



Département des Sciences de la Terre

Licence Sciences et Techniques

Eau & Environnement

Etude hydrologique du bassin versant de Ghdat à Sidi Rahal : Cas de la crue du 28 novembre 2014

Réalisé par:

- **Banacer Amal**
- **Benpa Imane**

Soutenu: Le 07 Juin 2016

Devant le jury composé de :

- **Mr. SAIDI Mohamed El Mehdi:** (FST- Marrakech), Encadrant
- **Mr. Rachid Barrakate :** (ABHT-Marrakech), Encadrant
- **Mme.Nadia Khamli :**(FST- Marrakech), Examinatrice

ANNEE UNIIVERSITAIRE : 2015-2016

Remerciements

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

Nous voudrions, en premier lieu, remercier nos professeurs, particulièrement notre encadrant Mr. M.E SAIDI, pour leur aide et assistance.

Nos remerciements vont également à nos encadrant à l'ABHT :

Mr Rachid Barakkate, et tous les techniciens qui ont contribué à notre assimilation du sujet par leurs conseils et leurs apports bibliographiques.

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

Nos chaleureux remerciements à nos familles pour leur soutien matériel et moral, ainsi qu'à nos amis pour leurs encouragements.

Enfin, merci à toutes les personnes de la Faculté des Sciences et techniques qui ont participé à notre formation ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| <i>Remerciement</i> | 2 |
| Liste des figures | 5 |
| Liste des tableaux..... | 6 |
| Introduction..... | 8 |
| I. Situation géographique du bassin versant de Ghdat à Sidi Rahal | 10 |
| II. Analyse géomorphologique du bassin versant de Ghdat à Sidi Rahal | 10 |
| 1. Le réseau hydrographique : | 11 |
| 2. morphologie et relief | 13 |
| 3. Climatologie générale | 16 |
| 4. La végétation..... | 16 |
| 5. Réseau des seguias | 16 |
| 6. Evaporation et humidité | 17 |
| 7. Apports liquides | 17 |
| III. Etude hydrologique du Bassin versant Ghdat à Sidi Rahal | 17 |
| 1. Caractéristiques physiques | 17 |
| IV. Caractéristiques géologique | 19 |
| Chapitre II : Les précipitations et régime d'écoulement sur le bassin versant..... | 22 |
| <u>I.</u> Analyse du régime pluviométrique..... | 23 |
| 1-Précipitations moyennes mensuelles..... | 23 |
| II. Analyse du régime d'écoulement | 25 |
| <u>III.</u> Bilans Hydrologiques et relation entre les pluies et les débits | 28 |
| Chapitre III: Etude dynamique de crues et analyse des hydrogrammes..... | 30 |
| I. Analyse des hydrogrammes des crues | 31 |
| Chapitre IV: L'analyse fréquentielle des débits extrême pour l'estimation des débits de pointe pour différentes périodes de retour | 40 |
| I. L'ajustement statistique des variables précipitations et débits :..... | 41 |
| 1-Ajustement des lois à un échantillon des débits maximaux annuels :..... | 42 |
| 1.1 Méthode visuelle | 42 |
| 2-Ajustement des lois à un échantillon des précipitations maximales annuelles | 45 |
| 2.1. Méthode visuelle..... | 45 |
| 2.2. Méthode numérique | 46 |
| 2.3. Estimation précipitations maximales annuelles pour différentes périodes de retour | 47 |

| | |
|--|------------------------------------|
| Chapitre V: Etude de cas crue de 28 novembre 2014 | 48 |
| I. Pluviométrie de l'évènement | 49 |
| II. Origine des données : | 51 |
| III. La crue de novembre 2014 : | 52 |
| 1. Analyse de l'hydrogramme de la crue | Erreur ! Signet non défini. |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1:carte de la situation géographique du bassin versant du Ghdat | 10 |
| Figure 2:schéma de localisation de la station hydrométrique de Sidi Rahal(ABHT) | 11 |
| Figure 3:Carte du réseau hydrologique du bassin versant de Ghdat à Sidi Rahal | 12 |
| Figure 4:Carte hypsométrie du bassin versant de Ghdat à Sidi Rahal | 13 |
| Figure 5:Carte des pentes du bassin versant de Ghda't à Sidi Rahal | 14 |
| Figure 6:Carte géologique du bassin versant Ghdat | 20 |
| Figure 7: Précipitation moyennes mensuelles interannuelles du bassin versant de l'oued Ghdat à Sidi Rahal(1967/68-2013/2014)..... | 23 |
| Figure 8: Précipitation moyennes annuelles interannuelles du bassin versant de l'oued Ghdat à la station de Sidi Rahal (1967-2014) | 24 |
| Figure 9Précipitation moyennes saisonnière du bassin versant de l'oued Rdat à la station de Sidi Rahal(1967-2014) | 25 |
| Figure 10: régime du débit moyens mensuelles du bassin versant de l'oued Ghdat à la station de Sidi Rahal(1967-2014) | 26 |
| Figure 11 : Régime des débits moyens annuels et interannuels de la station Sidi Rahal | 26 |
| Figure 12: Régime des débits moyens saisonniers de la station Sidi Rahal (1967/68-2012/13) | 27 |
| Figure 13: Evolution comparative des pluies et des écoulements à la Station de Sidi Rahal (1967/68-2013/14)..... | 28 |
| Figure 14: corrélation entre les pluies et les débits mensuels à la station de Sidi Rahal..... | 29 |
| Figure 15: Hydrogramme de la crue du 13/08/1982 | 32 |
| Figure 16: Hydrogramme de la crue du 1/11/1987..... | 33 |
| Figure 17:Hydrogramme de la crue du 10/11/1988 | 34 |
| Figure 18 :Hydrogramme de la crue du 09/03/1990 | 35 |
| Figure 19:Hydrogramme de la crue du 17 aout 1995 | 36 |
| Figure 20:Hydrogramme de la crue du 11 mars 1996..... | 37 |
| Figure 21:Hydrogramme de la crue du 23 octobre 2010 | 38 |
| Figure 22:Hydrogramme de la crue du 28 octobre 2010 | 39 |

| | |
|--|----|
| Figure 23: ajustement graphique des débits maximaux annuels..... | 43 |
| Figure 24: ajustement graphique des précipitations maximales annuelles..... | 46 |
| Figure 25: pluviométrie journalière du 20 au 30 novembre 2014 à Sidi Rahal..... | 49 |
| Figure 26: Situation météorologique du 28 novembre 2014 au niveau du Maroc..... | 50 |
| Figure 27: Hydrogramme reconstitué de la crue du 28 novembre 2014 à Sidi Rahal | 52 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: la répartition des tranches d'altitudes du bassin versant du Ghdat | 15 |
| Tableau 2: temps de concentration du bassin versant du Ghdat | 19 |
| Tableau 3: pourcentage de terrains selon leur perméabilité..... | 19 |
| Tableau 4: pluviosité moyenne pour chaque saison de l'année (mm) | 25 |
| Tableau 5 : Bilan hydrologique moyen mensuel du bassin de l'oued Ghdat à la station de Sidi Rahal (période 1967/68- 2013/14) | 28 |
| Tableau 6: caractéristique de la crue 13 aout 1982..... | 32 |
| Tableau 7: caractéristique de la crue 1 novembre1987..... | 33 |
| Tableau 8: caractéristique de la crue 10 novembre 1988..... | 34 |
| Tableau 9: caractéristique de la crue 9mars1990 | 35 |
| Tableau 10: caractéristique de la crue 17aout1995Crue de 11 mars 1996..... | 36 |
| Tableau 11: caractéristique de la crue 11mars1996Crue de 23 octobre 2010..... | 37 |
| Tableau 12 :caractéristique de la crue 23octobre2010 | 38 |
| Tableau 13: caractéristique de la crue 28octobre2010 | 39 |
| Tableau 14 : Ajustement numériques des lois aux débits annuelles maximales pour une période de 100ans | 43 |
| Tableau 15: estimation des débits de pointe selon les différentes lois d'ajustements..... | 44 |
| Tableau 16 : Ajustement numériques des lois aux précipitations maximales annuelles pour une période de 100ans..... | 46 |
| Tableau 17 : estimation des précipitations de pointe selon les différentes lois d'ajustements..... | 47 |
| Tableau 18: pluviométrie journalière du 20 au 30 novembre2014 de la station sisi Rahal(Ghdat)..... | 49 |

Introduction

Les crues sont partout dans le monde, 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 les infrastructures de base, les terrains agricoles, la plaine en aval et le capital humain. C'est pourquoi elles sont au centre des préoccupations des scientifiques, afin de diminuer les dégâts qui en découlent.

Notre région d'étude fait partie du Haut Atlas de Marrakech. Le bassin versant de Ghdad est un bassin montagneux avec un climat semi-aride. Il est limité au Nord par la plaine Haouz, au Sud par l'axe de la chaîne montagneuse du haut atlas, l'Est par le bassin versant de Tessaout et finalement au Ouest par le bassin versant de Zat.

Raison pour laquelle nous avons décidé d'entreprendre l'étude du fonctionnement hydrologique de ce bassin. Environnementaux en aval du bassin et cerner le comportement hydrologique d'un cours d'eau de zone semi-aride.

Notre objectif du travail a pour but :

- Utiliser le SIG (système informatique géographique) pour la détermination des paramètres du bassin versant
- Utiliser HyfranPlus pour l'ajustement statistique des débits et des pluies extrêmes
- Utiliser Excel pour le traitement des données (débit, pluie,...)

**Chapitre I : Caractéristiques
géographiques hydrologiques
géologiques et analyse
geomorphologique du bassin versant de
Ghdat**

I-Situation géographique du bassin versant de Ghdat à Sidi Rahal :

L'oued GHDAT est un affluent (rive gauche) atlasique du Tensift. Il contrôle un bassin versant de 569 km² à la station SIDI RAHAL. Il est situé au Sud Est de Marrakech dans l'intervalle indiqué par les coordonnées Lambert suivantes :

Ses coordonnées Lambert sont :

X = 303.100 Y = 117.800 Z = 690

Le bassin de Ghdat est délimité au Nord par la plaine du Haouz, au Sud par l'axe de la Chaîne du Haut Atlas, à l'Est par le bassin versant de Tessaout, à l'Ouest par le bassin Versant de Zat. Le bassin est influencé par la structuration du massif atlasique d'où la nécessité d'examiner cette évolution structurale. (Réf : rapport interne 2 ABHT)

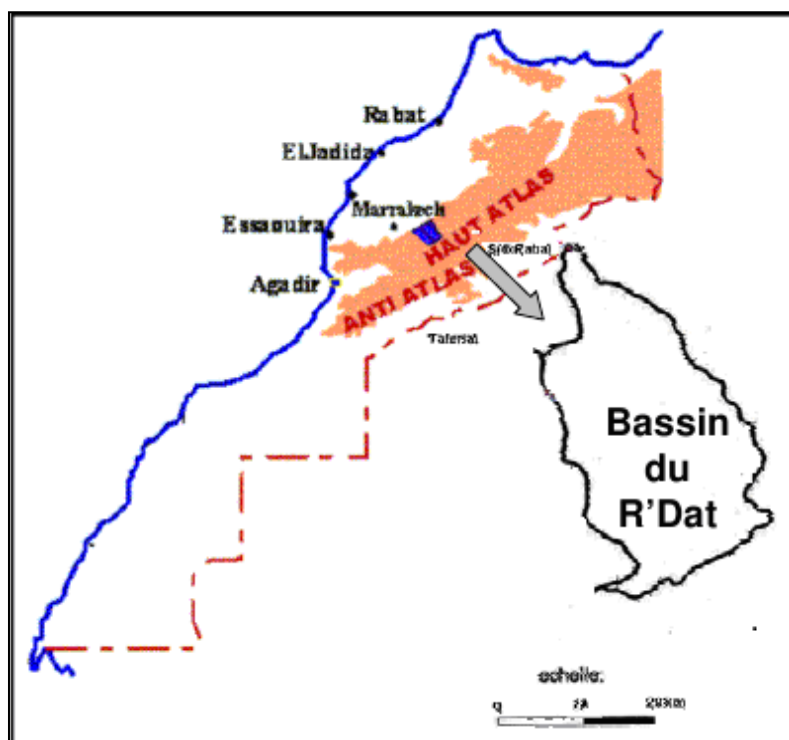


Figure 1:carte de la situation géographique du bassin versant du Ghdat

I. Analyse géomorphologique du bassin versant de Ghdat à Sidi Rahal

La station de Sidi Rahal a été mise en service le 03/10/1963, elle est localisée sur la carte au 1/50000 de Sidi Rahal aux coordonnées (Lambert) suivants :

- X=303.100
- Y=117.800
- Z=690

La distance entre l'ABHT et la station est de 50km dont 2km de piste, l'accès à la station est facile. La station occupe un terrain de 3358 m² dont 151,58 de superficie couverte. Par ailleurs, la station climatologique se trouve plus loin (environ 800 m) et occupe de son côté 100 m² à des eaux de surface(Réf : rapport interne 2 ABHT).

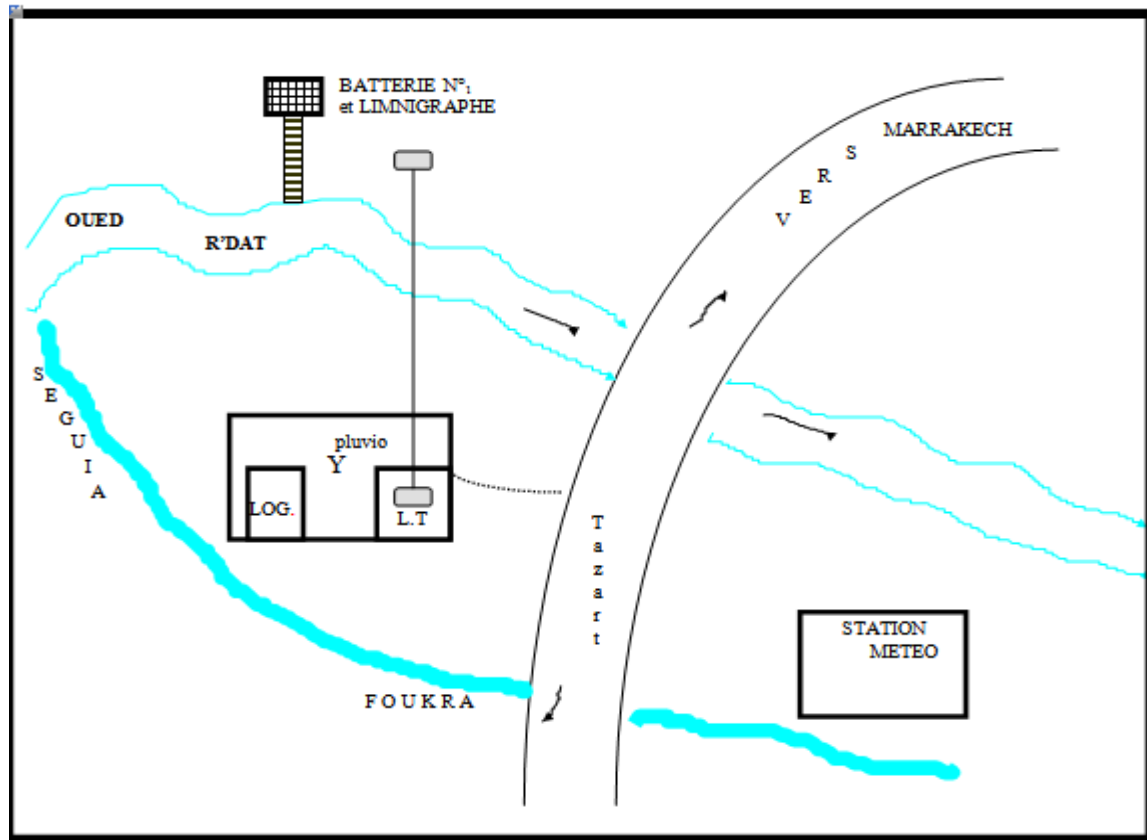


Figure 2:schéma de localisation de la station hydrométrique de Sidi Rahal(ABHT)

1. Le réseau hydrographique :

On désigne par le réseau hydrographique un ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel permanent ou temporaire, d'un bassin versant.

La hiérarchie du réseau hydrographique se manifeste par l'importance croissante de ses éléments, depuis les ramifications originelles de l'amont dépourvues de tributaires.

Le réseau hydrographique est d'autant plus dense que le climat est plus humide, que les pluies sont plus abondantes, les pentes plus fortes, les roches ou formations superficielles moins perméables. L'agencement des éléments du réseau dépend de la structure, de la géologie et du relief. Le dessin varié, qui en résulte à une grande influence sur la propagation et la composition de l'onde de la crue.

Les principaux affluents sont :

- ✓ Assif-N-Tichkaoui est à l'origine de l'oued Ghdat et dont la source se situe à une altitude de 2200mètres environ.
- ✓ Oued Imizer, formé par la confluence de l'oued Imarighne et l'oued Tihizat.
- ✓ Assif-N-Ifraden.
- ✓ Oued Tissert.

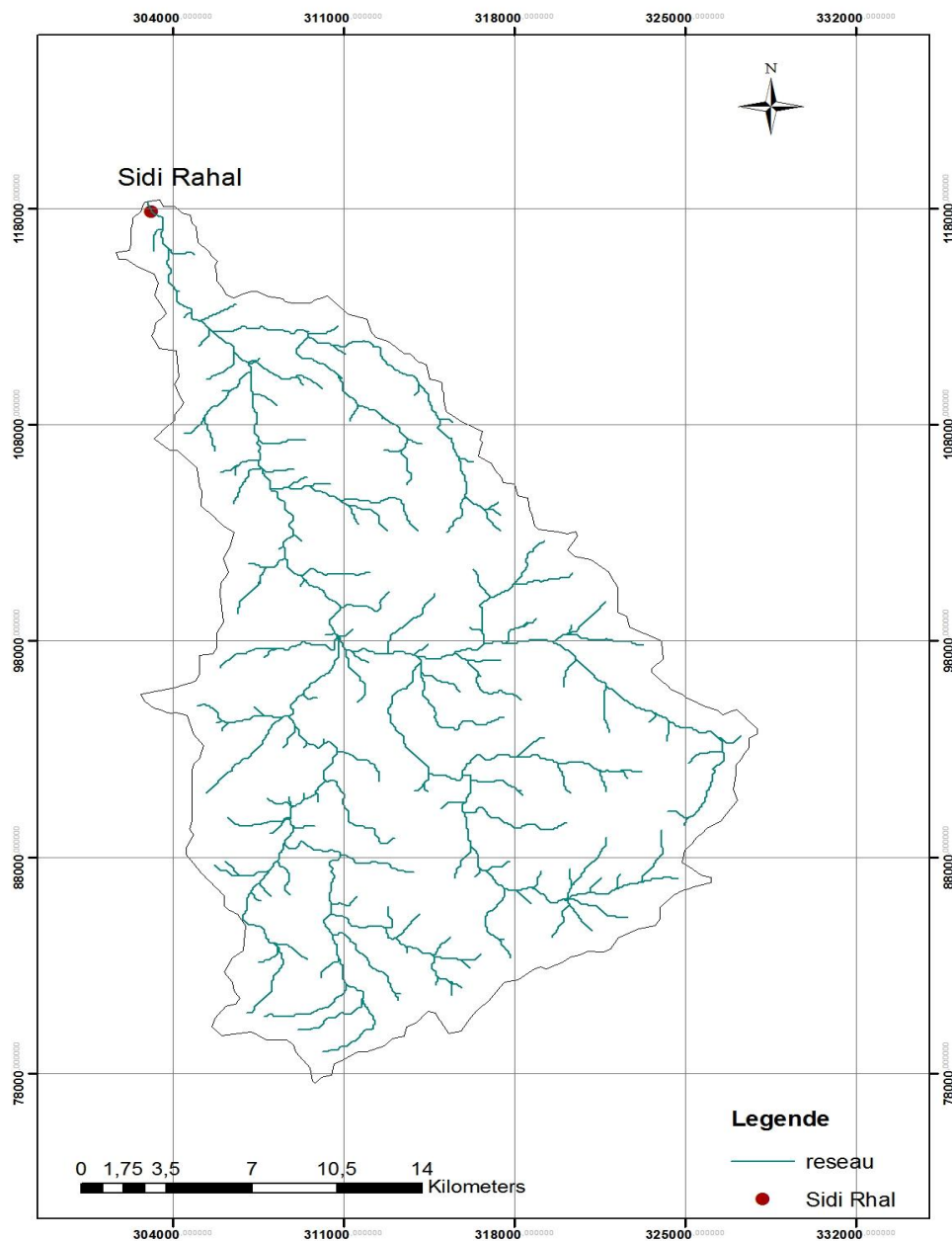


Figure 3: Carte du réseau hydrologique du bassin versant de Ghdat à Sidi Rhal

2. Morphologie et relief

Le bassin versant de l'oued Ghdat à la station Sidi Rahal à une surface de 551km² avec un périmètre 128km. Les altitudes y varient entre 685 et 3600m avec une moyenne de 2142m (fig4)

D'après la carte on constate que les tranches de la pente comprises entre 0°-52° la pente moyenne est de 17° qu'est de l'ordre de 30% (fig5).

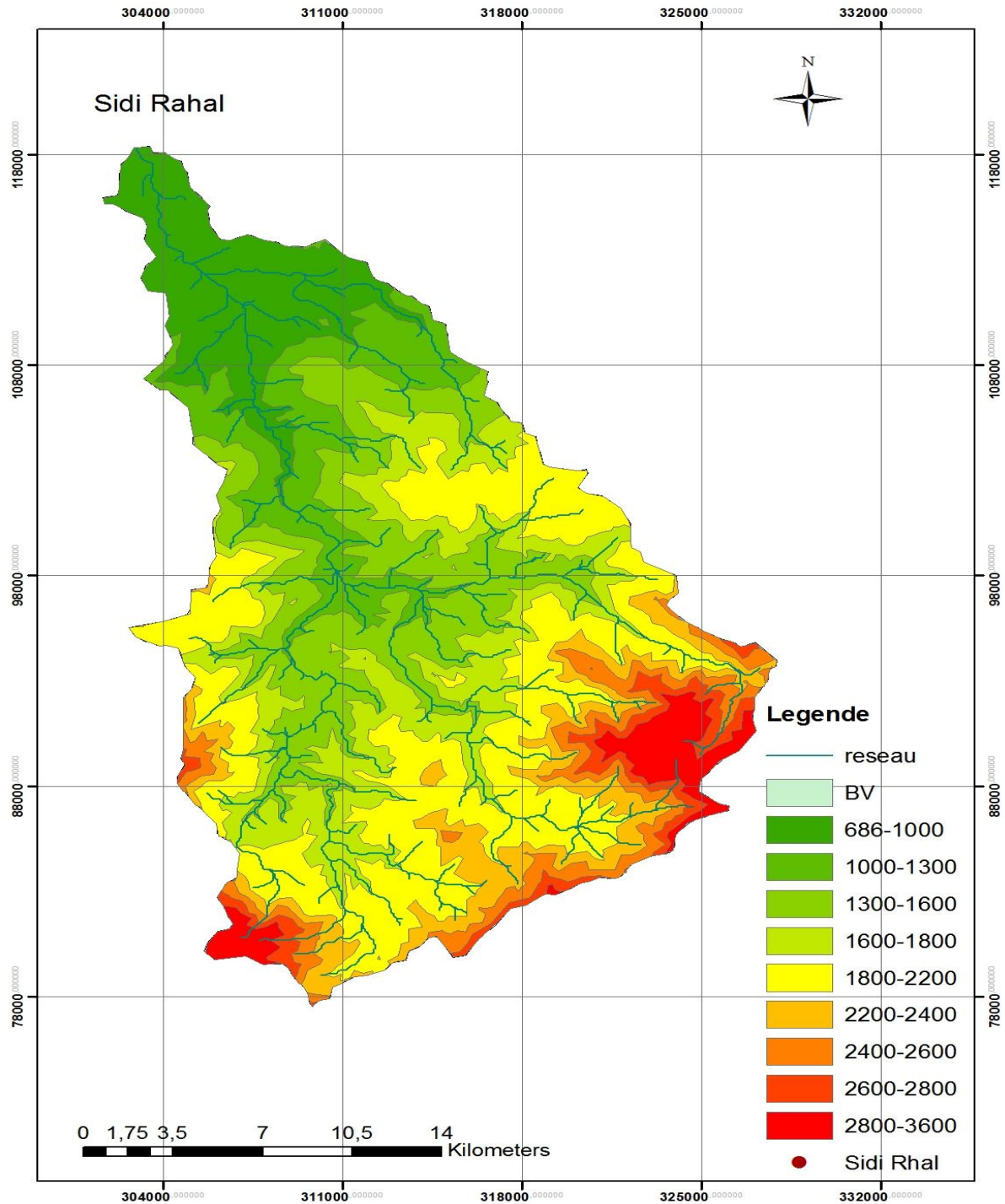


Figure 4: Carte hypsométrique du bassin versant de Ghdat à Sidi Rahal

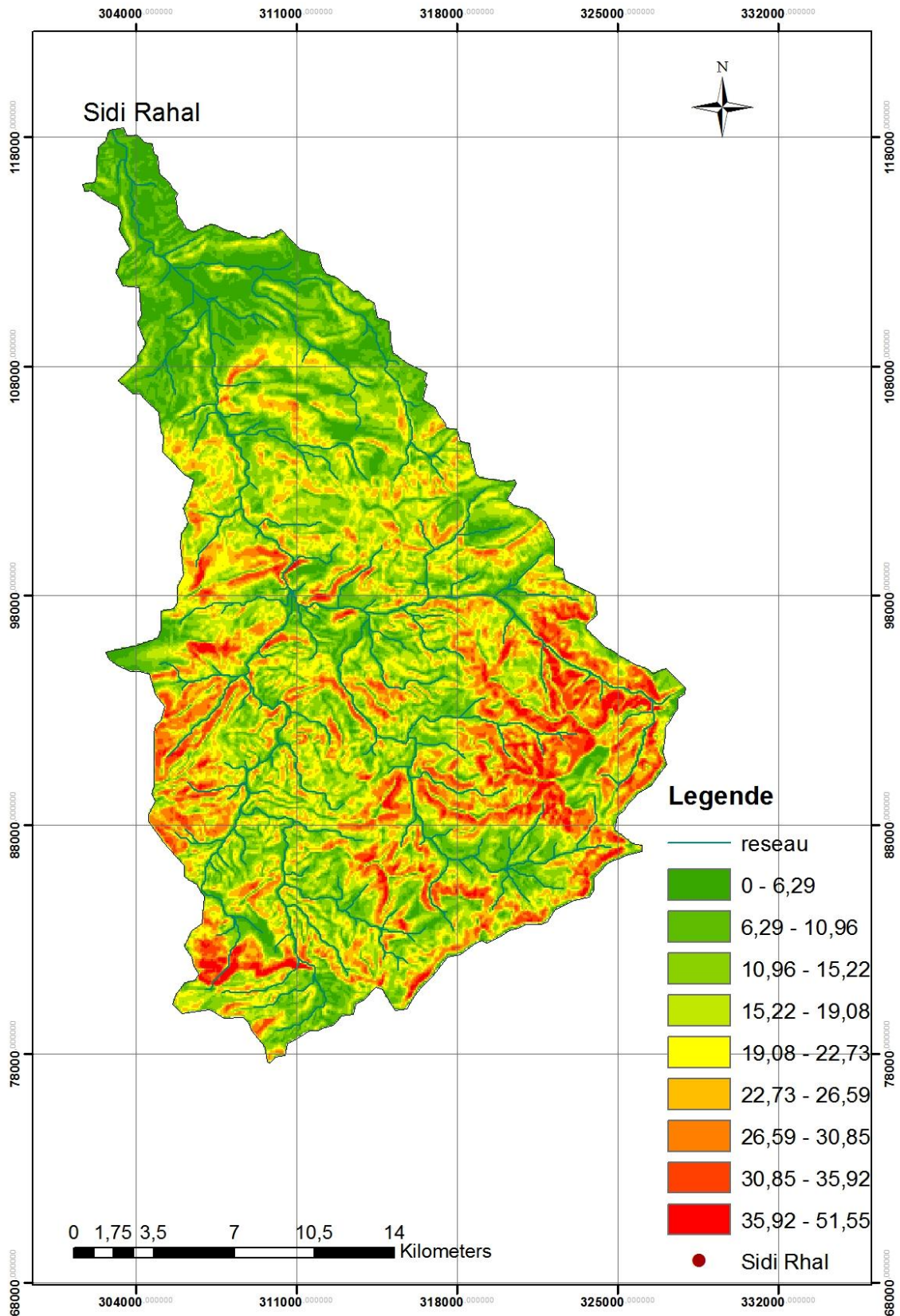


Figure 5: Carte des pentes du bassin versant de Ghda't à Sidi Rahal

La carte hypsométrique du bassin versant de Ghdat présente une sorte de mosaïque avec une succession des zones de hautes altitudes (supérieur à 2200m) et des étendues planes peu élevées.

Nous allons chercher les proportions de chaque tranche d'altitude au niveau du bassin versant étudié pour en déduire le degré des pentes, des talwegs et des versants.

| Tranches d'altitude | Surface (Km2) si | si/st % | Si cumulée | Si/st cumulée |
|---------------------|---------------------|---------|------------|---------------|
| 686-1000 | 64 | 11,61 | 64 | 11,61 |
| 1000-1300 | 56,23 | 10,21 | 120,22 | 21,82 |
| 1300-1600 | 98,40 | 17,86 | 218,63 | 39,68 |
| 1600-2200 | 125,08 | 22,70 | 343,70 | 62,38 |
| 2200-2400 | 98,47 | 17,87 | 442,17 | 80,25 |
| 2400-2600 | 73,04 | 13,26 | 515,21 | 93,50 |
| 2600-2800 | 27,59 | 5,01 | 542,80 | 98,51 |
| 2800-3400 | 8,05 | 1,46 | 550,85 | 99,97 |
| 3400-3600 | 0,33 | 0,06 | 551,18 | 100,00 |

Tableau 1: la répartition des tranches d'altitudes du bassin versant du Ghdat

Le bassin versant de Ghdat est en général plus bas en altitudes avec des minima en dessous Des 1000m c'est 685. L'altitude moyenne est calculée par la relation suivante :

$$H \text{ moy} = \sum Si * Hi / st$$

Avec :

H moy : l'altitude moyenne du bassin (m).

Si : l'aire comprise entre deux courbes de niveaux successives (Km²).

Hi : l'altitude moyenne entre deux courbes de niveaux (m).

St : la superficie totale du bassin versant (Km²).

L'altitude moyenne du bassin versant du Ghdat est de l'ordre de 1740 m.

$$\text{Exemple : } H \text{ moy} = (64 * ((686+1000) / 2)) + \dots / 551 = 1740 \text{ m}$$

3. Climatologie générale

Le climat du bassin versant du Ghdat résulte de l'influence des deux facteurs suivants :

- la continentalité : l'influence de la continentalité se manifeste par des températures maximales élevées en été et des températures minimales faibles en hiver.
- le caractère montagneux de la plus grande partie du bassin (Haut Atlas)

Le caractère montagneux entraîne une croissance de la pluviométrie, une accentuation de la rigueur des hivers et un adoucissement des étés avec l'altitude.

Ces deux facteurs placent le bassin du R'dat dans une zone climatique type continental, aride à semi-aride, les températures moyennes mensuelles varient entre 12.3 et 28.2 °C. La valeur maximale pendant période allant de 1969/70 à 2003/04 est de l'ordre de 45.0 et qui a été enregistrée pendant le mois le plus chaud de l'année à savoir juillet de l'année 1972/73 ; et le minimum de la même série a été enregistré pendant le mois février de l'année 1969/70 avec une valeur de -5.6 °C.

La région du Tensift qui comprend le bassin du R'dat est caractérisée par des variations de précipitations dans le temps et dans l'espace La période pluvieuse s'étend du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril et la période sèche se situe entre le mois de Mai et le mois de Septembre.

La pluviosité annuelle dans le Haut Atlas est en moyenne de l'ordre de 600 à 800 mm, alors que dans la zone située entre le piémont du Haut Atlas et la plaine du Haouz, cette moyenne varie entre 300 et 400 mm. Plus précisément dans la station Sidi Rahal, elle est de 351.7 mm (étude SBOT). Environ 80 % à 90% de ces précipitations pendant la saison pluvieuse.

Le vent souffle le plus souvent de l'Ouest vu Nord-Ouest avec une vitesse moyenne qui varie entre 1.5 et 3.4 m/s à Marrakech (Yaghiyo, 2000).

4. La végétation

Les conditions climatiques et la nature morphologique du bassin favorisent le développement d'une couverture végétale hétérogène, formée essentiellement de plantes steppiques, de plantes herbacées et des plantes ligneuses arborées.

L'agriculture dans les régions de Ghdat est marquée par une diversification de la production : on y trouve des céréales, des abricotiers, des agrumes, des pommes de terre, des oliviers, des rosiers, des fourrages, du bétail, du miel,Etc. La superficie agricole de cette région est d'environ 95 Km² soit 17 % de la superficie totale, tandis que la partie forestière est estimée à 122.36 Km² soit 23 % de la superficie totale. Le reste des superficies est partagé entre les vergers ; les pâturages ; les terrains rocheux ; et les terrains inconnus.(Réf : rapport interne 2 ABHT)

5. Réseau des seguias

Ce réseau se compose de 18 séguias dont les prélèvements constituent 45 % des apports de l'oued d'après l'étude SBOT (période 1946/86).

Parmi ces séguias, deux sont équipées d'échelles limnométriques et jaugées régulièrement, il s'agit de AFIAD (N° IRE : 832/45) et FOUKRA (N°IRE : 63/54). (Réf : rapport interne 2 ABHT)

6. Evaporation et humidité

La hauteur moyenne évaporée annuellement à Sidi Rahal est de 2384.2 ml .

L'humidité moyenne mensuelle à 7 heures est de 64 %

L'humidité moyenne mensuelle à 14 heures est de 53 %

L'humidité moyenne mensuelle à 18 heures est de 55 %

L'humidité moyenne mensuelle à 21 heures est de 59 % (Réf : rapport interne 2 ABHT)

7. Apports liquides

Le débit moyen de l'oued Ghdat au niveau de la station Sidi Rahal est de 2.407 m³/s, soit des apports moyens annuels de 76 millions de m³ (signalons que la séguia AFIAD est régulièrement mesurée eu égard à son importance. Son débit moyen annuel est de 0.410 m³/s , soit un volume de 13 millions de m³).

Le débit moyen annuel maximal à la station Sidi Rahal est de 8.356 m³/s (1970/71), soit des apports moyens maxima annuels de 263.5 millions de m³, et le débit moyen annuel minimal à la station Sidi Rahal est de 0.109 m³/s (1982/83), soit des apports moyens minimaux annuels de 3.4 millions de m³. (Réf : rapport interne 2 ABHT)

III. Etude hydrologique du Bassin versant Ghdat à Sidi Rahal

1. Caractéristiques physiques

• Surface et périmètre

La surface du bassin versant Ghdat à Sidi Rahal est la caractéristique la plus importante, elle s'exprime généralement en km². Elle s'obtient par planimétrie sur une carte topographique une fois les limites topographiques du bassin versant sont tracées ou par le biais de l'utilisation de logiciels cartographiques tels que Arc map, Global mapper ou autre.

Différentes caractéristiques de longueur sont utilisées, le périmètre P du bassin versant fait partie; il représente la ligne de contour du bassin, il est la première dimension et une des plus utilisées.

- ✓ La surface = 551 km²
- ✓ Le périmètre = 128 km

• Longueur du plus long thalweg

La longueur du plus long thalweg (l_t) est aussi une caractéristique très importante qu'il faut déterminer depuis l'amont jusqu'à l'exutoire.

Pour le bassin versant de *Ghdat à Sidi Rahal*, (l_t) est de **50 Km**

• Indice de compacité

Pour caractériser la forme d'un bassin versant, il faut déterminer l'indice de compacité de Gravelius qui est le rapport du périmètre du bassin versant à celui d'un cercle de même surface avec

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

- $K_c \leq 1$: le bassin versant est ramassé.

- $K_c > 1$: le bassin est allongé.

La surface du bassin versant de l'oued Ghdat à Sidi Rahal est de l'ordre de 551Km² pour un périmètre de 128Km. Pour cela, $K_c = 1.52$ Le bassin versant de l'oued Ghdat est donc cinq fois plus long que large, c'est donc un bassin allongé

- **Coefficient d'allongement**

Le coefficient d'allongement est obtenu par la relation

L: Longueur du plus long talweg (Km)

A: Superficie du bassin versant (Km²)

$$C_a = \frac{L^2}{A}$$

Ca = **4,53 Km-1**

K_c et C_a sont deux paramètres caractérisant la forme d'un bassin versant. Une forme allongée d'un bassin versant favorise, pour une même pluie, de faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps de concentration de l'eau à l'exutoire plus importants.

- **Le rectangle équivalent**

La notion du rectangle équivalent a été introduite afin de pouvoir comparer des bassins versants entre eux du point de vue influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

Les dimensions du rectangle équivalent sont données par la longueur L et la largeur l avec :

$P=2.(L+l)$ et $A=L \times l$, tels que :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right]$$

- **Le temps de concentration**

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

Pour ce paramètre on tient compte des caractéristiques géométriques et morphologiques du bassin. On le calcule à partir de la relation de Giandoht :

Avec :

$$TC = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

- S : La surface du bassin versant (km²).
- L : La longueur du rectangle équivalent (km).
- H_{moy} : L'altitude moyenne du bassin(m).
- H_{min} : L'altitude de l'exutoire (m).

Pour le bassin versant de l'oued Ghdat :

| | |
|--|------|
| Surface du bassin versant en (Km2) | 551 |
| Longueur du rectangle équivalent en (km) | 49 |
| Altitude de l'exutoire en (m) | 685 |
| Altitude moyenne en (m) | 1740 |
| Temps de concentration en (heure) | 6 |

Tableau 2: temps de concentration du bassin versant du Ghdat

Le temps de concentration pour le bassin de l'oued Ghdat : TC =6 heures, ce qui implique que les eaux n'arrivent pas très rapidement au niveau de l'exutoire, impliquant ainsi la mise en place d'un réseau d'alerte des crues efficace dans ce bassin

IV. Caractéristiques géologique :

Le bassin présente des formations géologiques diversifiées.

Dans le haut bassin, les terrains sont très peu perméables : formations métamorphiques ou éruptives imperméables (Primaire, Précambrien).

Dans la partie avale, les formations calcaires perméables forment les principaux affleurements (Crétacé, Eocène, Jurassique Primaire).

| SOL PERMEABLE | SOL SEMI-PERMEABLE | SOL IMPERMEABLE |
|---------------|--------------------|-----------------|
| 14% | 56% | 30% |

Tableau 3: pourcentage de terrains selon leur perméabilité

Dans le haut bassin, les terrains sont très peu perméables : formations métamorphiques ou éruptives imperméables (Primaire Précambrien).

Dans la partie avale, les formations calcaires perméables forment les principaux affleurements. (Crétacé, Eocène, Jurassique Primaire).

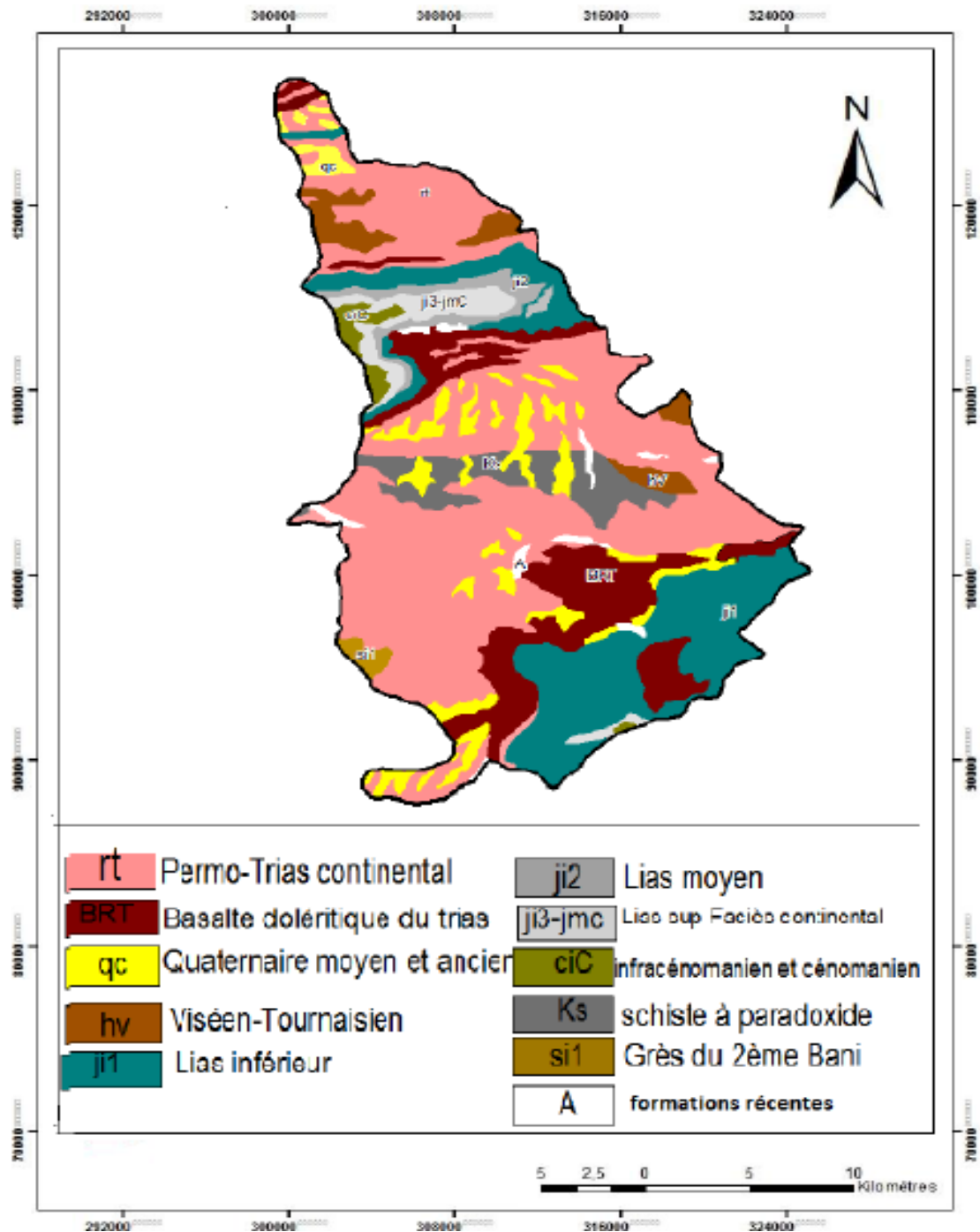


Figure 6: Carte géologique du bassin versant Ghdat

Le bassin versant du Ghdat offre deux grands aspects de faciès :

La partie amont ; située à des altitudes supérieures à 2000 m est composée des faciès Mésozoïques notamment les schistes et les quartzites.

La partie septentrionale ; située à des altitudes inférieures à 2000 m, est constituée de dépôts permo-triasiques tendres notamment des grés, des argiles, et des conglomérats. Les formations du cénozoïque et quaternaire se distribuent aux alentours du piémont nord du Haut Atlas .Elles sont formées de dépôts continentaux et d'autres marins tels que les marnes et les calcaires.

L'aspect morphologique du bassin versant du Ghdat dépend non seulement des événements tectoniques, mais aussi de la nature lithologique hétérogène (roches magmatiques, sédimentaires et métamorphiques)

- le granite : c'est le matériel le plus ancien, ces affleurements sont visibles sur la partie sud du bassin de Ghdat. L'âge de ces granites est probablement hercynien ou plus exactement de la phase hercynienne selon J.Drech(1941), de toute façon carbonifère. ces granites sont lardés par des filons de quartz.

- les laves anciennes représentent des roches résistantes et sombres, elles ont donné aux hauts massifs un aspect imposant et austère portant les sommets les plus hauts et les pentes les plus fortes. Ces laves sont des andésites variées, verdâtres à l'état normal, grisâtre ou rouge sombres quand elles sont altérées et des rhyolites brunes sombres dont la couleur varie en fonction de l'altération (brun clair). Ces laves s'organisent en bancs et sont souvent accompagnés de tufs. Nous les trouvons essentiellement dans le massif de l'Ouanoukrim et du Tazaghat. Les géologues se sont longuement interrogés sur leur âge mais il n'a pas été certifié qu'elles appartiennent au cambrien.

- Les schistes : la plus grande partie du bassin versant est dominée par la série schisteuse. Elle donne des formes et des couleurs monotones qui contrastent avec celles des laves, plus vigoureuses. Elle comprend le cambrien moyen, le cambro-ordovicien, l'ordovicien, le goth andain le dévonien et le carbonifère. Les schistes du bassin versant sont dans l'ensemble résistants quoique de façon inégale, face aux agents érosifs.

- La formation permo-triasique : elle est constituée d'une part par des basaltes altérés, sombres ou verdâtres, d'autre part, par un complexe rouge, grés marnes ou argiles salifères. Les grés sont plus ou moins cohérents, plus ou moins fins ou grossiers et présentent parfois une stratification d'une épaisseur considérable. Cette mosaïque lithologique multicolore est à l'origine de l'hétérogénéité des dépôts quaternaires 14 constituant avec les affleurements marno-gréseux de l'Oligo-Miocène et pliocène le Piémont de l'atlas. Cet amalgame de roches nous apporte, ainsi, de grandes Informations hydrologiques : d'une part, l'existence d'un substratum fracturé, diaclase capable de retenir des nappes d'eau, d'autre part, l'hétérogénéité lithologique contribuant à la détermination de l'aspect du réseau hydrographique. **DARIF(2013)**

Chapitre II : Les précipitations et régime d'écoulement sur le bassin versant

I. Analyse du régime pluviométrique

1-Précipitations moyennes mensuelles :

A la station de Sidi Rahal, la représentation graphique des variations des moyennes mensuelles interannuelles des précipitations, durant la période 1967/68-2013/2014, montre une variation irrégulière. Les fortes valeurs de pluies sont enregistrées aux mois de Novembre, janvier et mars, alors que les faibles valeurs caractérisent les mois de juin, juillet, août et septembre. Ce sont les mois les plus secs, avec une moyenne de 7 mm par mois. (Fig6)

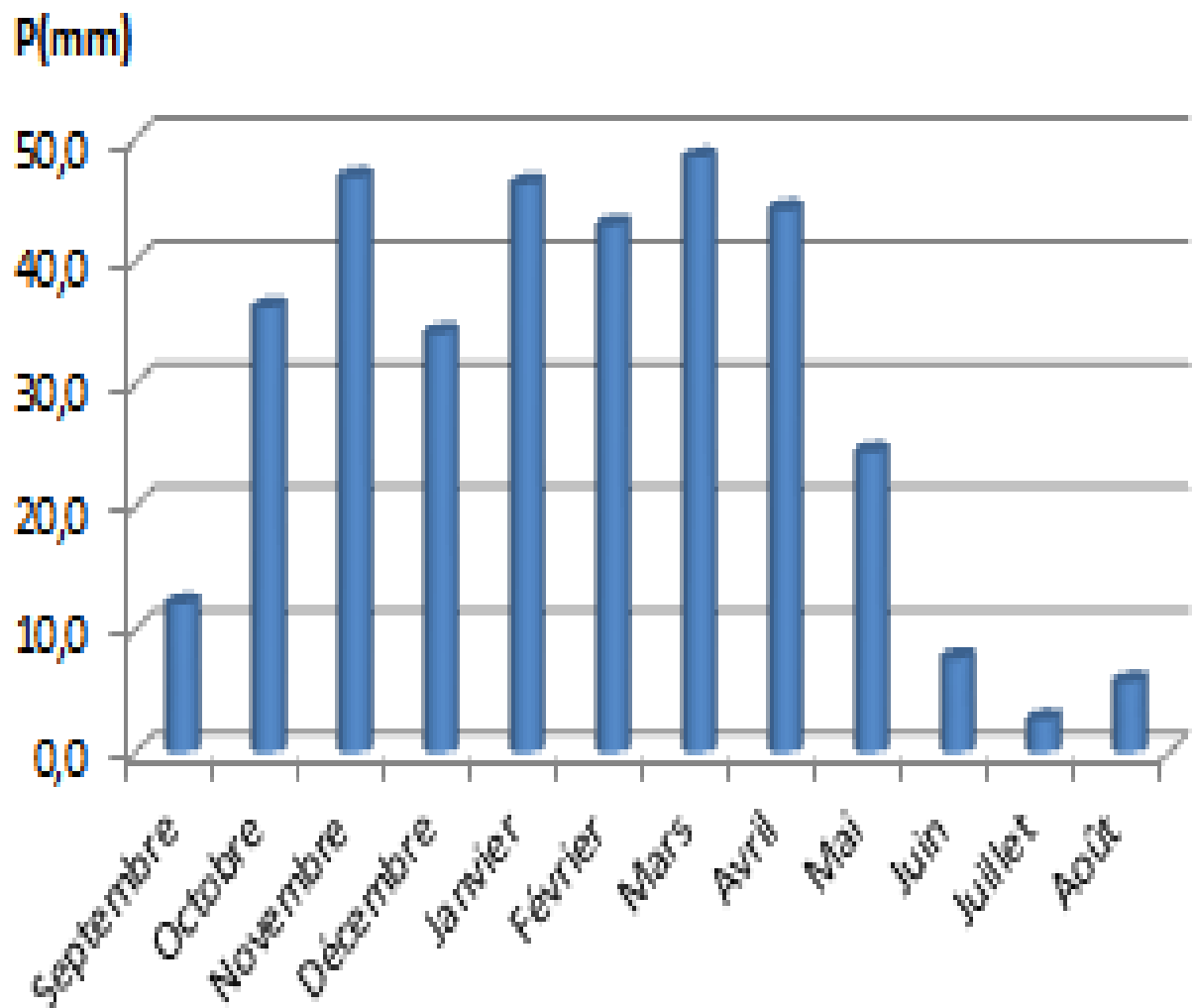


Figure 7: Précipitation moyennes mensuelles interannuelles du bassin versant de l'oued Ghdat à Sidi Rahal(1967/68-2013/2014).

2-Précipitations moyennes annuelles :

A Sidi Rahal nous avons une période de 47 ans de données de (1967/68) à (2013/2014). Les données des précipitations annuelles sont obtenues par la somme des précipitations moyennes mensuelles. L'illustration graphique de la variation des précipitations moyennes annuelles du bassin versant du Ghdat est représentée sur la figure suivante :

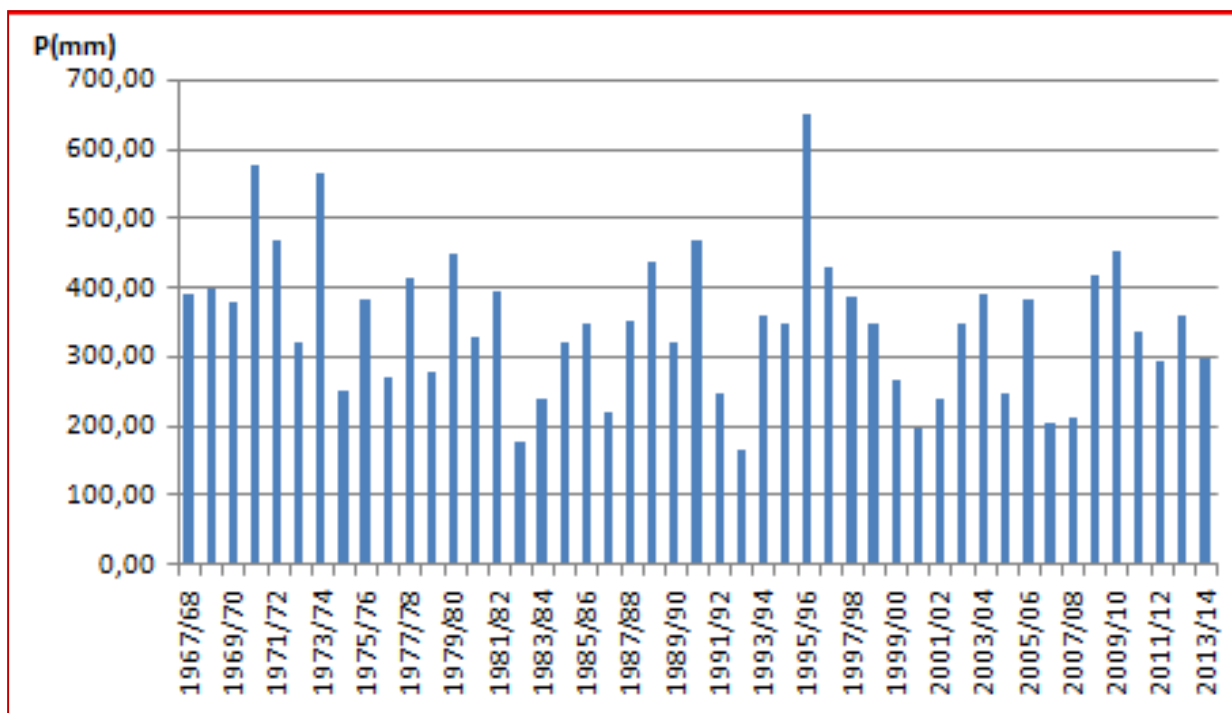


Figure 8: Précipitation moyennes annuelles interannuelles du bassin versant de l'oued Ghdat à la station de Sidi Rahal (1967-2014)

L'analyse de l'évolution des précipitations à la station de Sidi Rahal, durant la période de 1967 à 2014, montre que l'année 1996 est la plus arrosée avec une valeur de 650 mm et l'année 1992 est la plus sèche avec une valeur de 167 mm. Notons que la précipitation moyenne interannuelle s'évalue à 347,6 mm

3-Précipitations moyennes saisonnière :

A partir des valeurs moyennes mensuelles des précipitations sur les stations pluviométriques du bassin versant on peut calculer les variations saisonnières des précipitations, dans le but de connaître la pluviosité moyenne pour chaque saison de l'année :

- L'été (juin, juillet, et août)
- L'automne (septembre, octobre, et novembre)
- L'hiver (décembre, janvier, février)
- Le printemps (mars, avril et mai)

Pour le bassin du Ghdat la répartition se présente comme suit :

| automne | hiver | Printemps | Eté |
|---------|-------|-----------|-----|
| 31,7 | 41,2 | 39,1 | 5.4 |

Tableau 4: pluviosité moyenne pour chaque saison de l'année (mm)

L'analyse de l'évolution de ces précipitations à Sidi Rahal, durant la période de 1967 à 2014 montre que la saison Hiver est la plus arrosée avec une valeur de 41mm et la saison été est la plus sèche avec une valeur de 5 mm.

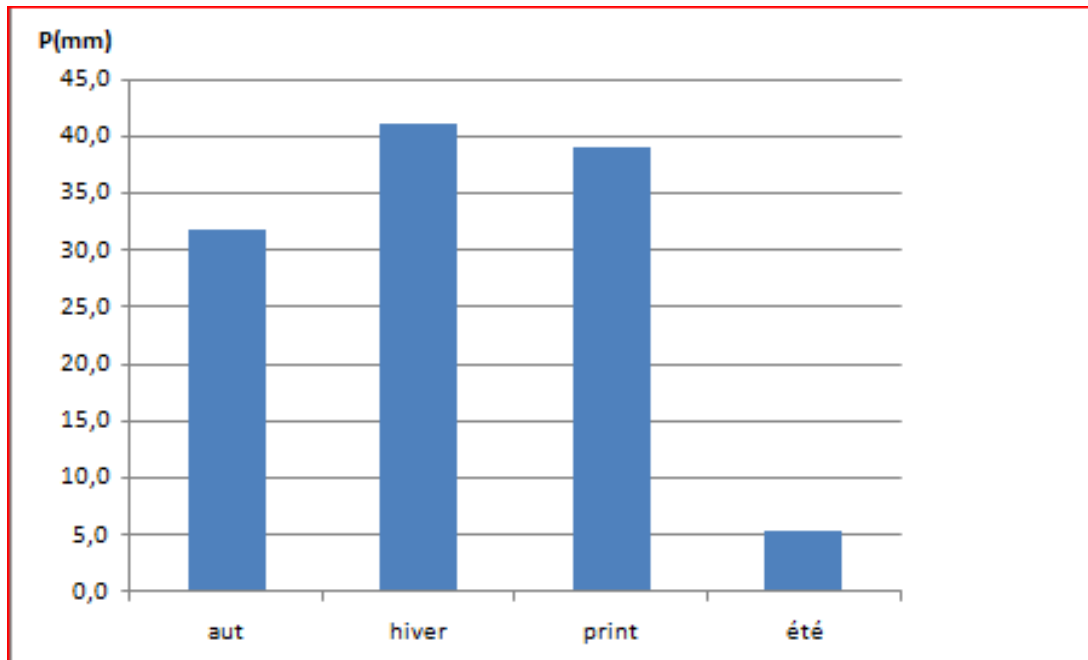


Figure 9 : Précipitation moyennes saisonnière du bassin versant de l'oued Rdat à la station de Sidi Rahal(1967-2014)

II. Analyse du régime d'écoulement

1. Débits moyens mensuels interannuels

Le graphe représente la variation des débits moyens mensuels couvrant la période de 46 ans qui s'étale de l'année 1967/68 à l'année 2012/2013.

Ces débits varient dans la station de Sidi Rahal de 0.27 m³/s au mois du juillet à 5.08 m³/s au mois du mars. Ces débits sont généralement faibles avec un régime très irrégulier au cours de l'année. Ils commencent à augmenter à partir du mois de novembre et atteignent leur maximum pendant les mois de mars et avril suite à l'augmentation importante des précipitations durant ces mois et la fonte de neige des mois précédents. Les mois de juin, juillet, août et septembre sont les mois les plus secs de l'année (ils n'atteignent pas en moyenne 1 m³/s)

D'après le graphe on constate que le régime d'oued Ghdad au cours de l'année comprend deux périodes distinctes : Une période pluvieuse allant du mois de novembre au mois du mai et une période sèche allant du juin à octobre.

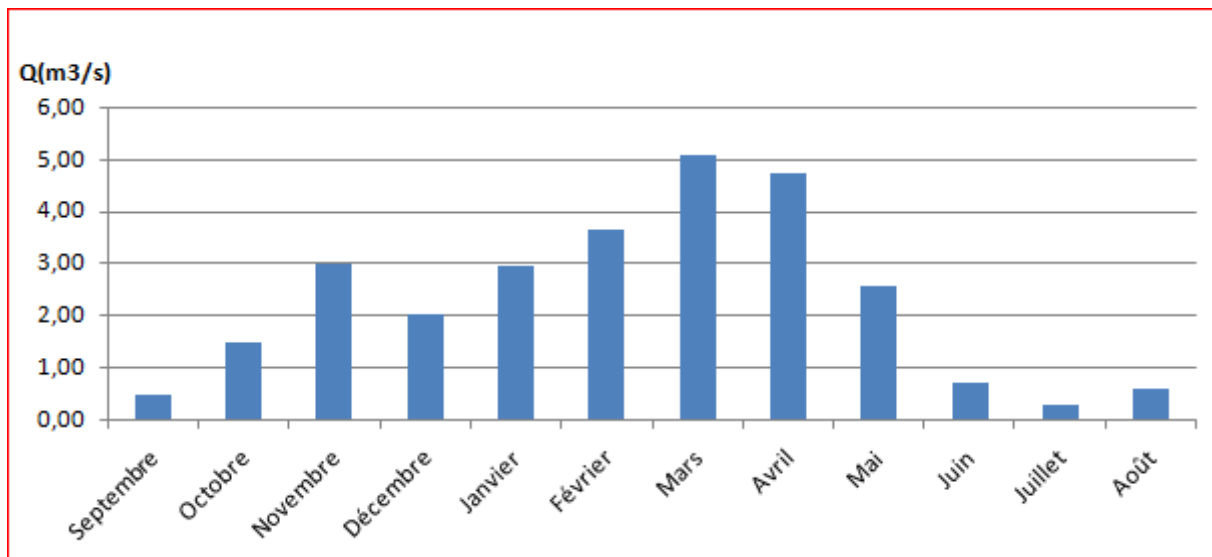


Figure 10: régime du débit moyens mensuelles du bassin versant de l’oued Ghdat à la station de Sidi Rahal(1967-2014)

2- Débits moyens annuels et interannuels

L’analyse des débits moyens annuels et interannuels montre une irrégularité très nette dans notre station étudiée.

- Oued Ghdat à la station Sidi Rahal

Les débits moyens annuels et interannuels à la station Sidi Rahal sont importants en 1970/71 d’ordre 8.38m³/s et nuls en 1983/84 (0.05m³/s) avec une moyenne de 2.28m³/s.(fig7)

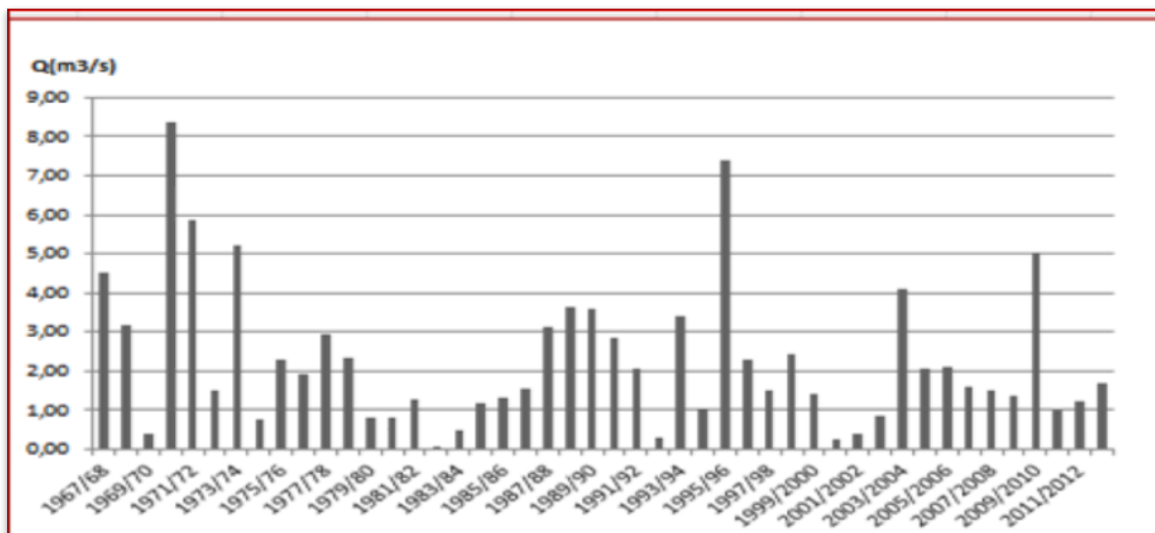


Figure 11 : Régime des débits moyens annuels et interannuels de la station Sidi Rahal

3-Débits moyens saisonniers

On remarque d'après le graphe que le printemps est en première classe avec une lame d'eau écoulee d'environ 3.36 mm, suivi de l'hiver avec une lame 2.86mm L'écoulement en automne est d'environ 1.64 mm, et en dernier rang l'été avec une valeur de l'ordre de 0.52mm.

En comparant ces valeurs avec celles des variations saisonnières de précipitations on constate que les variations saisonnières des débits suivent avec un certain décalage dans le temps celles des précipitations.

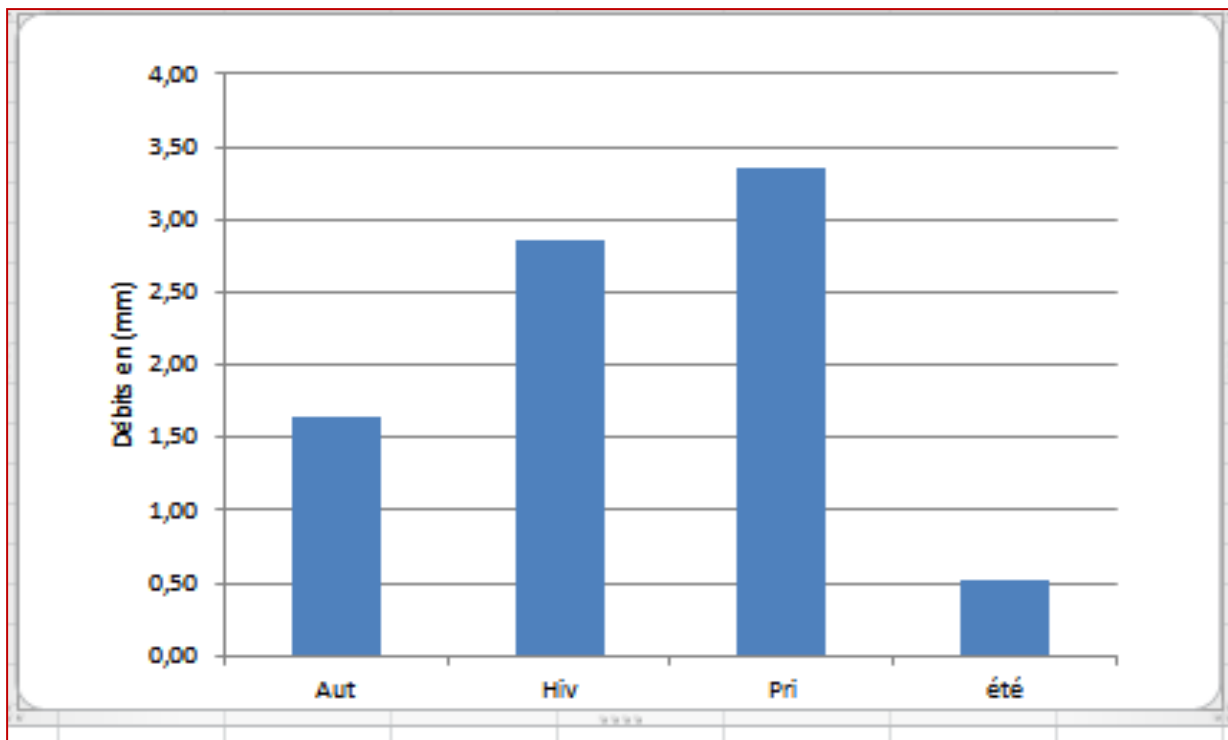


Figure 12: Régime des débits moyens saisonniers de la station Sidi Rahal (1967/68-2012/13)

III. Bilans Hydrologiques et relation entre les pluies et les débits

| Mois | Pluies (mm) | Ecoulement (mm) | Déficit d'écoulement | Coefficient d'écoulement |
|------|-------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| S | 12,1 | 2,21 | 9,93 | 0,18 |
| O | 36,3 | 7,17 | 29,1 | 0,20 |
| N | 46,8 | 13,98 | 32,84 | 0,30 |
| D | 34,2 | 9,72 | 24,46 | 0,28 |
| J | 46,4 | 13,83 | 32,53 | 0,30 |
| F | 43 | 16,02 | 26,96 | 0,37 |
| M | 48,5 | 24,71 | 23,76 | 0,51 |
| A | 44,2 | 22,15 | 22,05 | 0,50 |
| M | 24,5 | 12,48 | 12,02 | 0,51 |
| J | 7,7 | 3,34 | 4,34 | 0,43 |
| J | 2,7 | 1,3 | 1,39 | 0,48 |
| A | 5,8 | 2,82 | 2,95 | 0,49 |

Tableau 5 : Bilan hydrologique moyen mensuel du bassin de l'oued Ghdat à la station de Sidi Rahal (période 1967/68- 2013/14)

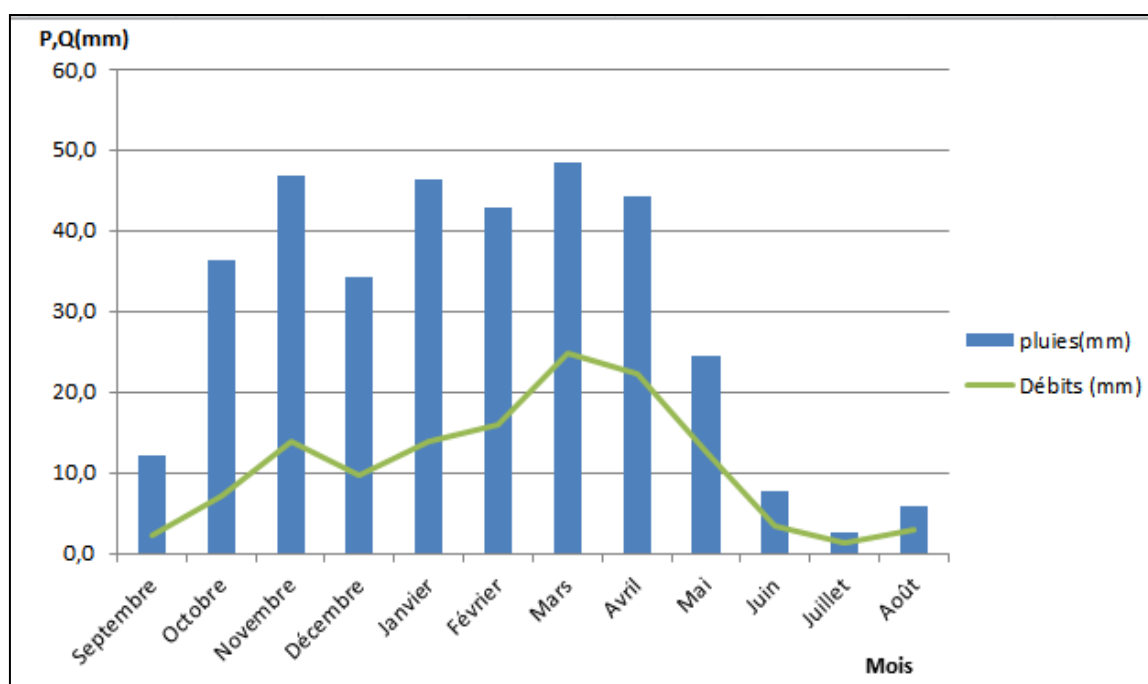


Figure 13: Evolution comparative des pluies et des écoulements à la Station de Sidi Rahal (1967/68- 2013/14)

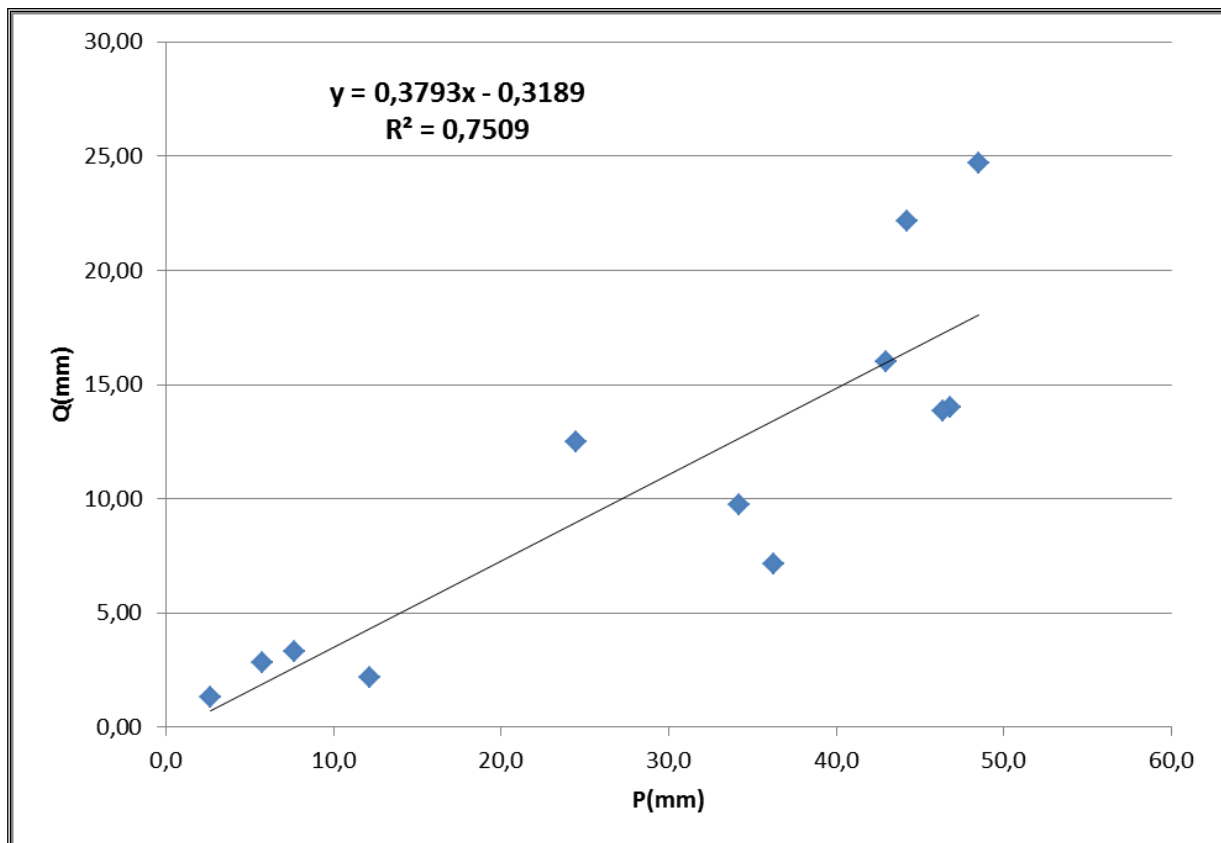


Figure 14: corrélation entre les pluies et les débits mensuels à la station de Sidi Rahal

A partir de ces figures qui montrent la relation entre les régimes pluviométriques et hydrologiques, on constate que la courbe des débits suit le régime des pluies (figure 13) ; il y a donc une bonne corrélation entre les deux paramètres avec un coefficient de l'ordre de 0,87 (figure 14). Par ailleurs, nous remarquons que l'eau écoulee représente à peu près 25% des précipitations et le reste est se perd par évapotranspiration.

Chapitre III: Etude dynamique de crues et analyse des hydrogrammes

Introduction

Une crue est un phénomène hydrologique qui correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau. Elle est décrite à partir de trois paramètres : le débit, la hauteur d'eau et la vitesse du courant. En fonction de l'importance des débits, une crue peut être contenue dans le lit ordinaire, lit mineur, ou déborder dans son lit moyen ou majeur. Elle se caractérise par son hydrogramme qui représente la variation des hauteurs d'un cours d'eau en fonction du temps. On distingue deux types d'hydrogrammes selon le type de crue.

I. Analyse des hydrogrammes des crues

Nous choisirons, durant la période 1970-2013, huit crues importantes en ce qui concerne le débit de pointe et qui soit représentative pour la station de Sidi Rahal .

- La crue du 13 Août 1982
- La crue du 1 novembre 1987
- La crue du 10 novembre 1988
- La crue du 09 mars 1990
- La crue du 17 août 1995
- La crue de 11 mars 1996
- La crue de 23 octobre 2010
- La crue 28 octobre 2010

➤ La crue du 13 Août 1982 :

Cette crue est la plus importante des années étudiées. Elle est caractérisée par un débit de pointe de 685m³/s .les temps de bases et de montée étaient assez courts avec des valeurs successives 4heures et 1 :30heures.Ce genre de crue de courte durée est de fort débit de pointe constitue un risque majeur.

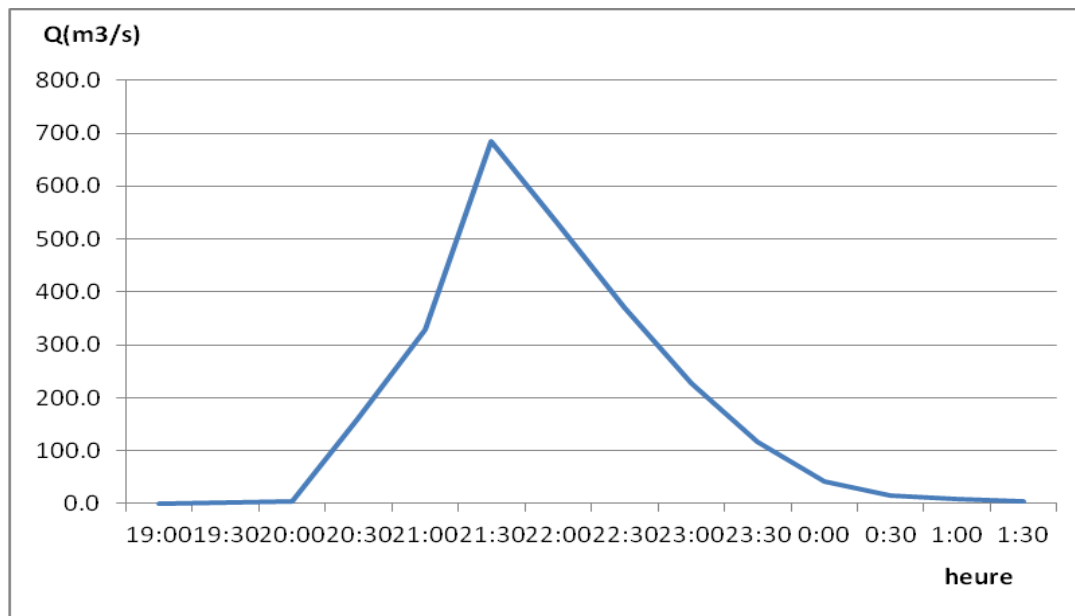


Figure 15: Hydrogramme de la crue du 13/08/1982

| Caractéristiques de la crue | |
|--------------------------------------|-----------|
| Date de début | 13/8/1982 |
| Date de fin | 14/8/1982 |
| Débit de pointe (m ³ /s) | 685 |
| Débit min(m ³ /s) | 0.4 |
| Débit max moyen(m ³ /s) | 189.9 |
| Temps de base (heure) | 4 |
| Temps de montée (heure) | 1 :30 |
| débit base avant (m ³ /s) | 4 |
| débit base après (m ³ /s) | 16.5 |
| volume Mm ³ | 1310,8 |
| coefficient de pointe | 2,09 |

Tableau 6: caractéristique de la crue 13 aout 1982

➤ la crue du 1 novembre 1987

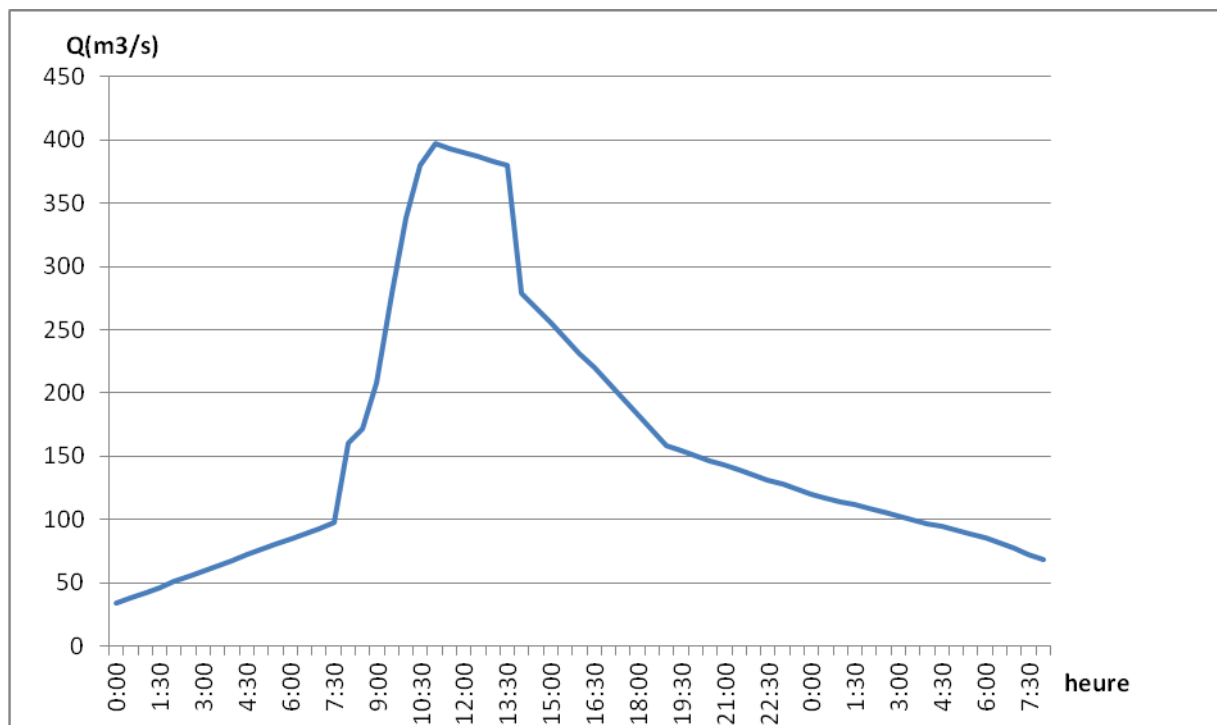


Figure 16: Hydrogramme de la crue du 1/11/1987

| Caractéristiques de la crue | |
|------------------------------------|------------|
| Date de début | 01/11/1987 |
| Date de fin | 03/11/1987 |
| Débit de pointe (m3/s) | 397 |
| Débit min(m3/s) | 19.3 |
| Débit max moyen(m3/s) | 130.2 |
| Temps de base (heure) | 28 |
| Temps de montée (heure) | 16 |
| débit base avant (m3/s) | 19.3 |
| débit base après (m3/s) | 41.2 |
| volume M m3 | 7551,95 |
| coefficient de pointe | 2,37 |

Tableau 7: caractéristique de la crue 1 novembre1987

➤ la crue du 10 novembre 1988

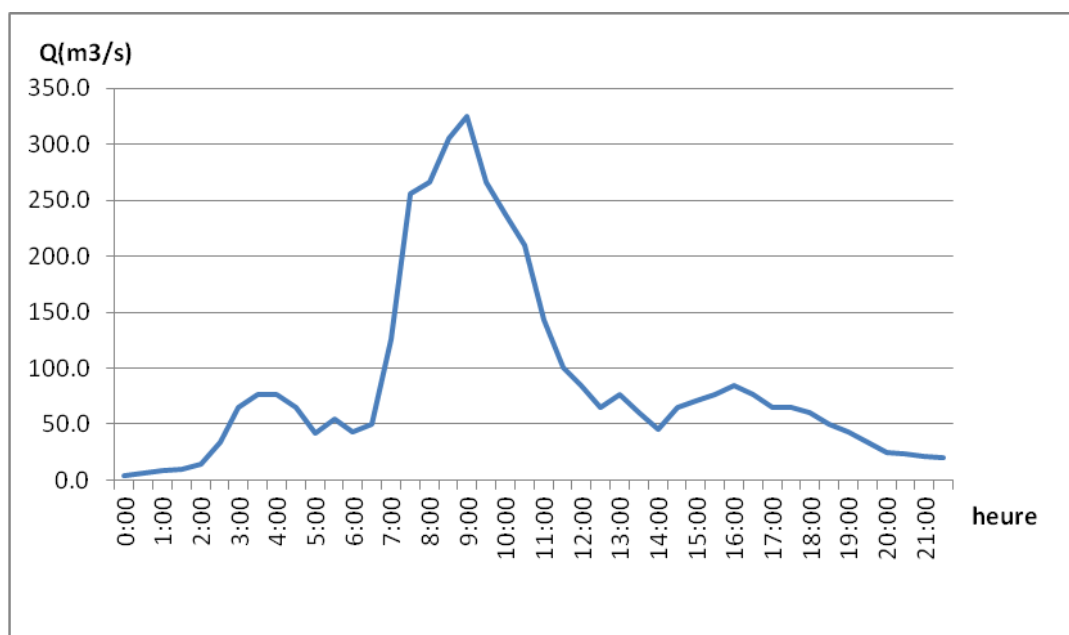


Figure 17:Hydrogramme de la crue du 10/11/1988

| Caractéristiques de la crue | |
|------------------------------------|------------|
| Date de début | 10/11/1988 |
| Date de fin | 11/11/1988 |
| Débit de pointe (m3/s) | 325 |
| Débit min(m3/s) | 2.3 |
| Débit max moyen(m3/s) | 86.8 |
| Temps de base (heure) | 6.3 |
| Temps de montée (heure) | 9 |
| débit base avant (m3/s) | 14.2 |
| débit base après (m3/s) | 45.7 |
| volume M m3 | 1471,56 |
| coefficient de pointe | 2,43 |

Tableau 8: caractéristique de la crue 10 novembre 1988

➤ la crue du 09 mars 1990

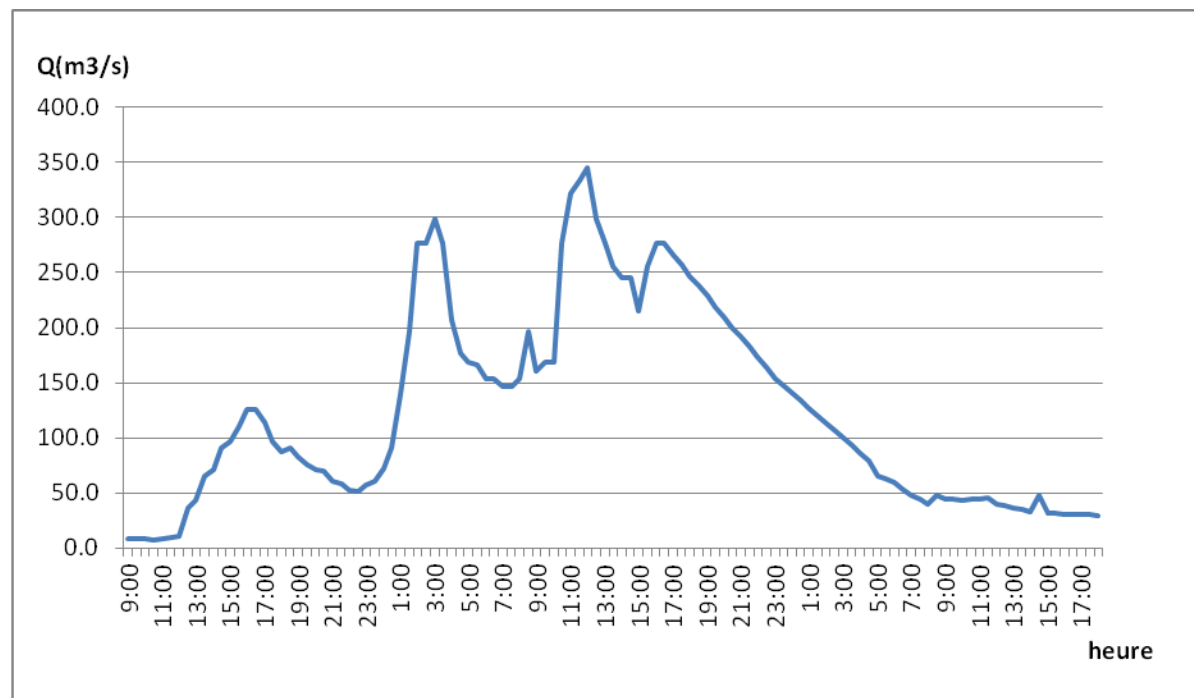


Figure 18 :Hydrogramme de la crue du 09/03/1990

| Caractéristiques de la crue | |
|------------------------------------|------------|
| Date de début | 09/03/1990 |
| Date de fin | 11/03/1990 |
| Débit de pointe (m3/s) | 345 |
| Débit min(m3/s) | 7.3 |
| Débit max moyen(m3/s) | 119.3 |
| Temps de base (heure) | 45 |
| Temps de montée (heure) | 25 |
| débit base avant (m3/s) | 10.2 |
| débit base après (m3/s) | 44.1 |
| volume M m3 | 7228,56 |
| coefficient de pointe | 2,22 |

Tableau 9: caractéristique de la crue 9mars1990

➤ **La crue du 17 aout 1995**

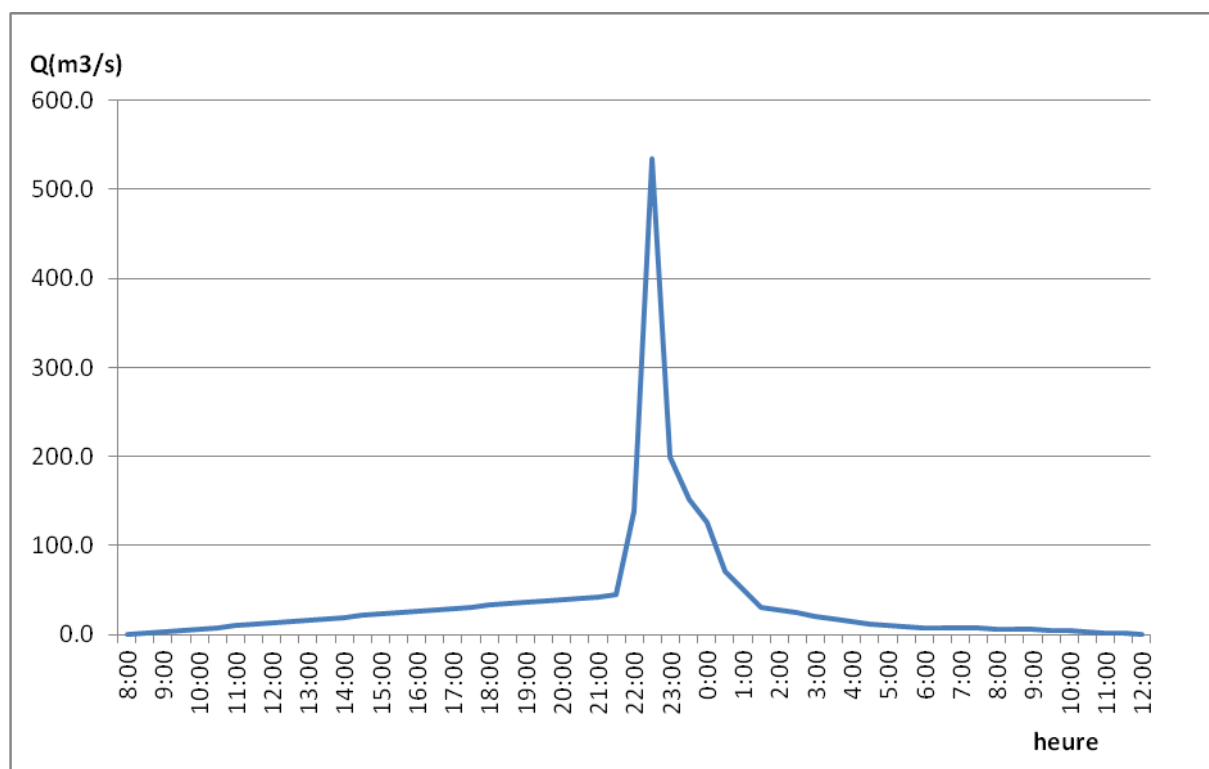


Figure 19:Hydrogramme de la crue du 17 aout 1995

| Caractéristique de la crue | |
|-----------------------------------|------------|
| Date début | 17-08-1995 |
| Date fin | 18-08-1995 |
| Débit de pointe (m3/s) | 534 |
| Débit moyen (m3/s) | 37,2 |
| Débit min (m3/s) | 0 |
| Débit de base avant (m3/s) | 0 |
| Débit de base après (m3/s) | 3,2 |
| Volumem(m3) | 2,16 |
| Temps de base (heure) | 4 |
| Temps de montée (min) | 30 |
| Coefficient de pointe | 3,56 |

Tableau 10: caractéristique de la crue 17aout1995

Crue de 11 mars 1996

La crue du 11 mars 1996 se distingue par son caractère complexe et polygénique. Elle est générée par une succession d'averses espacées dans le temps. On a alors obtenu des hydrogrammes étalés sur trois jours avec plusieurs hausses et plusieurs baisses des niveaux d'eau. Son débit de pointe est de 407,3 et son temps de base est de 36 heures.

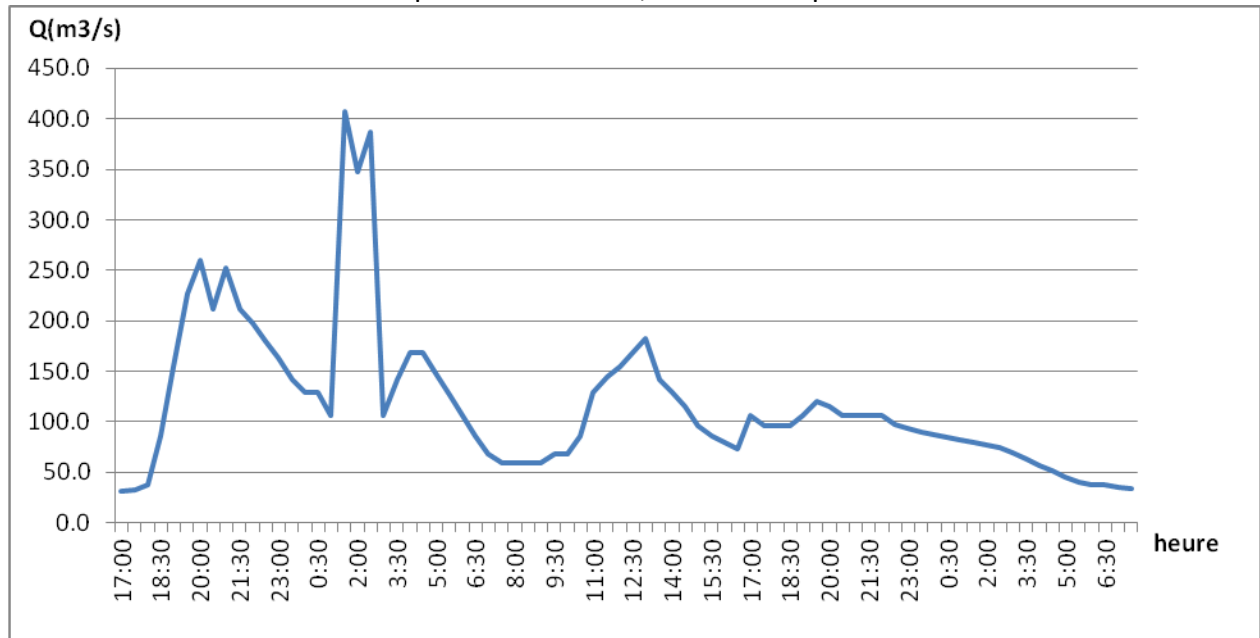


Figure 20:Hydrogramme de la crue du 11 mars 1996

| Caractéristique de la crue | |
|-----------------------------------|------------|
| Date début | 11mars1996 |
| Date fin | 13mars1996 |
| Débit de pointe (m3/s) | 407,3 |
| Débit moyen (m3/s) | 122,3 |
| Débit min (m3/s) | 22,2 |
| Débit de base avant (m3/s) | 22,2 |
| Débit de base après (m3/s) | 34,7 |
| Volume Mm3 | 17,2 |
| Temps de base (heure) | 36 |
| Coefficient de pointe | 3,1 |

Tableau 11: caractéristique de la crue 11mars1996

Crue de 23 octobre 2010

La crue du 23 octobre 2010 est une crue simple monogénique avec un pic du débit de pointe de 585,8 m³/s et d'un temps de base de 7 heures avec une seule montée et une seule décrue. Cette typologie caractérise justement les crues éclairs des milieux montagnards semi-arides (Saidi2003).

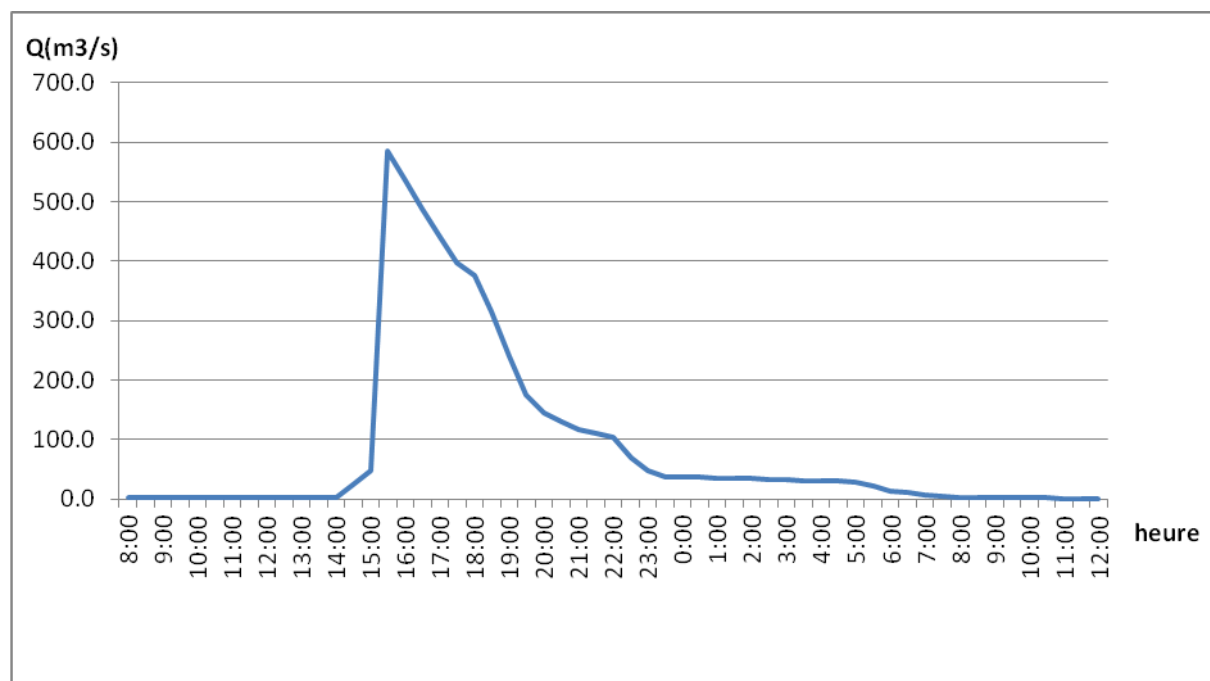


Figure 21:Hydrogramme de la crue du 23 octobre 2010

Caractéristique de la crue

| | |
|---|------------|
| Date début | 23-10-2010 |
| Date fin | 24-10-2010 |
| Débit de pointe (m ³ /s) | 585,8 |
| Débit moyen (m ³ /s) | 84,9 |
| Débit min (m ³ /s) | 0,8 |
| Débit de base avant (m ³ /s) | 1,8 |
| Débit de base après (m ³ /s) | 1 |
| Volume Mm ³ | 5,8 |
| Temps de base (heure) | 7 |
| Temps de montée (min) | 30 |
| Coefficient de pointe | 2,6 |

Tableau 12 : caractéristique de la crue 23octobre2010

➤ Crue 28 octobre 2010

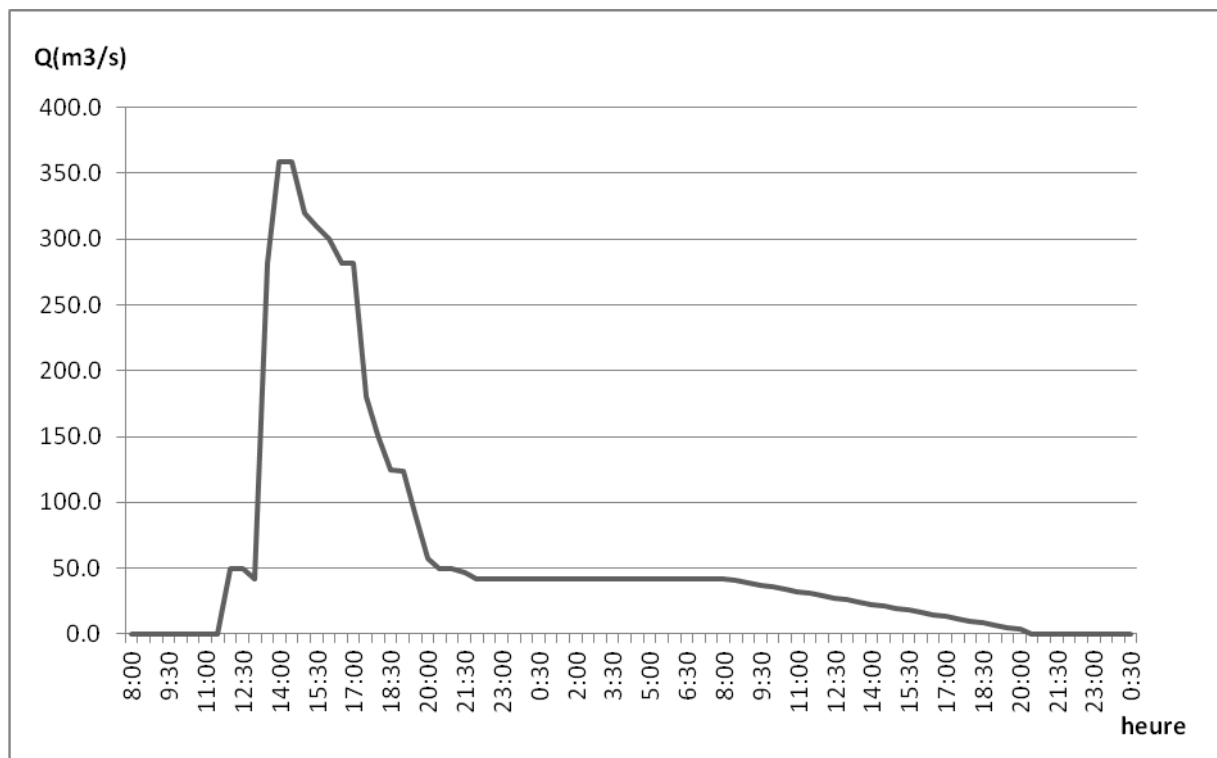


Figure 22: Hydrogramme de la crue du 28 octobre 2010

| Caractéristique de la crue | |
|---|-----------------|
| Date début | 28 octobre 2010 |
| Date fin | 29 octobre 2010 |
| Débit de pointe (m ³ /s) | 358 |
| Débit moyen (m ³ /s) | 59,9 |
| Débit min (m ³ /s) | 0,2 |
| Débit de base avant (m ³ /s) | 0,2 |
| Débit de base après (m ³ /s) | 42 |
| Volume Mm ³ | 3 |
| Temps de base (heure) | 7h30 |
| Temps de montée (heure) | 1 |
| Coefficient de pointe | 1,7 |

Tableau 13: caractéristique de la crue 28 octobre 2010

**Chapitre IV: Analyse fréquentielles
des débits et des pluies extrêmes pour
l'estimation des pointes et leurs
périodes de retour**

I. L'ajustement statistique des variables précipitations et débits :

Dans le but de vérifier des hypothèses d'homogénéité entre une variable aléatoire et un modèle calculé, on procède à l'ajustement statistique. Si ce modèle est bien superposé à l'échantillon étudié, on peut le considérer comme étant bien ajusté. L'objectif de cette méthode est la réduction de la masse de données, qui si importante devrait être remplacée par un nombre réduit de paramètres statistiques pouvant représenter correctement cette masse (DADI, 1998).

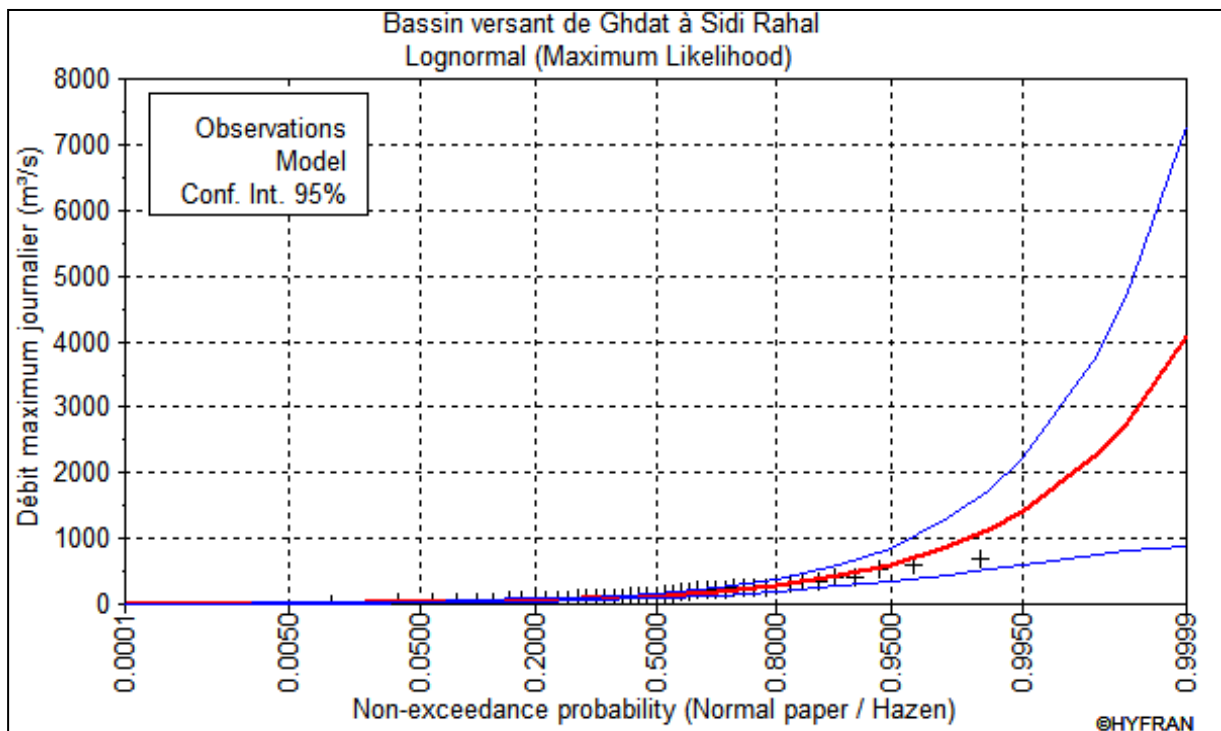
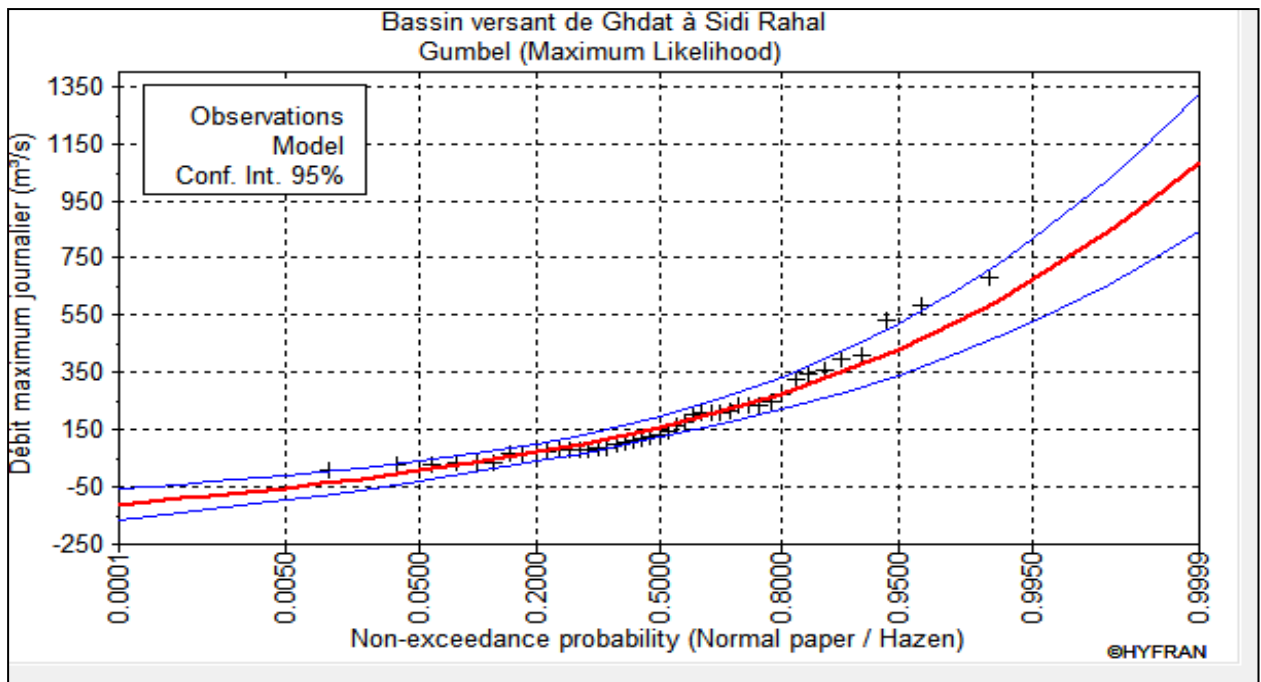
Afin de découvrir la structure des variations des débits et des précipitations et pour faire une analyse détaillée de ces données, l'ajustement statistique a fait grâce au logiciel HYFRAN. Ce dernier propose 14 lois d'ajustement statistique et détermine un modèle ou plus qui ajustent au mieux l'ensemble des données.

Dans un premier temps on se base sur les résultats graphiques d'ajustement qui permettent de donner une idée préjugée du degré de corrélation avec la distribution de la variable étudiée. Ensuite on se base sur les résultats de l'analyse numérique qui classe les différentes lois utilisées selon les critères d'AIC et BIC en attribuant les plus faibles valeurs aux lois représentant les meilleurs résultats d'ajustement.

Pour mieux s'assurer de la validation de la loi à utiliser pour l'ajustement de l'échantillon étudié, on se sert du tableau comparatif des caractéristiques de la distribution selon une loi donnée et les caractéristiques statistiques de l'échantillon étudié. Quand la loi est choisie suite aux critères susmentionnés, on peut déduire pour une probabilité donnée les variations futures de la variable étudiée. Cette estimation est l'un des soucis majeurs pour les concepteurs d'aménagements. Notre étude porte sur l'ajustement des débits maxima et des précipitations du bassin versant de R'dat sur une période de 43ans (1970/71- 2005/2006). (Darif 2013)

1) Ajustement des lois à un échantillon des débits maximaux annuels :

1.1 Méthode visuelle



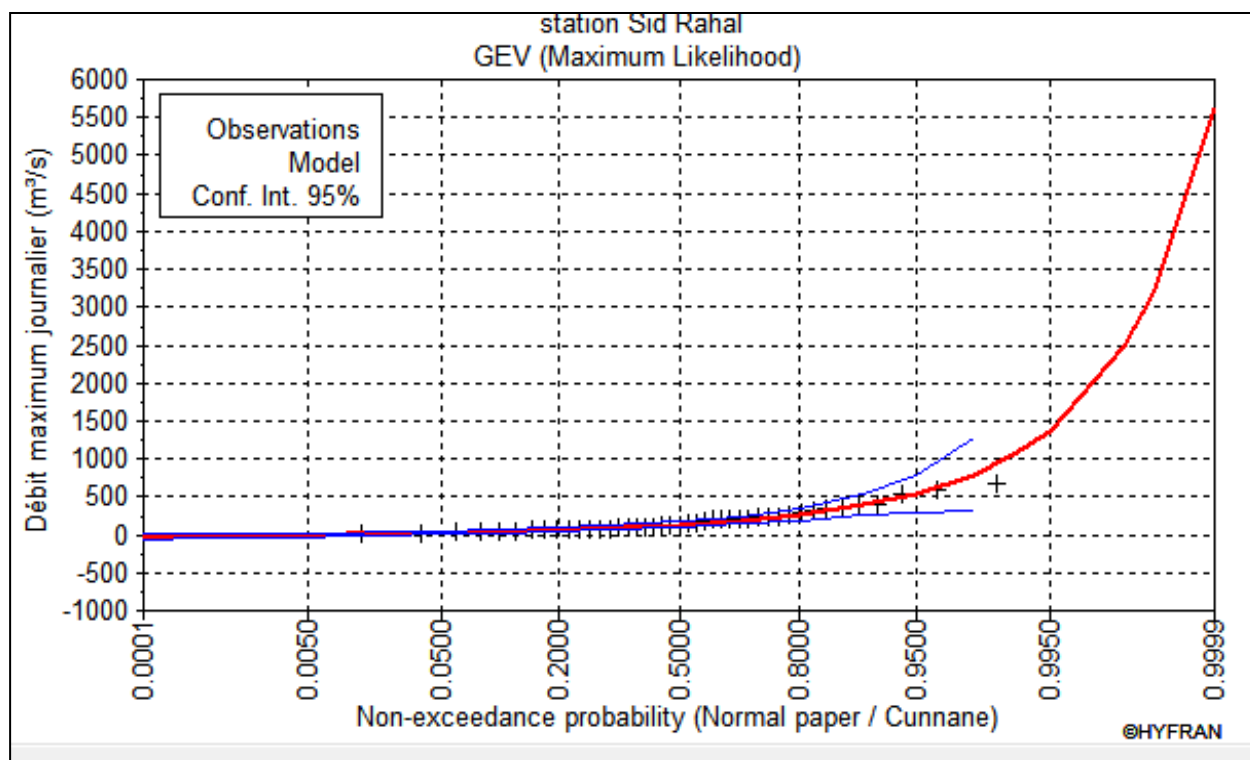


Figure 23: ajustement graphique des débits maximaux annuels

On remarque visuellement que les lois GEV et Log Normal sont les plus adaptées pour l'ajustement de la variable débit annuelles maximales.

1.2.Méthode numérique

| Modèle | BIC | AIC |
|------------|---------|---------|
| Log normal | 540.958 | 537.436 |
| GEV | 545.081 | 539.797 |
| Gumbel | 546.678 | 543.155 |

Tableau 14 : Ajustement numériques des lois aux débits annuelles maximales pour une période de 100ans

La comparaison entre les résultats graphiques nous a permis de savoir que la loi la mieux adaptée pour l'ajustement est la loi de **Log normal** car elle a les plus faibles valeurs des critères AIC et BIC.

1.3. Estimation des débits maxima annuels pour différentes périodes de retour

| Période de retour | Débit estimé en (m ³ /s) | | | |
|-------------------|-------------------------------------|--------|------|------------|
| | Gumbel | Normal | GEV | Log normal |
| 2 | 155 | 183 | 137 | 124 |
| 3 | 211 | 250 | 194 | 189 |
| 5 | 273 | 315 | 270 | 283 |
| 10 | 352 | 384 | 390 | 435 |
| 20 | 427 | 440 | 539 | 620 |
| 50 | 525 | 504 | 795 | 925 |
| 100 | 598 | 547 | 1050 | 1210 |
| 200 | 670 | 586 | 1370 | 1540 |

Tableau 15: estimation des débits de pointe selon les différentes lois d'ajustements

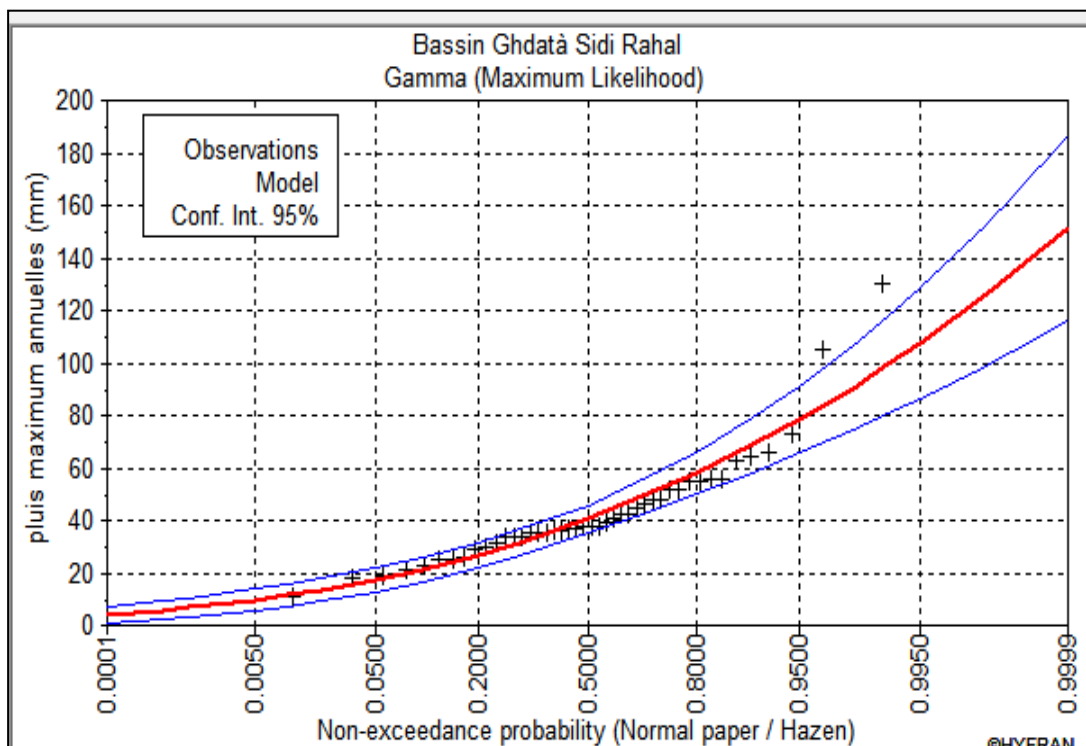
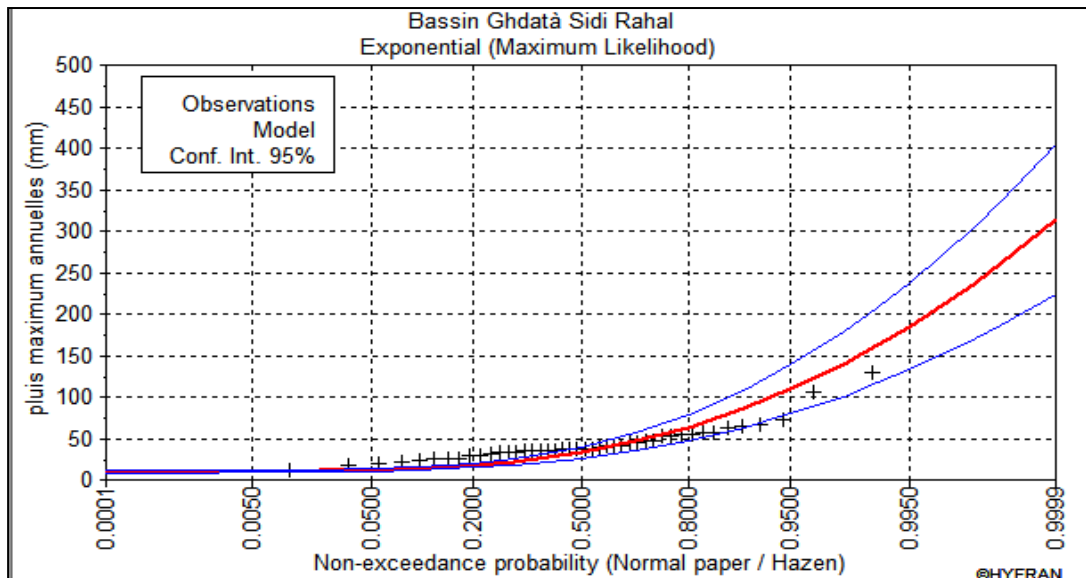
Le tableau suivant donne les débits estimés pour neuf périodes de retour : 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200 et 1000 ans.

On constate d'après le tableau que les résultats des débits estimés pour les grandes périodes de retour sont très variables d'une loi à l'autre, tandis que pour les faibles périodes de retour ces variations sont minimales.

Le débit décennal est de l'ordre de 435 m³/s pour la loi LogNormal. Il est très important pour un milieu aride et peut causer des inondations et des dégâts. De même pour le débit centennal de 1210 m³/s, il peut provoquer de très fortes inondations dévastatrices.

2-Ajustement des lois à un échantillon des précipitations maximales annuelles.

2.1. Méthode visuelle



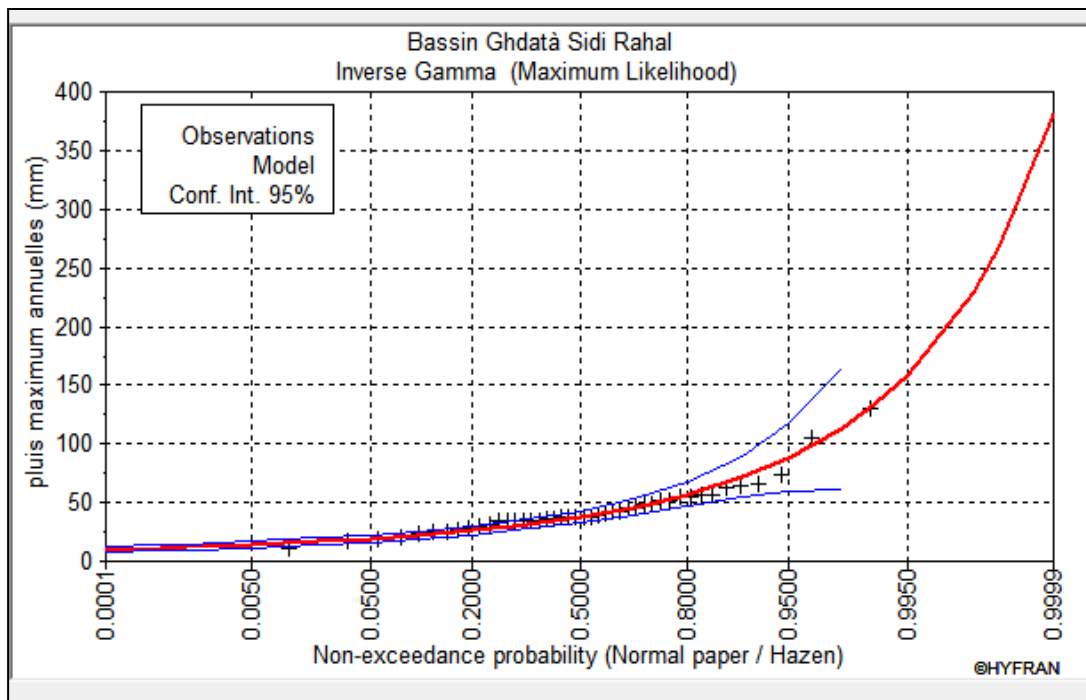


Figure 24: ajustement graphique des précipitations maximales annuelles

2.2. Méthode numérique

| modèle | BIC | AIC |
|---------------|---------|---------|
| Gamma | 385,660 | 382,092 |
| Inverse gamma | 385,912 | 382,344 |
| Exponentiel | 403,261 | 399,693 |

Tableau 16 : Ajustement numériques des lois aux précipitations maximales annuelles pour une période de 100ans

La comparaison entre les résultats graphiques nous a permis de savoir que la loi la mieux adaptée pour l'ajustement est la loi de **Gamma** car elle a les plus faibles valeurs des critères AIC et BIC.

2.3. Estimation précipitations maximales annuelles pour différentes périodes de retour

| Période de retour | Débit estimé en (m3/s) | | | |
|-------------------|------------------------|--------|-------|---------------|
| | Exponentiel | Normal | Gamma | Inverse gamma |
| 2 | 33.1 | 43.3 | 40.5 | 37.8 |
| 3 | 46.5 | 52.5 | 49.1 | 46.3 |
| 5 | 63.4 | 61.3 | 57.9 | 56.8 |
| 10 | 86.2 | 70.7 | 68.7 | 71.9 |
| 20 | 109 | 78.5 | 78.5 | 88.4 |
| 50 | 139 | 87.3 | 90.6 | 113 |
| 100 | 162 | 93.2 | 99.2 | 134 |
| 200 | 185 | 98.5 | 108 | 159 |

Tableau 17 : estimation des précipitations de pointe selon les différentes lois d'ajustements

Le tableau suivant donne les précipitations estimées pour neuf périodes de retour: 2, 3, 5,10, 20, 50, 100, 200,1000 ans.

On constate d'après le tableau que les résultats des hauteurs de pluies estimées pour toutes les périodes de retour sont peu variables d'une loi à l'autre. Pour la loi adéquate Gamma, La pluie journalière décennale, est de 68,7mm, ce qui est assez important pour ce milieu aride. Elle peut bien provoquer des crues et des dégâts. De même pour la pluie centennale (99,2mm) qui sera bien évidemment plus grave.

Chapitre V: Etude de cas crue de 28 novembre 2014

I. Pluviométrie de l'évènement :

Selon l'Agence de Bassin Hydraulique de Tensift, Le 28 novembre 2014 le bassin versant de Tensift a connu des précipitations très importantes dépassant 100 mm en 24 heures suite à une dépression importante (920 mb) dont le centre se déplaçait des îles-Canaris vers le Portugal à travers le Maroc sous l'influence de plusieurs perturbations successives provenant du sud-ouest et de l'ouest (voir tableau ci-après). Le cumul pluviométrique au niveau du bassin de Tensift, a atteint des valeurs variant entre 76 mm dans le bassin d'Issil et 519.3 mm en amont du bassin versant de l'Oued Ourika.

A sidi Rahal, la pluviométrie journalière de l'évènement était comme suit :

| Jour | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | totale | Moyen annuel |
|----------------|-----|-----|-----|------|----|----|-----|------|----|------|------|--------|--------------|
| S.RAHAL(Ghdat) | 0.2 | 3.2 | 0.2 | 12.4 | 12 | 0 | 7.8 | 10.9 | 35 | 59.1 | 28.2 | 169,3 | 345.9 |

Tableau 18: pluviométrie journalière du 20 au 30 novembre 2014 de la station sidi Rahal(Ghdat)

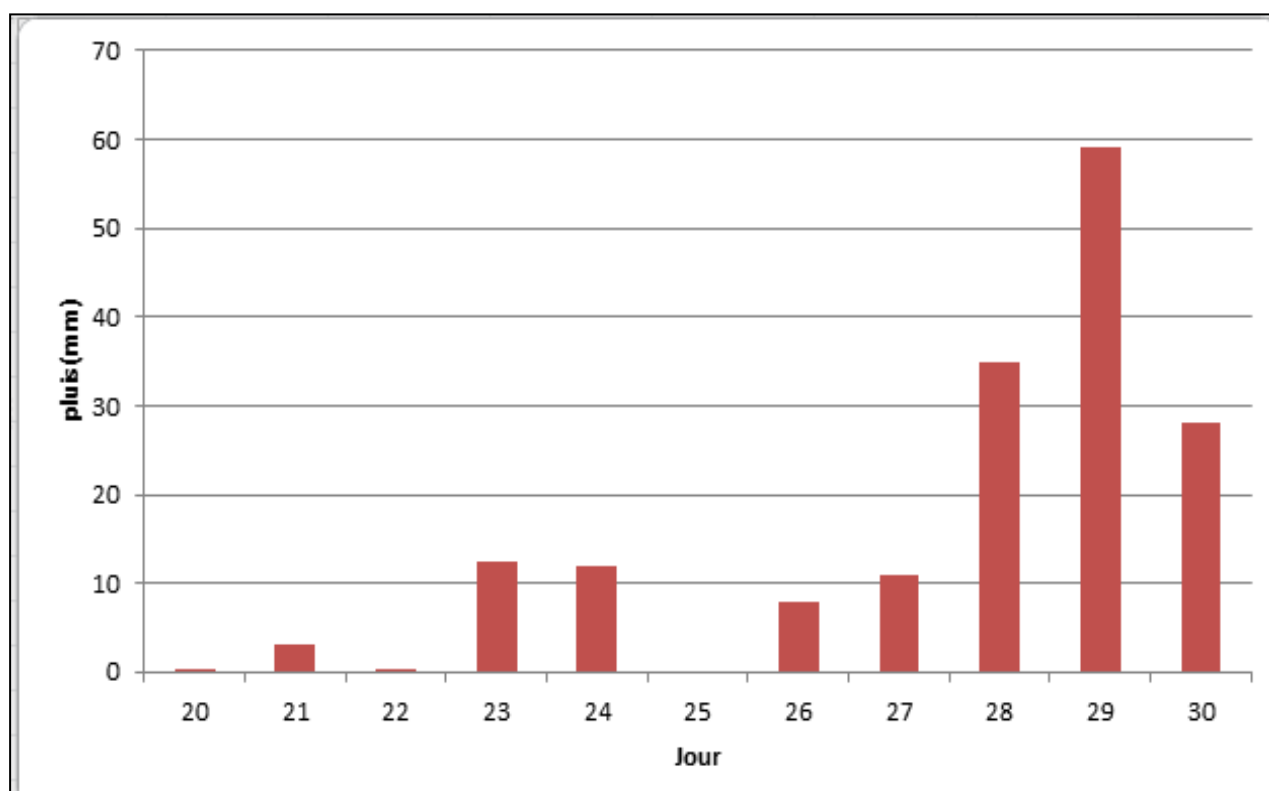


Figure 25: pluviométrie journalière du 20 au 30 novembre 2014 à Sidi Rahal

La figure 25 montre la variation pluviométrique journalière à la station de Sidi Rahal. Elle montre un maximum journalier le 29 novembre de 59 mm qui correspond à peu près à la pluie décennale calculée précédemment.

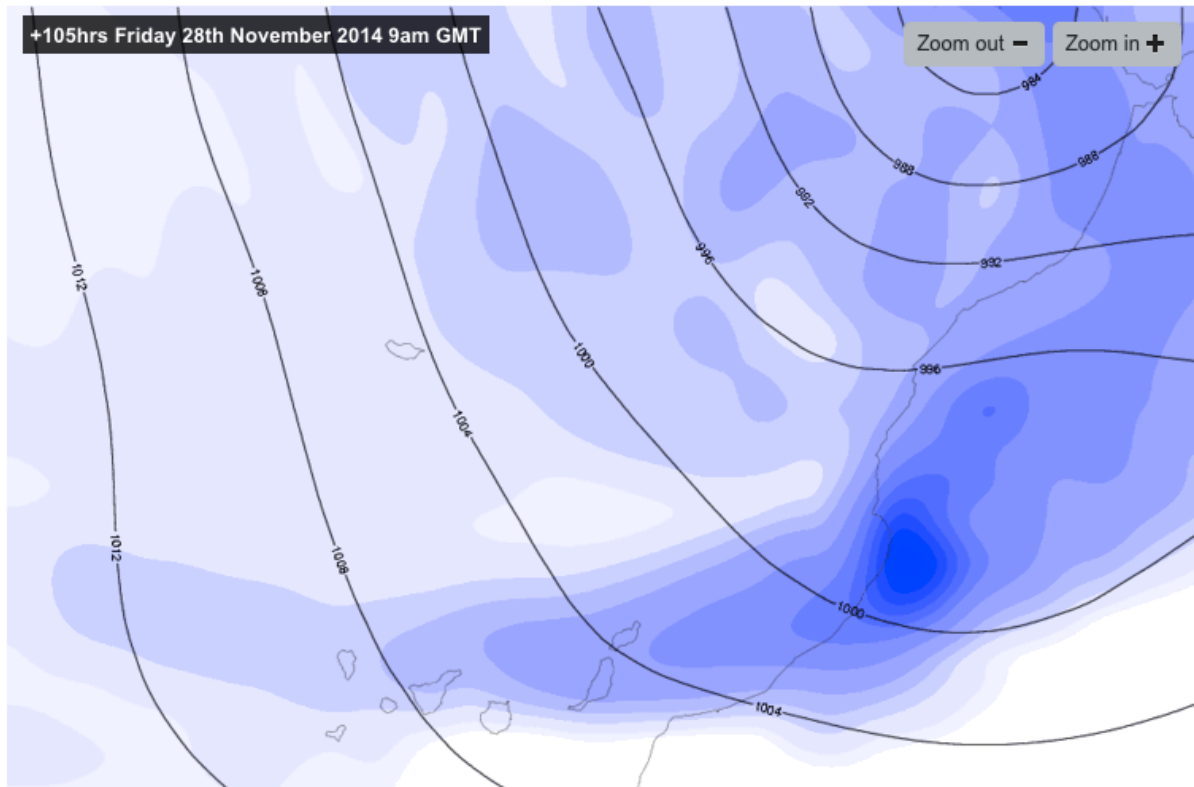
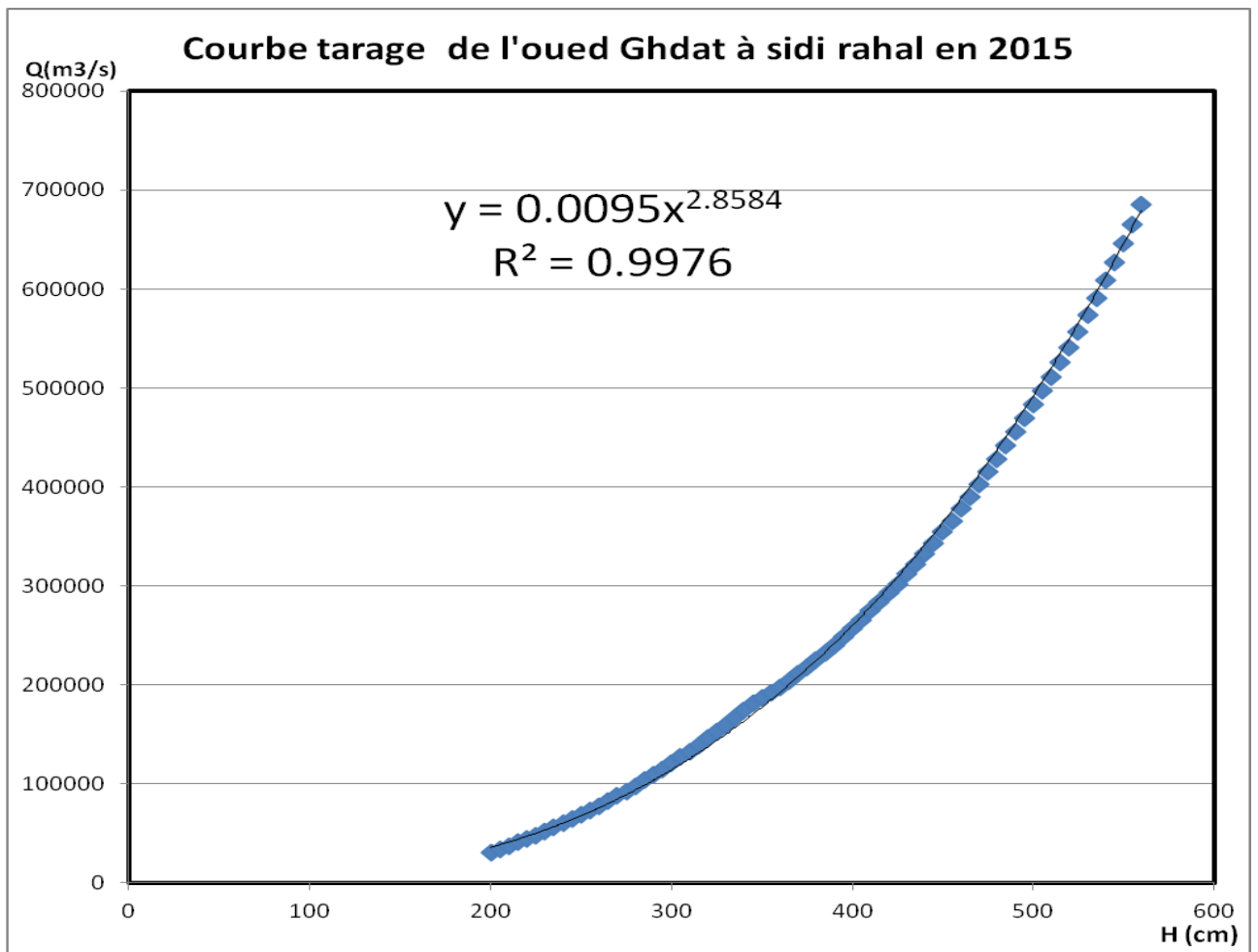


Figure 26: Situation météorologique du 28 novembre 2014 au niveau du Maroc

II. Origine des données :



D'après les données fournies par l'agence des bassins hydrauliques de Tensift on a constaté qu'ils ont enregistré que les hauteurs(m) le temps chaque (5min) et n'ont pas les débits (m³/s). Cependant on a utilisé un barème de la station de Sidi Rahal : R'dat de 2015 qui lie la hauteur et le débit. L'équation qui a été établie est :

$$y = 0,0095x^{2,8584} \quad \text{sachant que } R^2 = 0,9976$$

Avec **Y= débit** et **X= hauteur** **R= coefficient de détermination**.

A partir de cette équation de tarage, on peut déduire le débit correspondant à n'importe quelle hauteur d'eau, à condition que le profil de la section hydrométrique ne change pas.

III. La crue de novembre 2014 :

1. Reconstitution de l'hydrogramme de la crue du 28/11/2014

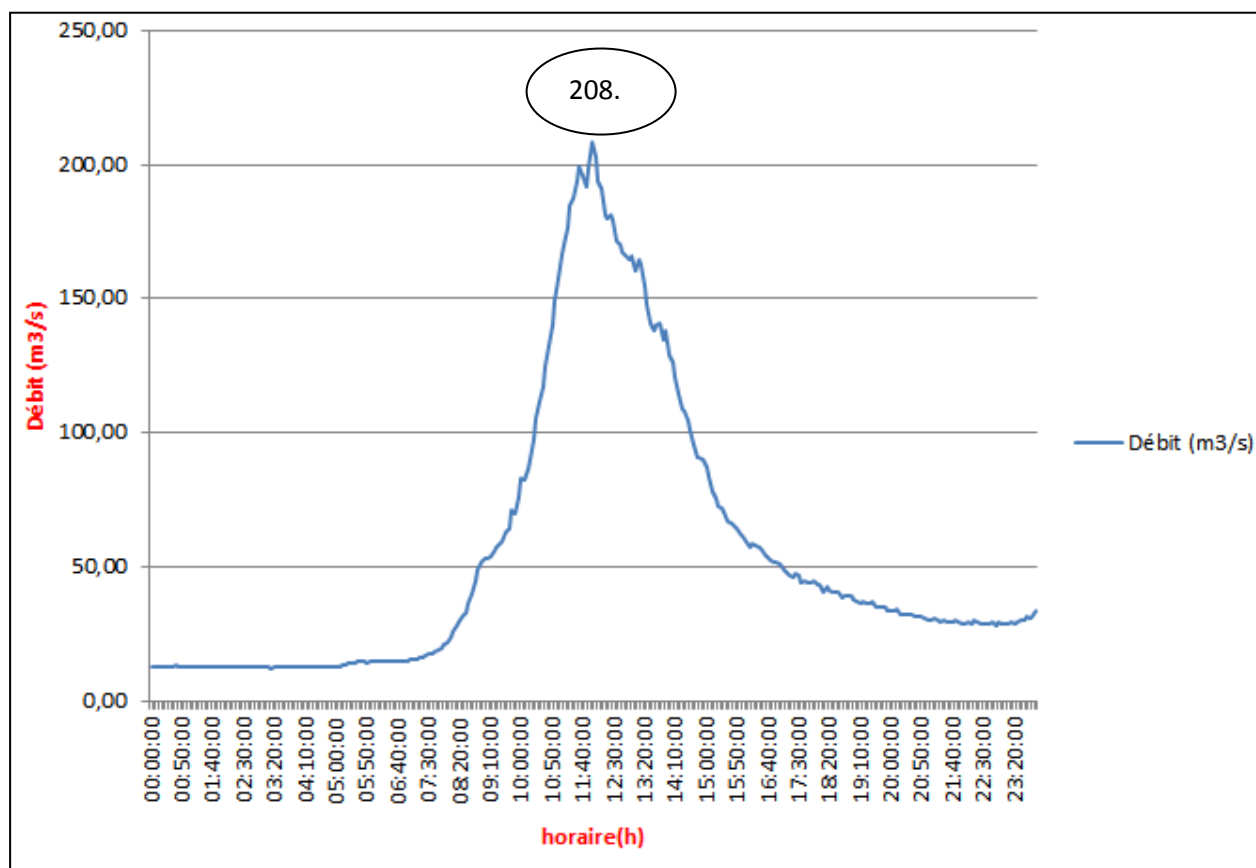


Figure 27: Hydrogramme reconstitué de la crue du 28 novembre 2014 à Sidi Rahal

2. Analyse de l'hydrogramme de la crue du

La figure 27 représente l'hydrogramme de la crue de 28/11/2014. C'est une crue simple monogénique avec une forte pointe de crue de 208 m³/s. Les temps de bases et de montée étaient assez courts avec de valeurs respectifs de 14heures et 4,2 heures . Cette crue a une forme aigue et pointue, ce qui a augmenté sa gravité. Elle a d'ailleurs causé d'importants dégâts matériels, notamment des terrains agricoles inondés et la route régionale R210 submergée et coupée (photo 1 et 2).



Photo1 ;2 : dégats de la crue du 28 novembre 2014

Conclusion

Le bassin versant du Ghdat offre un environnement climatique et morphologique propice au ruissellement superficiel et au développement des crues violentes. Il est caractérisé par des pentes assez faibles sur la plaine mais beaucoup plus importantes sur les montagnes, des terrains peu perméables en amont et plus perméables en aval et un couvert végétal peu dense.

Les précipitations du bassin versant sont variables dans le temps et dans l'espace, avec une moyenne annuelle d'environ 600 à 700 mm en amont et de 300 à 400 mm en aval. La valeur annuelle maximale a été enregistrée pendant l'année 1995/96 tandis que l'année la plus sèche était 1992/93.

Les variations mensuelles montrent que la période pluvieuse s'étend d'octobre à mai avec presque 90 % du total pluviométrique. Les débits sont irréguliers durant l'année, avec un maximum aux mois de mars et avril, tandis que le cours d'eau est quasiment à sec pendant la période sèche.

La corrélation débits/pluies à l'échelle annuelle a été très bonne avec un coefficient de corrélation de 0,87 ce qui revient à dire que les débits dépendent étroitement des pluies du bassin.

La crue se caractérise par son débit, sa hauteur d'eau et sa vitesse d'écoulement. Il en existe deux types, le premier simple comme la crue du 13 août 1982 avec un débit de pointe de 685m³/s et le second est complexe, exemple du 11 mars 1996, avec un débit de pointe de 407,3m³/s. Pour l'analyse fréquentielle des débits et des pluies extrêmes, on constate que les loi LogNormal et Gamma sont respectivement les plus adéquates pour ces paramètres.

Par ailleurs, la courbe de tarage qui détermine le débit en fonction de la hauteur d'eau nous a permis de reconstituer les débits de la crue du 28 novembre 2014 à Sidi Rahal ; et nous avons constaté que cette crue est typologiquement simple et aiguë avec un débit de pointe de 208m³/s qui aurait un temps de retour de 5ans .

Bibliographie

- ABHT-Agence du bassin hydraulique de Tensift EL Haouz
- Agence du Bassin Hydraulique de Tensift, (non daté) le bassin versant de l'oued R'dat note interne, 23 p.
Cartographie thématique et bilans hydrologiques. Mémoire de fin d'études, Maîtrise
- **Ed-Daoudi S. et Bouloumou Y. (2012)** : Hydromorphologie du bassin versant d'Issil et crues de l'oued en amont de Marrakech. Mémoire de fin d'études, licence Es Sciences et Techniques, Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech 56p.
Es Sciences Spécialisées Métallogénie. FSTG, Marrakech 60p.
- **Moussyih I. et Barry Mamadou H. (2003)** : Les bassins versants du Zat et du R'dat :
- **Oumkaltoum DARIF(2013)** : Le fonctionnement hydrologique du bassin versant de R'Dat(Haut Atlas de Marrakech)et conséquences environnementales des crues de l'oued
- **Saidi M.E 2013** : Apport des logiciels de SIG dans la morphométrie des bassins versants (L'exemple d'ArcGIS Guide méthodologique d'utilisation).