fluctue à l'échelle annuelle entre 20,3°C et 15,9°C. La moyenne étant de 18°C, a l'échelle mensuelle les mois de juin, juillet et août connaissent les plus hautes températures de l'année avec des valeurs moyenne de 21,1°C, 26 ,9°C et 26,6°C. Le climat est par ailleurs influencé par l'existence des vents secs et chauds. (Fniguire et Boukrim, 2007).

2. Précipitation

L'oued d'Ourika prend ses sources dans les hauts contreforts de la chaîne du Haut Atlas. La région est caractérisée par une grande variabilité spatio-temporelle. Les précipitations varient en hauteur et une irrégularité relative des écoulements superficiels, en plus par une intensité très différente et une variation dans leurs distributions géographiques. (Saidi et al. 2010)

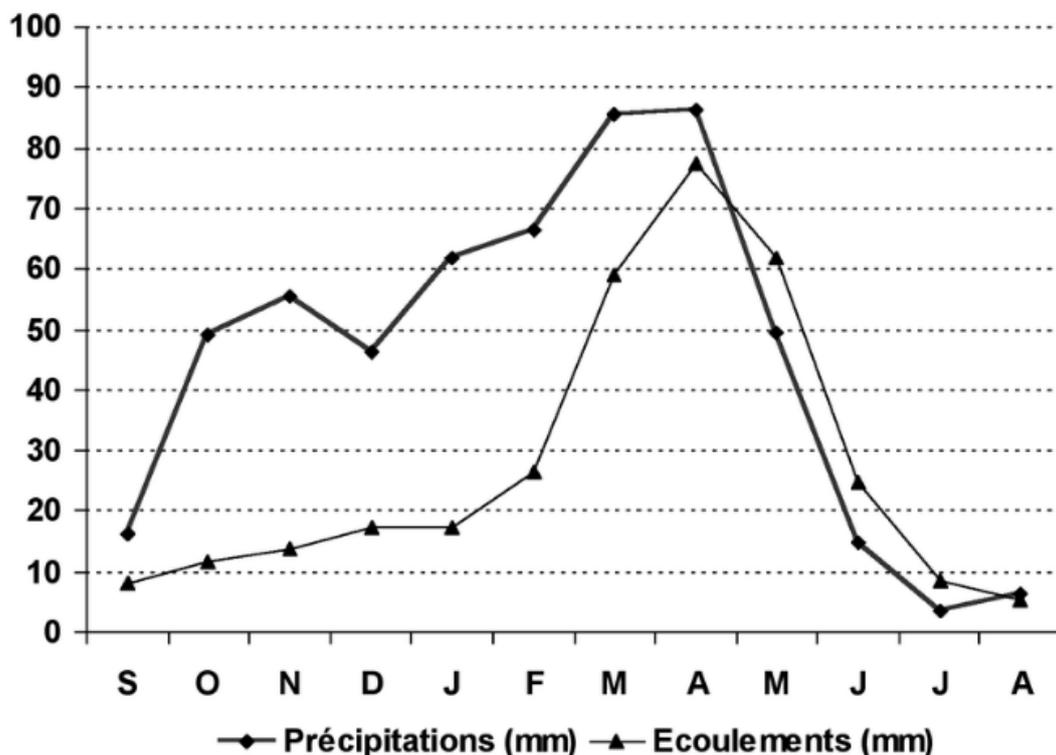


Figure 4 : Variations mensuelles des précipitations et des écoulements à Aghbalou.

3. La végétation

Le bassin souffre d'une faiblesse au niveau du couvert végétal, la chose qui impacte les écoulements, et les rendent plus facile. Alors que la densité du couvert végétal joue un rôle indispensable pour freiner les ruissellements rapides et amortit les crues. La végétation est limitée à quelques secteurs sous forme des forêts, essentiellement du Chênes verts. On peut aussi citer l'existence des Vergers de pommiers et de noyers qui se trouvent le long de la vallée.

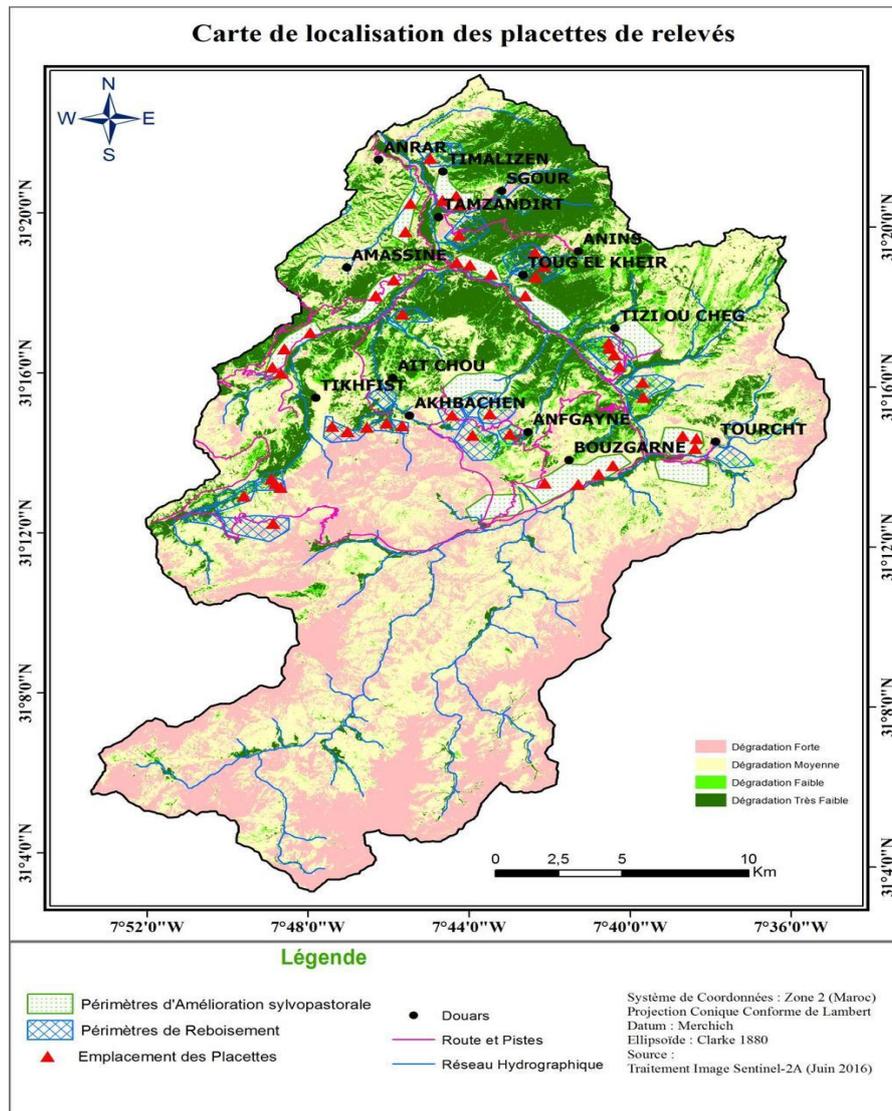


Figure 5 : Niveaux de dégradation du couvert végétal dans le bassin versant d'Ourika.

V. Le régime pluviométrique et hydrométrique du bassin versant d'Ourika à la station Aghbalou :

1. Le régime pluviométrique

Les données de précipitations sont principalement recueillies à la station d'Aghbalou située à l'exutoire du bassin versant de l'Ourika.

a. Précipitations moyennes mensuelles

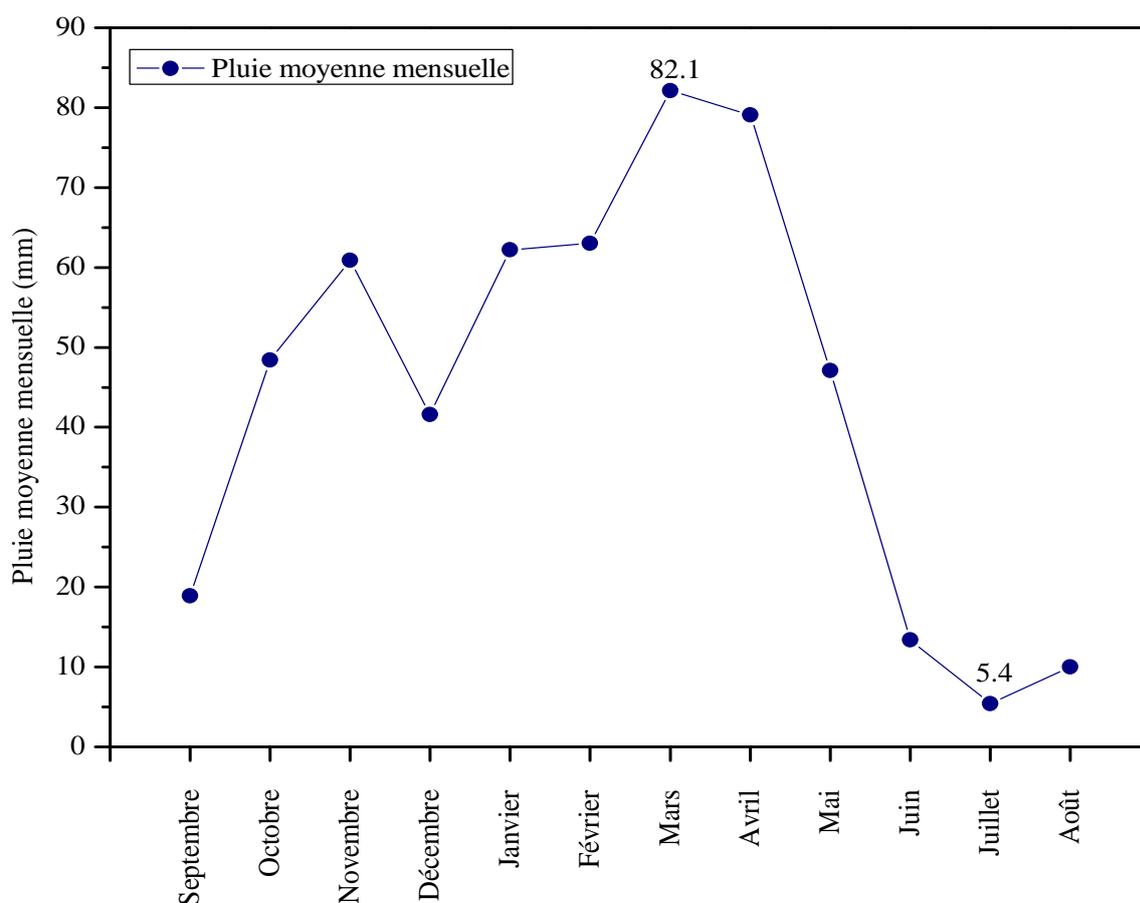


Figure 6 : Pluies moyennes mensuelles d'Ourika 1970/2016

La courbe montre les précipitations moyennes mensuelles d'Ourika. On trouve que la moyenne est d'ordre 44.3 mm. La hauteur des précipitations croît à partir du mois de septembre jusqu'à le mois novembre. Puis, elle diminue dans le mois décembre et reprend sa remontée jusqu'à le mois mars (82.1 mm), Enfin, elle diminue pour atteindre son minimum au mois juillet (5.4 mm) à partir duquel elle reprend sa remontée. Alors on peut distinguer une succession des mois humides et des mois sèches.

b. Précipitations moyennes saisonnières

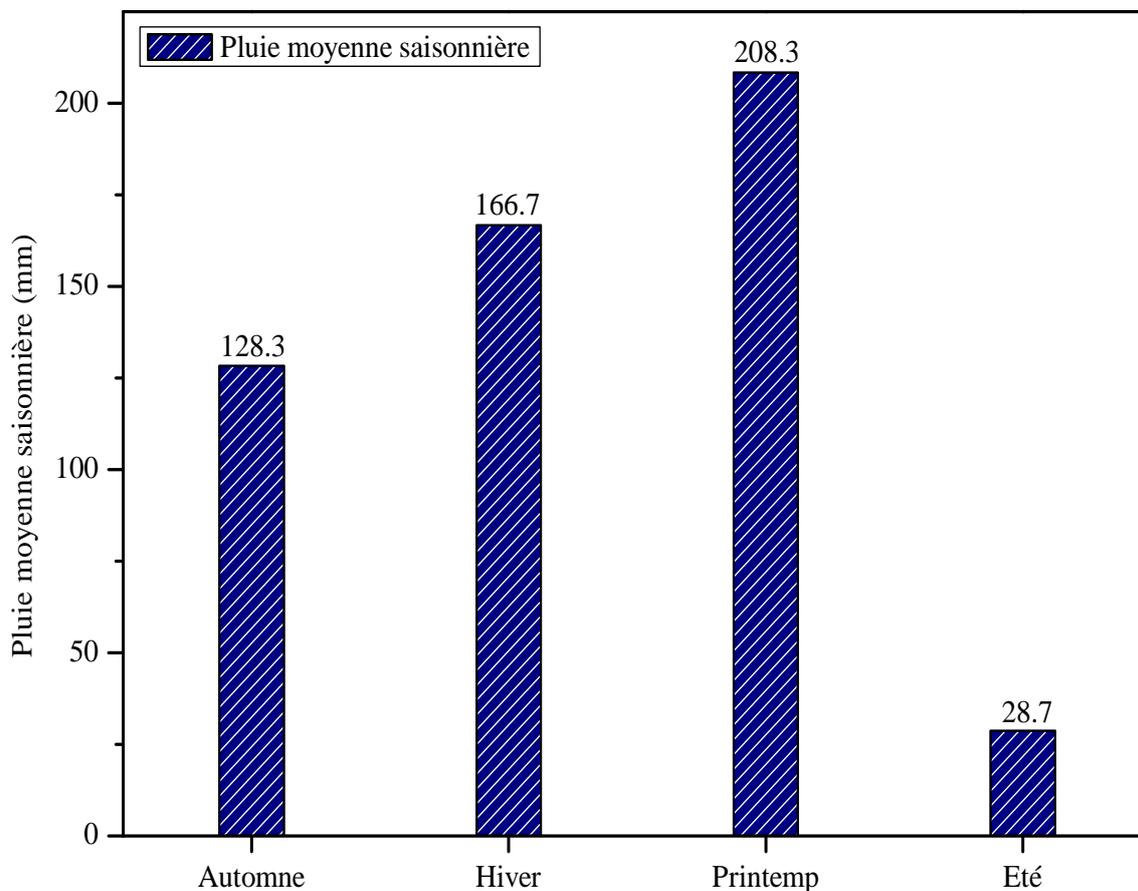


Figure 7 : Pluies moyennes saisonnières d'Ourika 1970/2016

L'histogramme suivant montre une augmentation progressive de pluie dès l'automne jusqu'au printemps où elle atteint sa valeur maximale, par contre en été on note une valeur minimale.

La période saisonnière pluviométrique est divisée en :

- ✚ Une période plus pluvieuse : saisons printemps et hiver, la pluie atteint 166.7 mm à 208.3 mm
- ✚ Une période moyennement pluvieuse : saison d'automne 128.3 mm
- ✚ Une période sèche : saison d'été 28.7 mm

c. Précipitations annuelles

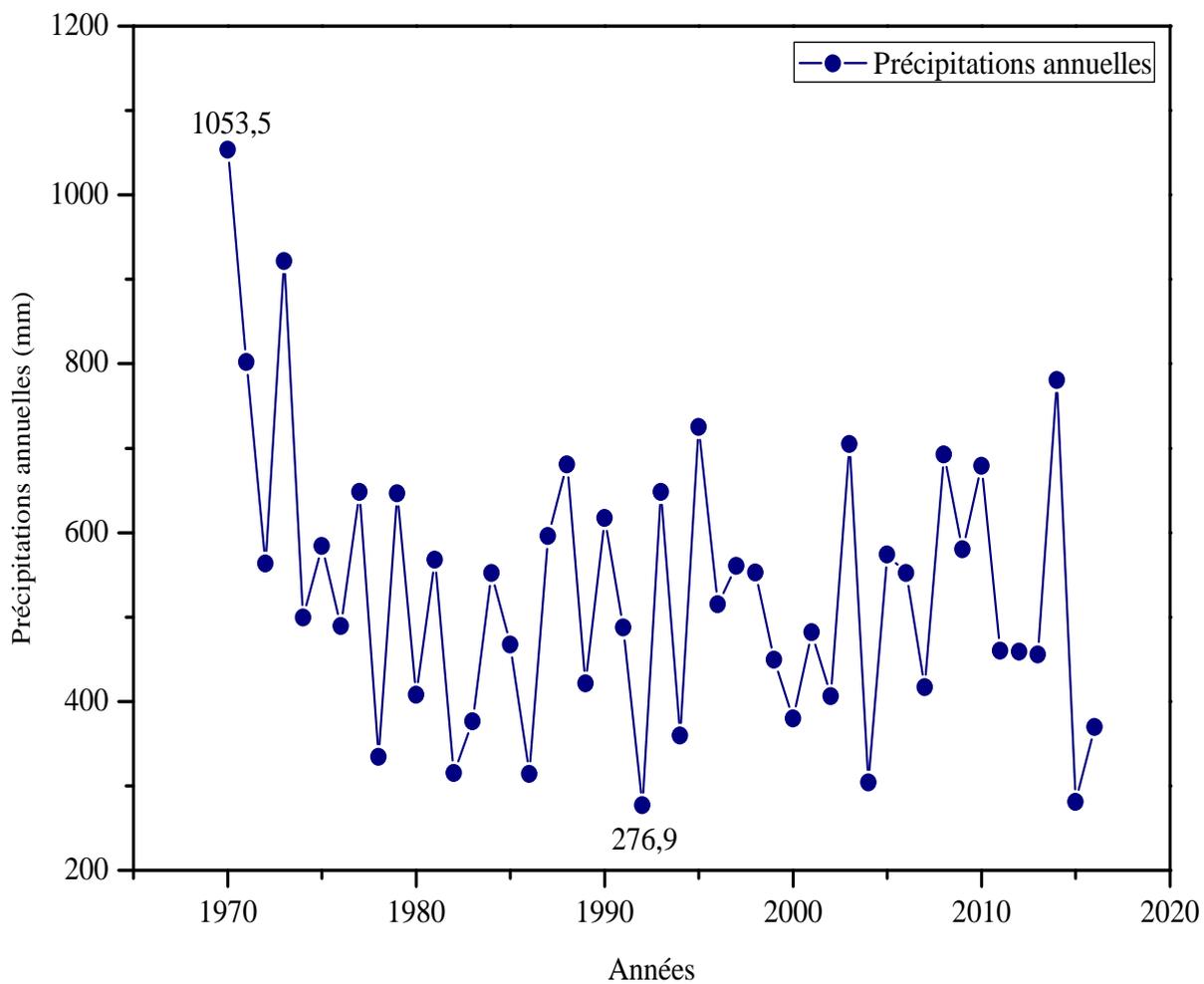


Figure 8 : Pluies annuelles d'Ourika 1970/2016

La courbe montre une forte irrégularité intra annuelle des pluies avec une valeur maximale (1053,5 mm) en 1970 et une valeur minimale (276,9 mm) en 1992, ce qui traduit l'appartenance de la zone de l'étude au climat semi-aride.

2. Le régime hydrométrique

a. Débits moyens annuels

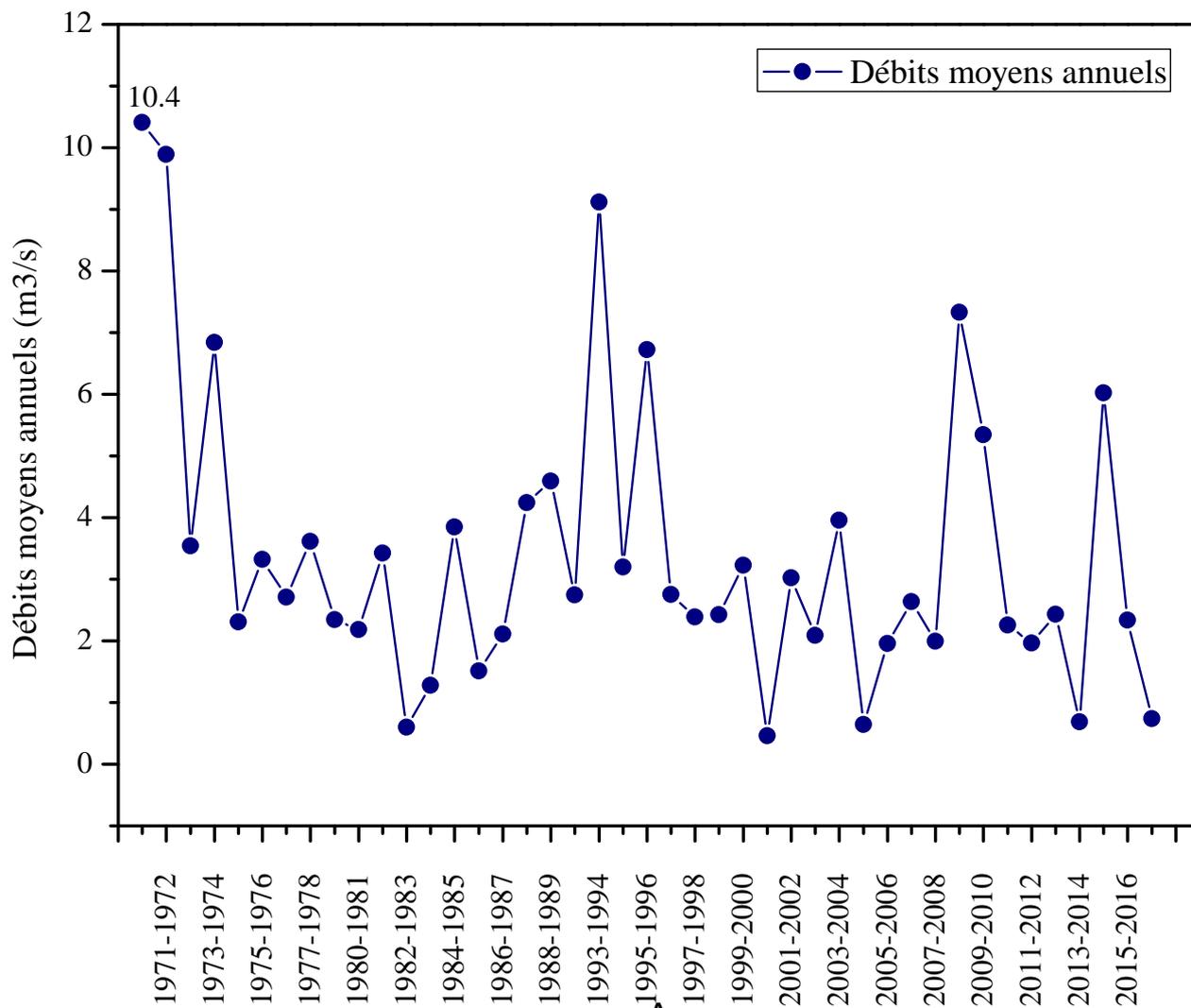


Figure 9 : Débits moyens annuels d'Ourika 1970/2017

Les débits moyens annuels montrent des variations interannuelles avec une succession des années sèches et des années humides. La station Aghbalou enregistre des intensités importantes dans les débits pour l'année 1970 / 1971 avec une valeur maximale de 10.4 (m³/s)

b. Débits moyens mensuels et saisonniers

Débits moyens mensuels

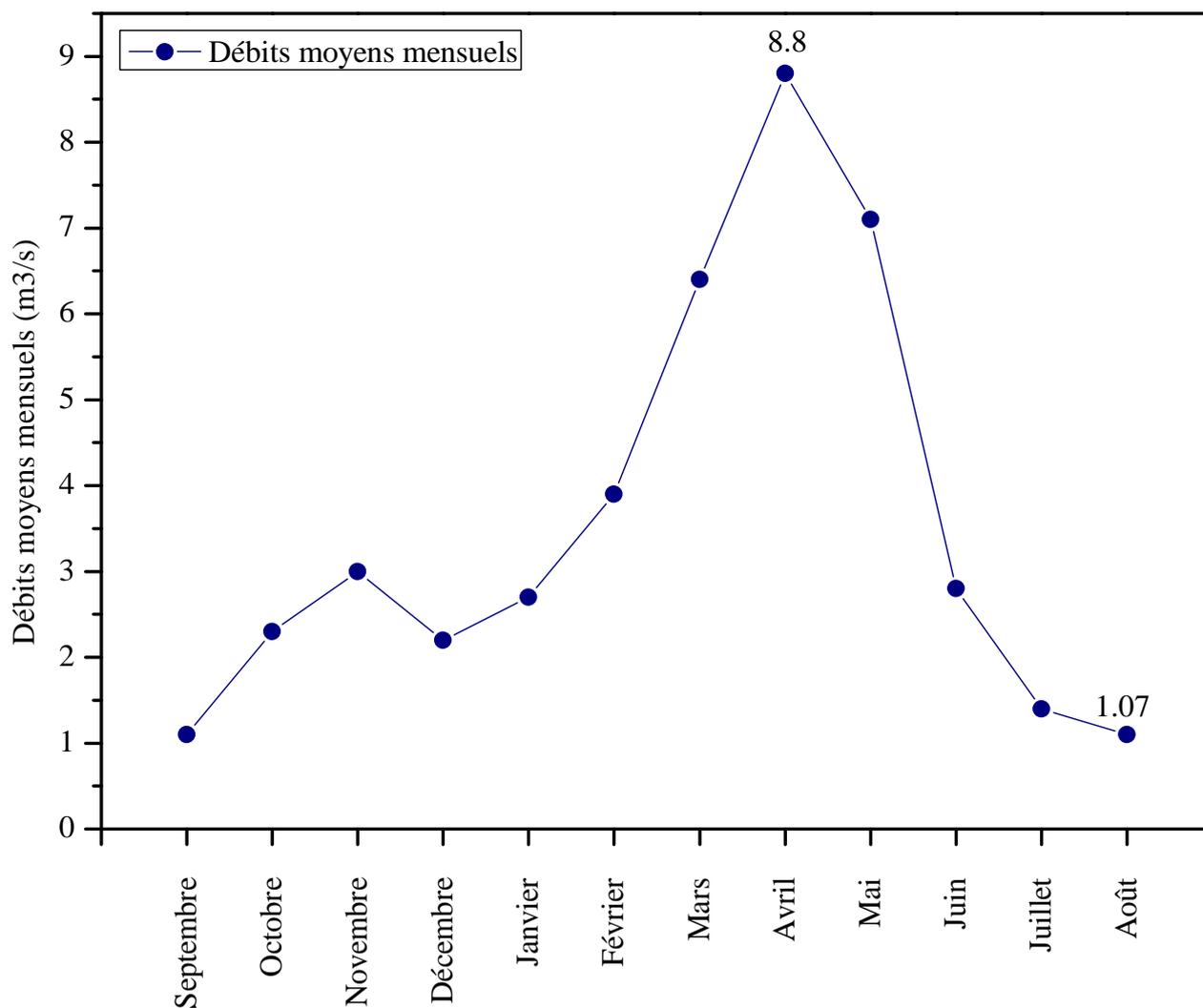


Figure 10 : Débits moyens mensuels d'Ourika 1970/2017

La courbe illustre les débits moyens mensuels d'Ourika. Les forts débits sont remarqués au cours des mois Mars, Avril et Mai par rapport aux autres mois qui ont des débits faibles.

Débits moyens saisonniers

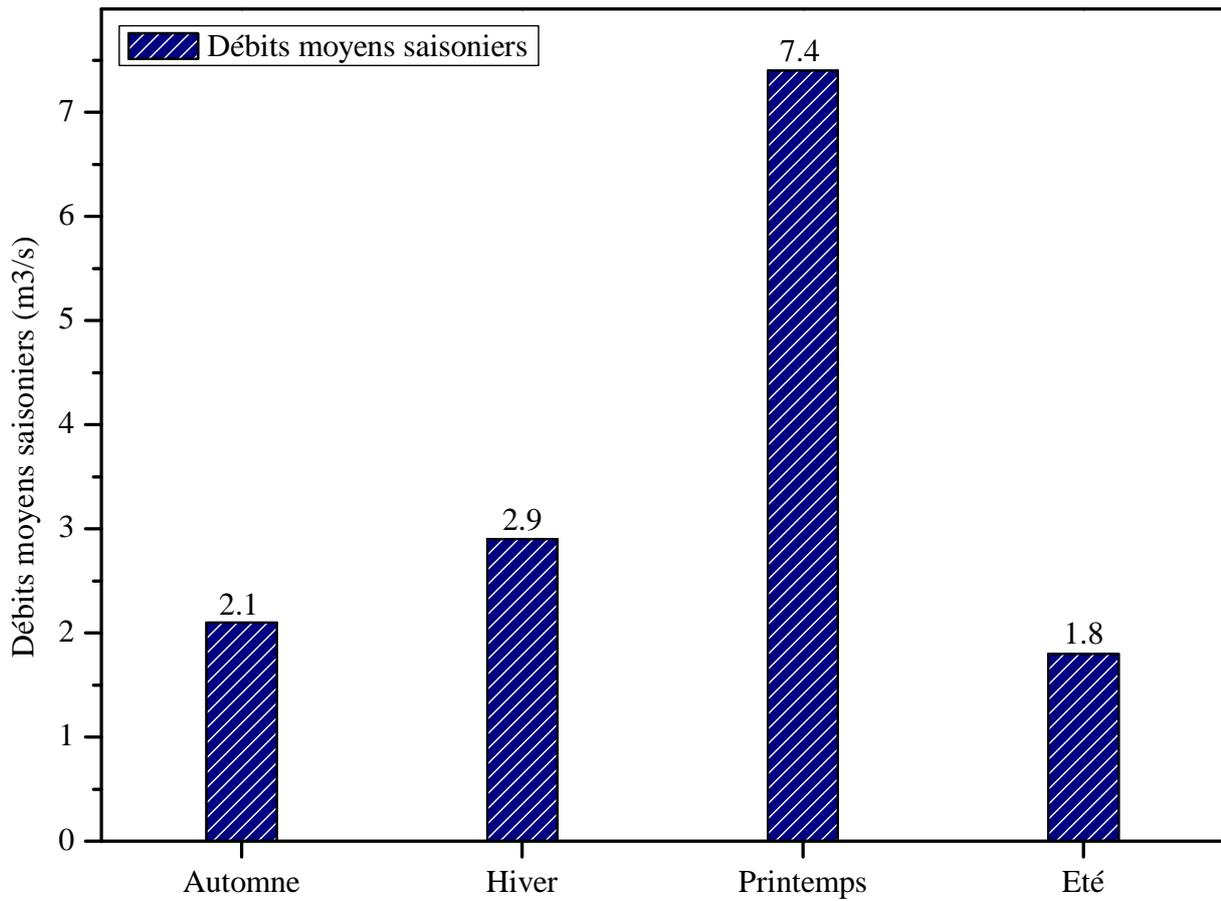


Figure 10 : Histogramme des débits moyens mensuels d'Ourika 1970/2017

L'histogramme suivant montre les débits moyens saisonniers d'Ourika à la station Aghbalou depuis 1970 jusqu'à 2017. Les faibles débits sont remarqués au cours des mois d'été, d'automne et l'hiver, et les forts débits sont remarqués durant les mois du printemps.

CHAPITRE 3 : ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT

I. Caractéristiques géométriques

- **Périmètre (P) :**

Le périmètre est la longueur (km) de la ligne de contour du bassin. La mesure se fait à l'aide d'un curvimètre ou par des logiciels.

$$P = 122 \text{ km}$$

- **Surface (A) ou (S) :**

Il s'agit de la surface en plan du bassin versant. Elle est généralement déterminée soit à l'aide d'outils informatiques, soit de manière approchée suivant un principe de quadrillage.

$$S = 504 \text{ km}^2$$

- **Forme :**

Conditionne le comportement hydrologique en utilisant l'indice de forme de GRAVELLUS.

Ce dernier permet d'évaluer le réseau de drainage :

- Plus le bassin est compact, plus sa forme est ramassée.
- Plus l'indice de Gravelius est faible, plus le temps de rassemblement des eaux vers l'exutoire seront courts.

L'indice de compacité de Gravelius défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface:

$$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 1,52$$

Avec :

- KG : Indice de compacité de Gravelius
- A : Surface du bassin versant (km²), calculée à l'aide d'un planimètre
- P : Périmètre du bassin (km), calculé à l'aide d'un curvimètre

J'ai trouvé que $KG = 1,52$ on peut conclure que le bassin d'étude présente une forme allongée.

- **La longueur de la cour d'eau principale (L_i) :**

La longueur de la cour d'eau principale renseigne sur le temps de transit de l'eau pour atteindre l'exutoire.

$$L_i = 47.21 \text{ km}$$

- **Le rectangle équivalent :**

Est le rectangle de longueur L et de largeur l qui a la même surface et le même périmètre que le bassin versant:

Longueur

$$L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] = 51,06 \text{ km}$$

Largeur

$$I = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] = 9,86 \text{ km}$$

II. Caractéristiques topographique

1. La pente

1.1. La pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante dans le ruissèlement. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissèlement direct et donc sur le temps de concentration. Elle influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

$$I_m = \frac{\Delta H}{L} = 4.57 \%$$

Avec :

- I_m : La pente moyenne
- ΔH : dénivellation maximale de la rivière [m]. $\Delta H = H_{moy} - H_{min} = 2160$ m
- L : Longueur du cours d'eau principal en [m].

1.2. La carte de pente

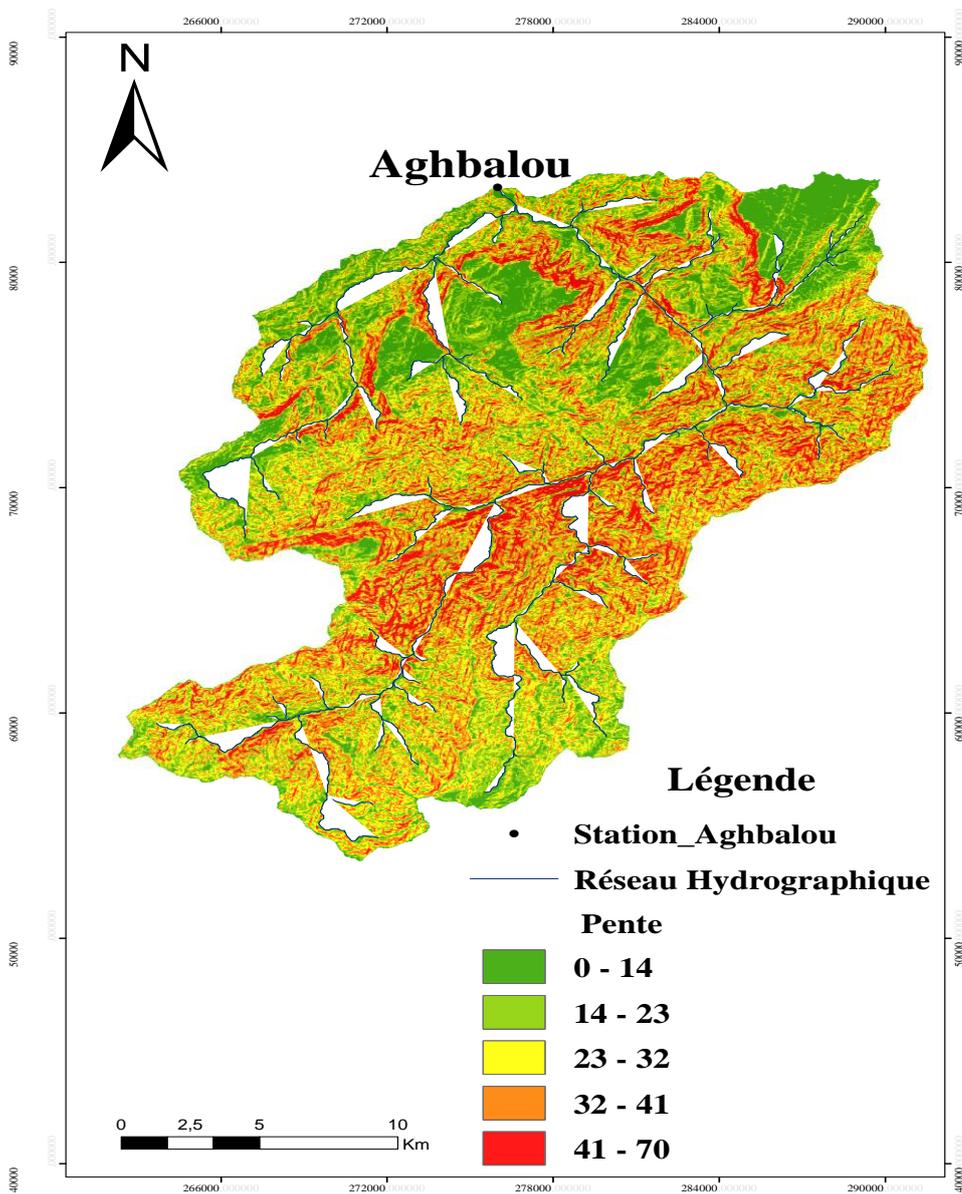


Figure 12 : Carte des pentes en degrés du bassin versant d'Ourika

La pente est un paramètre d'importance dans l'aménagement d'un bassin versant .Au niveau du bassin versant d'Ourika les pentes sont dans l'ensemble fortes. Ils sont varies entre 0° et 70°.

2. Hypsométrie

2.1. La carte hypsométrique

La carte hypsométrique donne une idée sur les proportions des tranches d'altitudes. Les études hydrologiques du fait que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont influencés par l'altitude.

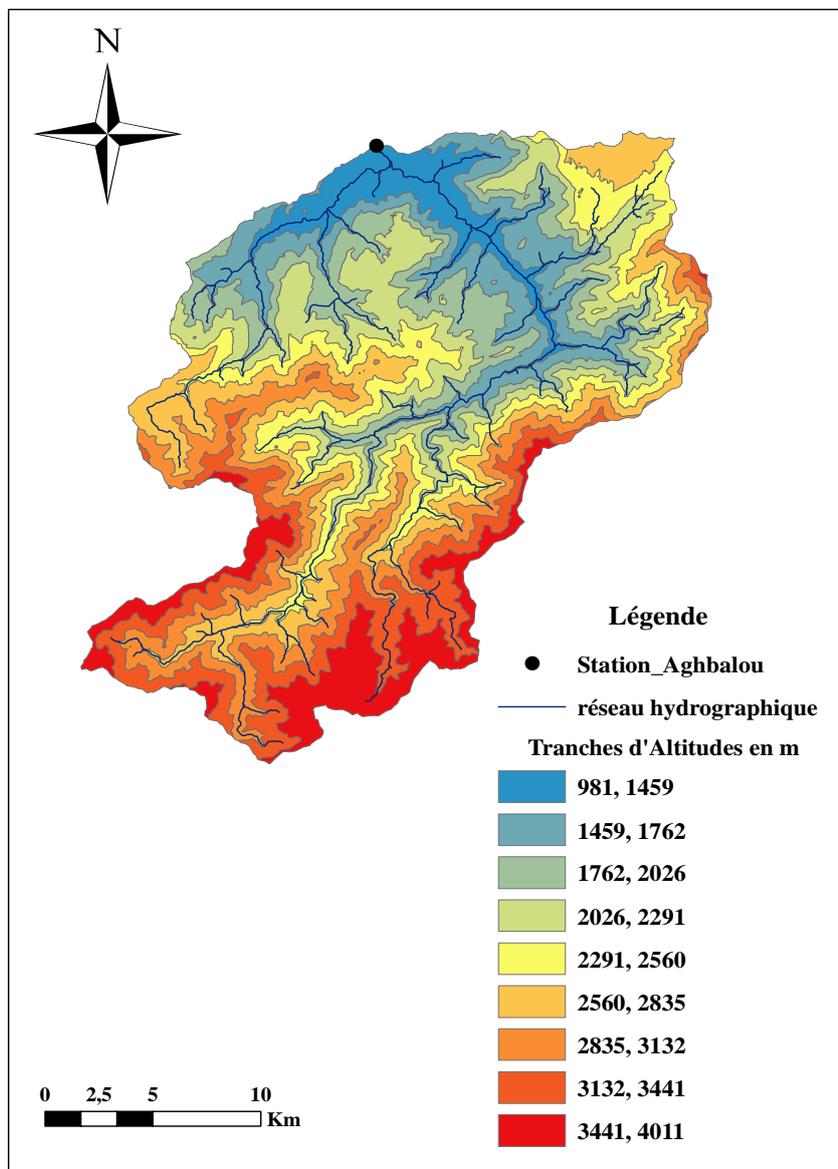


Figure 13 : Carte hypsométrique du bassin versant d'Ourika

La carte hypsométrique fournit une vue synthétique sur la pente du bassin. Donc sur le relief cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Il est compris entre 981 m et 4011 m.

2.2. La courbe Hypsométrique

La courbe hypsométrique est obtenue en mesurant les surfaces comprises entre les courbes de niveaux et en leur attribuant des pourcentages de la surface totale du bassin. On trace un diagramme avec les tranches d'altitudes en ordonnées et les superficies cumulées en abscisses.

Altitudes	Surface		pourcentage cumulé de la surface du bassin [%]
	Km ²	[%]	
981 - 1459	32,08	6,4	100
1459 - 1762	54,48	10,8	93,6
1762 - 2026	634	12,57	82,8
2026 - 2291	68,47	13,57	70,23
2291 - 2560	59,43	11,78	56,66
2560 - 2835	72,12	14,3	44,88
2835 - 3132	59,11	11,72	30,58
3132 - 3441	53,6	10,62	18,86
3441 - 4011	41,55	8,24	8,24

Tableau 1 : Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveau

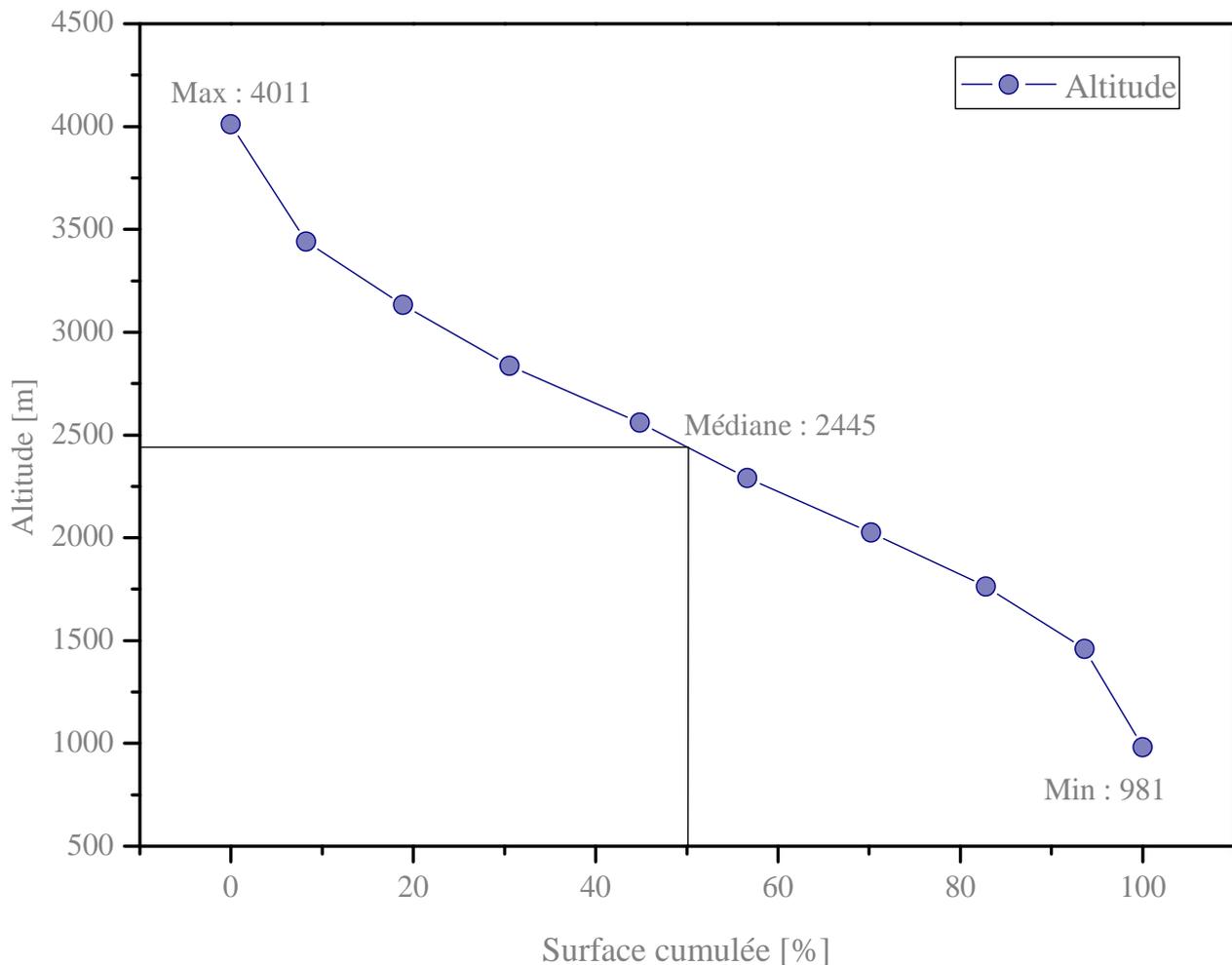


Figure 14 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'Ourika Aghbalou

La courbe montre une élévation rapide des altitudes vers l'amont, elle donne une idée sur le profil du bassin versant. Par ailleurs, l'examen de la courbe permet de déduire:

- L'altitude maximum : **4011 m** (correspondant au sommet du bassin versant)
- L'altitude minimale : **981 m**
- L'altitude médiane correspond à une surface cumulée de 50% : **2445 m**
- L'altitude moyenne correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50 % de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Elle est donnée par l'équation suivante :

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A} = 2160 \text{ m}$$

Avec :

Hmoy : L'altitude moyenne du bassin [m].

Ai : L'aire comprise entre deux courbes de niveau [km²].

hi : L'altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m].

A : La superficie totale du bassin versant [km²].

- Dénivelée

$$D = H_{moy} - H_{min} = 2445 \text{ m}$$

Avec :

Hmoy : altitude moyenne du bassin versant

Hmin : altitude minimale du bassin versant

Paramètres	Valeur
Surface	504 km ²
Périmètre	122 km
Indice de compacité	1.52
Longueur du cours d'eau principale	47.21 km
Altitude maximale	4011 m
Altitude minimale	981 m
Altitude médiane	2445 m
Altitude moyenne	2160 m
Dénivelée	1464 m
Longueur du rectangle équivalent	51.06 km
Largeur du rectangle équivalent	9.86 km
Pente moyenne	4.57 %

Tableau 2 : Caractéristiques physiques du bassin versant d'Ourika

III. Calcul des débits de pointe et le temps de concentration

Cette étude effectuée dans le but de faire une étude hydrologique afin de déterminer les débits de pointe des crues concernent les temps de retour (10, 20, 50, 100 ans), on se base sur les différentes caractéristiques du bassin versant (voir tableau 1)

Les formules utilisées pour l'estimation des débits de pointes sont les formules empiriques (Mallet-Gauthier, Hazan Lazarevic, Fuller 2), et la méthode Gradex.

1. Calcul du temps de concentration

Le temps de concentration (T_c) est le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point situé le plus loin possible de l'exutoire pour atteindre ce dernier. Ce paramètre est déterminé par des formules empiriques.

a- Formule de Kripich:

$$T_c = \frac{0.0195 \times L^{0.77} \times I^{-0.385}}{60} = 4.23 \text{ h}$$

Avec :

T_c : Temps de concentration en (h)

L : longueur du cours d'eau principal en m

I : Pente moyenne du bassin m/m

b- Formule de Turazza :

$$T_c = \frac{60 \times 0.108 \times \left(\frac{S}{L}\right)^{0.333} \times I^{-0.5}}{60} = 1.11 \text{ h}$$

Avec :

T_c : Temps de concentration en (h)

S : Superficie du bassin versant en (km²)

L : longueur du cours d'eau principal en km

I : Pente moyenne du bassin m/m

c- Formule de Passini :

$$T_c = \left((64.8 \times \left(\frac{S}{L}\right)^{0.333} \times I^{-0.5}) \div 60 \right) = 1.16 \text{ h}$$

Avec :

T_c : Temps de concentration en (h)

S : Superficie du bassin versant en (km²)

L : longueur du cours d'eau principal en km

I : Pente moyenne du bassin %

d- Formule espagnole :

$$T_c = (60 \times 0.3 \times \left(\frac{L}{I^{0.25}}\right)^{0.77}) \div 60 = 10.57 \text{ h}$$

Avec

T_c : Temps de concentration en h

L : longueur du cours d'eau principal en km

I : Pente moyenne du bassin m/m

e- Formule de Californienne :

$$T_c = (60 \times 0.1452 \times \left(\frac{L}{I^{0.5}}\right)^{0.77}) \div 60 = 9.26 \text{ h}$$

Avec :

T_c : Temps de concentration en h

L : longueur du cours d'eau principal en km

I : Pente moyenne du bassin m/m

Choix du temps de concentration

Formule	Le temps de concentration
Formule de Kripich	4.23 h
Formule de Turazza	1.11 h
Formule de Passini	1.16 h
Formule espagnole	10.57 h
Formule de Californienne	9.26 h

Tableau 3: récapitulatif du temps de concentration du bassin selon les différentes méthodes

Le tableau indique les diverses valeurs du temps de concentration obtenues par ces formules.

La valeur du temps de concentration est la moyenne de valeurs trouvées.

Donc la valeur finale du temps de concentration de notre bassin versant est :

$$T_c = \frac{4.23+1.11+1.16+9.26+10.57}{5} = 5.26 \text{ h}$$

2. Calcul des débits de pointe

2.1. Méthodes empiriques

a. Débits par Mallet Gauthie

La formule de Mallet Gauthier est comme suit :

$$Q(T) = 2K \log(1 + aH) \times \frac{A}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4\log(T) - \log(A)}$$

Avec

Q_T : Débit de pointe pour la période de retour T (m^3/s)

H_T : Pluie moyenne annuelle en m

T : La période de retour en ans

S : Superficie du bassin versant en km^2

L : Longueur du cours d'eau principal en km

a : Coefficient variant de 20 à 30. On prend 20 pour le Maroc

K : Paramètre régional variant de 0.5 à 5. On prend $K=2$ pour le bassin versant étudié

Paramètres utilisés

S	504 km²
L	1.08 km
a	20
k	2
H_T	0.5436 m

	La période de retour (ans)			
	10	20	50	100
Débits calculé (m ³ /s) par Mallet Gauthier	478	590	712	791

Tableau 4 : Débits calculé par la formule de Mallet Gauthier

b. Débits par Hazan Lazareviç :

La formule de Hazan Lazareviç donne le débit millénial en fonction de la superficie du bassin versant. Sa formule est comme suit :

$$Q (1000 \text{ ans}) = x \times S^y$$

Avec

S : surface du bassin versant en km².

T : période de retour en ans.

a et b : paramètres dont les valeurs sont résumées dans les tableaux ci-dessous :

Zone		Pluviométrie mm	x	y
Rif	Rif Central	1000 - 1300	15.53	0.776
	Rif Occidental	800 - 1000	9.78	0.793
	Rif Oriental	600 - 800	7.58	0.808
Moyen Atlas Saharien		700 - 900	14.94	0.636
		500 - 700	13.51	0.613
		400 - 500	13.47	0.587
Haut Atlas Saharien		200 - 400	9.38	0.742

Tableau 5 : Paramètres régionaux de Hazan Lazareviç

On s'intéresse de la zone du Haut Atlas Saharien

Pour calculer les débits on utilise la formule initiale de Fuller:

$$Q(T) = \frac{[Q(1000) \times (1 + a \log(T))]}{1 + a \log(1000)}$$

Avec

Q (T) : Débit de pointe de période de retour en (m³/s)

Q (1000) : La formule de Hazan Lazareviç

a : Coefficient régional, égale 2

T : La période de retour

		Paramètres utilisés			
		x	9.38		
		y	0.742		
		a	2		
		La période de retour (ans)			
		10	20	50	100
Débits calculé (m ³ /s) par Hazan Lazareviç		407	489	596	678

Tableau 6 : Débits calculé par la formule de Hazan Lazareviç

c. Débits par Fuller 2

$$Q(T) = (1 + C \log(T)) \times \left(S^{0.8} + \frac{8}{3} A^{0.5} \right) \times \frac{4}{3} \times \frac{N}{100}$$

Avec

Q_T : débit de pointe de période de retour en m^3/s

T : Période de retour en ans

S : superficie du bassin versant en km^2

C : paramètre régional

		Régions
Valeur C	0.7 à 0.8	Humides
	0.8 à 2	Arides
	3 à 3.5	Sahariens
Valeur N	80	Plaines
	85	Reliefs accidentés
	100	Montagnes

Tableau 7 : Paramètres régionaux de Fuller 2

Paramètres utilisés	
S	504 km^2
C	0.8
N	85

	La période de retour (ans)			
	10	20	50	100
Débits calculé (m ³ /s) par Fuller 2	418	474	548	604

Tableau 8 : Débits calculé par la formule de Fuller 2

Débits (m ³ /s)			
La période de retour (ans)	Mallet Gauthier	Hazan Lazareviç	Fuller 2
10	478	407	418
20	590	489	474
50	712	596	548
100	791	678	604

Tableau 9 : Résultats des débits de pointe par les formules empiriques

2.2. La méthode de Gradex

a. Fonction de répartition des pluies

La méthode du Gradex consiste tout d'abord à étudier la loi de distribution des pluies sur des intervalles de temps correspondants aux temps de concentration du bassin à étudier. L'intervalle le plus utilisé est 24 heures puisqu'on a souvent des données journalières de pluies ainsi que des débits moyen journaliers.

On classe les pluies journalières maximales annuelles et on attribue à chacune d'elles un rang **R** et une fréquence au non dépassement :

Sur un papier Gumbel, on porte les points expérimentaux (des pluies) et on leur ajuste une droite de Gumbel. La pente de cette droite est appelée Gradex et correspond pour une loi de Gumbel au paramètre **1/a**.

b. Mode d'application

Après avoir étudié la variation aléatoire des pluies journalières maximales, tracé sa fonction de répartition et calculé son Gradex, on trace les fréquences au non dépassement des débits moyens journaliers maxima annuels (jusqu'au débit décennal). Les débits doivent être également exprimés en mm. On extrapole $F(Q)$ à partir de la fréquence 0,9 ($y = 2,25$) avec une droite parallèle à celle des pluies.

Rang	Pluie j (mm)	Fréquence au non dépassement	Variable réduite (y)
1	86,5	0,99	4,49
2	71,6	0,97	3,38
3	67,9	0,94	2,86
4	67,8	0,92	2,51
5	67,8	0,90	2,25
6	67,2	0,88	2,04
7	67,2	0,86	1,86
8	66,7	0,83	1,70
9	65,2	0,81	1,56
10	64,9	0,79	1,44
11	64,1	0,77	1,33
12	62,5	0,74	1,22
13	60,1	0,72	1,12
14	59,5	0,70	1,03
15	58,4	0,68	0,94
16	57,1	0,66	0,86
17	56,7	0,63	0,78
18	55,4	0,61	0,71
19	55,3	0,59	0,64
20	55,2	0,57	0,57
21	53,5	0,54	0,50
22	51,6	0,52	0,43
23	49,4	0,50	0,37
24	48,9	0,48	0,30
25	48,6	0,46	0,24
26	48,2	0,43	0,18
27	48	0,41	0,12
28	46,7	0,39	0,06
29	46,4	0,37	-0,003
30	42,8	0,34	-0,06
31	42,5	0,32	-0,12
32	41,9	0,30	-0,19
33	41,5	0,28	-0,25
34	41,4	0,26	-0,31
35	39,8	0,23	-0,38
36	39,3	0,21	-0,44
37	38,3	0,19	-0,51
38	37,8	0,17	-0,58
39	36,5	0,14	-0,66
40	36	0,12	-0,74
41	36	0,10	-0,83
42	35,1	0,08	-0,94
43	34,3	0,06	-1,06
44	32,5	0,03	-1,22
45	32	0,01	-1,50
Moy	51,69		
Ec.Type	12,87		
1/a	10,04		
P ₀	45,90		
Q ₀	0,60		

Rang	Année	Débits moy. j (m ³ /s)	Débit insta (m ³ /s)	Débits moy. j (mm)	Fréquence au non dépassement	Variable réduite (y)	coefficient de pointe
1	1988-89	268,6	823,0	46,05	0,99	4,45	3,06
2	1999-00	250,14	762,0	42,88	0,97	3,34	3,05
3	1993-94	138	226,0	23,66	0,94	2,82	1,64
4	2014-15	134,84	343,3	23,12	0,92	2,47	2,55
5	2012-13	132,52	420,2	22,72	0,90	2,20	3,17
6	1986-87	109,06	250,0	18,70	0,87	1,99	2,29
7	2010-11	89,34	339,1	15,32	0,85	1,81	3,80
8	1995-96	68,81	165,0	11,80	0,83	1,65	2,40
9	2009-10	65,07	234,4	11,15	0,80	1,51	3,60
10	2008-09	60,79	267,0	10,42	0,78	1,39	4,39
11	1970-71	56,08	117,0	9,61	0,76	1,27	2,09
12	1973-74	47	77,5	8,06	0,73	1,17	1,65
13	1994-95	45,62	1030,0	7,82	0,71	1,07	22,58
14	2000-02	45,6	150,0	7,82	0,69	0,98	3,29
15	1992-93	44,2	74,5	7,58	0,66	0,89	1,69
16	1971-72	40,7	55,2	6,98	0,64	0,81	1,36
17	2015-16	35,16	200,0	6,03	0,62	0,73	5,69
18	1981-82	32,9	93,3	5,64	0,59	0,65	2,84
19	1996-97	31,87	65,0	5,46	0,57	0,58	2,04
20	1972-73	29,7	72,0	5,09	0,55	0,50	2,42
21	1987-88	26,19	651,0	4,49	0,52	0,43	24,86
22	1975-76	25,6	101,0	4,39	0,50	0,37	3,95
23	1984-85	24,6	40,1	4,22	0,48	0,30	1,63
24	1977-78	23,6	95,6	4,05	0,45	0,23	4,05
25	2005-06	21,15	208,0	3,63	0,43	0,17	9,83
26	2007-08	20,23	55,8	3,47	0,41	0,11	2,76
27	2006-07	19,03	358,5	3,26	0,38	0,04	18,84
28	2011-12	18,79	206,0	3,22	0,36	-0,02	10,96
29	2003-04	18,04	37,0	3,09	0,34	-0,08	2,05
30	1976-77	17,9	52,6	3,07	0,31	-0,15	2,94
31	1983-84	17,8	37,4	3,05	0,29	-0,21	2,10
32	1974-75	17	23,4	2,91	0,27	-0,28	1,38
33	1997-98	15,6	168,8	2,67	0,24	-0,34	10,82
34	1982-83	14,6	24,4	2,50	0,22	-0,41	1,67
35	1998-99	14,3	61,3	2,45	0,20	-0,48	4,29
36	1978-79	10,73	18,4	1,84	0,17	-0,56	1,71
37	2002-03	10,57	110,0	1,81	0,15	-0,64	10,41
38	2000-01	9,93	26,4	1,70	0,13	-0,72	2,66
39	2004-05	9,58	19,4	1,64	0,10	-0,81	2,03
40	1980-81	7,94	8,1	1,36	0,08	-0,92	1,02
41	1985-86	5,72	50,5	0,98	0,06	-1,05	8,83
42	2013-14	4,18	6,7	0,72	0,03	-1,21	1,60
43	2016-17	2,88	6,0	0,49	0,01	-1,49	2,08

Avec

- Fréquence au non dépassement : $F(Q) = 1 - \frac{R-0.5}{n}$
- Variable réduite : $Y = -Ln(-ln(F(Q)))$
- Les paramètres d'ajustement étant :
 - Le paramètre d'échelle $\frac{1}{a} = 0.78 \times \sigma$
 σ est l'écart-type de la série des crues.
 - Le paramètre de forme $P0 = Moy - (\frac{1}{a} \times 0.577)$
- Débits moy. Journaliers : $Q(mm) = \frac{Q(m3/s) \times 86400}{504000}$
- La loi de Gumbel $Y = a(Q - Q0)$
Alors $Q0 = Q - \frac{1}{a}Y$

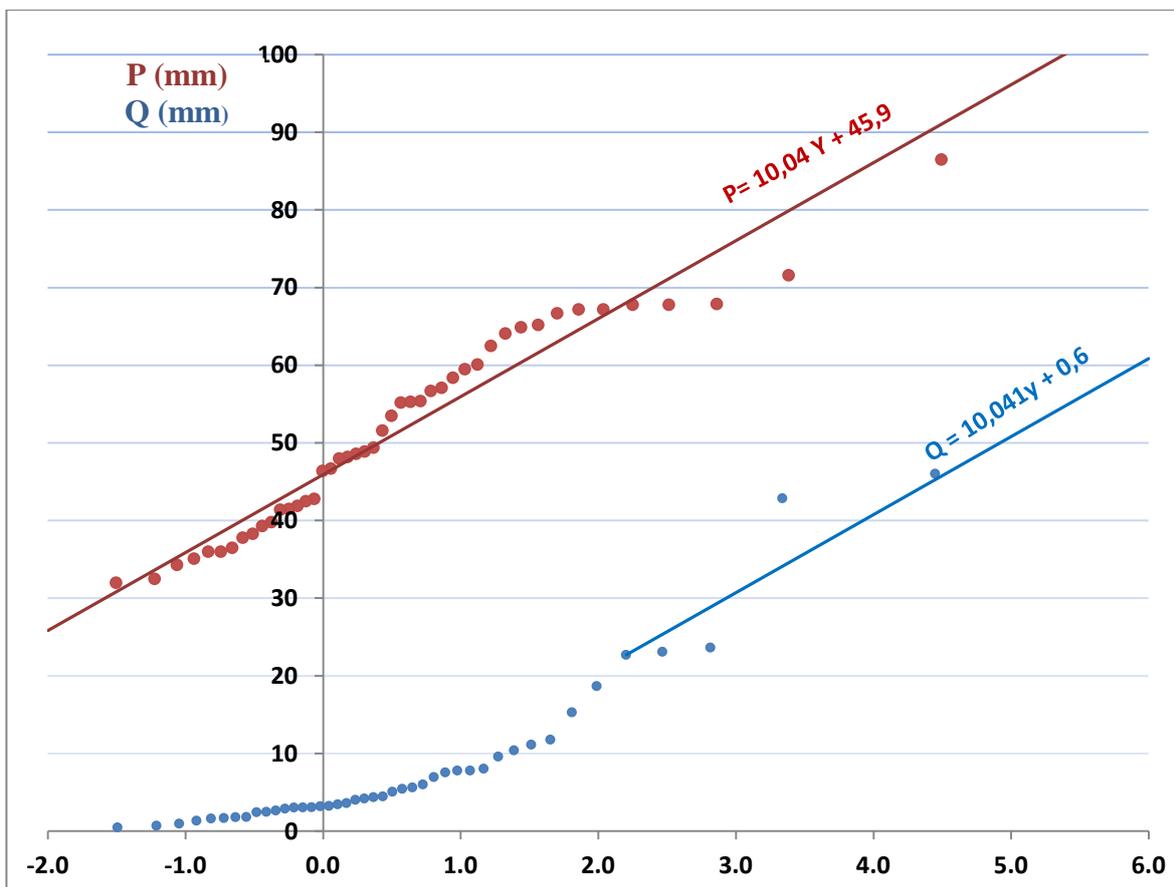


Figure 15: Application de la loi du Gradex (Ourika Aghbalou)

Pour calculer les débits moyens instantanés. On multiplie les débits max journaliers par la moyenne de coefficient de pointe.

La moyenne du coefficient de pointe est 4.83

T (ans)	Y	Q (mm)	Qmax inst (m ³ /s)	Qmax j (m ³ /s)
10	2,25	23,20	135,3	654
20	2,97	30,43	177,5	857
50	3,90	39,78	232,1	1121
100	4,60	46,79	273,0	1318

Tableau 10 : Débits calculé par la méthode du Gradex

2.3. Ajustement statistique

Cette méthode est basée sur les données des débits instantanés maximums annuelles d'Ourika. L'ajustement statistique faite à l'aide des différents loi réalisé par le logiciel **Hyfran plus**, pour retenir le meilleur résultat.

Ensuite en se base sur les résultats d'analyse numérique qui classe les différentes lois utilisées selon les critères AIC et BIC en attribuant les plus faibles valeurs pour atteindre le meilleur résultat d'ajustement.

a. Présentation du logiciel Hyfran-plus

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

La courbe de distribution expérimentale de la série de l'intensité maximale a été ajustée à différentes lois statiques pour déterminer les quantiles.

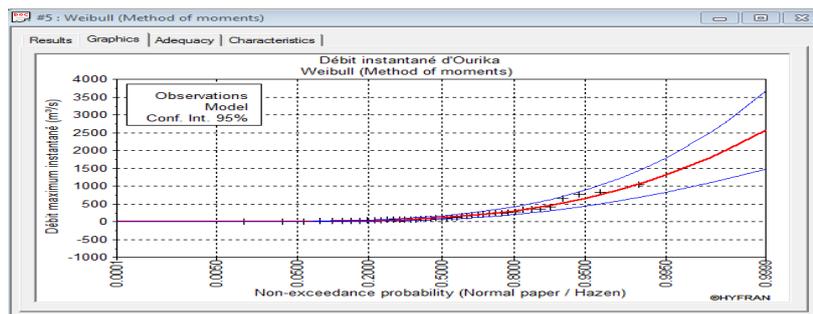
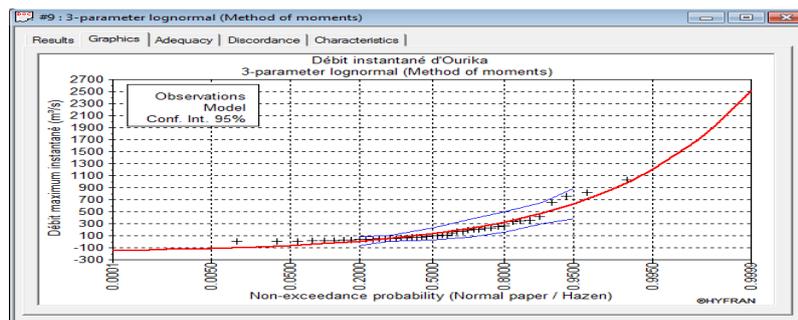
b. Lois d'ajustement

Il existe plusieurs lois (modèles) d'ajustement citant à titre d'exemple:

- La loi normale (de Gauss)
- La loi exponentielle
- Loi des extrêmes généralisée (GEV)
- Loi log- normale (Gualton)
- Loi de Gumbel
- Loi gamma
- Loi gamma généralisée
- Loi Pearson type III
- Loi log- Pearson type III

c. L'analyse des graphes

Les figures si dessous montrent les graphiques des résultats obtenus. Ils représentent les probabilités empiriques et théoriques des distributions de loi Gamma, Loi 3 Paramètre Log-Normale, Loi de Weibull, Loi Gamma Généralisée, Loi Pearson type III, Loi log- Pearson type III. Selon les graphes, on peut conclure que les lois Weibul et Gamma présentent les meilleurs ajustements de la variable débit maximal instantané.



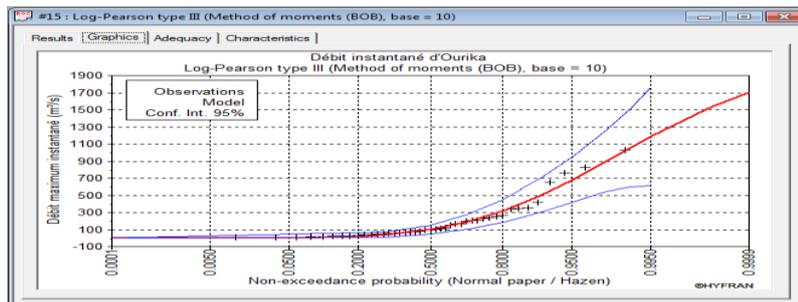
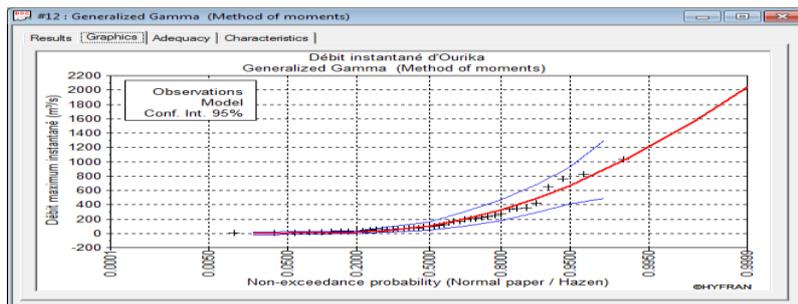
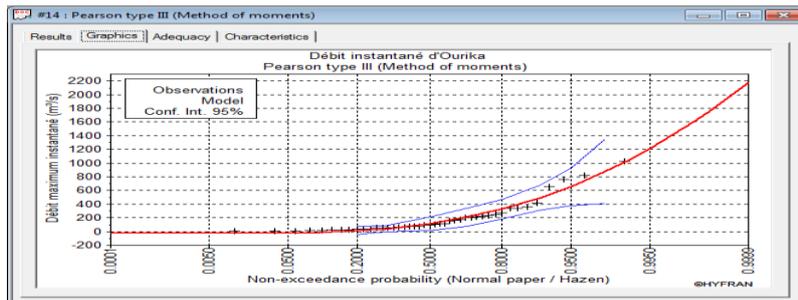
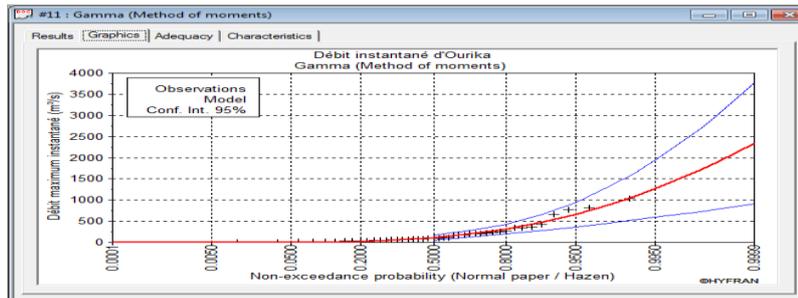


Figure 16 : Ajustement graphique des débits maximaux instantané selon les lois statistiques.

d. L'analyse des critères statistiques

Le tableau suivant représente les critères d'information bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC). D'après les résultats numériques obtenus, la loi Weibul représente le meilleur ajustement de la variable débit maximal instantané.

Modèle	BIC	AIC
Weibul (Méthode de moment)	534.449	539.926
Gamma (Méthode de moment)	545.631	542.109
Log- Pearson type III (Méthode de moment)	548.291	543.007
Gamma Généralisée (Méthode de moment)	553.281	547.998
Pearson type III (Méthode de moment)	562.457	557.173
3 paramètres log-normale (Méthode de moment)	569.758	564.475

Tableau 13: Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station d'Aghbalou du temps de retour (100 ans).

Débit de pointe retenue :

		Période de retour en (ans)			
		10	20	50	100
Débits retenus en (m3/s)	Weibull	470	649	900	1100
	Gamma	482	658	898	1080
	Log- Pearson type III	499	679	900	1050
	Gamma Généralisée	499	670	890	1050
	Pearson type III	490	656	878	1050
	3 paramètres log-normale	476	630	846	1020

Tableau 14: Débits calculé par la méthode d'ajustement statistique

		Loi statistiques						
		Période de retour en (ans)	Weibull	Gamma	Log-Pearson type III	Gamma Généralisée	Pearson type III	3 paramètres log-normale
Confidence intervalle	10	383-557	380-584	393-605	394-603	396-584	382-570	
	20	531-767	505-812	540-818	533-807	510-802	496-764	
	50	733-1070	667-1130	710-1090	878-1100	629-1130	574-1120	
	100	891-1310	789-1380	810-1290	754-1350	706-1390	590-1450	

Tableau 15 : Confidence intervalle des lois statistique

On remarque que les résultats estimés pour les grandes périodes de retour sont très variables d'une loi à l'autre. On retiendra les estimations de la loi Weibull qui est la loi la plus adéquate et qui est proche aux débits de la méthode du Gradex.

Méthode		Débits retenus en (m3/s)			
		Période de retour en (ans)			
		10	20	50	100
Empirique	Débits par Mallet Gauthier	478	590	712	791
	Débits par Hazan Lazareviç	407	789	596	678
	Débits par Fuller 2	418	474	548	604
Gradex		654	857	1121	1318
Ajustement statistique : Weibull		470	649	900	1100

Tableau 16 : Résultats des débits de pointe

La comparaison entre les débits estimés par la méthode empirique, Gradex et l'ajustement statistique a permis de déduire la meilleure méthode pour l'estimation des débits de pointe. C'est la méthode Gradex car il dépend des données journalières de pluies ainsi les débits moyens journaliers par contre la méthode empirique basée sur les caractéristiques du bassin versant et la méthode d'ajustement statistique est basée sur les données des débits instantanés maximums annuelles.

CONCLUSION

L'étude hydrologique ma permet de faire une analyse du fonctionnement hydrologique du bassin avec l'utilisation combine des logiciels à savoir Arc Gis et Hyfran Plus.

Cette étude a porté sur le bassin versant d'Ourika à la station Aghbalou, situé dans le haut atlas occidental, elle concerne le cadre géographique, climatique géologique, l'étude pluviométrique et hydrométrique ainsi les caractéristiques physique du bassin versant et l'estimation des débits de pointe

La situation géo-climatique du bassin versant d'Ourika a permis d'avoir une grande vitesse d'écoulement et des débits de pointes très fortes. Ceci appelle à prendre les mesures structurelles et non structurelles pour la protection et l'aménagement des bassins. Certaines ont été entreprises dans la vallée de l'Ourika à savoir l'aménagement de seuils pour l'amortissement des crues, la stabilisation des thalwegs et réalisation de murs de soutènement, la réalisation d'ouvrages d'art et d'assainissement routiers l'aménagement d'une piste en crête et de zones de refuge. Un système de prévision et d'alerte aux crues a par ailleurs été installé en amont du bassin pour prévenir les riverains et les estivants en cas de crue. Le bassin de l'Ourika a été choisi comme bassin pilote. L'extension de cette mesure de prévision aux bassins limitrophes est attendue et sera très bien accueillie par tout le monde.

BIBLIOGRAPHIE

Saidi M. E., Agoussine. M. et Daoudi. L. (2006). Effet de la morphologie et de l'exposition sur les ressources en eau superficielle de part et d'autre du Haut Atlas (Maroc) ; exemple des bassins versants de l'Ourika et du Marghène. Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Terre n°28, p. 41-49, Rabat.

Fniguire Fatima & Boukrim Siham (2007). Etude dynamique et statistique des crues du Haut Atlas de Marrakech (Maroc), Cas des bassins versants du N'Fis, de la Ghiraya et de l'Ourika. Mémoire de maîtrise, Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech, 56p.

Bahtari Jamila El & Fatima Zahra El Bahri (2009). Caractérisation et évaluation d'un Système de Prévision et d'Alerte aux Crues. Exemple du SPAC du bassin de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc). Mémoire de maîtrise de la Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech. 82 p.

Saidi M. E., Daoudi L., Aresmouk M. E. H., Fniguire F. & Boukrim S. (2010) Les crues de l'oued Ourika (Haut Atlas, Maroc) : Événements extrêmes en contexte montagnard semi-aride. Comunicações Geológicas, Lisbonne, t. 97, pp. 113-128

Etienne Nduwayo et El Mahraz Oumaima Juin 2017 : Restauration des écosystèmes forestiers Etat du couvert végétal et proposition d'interventions de restauration Commune Setti Fadma, 18p.

Chrif Soumia, Edderkaoui Raounak : La lutte contre l'érosion dans le bassin versant de l'Ourika ; Protection mécanique et biologique mémoire de fin d'étude de la faculté des sciences et techniques ; 2013/2014, 56p.

ANNEXES

Série de pluies mensuelles

Station : Ourika Aghbalou

Période : 1970/2016

Unité : mm

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
1970	10.6	4.5	40.5	83.3	203	64.5	166.6	250.9	192	33.5	0	3.7
1971	7.1	63.8	166	32.8	89.6	140.5	147.9	40.5	113	0.7	0.4	0
1972	40.6	72.9	101	54	40.5	19.8	111.1	70.9	19.1	14.4	1.8	17
1973	0	34.5	88.2	165.3	18.5	165.3	164	236.9	22.2	15.4	10.7	0.4
1974	29	32.4	11.7	8	43	37	87.4	178.6	55	8.9	1.4	6.7
1975	19.9	0	32.4	18.7	37.9	30.6	87.6	218.4	123	7.9	0.6	6.7
1976	6.7	87.6	0	60.8	196.1	60.4	57.9	10.2	1.3	8	0	0
1977	37	96.3	68.2	67.1	88.9	53.1	2.2	133.2	48.2	45.7	1.8	6.2
1978	4.3	53.7	1.4	68	51.3	76.1	28.6	39.7	9.4	1.3	0.6	0
1979	33.4	155.1	0	12.5	52.6	114.2	153.1	73.9	9.9	26.7	0.9	14.2
1980	5.8	36.6	75.3	0	32	89.8	82.2	58.7	18.6	6.2	0.3	2.2
1981	1	37.9	0	33.1	59.2	54.8	32.4	256.7	70.1	0	16.7	5.8
1982	6.7	8.8	32.3	41	1.3	73	42.8	69.5	37.1	0.5	0	1.9
1983	2.7	8.3	48.2	22	5.9	6	96.1	54.5	130	0	2.4	0.5
1984	3.5	7.7	88.4	1.7	187.5	38.2	28.7	72.4	120	0.8	2.7	0
1985	2.7	7.2	54.5	48.8	111.7	108.7	59.3	25.1	17.7	31.4	0.4	0
1986	0.6	22.2	44.6	0.8	40.6	128.8	52	3.4	5.8	6.3	1.2	7.5
1987	18.1	95.4	101	35.9	103.7	108.7	43.5	14.7	64.7	9.3	0.7	0
1988	0.3	82.9	135	0	50.1	74.2	131.1	119.1	16.5	11.5	31.8	28.1
1989	9.2	65.7	47.6	83.6	60.7	0	52.5	29.8	41.6	24.2	5.2	1
1990	41.3	4.4	13.2	49.9	3.3	140.9	269.2	38.9	14.6	6.5	19.1	15.8
1991	45.8	43.3	25.5	34.7	0	35.7	96.5	73.8	31.9	83.4	0.4	16.2
1992	0.8	32.5	25.6	35.7	31.3	35.1	39.9	50.3	20.8	0	2.9	2

1993	1.6	31.1	149	51.7	88.7	133.6	140.2	16.3	32.6	0.2	2.1	1.1
1994	5	42.7	17.4	0.5	0	117	61.8	97.9	9	3.8	0	4.3
1995	22.6	28.5	29.5	54.5	171.3	81.5	187.9	15.9	97.8	35.6	0	0
1996	41.6	14.4	33.1	109.8	81.4	4.8	56.7	130.3	24.6	15.4	2	1.1
1997	114.7	57.1	100	92.1	15.6	22.7	52	27.4	71.6	6.5	0	0.5
1998	8.6	93	1.2	73.4	121.4	80.9	105.3	11	27.1	1.6	0	28.9
1999	6.1	131.7	49.8	45.1	23.7	4.1	1.6	121.8	62.1	2.1	0.5	0.8
2000	2.8	76.7	25.7	67.8	54.6	20.5	46.3	43.5	22.4	0	0	19.3
2001	17.5	0.6	28.9	43.8	2.6	23.2	101.7	194.8	36.9	23.9	0	8
2002	2.1	13.5	110	30.2	29.5	38.2	60.8	39.5	14.5	45.7	2.1	19.9
2003	1.5	122	137	52.7	1	74.3	63.7	115.9	95.2	27.7	13.5	0.7
2004	22.4	58.3	34.3	48.1	4.4	85.5	39.7	3.8	7.2	0	0	0
2005	0	74.2	36.8	33.3	133.1	59.9	23.6	111.9	54.8	16	4.1	26.4
2006	8.7	85.6	45.9	55.4	12.9	69.9	6.8	158.9	62	0.8	17	28.4
2007	1.3	16.9	114	16.6	78.1	21.2	80.8	13	70.4	0	2.5	1.9
2008	41.5	93.5	76.5	50.7	134.3	116.6	140.4	3.7	16.3	15.7	3.1	0
2009	50.7	19.1	2.7	44.4	138.1	89.5	65.1	10.6	68.9	10.1	0	80.7
2010	52.8	97.3	44.3	13.5	41.8	3.6	81.7	136.4	132	51.7	2.8	21.3
2011	24.7	53.1	90.2	0	43.3	4.7	37.8	160.2	4.2	17.9	12	11.7
2012	44.9	64.5	110	3.4	44.9	28.3	83.3	61.1	8.7	0	10	0
2013	62.7	12.9	38.8	21.2	104.5	45.8	90.9	41.3	17.8	1.8	0	17.8
2014	15.8	0.9	264	28.8	68	24.7	193.4	4.9	68.2	0.5	77.1	34.7
2015	13.8	24.5	15.2	0	5.5	90.6	69	9.5	22.8	8.9	1.1	19.9
2016	0	9.4	110	60.8	14.4	62.6	34.3	67.1	4.5	0.8	0	6.1

Série des débits moyens mensuels

Station : Ourika Aghbalou

Période 1970/2017

Unité : (m³/s)

Années	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
1970-1971	0.189	2.860	4.576	1.898	10.333	10.067	12.324	26.209	29.567	19.037	6.297	1.516
1971-1972	1.127	2.234	8.643	4.262	5.813	8.802	13.394	17.433	25.406	16.637	8.998	5.949
1972-1973	1.0	4.3	2.6	5.6	3.3	3.5	7.2	7.6	4.6	1.5	0.7	0.5
1973-1974	0.4	0.6	1.7	2.3	3	4.5	16.8	24.9	18.6	6	2.3	1
1974-1975	2.7	1.8	1.3	1.2	1.1	1.6	1.7	8.1	6.1	1.6	0.3	0.2
1975-1976	0.1	0.3	0.4	0.9	0.8	1.6	4.1	9.6	15.2	4.8	1.4	0.5
1976-1977	0.7	1.4	2.3	1.3	5.7	5.4	5.3	6.9	2.1	0.9	0.3	0.2
1977-1978	2.8	1.2	1.4	2.2	5.2	7.1	4.6	9.1	6.2	2.0	0.9	0.7
1978-1979	0.3	0.9	1	1.6	3.6	6	6.2	4.4	2.1	0.8	0.7	0.5
1980-1981	3	3.8	2.7	2	1.1	1.9	4.1	3.8	2.4	1.1	0.2	0.1
1981-1982	0.1	0.8	1.3	0.7	1.2	2.1	3.3	11.7	15.6	2.9	0.8	0.6
1982-1983	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.7	1	1.2	1.7	0.3	0.1	0
1983-1984	0.1	0.8	2.5	0.8	0.5	0.4	1.1	2.8	5.3	0.9	0.1	0
1984-1985	0.2	0.1	1	1.8	5.9	6.1	5.1	8.5	12.6	3.3	1.2	0.4
1985-1986	0.3	0.9	1.3	0.9	1.3	3.4	4.2	2.9	1.5	0.8	0.3	0.3
1986-1987	0.8	0.6	1.3	1	1.3	6.9	4.8	4.2	2.6	0.7	1	0.1
1987-1988	0.5	6	12.9	0.7	2.2	6.1	7.4	5.5	5.7	2.1	1.1	0.7
1988-1989	0.7	2.2	7.9	2.7	2.5	2.9	4.9	7.5	5.6	3.2	14	1
1992-1993	0.8	1.1	0.9	1.4	1.5	1.8	10.3	9.9	3.9	0.8	0.3	0.2
1993-1994	0.2	1.2	5.6	4.7	5.6	11.5	32.7	25.5	17.2	3.7	0.9	0.6
1994-1995	0.3	0.8	1.1	0.7	0.4	1.5	3.5	15.8	8.4	1.7	0.9	3.3
1995-1996	1.3	1.8	1.4	2.9	6.2	6.8	18	20.5	11.2	8	1.6	1
1996-1997	0.9	0.9	1	1.5	2.7	2.8	2.5	13.1	6.5	0.7	0.2	0.2

1997-1998	1.4	1.4	1.7	5.1	4.9	5.8	2.8	2.5	1.8	0.7	0.3	0.2
1998-1999	0.5	0.7	0.4	0.7	1.5	1.8	9.2	6.1	2.7	2.7	0.4	2.4
1999-2000	1.6	23.2	2.1	2.2	1.3	0.8	0.7	3.5	2.1	0.7	0.3	0.2
2000-2001	0.22	0.49	0.50	0.48	0.96	0.68	0.79	0.67	0.26	0.08	0.05	0.36
2001-2002	0.09	0.12	1.06	1.49	0.44	0.29	0.89	14.79	14.61	1.83	0.38	0.28
2002-2003	0.32	1.89	2.58	2.90	1.80	1.96	3.46	3.91	2.21	1.49	0.44	2.13
2003-2004	1.21	4.92	5.97	5.02	1.98	2.17	5.33	6.50	8.95	4.00	1.06	0.39
2004-2005	1.43	1.68	3.27	2.41	2.01	2.34	7.42	5.91	2.96	1.99	0.88	0.94
2005-2006	0.82	3.41	3.40	3.53	4.33	5.23	6.30	10.50	11.64	6.04	5.03	4.38
2006-2007	1.14	6.60	6.57	1.60	1.33	7.99	4.18	9.03	7.47	1.74	0.72	3.73
2007-2008	0.53	0.69	2.37	1.54	2.41	4.73	5.05	2.92	2.64	0.80	0.40	0.23
2008-2009	7.02	5.53	3.44	2.67	6.74	8.73	15.06	13.46	5.52	6.97	1.13	0.41
2009-2010	1.70	0.60	0.64	1.75	4.10	12.48	19.81	8.76	4.69	0.89	0.64	3.63
2010-2011	2.17	2.18	1.48	1.36	0.78	0.49	1.15	5.78	9.88	0.27	0.21	1.30
2011-2012	0.12	0.12	0.56	0.29	0.58	0.27	2.55	14.62	2.79	0.77	0.48	0.38
2012-2013	2.37	5.38	7.58	2.55	1.02	1.51	1.84	5.10	0.65	0.52	0.48	0.19
2013-2014	0.33	0.27	0.33	0.32	0.64	1.26	0.90	1.43	1.12	0.73	0.46	0.43
2014-2015	1.51	0.37	13.12	10.68	2.93	3.83	9.03	13.19	7.12	3.56	2.80	4.18
2015-2016	3.68	3.07	2.38	2.41	2.38	2.56	2.85	1.86	3.34	1.57	1.35	0.57
2016-2017	0.71	0.86	2.21	1.32	0.42	0.36	0.49	0.61	0.96	0.40	0.28	0.17