

Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences et Technique
Département des Sciences de la Terre
Option : Eau et environnement

MEMOIRE FIN D'ETUDE

Année Universitaire : 2016 – 2017

Vulnérabilité territoriale aux inondations du Haut Atlas de Marrakech L'exemple de l'aval du bassin versant du ZAT

Réalisé par : - BOUALIOUI mariama
-ABOUHANI Meryem

Encadrées par : - Mr M.Saidi (la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech)
- Mr Rachidi (agence de bassin hydraulique de Tensift, Marrakech)

Soutenu le 22/06/2017 devant la commission d'examen composée de :

- Mr M.Saidi (la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech)
- Mr Igmoullan (la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech)
- Mr Rachidi (agence de bassin hydraulique de Tensift, Marrakech)

Remerciements :

Avant d'entamer les différentes parties de ce rapport, nous voudrions adresser un petit mot de reconnaissance à travers lequel nous remercions très fort tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*Nous tenons tout d'abord à exprimer notre gratitude et nos sincères remerciements à notre Professeur et Encadrant **Monsieur M.Saidi**, pour la disponibilité dont il a fait preuve en notre faveur, pour ses efforts déployés afin de nous assurer un très bon encadrement, ainsi que pour ses encouragements et ses conseils.*

Nos vifs remerciements vont également à l'ensemble du corps enseignant du Département des Sciences de la Terre à la FST de Marrakech.

*Nous voulons ensuite remercier **Monsieur Rachidi**, qui nous a encadrés au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift à Marrakech pour l'ensemble des données et la bibliographie qu'il a mise à notre disposition.*

Nos chaleureux remerciements à nos très chers parents pour leurs sacrifices matériels et moraux qu'ils ont accordés le long de nos années d'études.

Table des matières

INTRODUCTION	7
CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT D'OUED ZAT	9
I.1. Situation géographique.....	10
I.2. Contexte administratif.....	12
I.3. Cadre géologique	12
I.4. Morphologie du bassin versant d'oued Zat.....	12
I.4.1- Surface du bassin versant.....	12
I.4.2- Périmètre du bassin versant	13
I.4.3- Indice de compacité de Gravelius	13
I.4.4- Rectangle équivalent	13
I.4.5- Longueur d'oued	14
I.4.6- Dénivelée	14
I.4.7- Pente Moyenne.....	14
I.5. Hypsométrie et pente de Bassin Versant ZAT	16
I.6. Temps de concentration (Tc).....	20
CHAPITRE 2 : ANALYSE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT D'OUED ZAT	22
II.1. Année hydrologique.....	23
II.2. Traitement des données.....	23
II.2.1- Température	23
II.2.2- Analyses des données pluviométriques.....	23
II.2.3- Analyses des données de débits	25
II.3. Etude statistique des crues d'oued ZAT	27
II.3.1- Ajustement de lois à un échantillon de débit.....	27
II.3.2- Comparaisons visuelles (analyse des graphes).....	30
II.3.3- Comparaisons numériques (Analyse statistique)	32
II.3.4- Evaluation de la loi la mieux adaptée à l'estimation des débits extrêmes	33
II.3.5- Prédétermination des débits	33
CHAPITRE 3 : ETUDE DES CRUES D'OUED ZAT	35
III.1. Définition et Généralités	36

III.1.1- Variations des temps de montée et des temps de base des crues	36
III.2. Historique des crues d'Oued Zat	37
III.2.1- La crue de 1982	38
III.2.2- La crue de 02-11-1987	39
III.2.3- La crue de 1995	40
III.2.4- La crue de 23/10/2010	41
III.2.5- La crue de 31/10/2012	42
III.2.6- La crue de 23/11/2014	43
CHAPITRE 4 : INONDATION DE L'OUED ZAT	45
IV.1. Phénomène d'Inondation	46
IV.2. Facteur aléa	46
IV.2.1- Carte d'aléa	47
IV.3. Facteur vulnérabilité	50
IV.3.1. Vulnérabilité élevée	51
IV.3.2. Vulnérabilité moyenne	57
CHAPITRE 5 :	59
RÉSULTATS ET DISCUSSION	59
V.1. Terrain agricole	60
V.2. Habitations	60
V.3. Conclusion	61
➤ La Prévention :	61
➤ La préparation	61
➤ La Construction du Barrage Ait Ziat	62
Bibliographie	63
Annexes	63

Table des figures

Figure 1: Situation géographique di bassin versant Zat et sa localisation dans le grand bassin versant.....	10
Figure 2 : Reseau hydraulique du bassin versant Zat.....	11
Figure 3: Carte de pente du bassin versant Zat.....	16
Figure 4: Carte hypsométrique du bassin versant Zat.....	17
Figure 5: Répartition des surfaces de chaque tranche sur le rectangle equivalent en %.....	19
Figure 6 : Histogramme de la repartition des surfaces de chaque tranche d'altitude du bassin versant Zat.....	19
Figure 7: Courbe hypsométrique du bassin versant Zat.....	20
Figure 8: Histogramme de précipitations maxima mensuelles au niveau du bassin versant Zat.....	24
Figure 9: Histogramme de précipitations moyennes mensuelles au niveau de bassin vesant Zat.....	24
Figure 10: Histogramme de precipitations totales annuelles au niveau du bassin versant Zat.....	25
Figure 11: Histogramme des données de débits maxima mensuels.....	26
Figure 12: Histogramme des données de débits moyens mensuels.....	26
Figure 13: Histogramme des données de débits maxima annuels.....	27
Figure 14: Graphe chronologique des débits maxima annuels enregistrées au niveau de la station taferiat.....	28
Figure 15: Résultats d'ajustement de différents lois aux crues de Zat a Ait Ourir.....	31
Figure 16: Histogramme de temps de montée des crues d'oued Zat a la station de taferiat (RAMROMI 2007).....	36
Figure 17: Histogramme de temps de base des crues de'oued Zat a la station de Taferiat (RAMROMI 2007).....	37
Figure 18: Hydrogramme de la vrue du 14/08/1982 en m3/s.....	38
Figure 19: Hydrogramme de la crue du 11/02/1987 en m3/s.....	39
Figure 20: Hydrogramme de la crue du 17/08/1995 en m3/s.....	40
Figure 21: Hydrogramme de la crue de 23/10/2010 en m3/s.....	41
Figure 22: Hydrogramme de la crue du 31/10/2012 en m3/s.....	42
Figure 23: Hydrogramme de la crue du 23/11/2014 en m3/s.....	43
Figure 24: Carte d'aléa pour la crue centennale.....	48
Figure 25: les 6 profils sur le long d'oued Zat.....	49
Figure 26: Le pont sur la Route.....	52
Figure 27: Crue de 2014 (Challenge.ma).....	54
Figure 28: Habitation effondrés lors de la crue de 2014.....	57
Figure 29: Habitation construites dans le lit de l'oued.....	57
Figure 30: Terrain exposé a l'inondation.....	Erreur ! Signet non défini.

Table des tableaux

Tableau 1: Les caractéristiques physiques du bassin versant Zat.....	15
Tableau 2: Les tranches d'altitudes.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 3: Résultas d'ajustement numerique des crues de Zat (Periode 100ans).....	32
Tableau 4: Les statistiques des débits maxima annuels.....	33
Tableau 5: Les prédétermination des debits.....	34
Tableau 6: Les caractéristiques de la crue du 14/08/1982.....	39
Tableau 7: Les caractéristiques de la crue de 11/02/1987.....	40
Tableau 8: Les caractéristiques de crue de 17/08/1995.....	41
Tableau 9: Les caractéristiques de la crue de 23/10/2010.....	42
Tableau 10: Les caractéristiques de la crue de 31/10/2012.....	43
Tableau 11: les cractéristiques de la cure de 13/11/2014.....	44

Matériels et Outils DE TRAVAIL

- **Logiciel Global Mapper** : est plus qu'un simple outil de visualisation capable d'afficher les images raster, les données d'altitude et les données vectorielles les plus répandues. Il **convertit, édite, imprime, acquière des données GPS**, et vous permet d'utiliser des fonctionnalités SIG sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple. (www.geomatique.fr)
- **Logiciel Arc gis** : Arc GIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, Arc GIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques (www.resources.arcgis.com)
- **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 (cf. Publications sur le SAD). (1992-2004).
- **Logiciel WMS** est un **logiciel** informatique, qui sert à aider dans la gestion d'un entrepôt. L'acronyme **WMS** signifie en anglais Warehouse Management System, que l'on peut traduire par Système de gestion d'entrepôt. L'utilisation d'un **WMS** est aujourd'hui presque obligatoire pour avoir une vue d'ensemble des stocks.
- **MNT** est une représentation numérique du terrain donc des valeurs d'altitude d'une zone donnée. On peut en dériver des indications sur les valeurs de pentes et d'exposition et sur les formes de la surface topographique d'une zone géographique donnée.
(www.emse.fr/tice/uved/SIG/Glossaire/co/MNT.html)

INTRODUCTION

Les inondations représentent un risque naturel qui peut causer des pertes en vies humaines, des dégâts matériels et la dégradation de l'environnement. Dans la triste liste noire des victimes, et à l'échelle du bassin méditerranéen, les risques d'inondation viennent en deuxième rang derrière les risques sismiques, mais ils occupent en revanche le premier rang sur le plan de fréquences d'occurrences.

Le Maroc n'est pas épargné de cette règle. Les catastrophes les plus fréquentes et les plus meurtrières pour ce pays sont la récurrence terrible des inondations. Les inondations de l'Oued Ourika de 1995, celles de l'Oued Maleh de 2002, et encore celles très récentes de Tanger, Nador, Fnidek, Boulmane (octobre 2008) restent gravées dans les mémoires des marocains.

Les inondations ont des impacts sur l'ordre social et sur l'écosystème. En effet, parmi les conséquences néfastes des inondations, on peut citer :

- les glissements de terrain dus à des sols saturés ;
- les pertes en vies humaines dues à la noyade ;
- la pollution des réserves d'eau et les épidémies en relation avec la contamination éventuelle des puits et des nappes phréatiques ;
- la perte de la culture, des réserves alimentaires et des animaux ;
- l'effondrement des maisons.

Les stratégies de lutte contre les risques d'inondation au Maroc correspondent à un programme d'action qu'il faut mener pour contenir ou réduire le risque, et ce à travers plusieurs actions :

- la prévention : la connaissance et la sensibilisation aux risques ;
- la protection contre les risques, la prévision, la surveillance et l'alerte ;
- l'intervention, le secourisme et la réhabilitation ;
- la Contribution et la collaboration des Organisations Non Gouvernementales « ONG ».

Pour la prévention il s'agit d'informer le citoyen et les différentes communautés et groupements sociaux sur les causes du risque, ses conséquences et ses impacts à court et à moyen terme et enfin sur les moyens de lutte et les

mesures de précaution à prendre pour se défendre contre les agressions de cette catastrophe.

Notre région d'étude, Bassin Versant de Zat fait partie du Haut Atlas de Marrakech. Ce dernier 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 Ghdat et finalement à l'Ouest par le bassin versant d'Ourika.

Notre objectif est de cerner le comportement hydrologique de ce bassin du Zat et d'étudier les risques d'inondation à l'aval de l'oued. Ceci par une étude hydro-pluviométrique et l'analyse des crues sur les plans dynamique et fréquentielle ainsi que l'analyse de la vulnérabilité de la région aux inondations.

C'est un travail qui s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'études, en vue de l'obtention du diplôme de licence en sciences et techniques Eau et Environnement à la faculté des sciences et techniques de Marrakech. Il s'est déroulé au sein de l'Agence du Bassin d'Hydraulique de Tensift dont le choix est motivé par quatre raisons essentielles :

- L'ambition de s'initier aux activités pratiques et explorer le domaine professionnel sur la base des connaissances théoriques et des compétences acquises pendant notre formation :
- L'Amélioration de notre savoir-faire ;
- L'acquisition de nouvelles compétences ;
- La connaissance des divers méthodes et actions dédiées à la gestion des ressources en eau.

CHAPITRE I :
CARACTERISTIQUES
PHYSIQUES ET
MORPHOLOGIQUES DU BASSIN
VERSANT D'OUED ZAT

I.1. Situation géographique

L'oued Zat est un affluent de la rive gauche de l'oued de Tensift (Fig. 1). Il appartient au versant nord de la chaîne du Haut Atlas. L'exutoire de ce bassin versant est situé à AIT OURIR au Sud-est de Marrakech entre la latitude $31^{\circ}33'41''$ Nord et la longitude $7^{\circ}40'41''$ Ouest ; qui correspondent aux coordonnées Lambert $X= 283.691$; $Y= 109.642$ et $Z= 654$;

Les relevés d'échelle se font à la station de Taferiat et sont effectuées quotidiennement, Une équipe de jaugeurs y effectue d'autre part des tournées régulières de jaugeages dont les résultats sont dépouillés au Service de ressource en eau de l'Agence du Bassin Hydraulique ET SONT transmis à la Direction de Recherche et Planification des Eaux (DRPE) à RABAT.

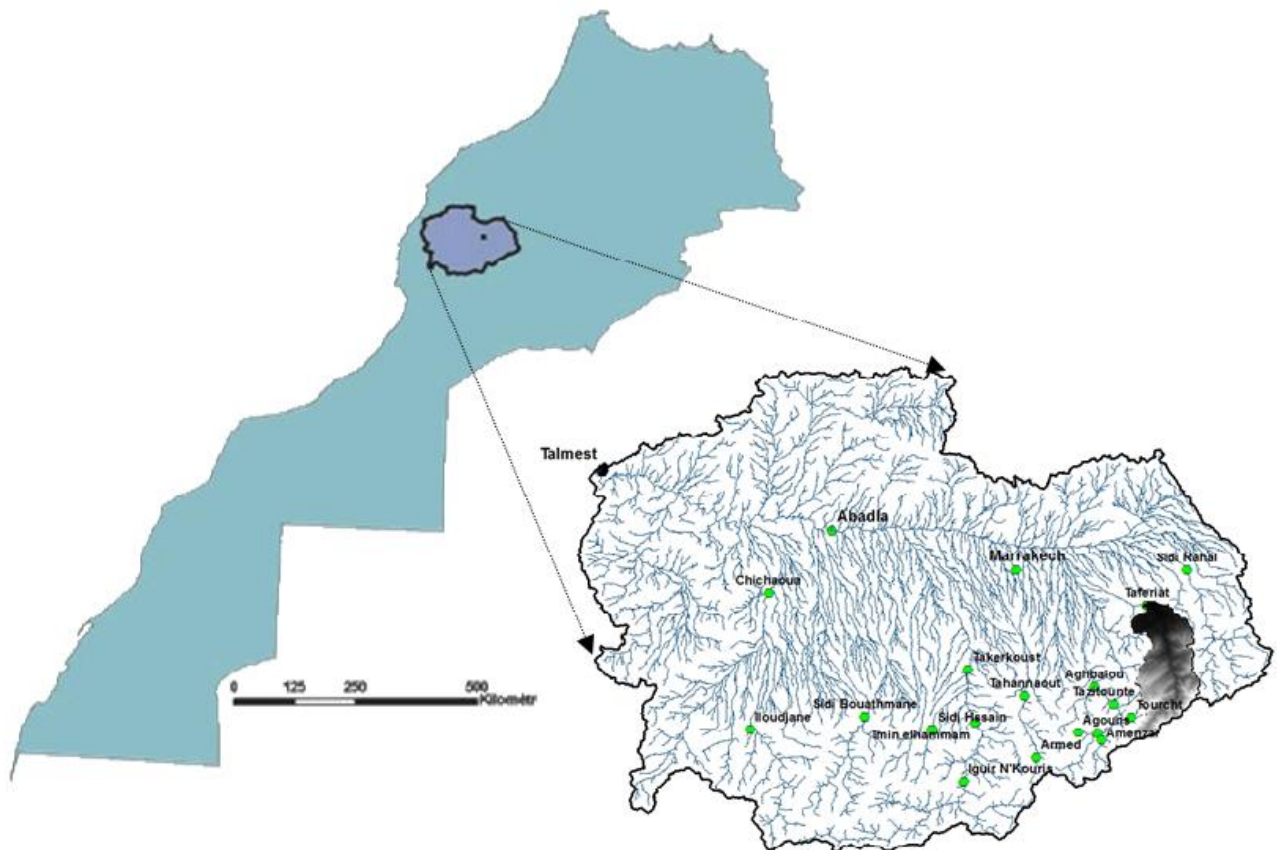


Figure 1: Situation géographique di bassin versant Zat et sa localisation dans le grand bassin versant

Le sous bassin de Zat fait partie du grand bassin hydraulique d'oued Tensift, il est délimité au sud par la zone axiale du Haut Atlas, au nord par la plaine du Haouz, à l'est par le bassin de Ghdat et à l'ouest par le bassin versant de l'Ourika (Figure. 2).

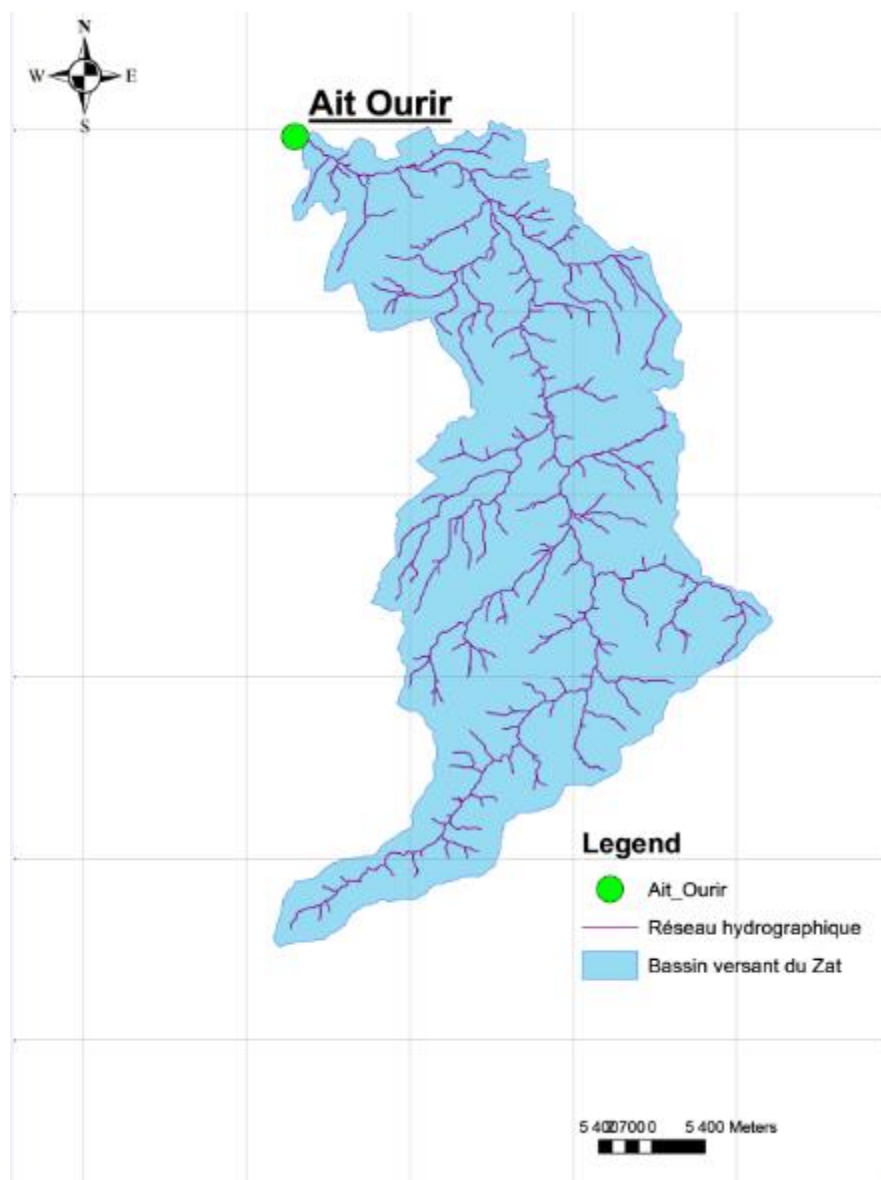


Figure 2 : Réseau hydraulique du bassin versant Zat

I.2. Contexte administratif

Le bassin versant compte 102.201 habitants, soit 2.34 % de la population de la province d'Alhouz avec une densité de 2624 hab / km². Les habitants sont répartis sur cinq communes Ait Ourir, Ait Faska, Tamaguert, Tidili Msfioua et Tighdouine

I.3. Cadre géologique

Le bassin est constitué d'un socle rigide Paléozoïque et précambrien au sud et des terrains de couvertures secondaires et tertiaires qui se développent vers le nord et le nord-est.

La chaîne atlasique montre suivant, une direction nord-est, sud-ouest, deux zones distinctes:

- A l'amont, la zone axiale de la chaîne à hautes altitudes où n'affleure que le socle.
- A l'aval, la zone sub-atlasique septentrionale où la couverture post-hercynienne constitue l'essentiel des affleurements.

Dans l'ensemble, la lithologie du bassin du Zat est constituée à 46 % de terrains imperméables, à 40% de terrains semi perméables et à 14 % de terrains perméables (P. Pacson 1977).

I.4. Morphologie du bassin versant d'oued Zat

I.4.1- Surface du bassin versant

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'écoulement des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à la surface. Celle-ci correspond à l'air délimité par l'ensemble des points les plus hauts qui constituent la ligne du partage des eaux. La surface (A) du bassin versant exprimé en kilomètre carré (km²) peut être déterminé à l'aide d'un planimètre ou d'un logiciel de SIG.

La superficie du bassin versant d'oued Zat jusqu'à l'exutoire situé à la station de TAFARIAT est d'environ 577 km². Cette surface est déterminée par l'intermédiaire du logiciel ARCGIS.

I.4.2- Périmètre du bassin versant

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour du bassin versant par une ligne joignant tous les points les plus élevés. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. Le périmètre, déterminé à l'aide du logiciel ARCGIS, est de l'ordre de 167km.

I.4.3- Indice de compacité de Gravelius

L'indice de compacité de Gravelius renseigne sur la forme du bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et surtout sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin résulte d'une pluie donnée.

Il est établi en correspondant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface du bassin versant. Il est exprimé par la formule suivante (ROCHE 1963) :

$$KG = \frac{P}{2\pi\sqrt{A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dont :

KG : Indice de compacité de Gravelius

P : Périmètre du bassin versant

A : Superficie du bassin versant

Donc

$$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0.28 \frac{167}{\sqrt{577}} = 1.936$$

Ce –ci nous permet de dire que le bassin versant est très allongé et sa longueur est presque neuf fois plus grande que sa largeur.

I.4.4- Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre et le même indice de compacité et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas les courbes de niveau deviennent parallèles aux côtés du rectangle

Les dimensions du rectangle équivalent ont déterminés par les formules suivantes (ROCHE 1963) :

$$\text{Longueur : } L = KG \cdot \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG} \right)^2} \right) = 75 \text{ Km}$$

$$\text{Largeur : } I = KG \cdot \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG} \right)^2} \right) = 8 \text{ Km}$$

I.4.5- Longueur d'oued

La longueur du cours d'eau principal renseigne sur le temps de transit de l'eau pour atteindre l'exutoire, obtenu à l'aide de logiciels informatiques Arc gis et dont la longueur égale à 65 Km (Tableau. 2)

I.4.6- Dénivelée

La différence d'altitudes entre deux points de la surface, ces points sont généralement référencés par des coordonnées géographiques :

$$DI = H_{\text{max}} - H_{\text{min}} = 3899 - 651 = 3248$$

I.4.7- Pente Moyenne

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin, Elle influence sur l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant.

Ce paramètre est également mesuré à l'aide du logiciel d'informatique arc gis et a donné la valeur de 20,2 degrés.

Tableau 1: Les caractéristiques physiques du bassin versant Zat

Paramètres	Valeurs
Superficie (Km ²)	577
Périmètre (Km)	167
Altitude max (m)	3899,13
Altitude min (m)	446
Indice Gravelius adimensionnel	1,94
Longueur du rectangle équivalent (Km)	75
Largeur du rectangle équivalent (Km)	8
Longueur d'oued (Km)	65
Dénivelée (m)	3248
Pente moyenne oued (degrés)	20,2

I.5. Hypsométrie et pente de Bassin Versant ZAT

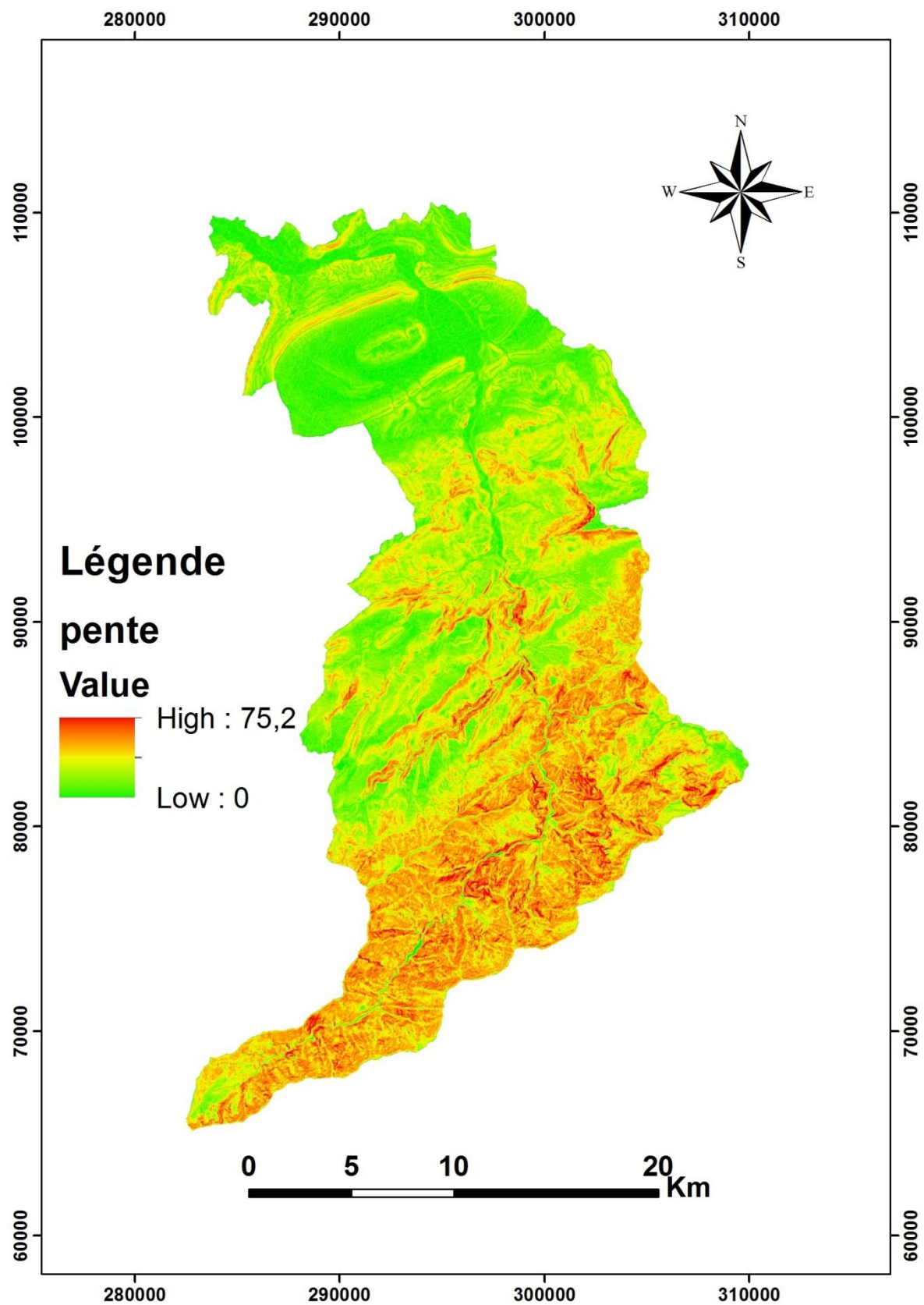


Figure 3: Carte de pente du bassin versant Zat

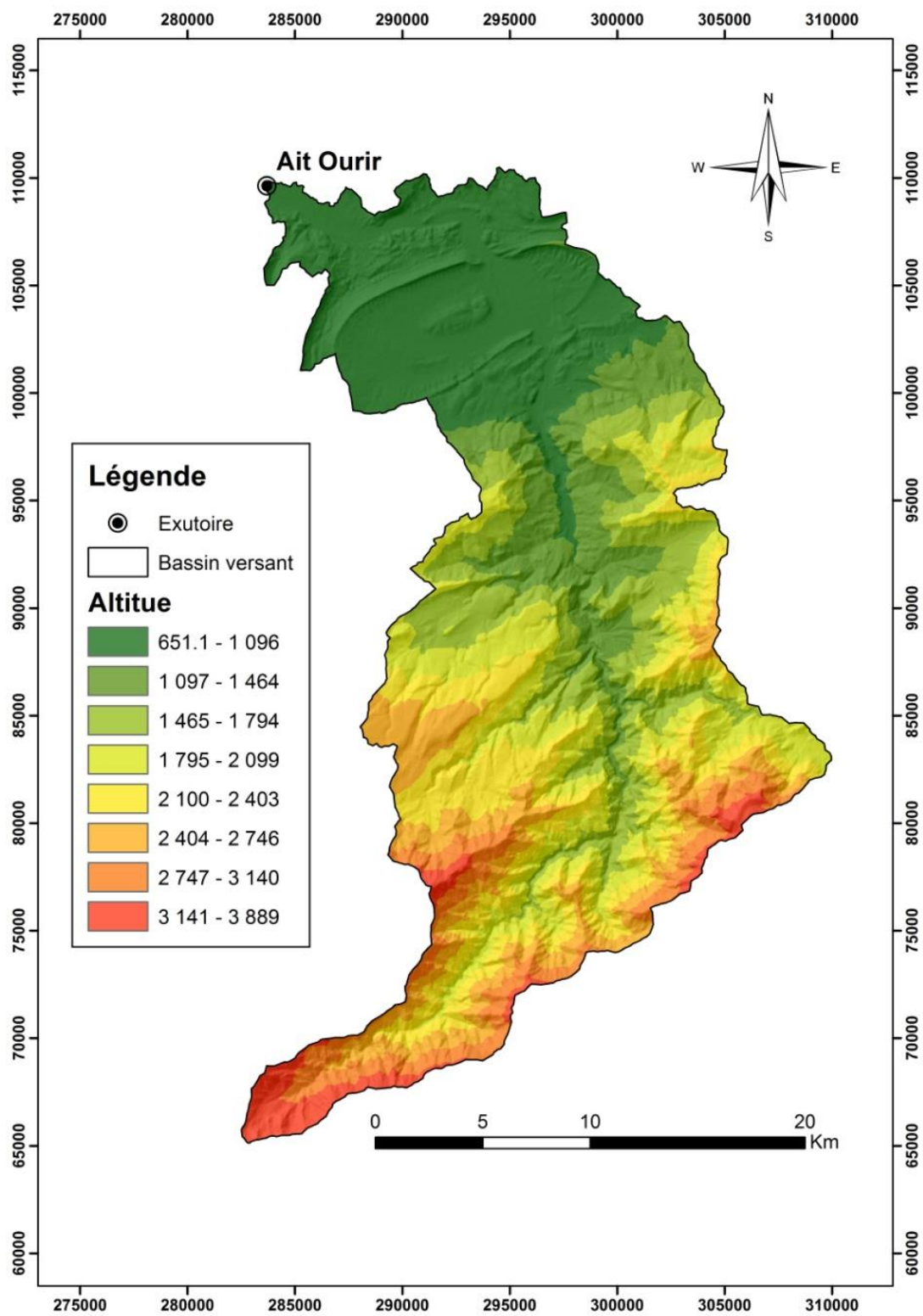


Figure 4: Carte hypsométrique du bassin versant Zat

Le bassin versant du oued Zat présente une sorte de mosaïque où se succèdent des zones de très hautes altitudes (dépassant 2000 m) et des étendues planes peu élevées. Nous allons chercher les proportions de chaque tranche à l'aide du LOGICIEL ARCGIS. Les résultats obtenus sont mentionnés sur le tableau ci-dessous ainsi que les éléments nécessaires pour calculer l'altitude moyenne.

Tableau 2: Les tranches d'altitudes

TRANCHE D'ALTITUDE	SURFACE A_i en km²	Altitude moyenne $h_i = \frac{H_i + H_{i+1}}{2}$	$\frac{A_i}{A}$ en %	$\frac{A_i}{A}$ cumulé en %	$\frac{A_i}{A} \times h_i$
651-1056	140.36	853.5	24.32	24.32	207.57
1056-1461	71.53	1258.5	12.40	36.72	156.05
1461-1865	107.20	1663	18.58	55.30	308.99
1865-2270	110.70	2067.5	19.18	74.48	396.55
2270-2675	82.08	2375	14.22	88.7	337.73
2675-3080	39.90	2877.5	6.91	95.61	198.83
3080-3484	20.04	3282	3.48	99.09	114.21
3484-3884	4.24	3624	0.07	99.16	2.54
Total	756.05 km²		99.12%		1722.47m

A partir de ce tableau on détermine l'altitude moyenne H_m :

$$H_{moy} = \frac{1}{A} \sum A_i h_i = \sum \frac{A_i}{A} x h_i = 1722.5 \text{ m}$$

La médiane est de l'ordre de 1500 m

La répartition des tranches de surface de chaque tranche d'altitude pour le bassin versant de oued ZAT est représenté sur le rectangle équivalent est comme suit :

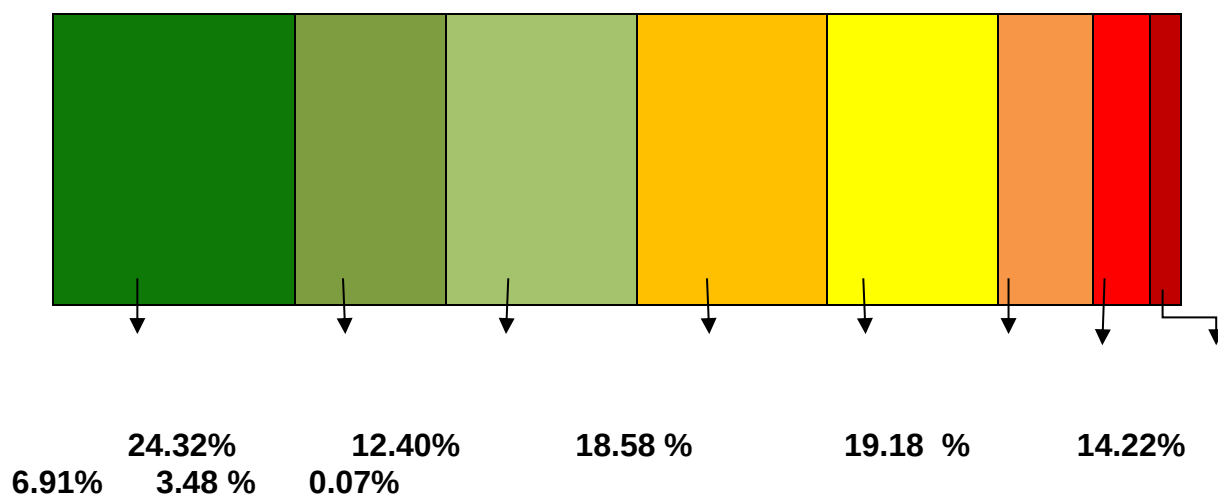


Figure 5: Répartition des surfaces de chaque tranche sur le rectangle équivalent en %

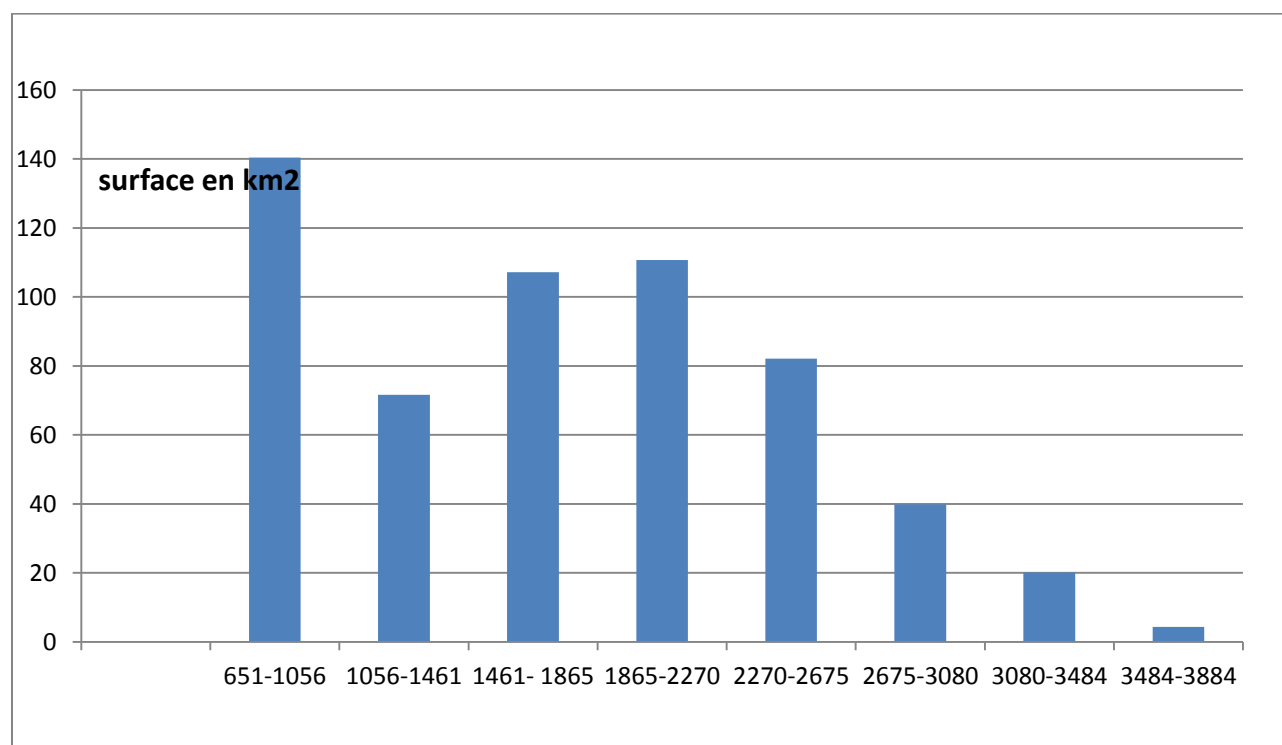


Figure 6 : Histogramme de la répartition des surfaces de chaque tranche d'altitude du bassin versant ZAT

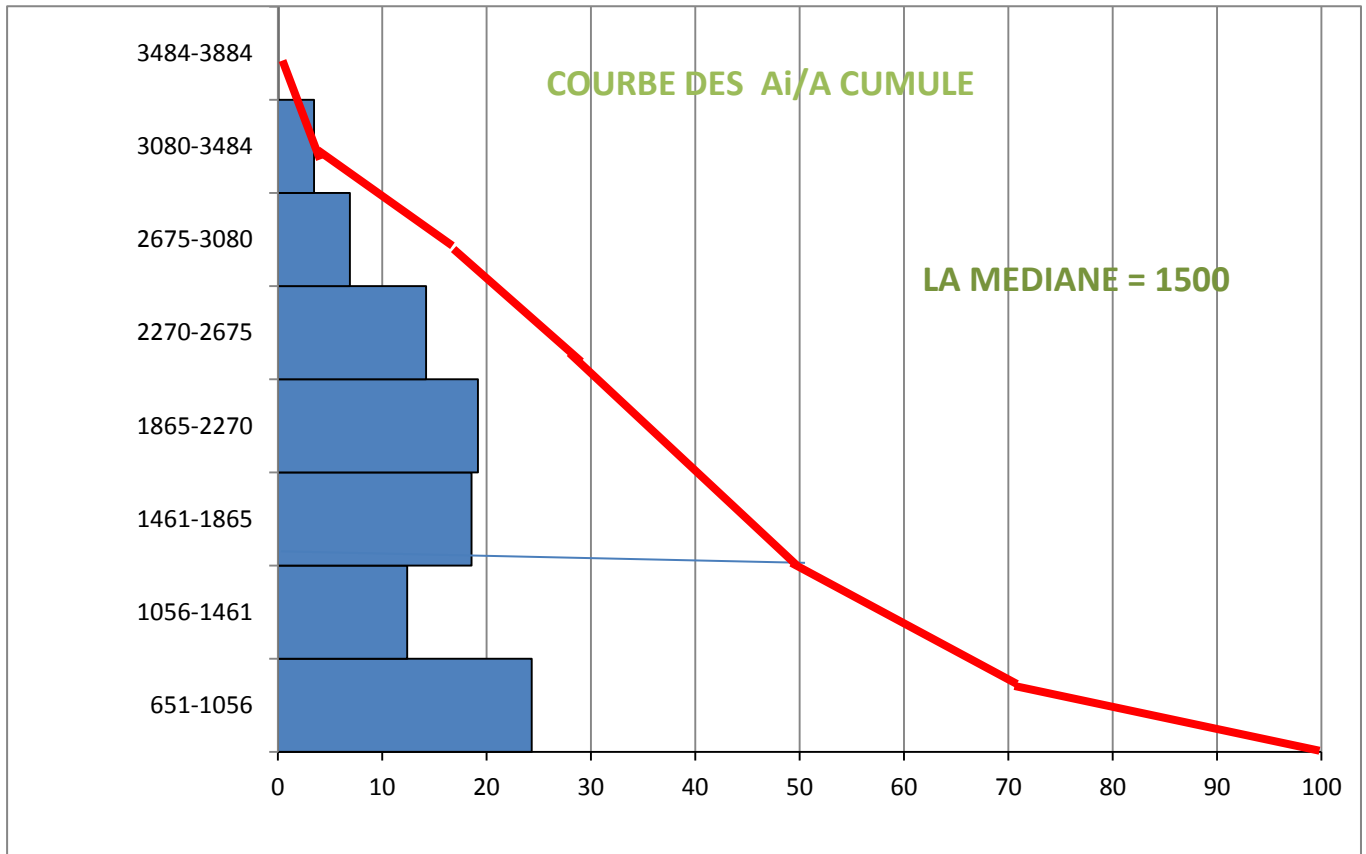


Figure 7: Courbe hypsométrique du bassin versant Zat

I.6. Temps de concentration (Tc)

On remarque que 50% du surface du bassin versant du oued ZAT est entre les altitudes 651 et 1500 ce qui implique un dénivelé de 749 mètres ce qui se traduit par une pente de cette partie du bassin versant du oued Zat très douce environs 2 % ($749/0.5L$). Par contre le reste du bassin à une pente moyenne assez forte . 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 le plus éloigné de l'exutoire et ce dernier. Pour ce paramètre on tient compte des caractéristiques géométriques et morphologiques du bassin. On le calcule à partir de la relation de **Giandotti** :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} = \text{environ } \underline{\underline{8 \text{ heures}}}$$

Avec :

A : 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).

T_c : temps de concentration en heure.

Pour le bassin versant de l'oued Zat, le temps de concentration pour le bassin de l'oued de Zat est de huit heures. C'est un temps relativement court engendrera un rassemblement de remontée brutale des niveaux des eaux et des débits de l'oued à l'entrée au centre d'Ait Ourir.

**CHAPITRE 2 :
ANALYSE HYDROLOGIQUE
DU BASSIN VERSANT
D'OUED ZAT**

II.1. Année hydrologique

Le choix L'année hydrologique, au Maroc, choisie par les services de l'hydraulique, est liée à l'année climatique ou à l'année agricole définie de septembre à août. Le découpage de l'année hydrologique, comme dans presque tous les pays méditerranéens, ne tient pas compte des nuances dues à l'existence de secteurs géographiques variés à travers toute la région. Mais en réalité c'est la définition des limites des saisons hydrologiques, qui posera le plus de problèmes. Dans plusieurs parties sud du Maroc, des précipitations abondantes, tombent en automne dès le mois de Septembre donc le choix d'année hydrologique est du premier septembre jusqu'au fin août.

II.2. Traitement des données

II.2.1- Température

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin versant d'oued Zat est de type aride à semi-aride.

On remarque que la température moyenne annuelle est de l'ordre de 20.2 °C. Elle varie entre un maximum de 30.6 °C enregistré en mois de Juillet 1994 et un minimum de 9.8 °C enregistré en mois de Janvier 2009. Les valeurs moyennes mensuelles varient entre 12,7 °C enregistrée en janvier et 28,9°C enregistrée en juillet.

II.2.2- Analyses des données pluviométriques

Les précipitations mensuelles enregistrées au niveau de la station de Taferiat ont été obtenues par le calcul des cumuls des données journalières de chaque mois.

➤ Précipitations maxima mensuelles

D'après les données, d'histogramme ci-dessous nous constatons que les périodes les plus pluvieuses s'étalent sur six mois de l'année entre octobre et mars et que les mois les plus secs s'étalent entre le mois de mai et le mois de septembre.

Nous constatons aussi que le mois le plus arrosé est le mois de mars alors que le mois le moins arrosé est le mois de juillet. La répartition mensuelle des précipitations est plus au moins homogène et bimodale pour la station de Taferiat.

Elles augmentent du mois de juillet à décembre et de décembre à juillet, avec des légères chutes (au cours du mois de février) puis diminuent régulièrement à partir du mois de avril jusqu'au mois de juillet.

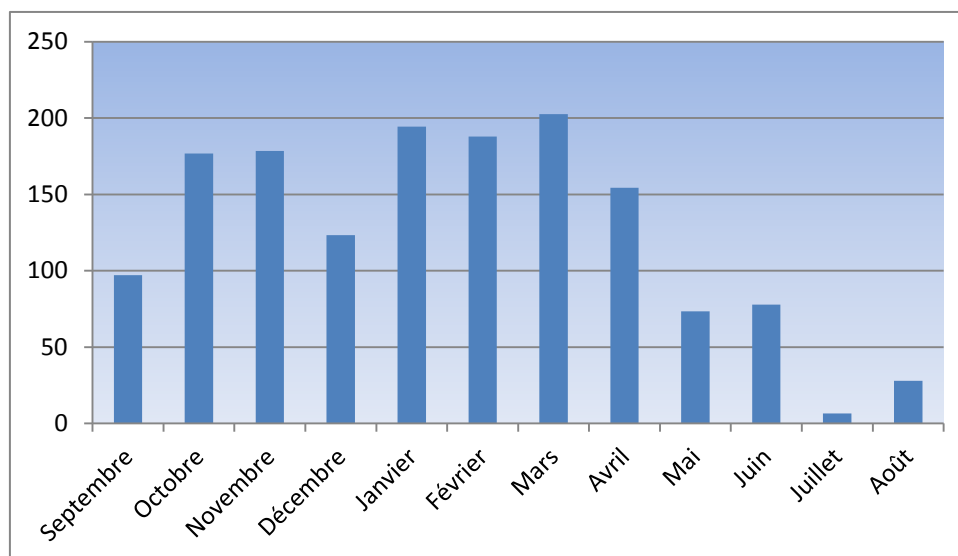


Figure 8: Histogramme de précipitations maxima mensuelles au niveau du bassin versant Zat

➤ ***Précipitations moyennes mensuelles***

L'histogramme ci-dessous nous montre la répartition d'une série homogène de précipitations au cours de l'année, alors qu'on observe une augmentation moyenne dès le mois novembre jusqu'au mois avril avec des faible chute dans les mois de décembre et février

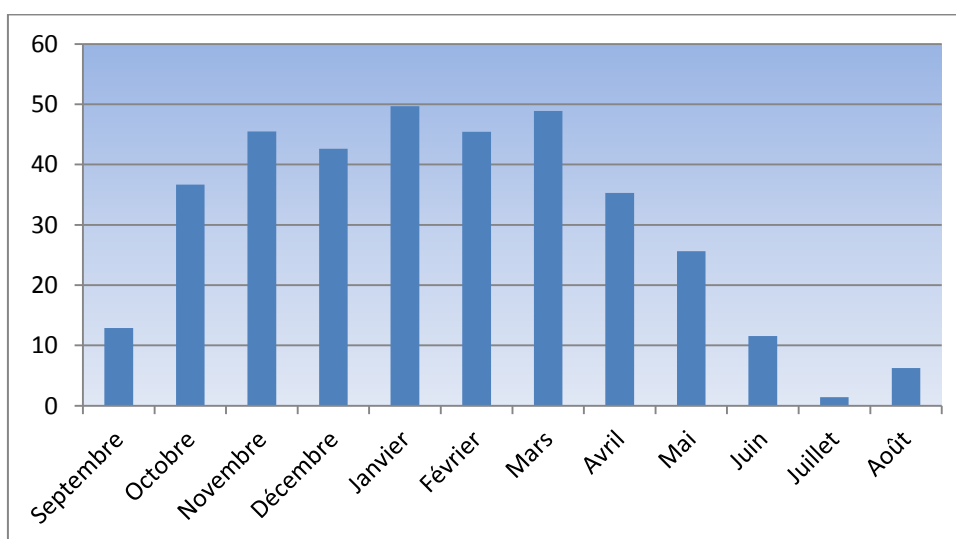


Figure 9: Histogramme de précipitations moyennes mensuelles au niveau de bassin versant Zat

➤ **Précipitations annuelles**

L'analyse de l'évolution des précipitations à Zat, sur une période de 28ans (1982-2010), montre que l'année (1995-1996) est la plus arrosée avec 450mm et l'année (1982-1983) est la plus sèche avec 60 mm. Notons que la précipitation moyenne Interannuelle s'évalue à 210 mm (fig.13).

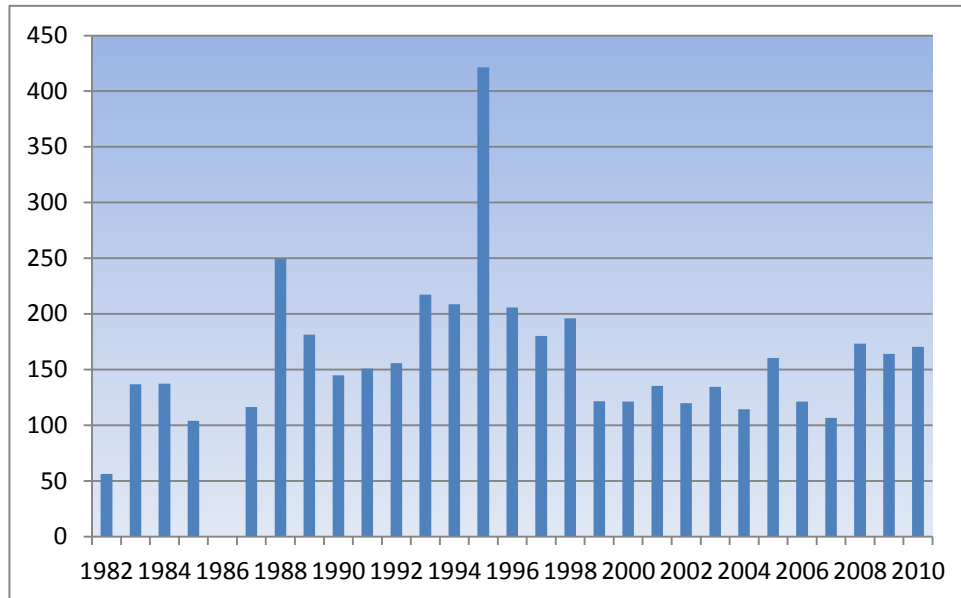


Figure 10: Histogramme de précipitations totales annuelles au niveau du bassin versant Zat

II.2.3- Analyses des données de débits

Les données correspondent à des mesures qui ont été effectuées au niveau de station TAFERIAT a la région d'Ait Ourir depuis 1962 jusqu'à 2013. Elles sont sous forme des débits maximas et moyens mensuels et Max annuels.

L'analyse des données, faites à différentes pas de temps, permet une meilleure compréhension de ce régime et les facteurs hydrologiques du bassin versant de l'Oued ZAT.

➤ **Débits maxima instantanés mensuels**

Nous disposons des débits max instantané mensuels moyens à la station de jaugeage de Taferiat pendant une période de 51 ans (entre 1962 et 2013). Nous obtenons l'histogramme de la figure (14).

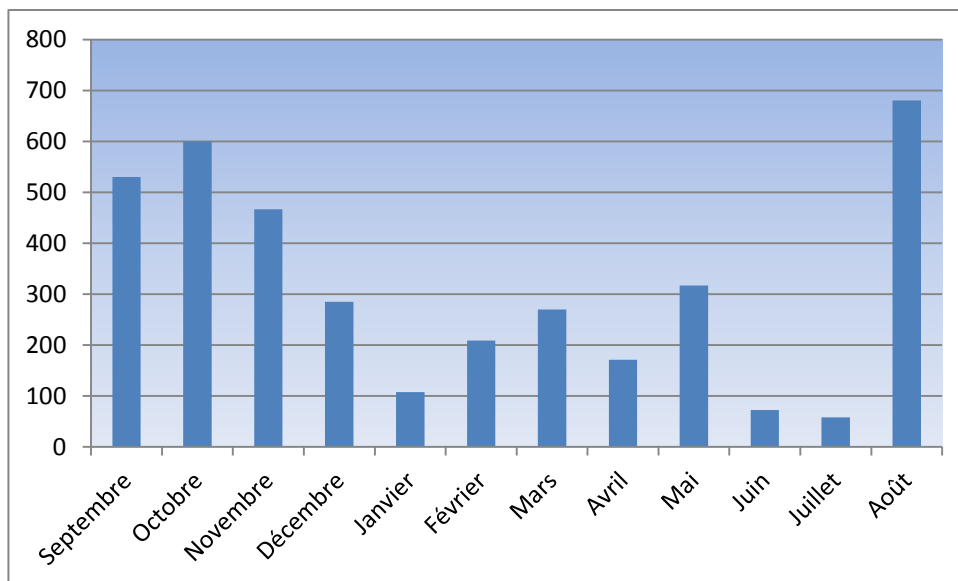


Figure 11: Histogramme des données de débits maxima mensuels

Cet histogramme permet de connaître les mois de plus forts débits dans l'année (qui correspondent aux mois de la saison d'été et la saison d'automne).

Les plus importantes crues observées à AIT OURIR se sont principalement produites pendant les mois d'Aout et Septembre, ce qui est cohérent avec l'histogramme de la Figure (14).

➤ *Débits maximum instantanés mensuels*

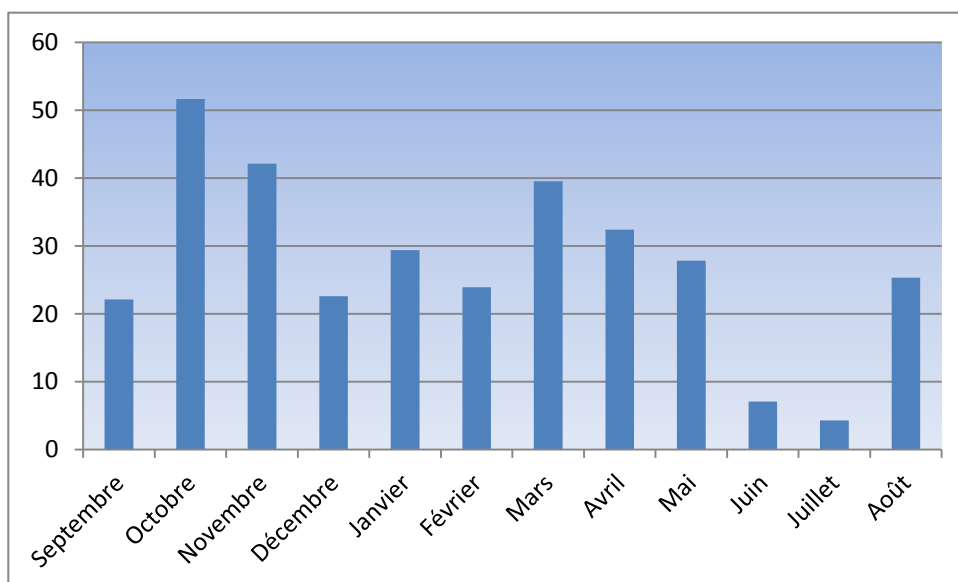


Figure 12: Histogramme des données de débits moyens mensuels

➤ **Débits maxima annuels**

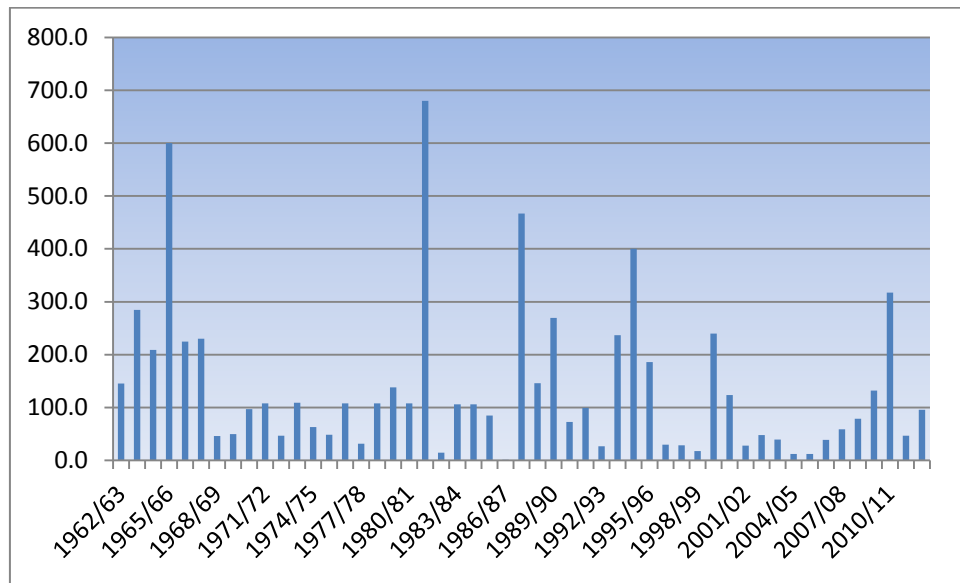


Figure 13: Histogramme des données de débits maxima annuels

L'analyse de l'histogramme de la figure (15) montre une répartition irrégulière des débits d'une année à l'autre. Les années (1965-1966), (1981-1982), (1987-1988), (1993-1994), (2010-2011) sont celles qui représentent les débits plus forts.

II.3. Etude statistique des crues d'oued ZAT

Les méthodes statistiques de l'étude des crues sont basées sur l'analyse des fréquences de ces crues : Pour la prédétermination des débits maximum de crue et leurs périodes de retour à une station donnée, on utilise la technique statistique d'analyse des crues qui permettraient de calculer la probabilité pour qu'un débit supérieur à une valeur donnée survienne un nombre de fois donnée pendant une durée donnée : 50, 20 ou 100 ans par exemple. Les données de base pour l'analyse de la fréquence des crues sont constituées par une série de débits relative à une période la plus longue possible. Pour le choix des crues, on prend en compte le plus fort débit instantané de chaque année et on classe ces crues par ordre décroissant. On ajuste à l'échantillon de crues une loi de probabilité théorique qui va la représenter le plus fidèlement possible.

II.3.1- Ajustement de lois à un échantillon de débit

L'estimation des périodes de retour des valeurs extrêmes de débit est l'un des problèmes majeurs posés aux concepteurs d'aménagements. Pour cela, on procède à l'analyse statistique des chroniques d'observation des débits max annuels. Notre étude porte sur l'ajustement des débits maxima annuels du bassin versant de l'Oued ZAT, et ce, sur une période d'observation de 51ans de 1962/63 à 2012/13).

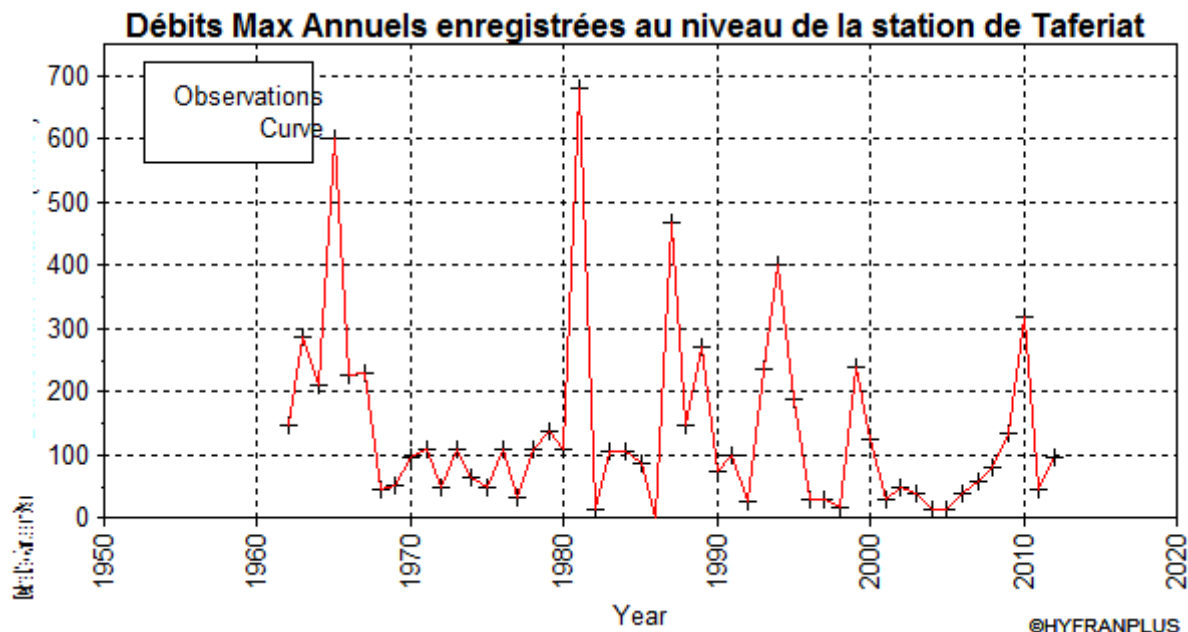


Figure 14: Graphe chronologique des débits maxima annuels enregistrés au niveau de la station Taferiat

➤ **Présentation du logiciel utilisé dans cette étude**

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

➤ **Modèles de prédétermination des débits extrêmes**

La prédétermination des débits extrêmes selon une loi de probabilité choisie parmi une diversité des lois (Meylan et al, 2008), dont les paramètres sont identifiés par la méthode de vraisemblance en minimisant les écarts entre les débits observés et les débits prédéterminés. Le choix de la loi la mieux adaptée pour l'ajustement de la

distribution des débits se fera graphiquement puis se confirmera numériquement par des critères statistiques. Les lois statistiques appliquées dans cette étude sont : loi de Gumbel, loi de Weibull, loi de GEV, loi de log normal, loi normale et loi exponentielle. Le test d'ajustement des répartitions empiriques et théoriques est fait par le test d'adéquation

Quelques significations des lois utilisées :

- **Loi normale (loi de gauss) :**

La loi normale se justifie, comme la loi d'une variable aléatoire formée de la somme d'un grand nombre de variables aléatoires. En hydrologie fréquentielle des valeurs extrêmes, les distributions ne sont pas symétriques, ce qui constitue un obstacle à son utilisation. Cette loi s'applique toutefois généralement bien à l'étude des modules annuels des variables hydrométéorologiques en climat tempéré.

	normal
Mu	137.36
Sigma	144.22

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-m}{\sigma} \right)^2 \right]$$

- **Loi de Gumbel (distribution des valeurs extrêmes):**

E.-J. Gumbel postule que la loi double exponentielle, ou loi de Gumbel, est la forme limite de la distribution de la valeur maximale d'un échantillon de n valeurs. Le maximum annuel d'une variable étant considéré comme le maximum de 365 valeurs journalières, cette loi doit ainsi être capable de décrire les séries de maxima annuels.

	Gumbel
u	81.03
alpha	82.91

$$f(x) = \frac{\exp \left[-e^{-\frac{x-x_0}{a}} \right]}{a} \exp \left(-\frac{x-x_0}{a} \right)$$

- **Loi de Galton (Loi log-normale)**

Lorsque les valeurs du logarithme d'une variable X suivent une distribution normale, on dit que la variable X suit une loi de Galton. La loi log-normale est préconisée par certains hydrologues qui la justifient en argumentant que l'apparition d'un événement hydrologique résulte de l'action combinée d'un grand nombre de facteurs qui se multiplient.

	lognormal
mu	4.41
sigma	1.12

- **Loi de Weibull**

Proposée par l'ingénieur et mathématicien suédois Ernst Hjalmar Waloddi Weibull¹ (1887-1979), la loi de Weibull est une loi de probabilité à 3 paramètres qui est très utilisée pour modéliser la durée de vie des produits en raison de sa grande flexibilité. Elle est caractérisée par :

	Wei bull
alpha	139.735
c	1.0404

Sa fonction de répartition : $F(t) = 1 - \exp(-(t-y)/\sigma)$

- **Loi exponentielle**

La loi exponentielle est une loi de probabilité pour les variables aléatoires continues. On la définit au moyen d'une densité de probabilité

	Exponentiel
alpha	138.622
m	-1.25

- **loi GEV**

En probabilité et statistique, la loi d'extremum est une famille de lois de Probabilité continues qui sert à représenter des phénomènes de valeurs extrêmes (minimum ou maximum). Elle comprend la loi de Gumbel, la loi de Fréchet et la loi de Weibull, respectivement lois d'extremum de type I, II et III.

	GEV
Alpha	58.28
k	-0.5
u	63.28

II.3.2- Comparaisons visuelles (analyse des graphes)

Après avoir ajusté six lois mathématiques à notre distribution des débits maxima instantanés annuels, enregistrés au niveau de la station Taferiat, par la méthode de vraisemblance et identifié les paramètres de chaque loi, nous les avons représentées graphiquement pour les analyser et sélectionner les lois les mieux adaptées pour l'ajustement statistique de notre série. L'ajustement des six lois est illustré par la figure (15). La loi Wei bull paraît la mieux ajustée à notre distribution.

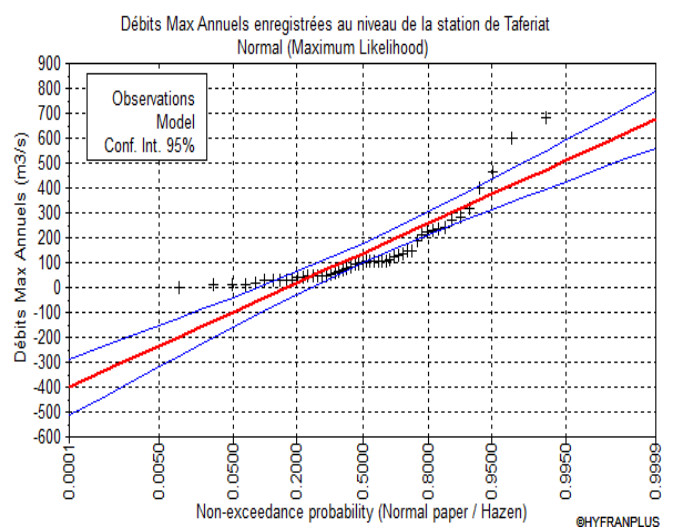
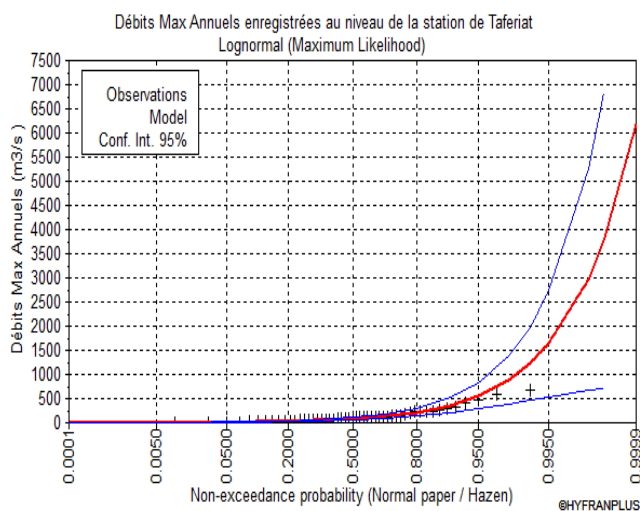
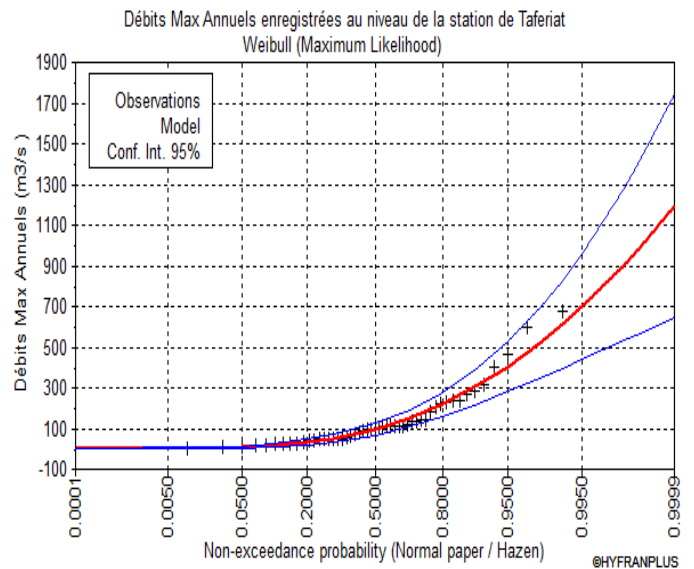
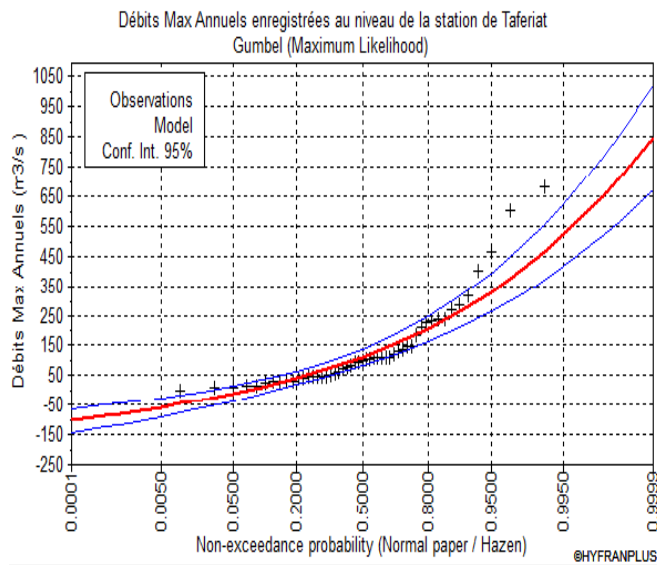
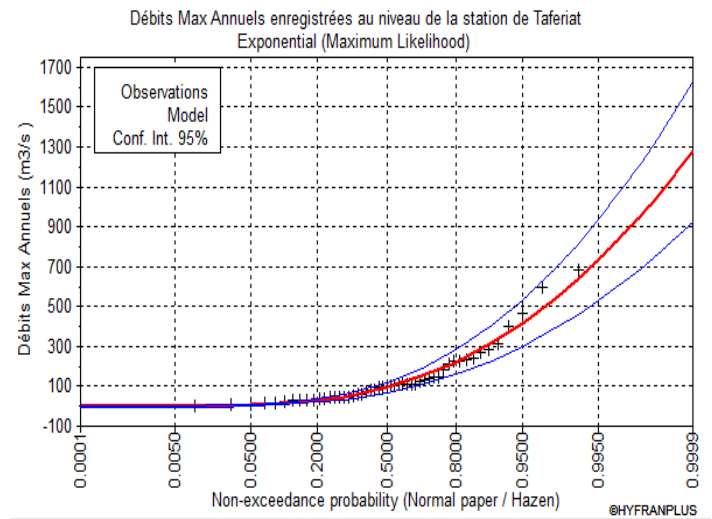
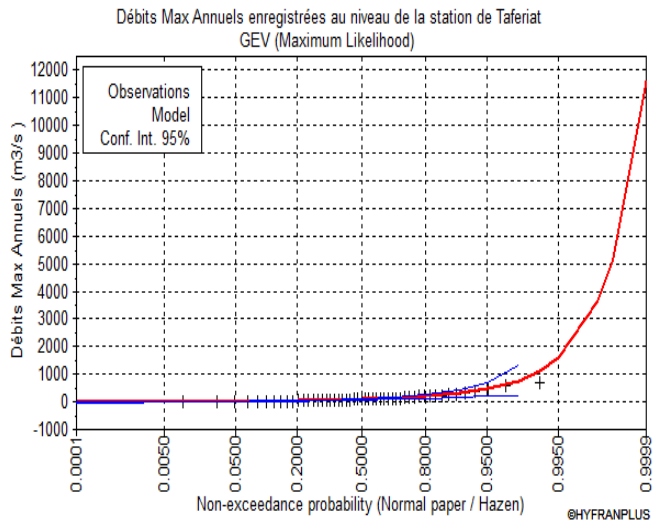


Figure 15: Résultats d'ajustement de différentes lois aux crues de Zat à Ait Ourir

II.3.3- Comparaisons numériques (Analyse statistique)

La méthode graphique est cependant insuffisante pour choisir les modèles adéquats à l'estimation. Ceci nous a obligés à faire intervenir les deux critères statistiques AIC (Akaike Information Criterion) (Akaike, 1973) et BIC (Bayesian Information Criterion) (Schwarz, 1978). Ces deux critères permettent de classer les lois selon une performance d'estimation. La loi qui obtient les plus faibles valeurs des deux critères est la plus performante pour la prédétermination des débits extrêmes.

Ces critères se définissent de la façon suivante :

N est le nombre d'individus composant l'échantillon.

Les résultats de cette analyse comparative de l'ajustement des lois Statistiques sont consignés sur le tableau suivant : **AIC = -2*logLik+2*K**

$$\text{BIC} = -2*\log\text{Lik}+K*\log (N)$$

Où **LogLik** représente la log-vraisemblance des paramètres associés aux données,

K désigne le nombre de paramètres indépendants dans le modèle.

Tableau 3: Résultats d'ajustement numérique des crues de Zat (Période 100ans)

	NB de paramètres	Débit estimé centennal	BIC	AIC
Wei bull (Maximum de vraisemblance)	2	606.456	611.834	607.97
Exponentiel (Maximum de vraisemblance)	2	637.122	612.903	609.039
Log normal (Maximum de vraisemblance)	2	1141.058	614.321	610.457
GEV (Maximum de vraisemblance)	3	1112.517	616.083	610.287
Gumbel (Maximum de vraisemblance)	2	462.443	628.387	624.524
Normal (Maximum de vraisemblance)	2	472.936	658.673	654.809

Une comparaison numérique des critères AIC et BIC a permis de procéder au choix de la loi la plus appropriée. Le résultat obtenu est le même que celui de l'analyse graphique. La loi la mieux adaptée à la prédétermination des débits extrêmes du bassin versant de ZAT est la loi Weibull.

II.3.4- Evaluation de la loi la mieux adaptée à l'estimation des débits extrêmes

La comparaison graphique et les critères statistiques d'ajustement obtenus nous permettent de conclure que la loi la mieux adaptée pour l'estimation des précipitations maximales journalières est la loi de weibull. Le tableau nous permet de vérifier la validation de cette loi de Wei bull. En effet, on remarque que la population et l'échantillon ont la même moyenne et à peu près le même écart-type avec une variation légère qui montre une homogénéité des données analysées.

Tableau 4: Les statistiques des débits maxima annuels

	Caractéristique de l'échantillon	Caractéristique de la population (Wei bull)
Minimum		1,46
Maximum		680
Moyenne	137,53	137,36
Ecart-type	132,22	144,22
Médiane	98,24	99,5
Coefficient de variation	0,96	1,04
Coefficient d'asymétrie	1,88	2,1
Coefficient d'aplatissement	8,25	6,97

II.3.5- Prédétermination des débits

L'approche de prédétermination des débits de crue s'est reposée sur l'outil de simulation et de modélisation fréquentielle précité. Il se base sur une démarche statistique qui a conduit à l'estimation des débits de pointes, leurs probabilités d'occurrence et leurs périodes de retour.

Tableau 5: La prédétermination des débits

<i>Les lois de probabilités</i>	<i>Q10</i>	<i>Q20</i>	<i>Q50</i>	<i>Q 100</i>
Wei bull	311	401	518	606
Exponentiel	317	414	541	637
Galton (log normal)	351	530	840	1141
GEV	306	462	768	1112
Gumbel	267	327	404	462
Gauss (normale)	322	374	433	472

**CHAPITRE 3 :
ETUDE DES CRUES
D'OUED ZAT**

III.1. Définition et Généralités

Une crue est un phénomène hydrologique qui s'exprime par une pulsation brutale dans le niveau des eaux d'une cour d'eau : elle produit des débits exceptionnels qui dépassent largement des normes habituelles ; autrement dit un cours d'eau est considéré en crue lorsque son débit dépasse une valeur de faible probabilité (ou de faible fréquence), On distingue :

- Les crues simples (ou mono géniques) : qui sont caractérisées par une seule montée du niveau d'eau suivie d'une descente de ce niveau.
- Les crues complexes (ou polygéniques) : Elles sont caractérisées par plusieurs baisses et plusieurs hausses des niveaux d'eau, ce qui témoigne de la pluralité des facteurs responsables de la crue.

III.1.1- Variations des temps de montée et des temps de base des crues

➤ *Temps de montée des crues d'oued Zat à Taferiat*

Le temps de montée d'une crue est la durée entre le début de la montée du niveau de l'eau et la pointe de la crue (débit maximum observé au cours de la crue). Cette partie s'intéresse aux caractéristiques des hydrogrammes de ces crues, afin de comprendre les facteurs qui contrôlent les comportements hydrologiques en ce milieu montagnard semi-aride.

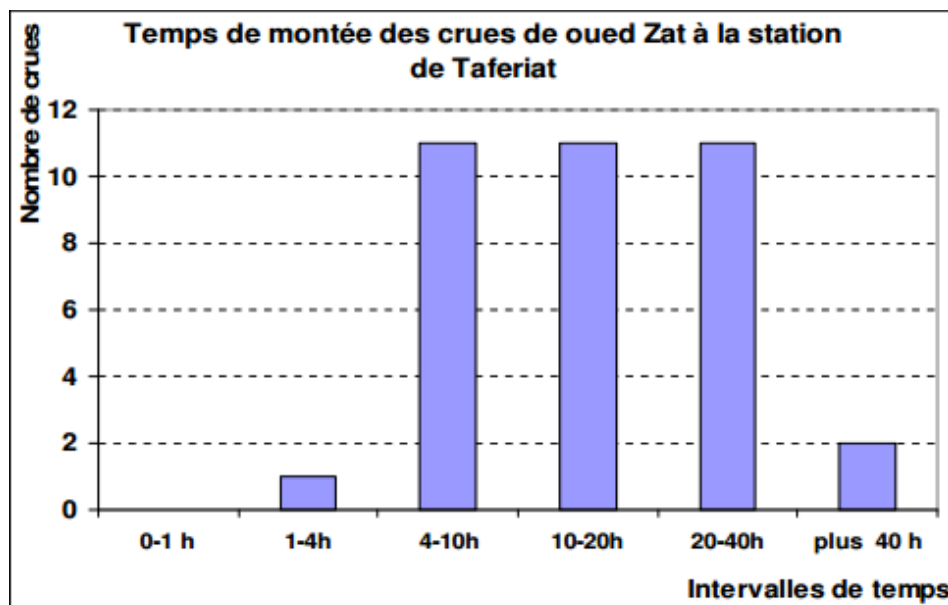


Figure 16: Histogramme de temps de montée des crues d'oued Zat a la station de taferiat (RAMROMI 2007)

Dans le cas du bassin versant du Zat, le temps de montée des crues le plus fréquent est situé dans l'intervalle de 4 à 40 heures. La quasi-totalité des crues ont des temps de montée de cet intervalle. Ce bassin connaît donc des crues de plusieurs types : Les crues soudaines qui ont des temps de montée de 4 à 10 h, des crues à montée moyennement rapide (10 à 20 h) et des crues à montée relativement lentes (intervalle de 20 à 40 h).

➤ **Temps de base des crues d'oued Zat à Taferiat :**

Le temps de base d'une crue est la durée qui s'écoule entre le début de la montée et la fin du ruissellement superficiel pur de la crue.

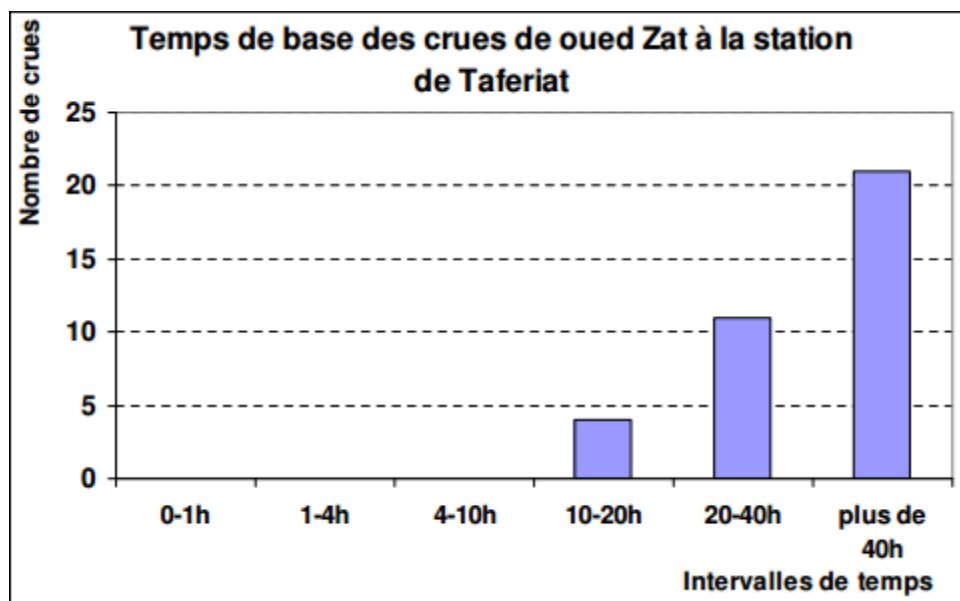


Figure 17: Histogramme de temps de base des crues d'oued Zat a la station de Taferiat (RAMROMI 2007)

Le temps de de la plupart des crues de oued Zat est généralement assez long (plus de 40h). La décrue se produit généralement plus lentement que la crue et les hydrogrammes sont légèrement étalés sur une longue période (une à deux jours).

III.2. Historique des crues d'Oued Zat

La région de Ait-Ouir a été affectée par des crues exceptionnelles des oueds et cours d'eau, notamment oued Zat qui a isolé cette commune en débordant sur les routes et pistes qui la desservent.

Les fortes crues ont occasionné l'effondrement de quelques maisons en pisée inhabitées. A titre préventif, les comités de vigilance, constitués auprès de l'ensemble des cercles se situant dans les zones à risque, ont évacué les habitants des maisons à proximité immédiate des oueds en crue.

III.2.1- La crue de 1982

La crue du 14/08/1982, est la plus importante survenue dans le bassin de l'oued Zat, atteint 680 m³/s. Le volume de cette crue est de l'ordre de $9,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

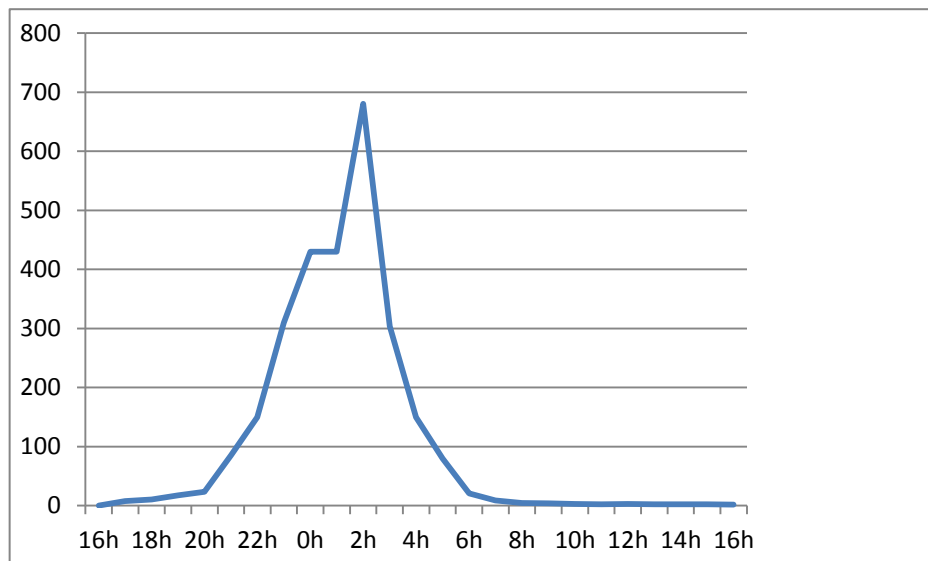


Figure 18: Hydrogramme de la crue du 14/08/1982 en m³/s

On remarque clairement que le débit atteint par cette crue 680 m³/s est très important, avec un temps de montée de 10h et un temps de base de 15 h. C'est une crue très courte dans la durée mais qui peut causer des dégâts humains et matériels très importantes.

Tableau 6: Les caractéristiques de la crue du 14/08/1982

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	13/08/1982 à 16h
date fin	14/08/1982 à 8h
débit de pointe (m ³ /s)	680,000
débit max. moyen (m ³ /s)	178,048
débit base avant (m ³ /s)	0,100
débit base après (m ³ /s)	4,200
volume 10 ⁶ m ³	9,615
temps de base (heures)	15
temps de montée (heures)	10

III.2.2- La crue de 02-11-1987

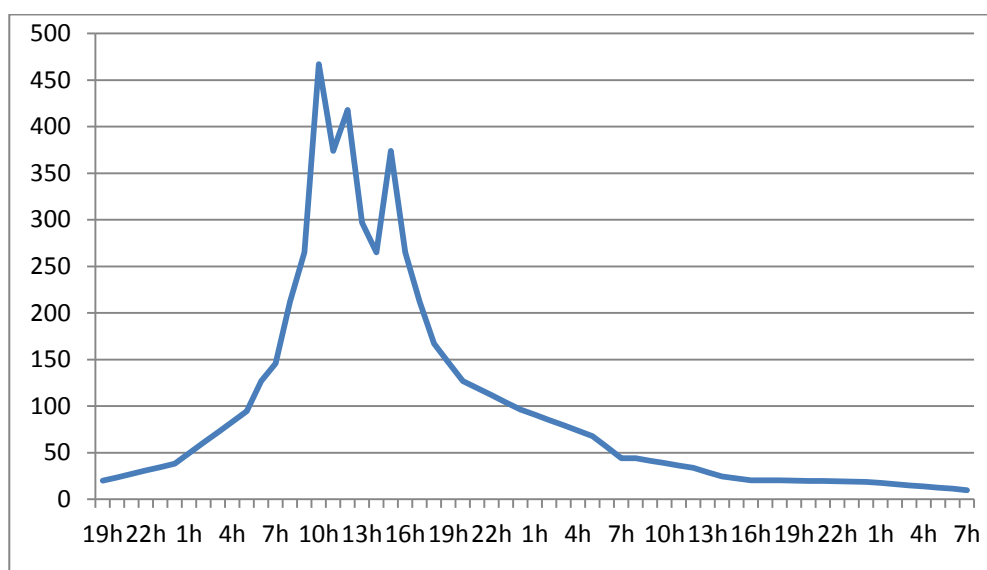


Figure 19: Hydrogramme de la crue du 11/02/1987 en m³/s

Cette crue montre plusieurs hausses et plusieurs baisses des niveaux d'eau, ce qui témoigne de l'arrivée successive des eaux de différents affluents ou encore des averses espacées dans le temps. C'est une crue violente avec un débit de pointe de 467 m³/s, un temps de montée de l'ordre de 18 h (plus long que celui de la crue de 1995) et un temps de base de 47h.

Tableau 7: Les caractéristiques de la crue de 11/02/1987

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	01/11/1987 à 16h
date fin	03/11/1987 à 16h
débit de pointe (m³/s)	467,000
débit max. moyen (m³/s)	104,867
débit base avant (m³/s)	9,020
débit base après (m³/s)	20,400
volume 10⁶ m³	17,743
temps de base (heures)	47
temps de montée (heures)	18
coefficient de pointe	4,5

III.2.3- La crue de 1995

Le débit de cette crue à d'oued Zat a atteint 400 m³/s.

Les dégâts de cette crue sont :

- 11 morts tués par des apports de débris de Chaâbat tighadouine
- 22 maisons détruites
- 2.982 têtes de bétail mort
- 3.700 ha de terrain agricoles inondés

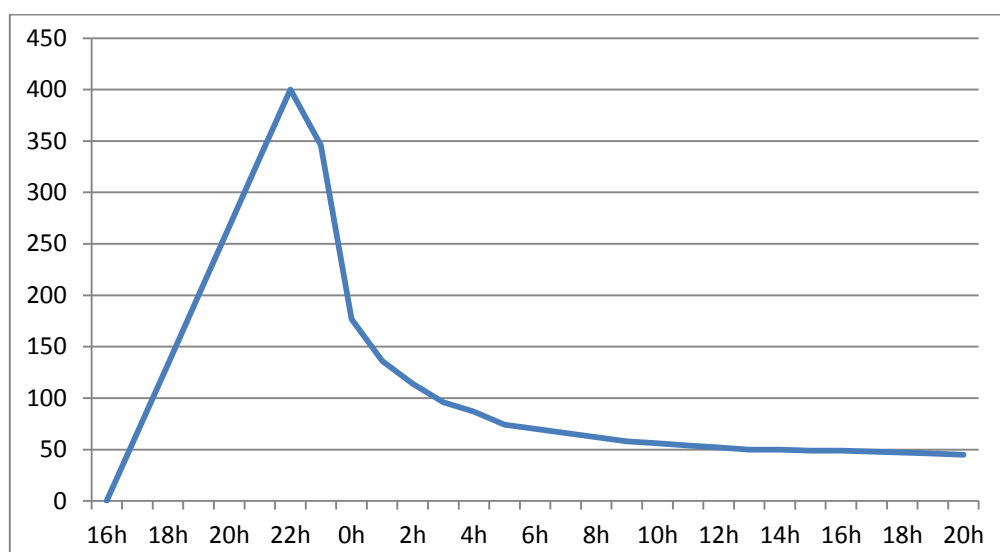


Figure 20: Hydrogramme de la crue du 17/08/1995 en m3/s

L'hydro gramme montre que c'est une crue simple caractérisée par une seule montée du niveau d'eau suivit d'une descende de ce niveau. On note aussi un débit de pointe de 400 m³/s, avec un temps de montée rapide de l'ordre de 6 h et un temps de base de 31 h. C'est donc une crue violente qui a rapidement atteint son débit de pointe.

Tableau 8: Les caractéristiques de crue de 17/08/1995

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	17/08/1995 à 16h
date fin	19/08/1995 à 0h
débit de pointe (m³/s)	400,000
débit max. moyen (m³/s)	85,838
débit base avant (m³/s)	0,042
débit base après (m³/s)	44,000
volume 10⁶ m³	9,579
temps de base (heures)	31
temps de montée (heures)	6
coefficient de pointe	4,7

III.2.4- La crue de 23/10/2010

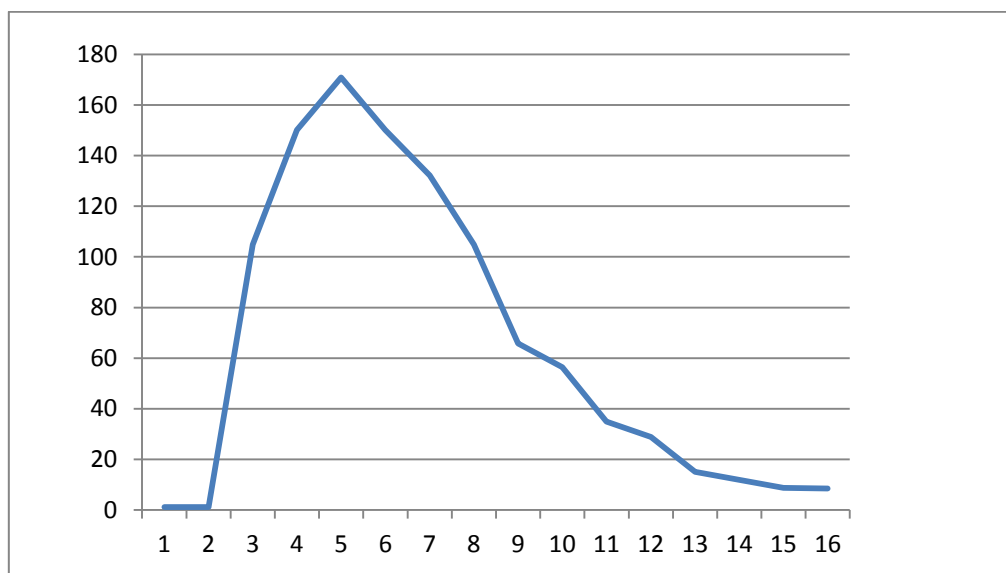


Figure 21: Hydrogramme de la crue de 23/10/2010 en m³/s

L'hydrogramme montre que c'est une crue simple caractérisée par une seule montée du niveau d'eau suivi d'une descende de ce niveau. On note aussi un débit

de pointe de 170.85 m³/s, avec un temps de montée de l'ordre de 5h30min et un temps de base très lent de 12 h.

Tableau 9: Les caractéristiques de la crue de 23/10/2010

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
Débit de pointe (m³/s)	170.85
Débit de base avant (m³/s)	1.205
Débit de base après (m³/s)	8.531
Débit moyen (m³/s)	54.535
Coefficient de pointe	3.133
Temps de base (heures)	12
Temps de montée (heures)	5h30min
Volume de crue 10⁶ m³	2.36

III.2.5- La crue de 31/10/2012

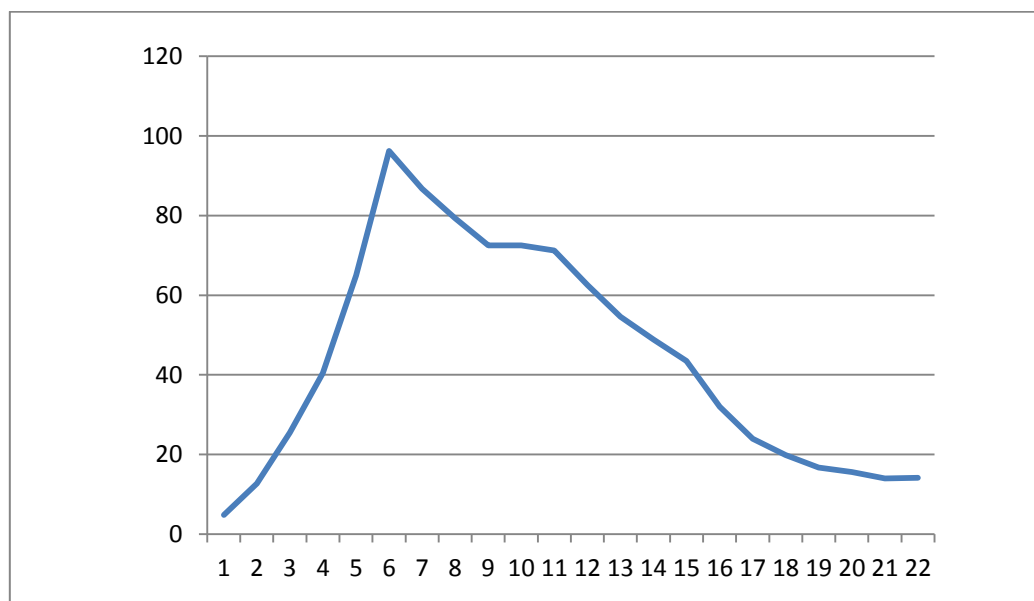


Figure 22: Hydrogramme de la crue du 31/10/2012 en m³/s

L'hydrogramme montre que c'est une crue dont le temps de montée est très court (2h30min) ce qui signifie que cette crue a un début très violent. Cependant on constate que la descente est très lente (10h30min) ce qui traduit par un

amortissement de cette crue en un temps assez important, avec un débit de pointe de 96.194 (m³/s).

Tableau 10: Les caractéristiques de la crue de 31/10/2012

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
Débit de pointe (m3/s)	96.194
Débit de base avant (m3/s)	4.8
Débit de base après (m3/s)	14.152
Débit moyen (m3/s)	45.86
Coefficient de pointe	2.0976
Temps de base (heures)	10h30min
Temps de montée (heures)	2h30min
Volume de crue 10 ⁶ m ³	1.73

III.2.6- La crue de 23/11/2014

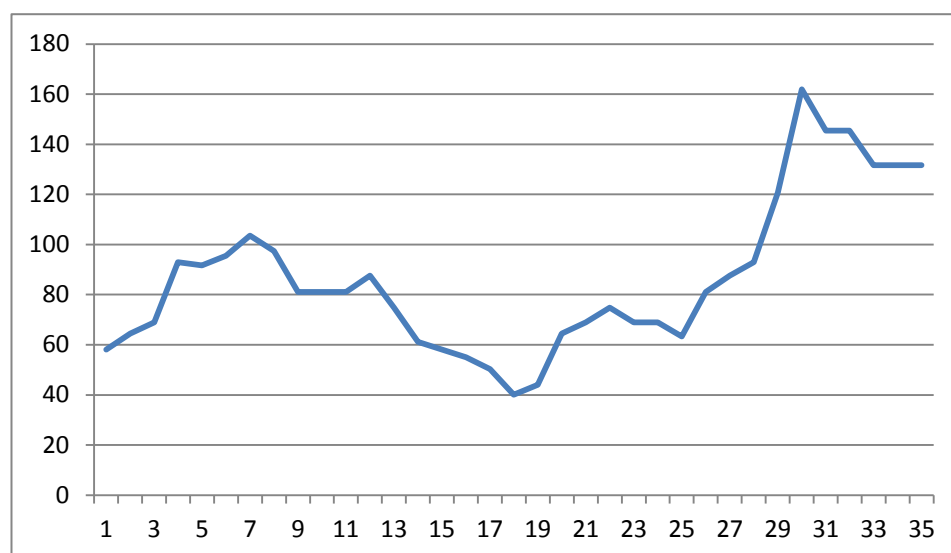


Figure 23: Hydrogramme de la crue du 23/11/2014 en m3/s

La crue du 23 Novembre 2014 est une crue complexe (crue polygénique). Elle est caractérisé par trois montées principale une le 21/11/2014 à 11 heures du matin avec un débit de pointe de 103.5 m³/s par contre la seconde est plus faible elle est de 74.8 m³/s enregistré le 21/11/2014 à 21h, tandis que la plus importante est enregistré le 22/11/2014 à 8 heure du matin elle est de 161.9m³/s

Cependant cette crue est caractérisé aussi par deux descente la plus importante est celle enregistré le 21/11/2014 à 17 heures jusqu'à 40 m³/s.

	Temps de montée (heures)	Temps de base (heures)	Débit de pointe (m3/s)
Montée1	3h	9h	103,55
Montée2	2h	3h30min	74,82
Montée3	2h30min	5h	161,97

Tableau 11: les caractéristiques de la cure de 13/11/2014

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
Débit de pointe (m3/s)	161.98
Débit de base avant (m3/s)	58.026
Débit de base après (m3/s)	131.66
Débit moyen (m3/s)	81.9
Coefficient de pointe	1.978
Temps de base (heures)	26h30min
Temps de montée (heures)	24h
Volume de crue 10 6 m3	7.82



CHAPITRE 4 : INONDATION DE L'OUED ZAT

IV.1. Phénomène d'Inondation

Définition

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes: l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités économique (l'élevage) . On distingue trois types d'inondation.

➤ La montée lente des eaux en région de plaine

Les inondations de plaine se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur.

➤ La formation rapide de crues torrentielles

Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments et de flottants (bois animaux, etc.), ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. Ces dernières peuvent former des obstacles à l'écoulement des eaux de crues et par conséquent elles deviennent des crues torrentielles.

➤ Le ruissellement pluvial

L'imperméabilisation du sol limite l'infiltration des précipitations et accentue le ruissellement. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans le lit majeur de l'oued.

IV.2. Facteur aléa

L'aléa représente la crue en tant que phénomène physique, naturel et non maîtrisable, indépendamment de ses effets potentiels sur l'environnement et les

activités humaines. L'aléa dépend du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique.

L'aléa se représente par une carte qui permet d'identifier les zones où les inondations sont susceptibles de se produire, de façon plus ou moins étendue et fréquente (CHASTAN, 1995). Il repose sur la combinaison des deux notions suivantes : la récurrence d'une inondation et la submersion.

La récurrence d'une inondation est liée à une période de retour de débits de crues, ce qui implique des calculs fréquentiels sur une série historique de débits ou sur une série synthétique reconstituée à partir de mesures de précipitations via un modèle hydrologique intégré.

Une attention particulière doit être accordée à la période de retour d'une crue d'un point de vue fréquentiel. En effet, un temps de retour d'une crue de 100 ans ne signifie pas que cette crue se produit tous les 100 ans, mais que celle-ci a une probabilité de 1 % de se produire ou d'être dépassée (probabilité au dépassement) une année donnée.

Ainsi, trois catégories de récurrence ont été distinguées sur la base de la période de retour, à savoir : une récurrence faible pour les inondations dont la période de retour se situe entre 50 et 100 ans, une récurrence moyenne pour les inondations dont la période de retour se situe entre 10 et 50 ans, et une récurrence élevée pour les inondations dont la période de retour est inférieure à 10 ans

Les crues de la différente période de retour calculées dans le chapitre précédent sont mentionnées dans le tableau ci-dessus ;

Crues	Q10	Q20	Q50	Q100
Débits de point	311	401	518	606

IV.2.1- Carte d'aléa

La superficie agricole inondée est d'environ de 1050ha ce qui représente 22% du bassin versant intermédiaire (entre station Taferiat et l'aval d'Ait Ourir) et 1,8% de bassin versant étudié.

La carte ci-dessous effectuée par le logiciel WMS représente six coupes transversales sur le long de Oued Zat :

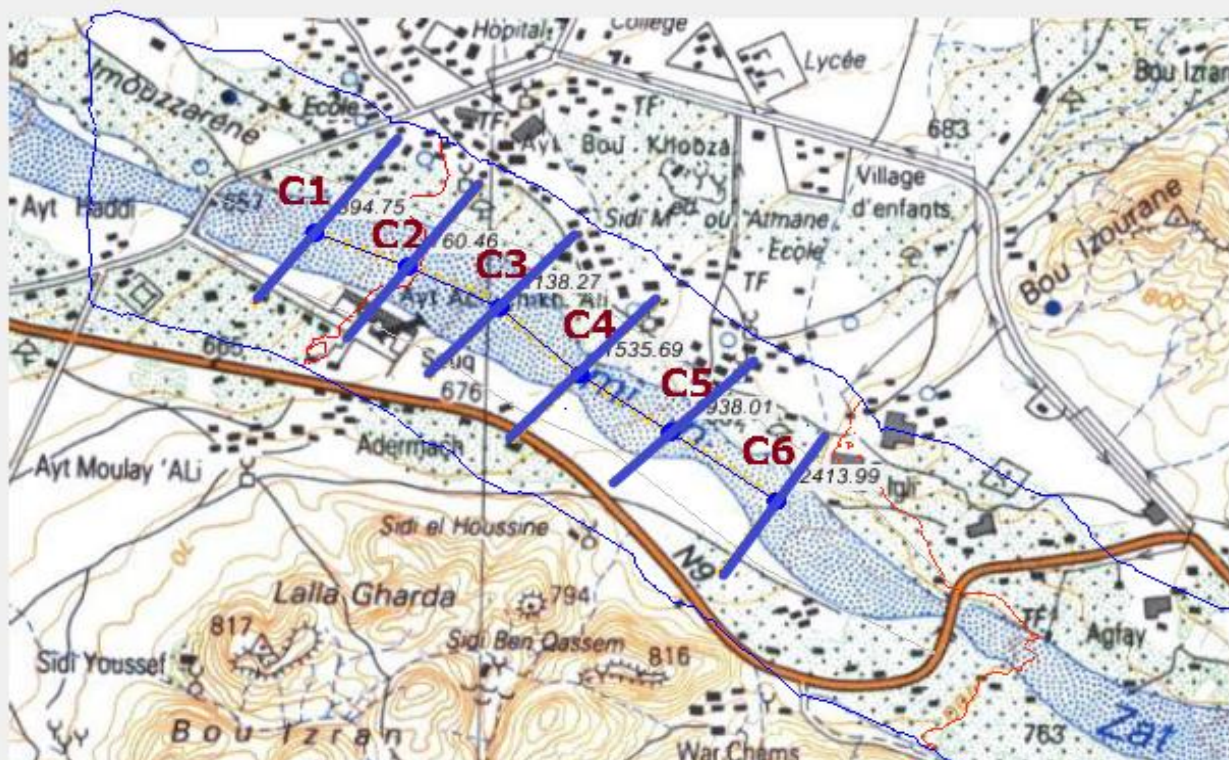


Figure 24: Carte d'aléa pour la crue centennale

Les coupes transversales ci-dessous illustrent le niveau d'eau pendant la crue centennial au niveau d'Oued Zat ($Q_{100}=606 \text{ m}^3/\text{s}$)

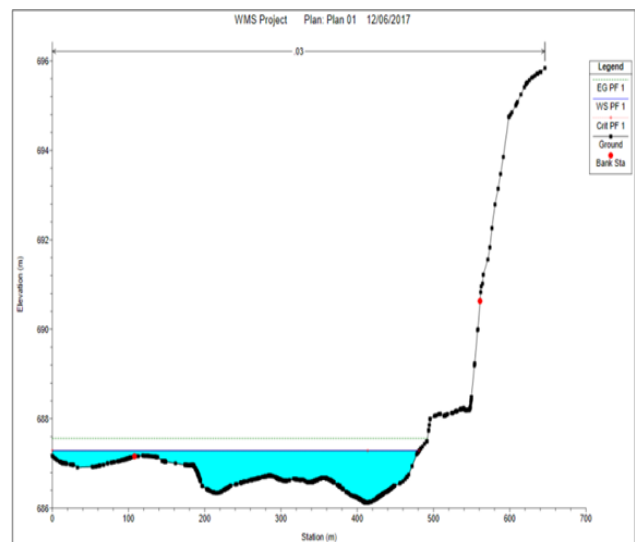
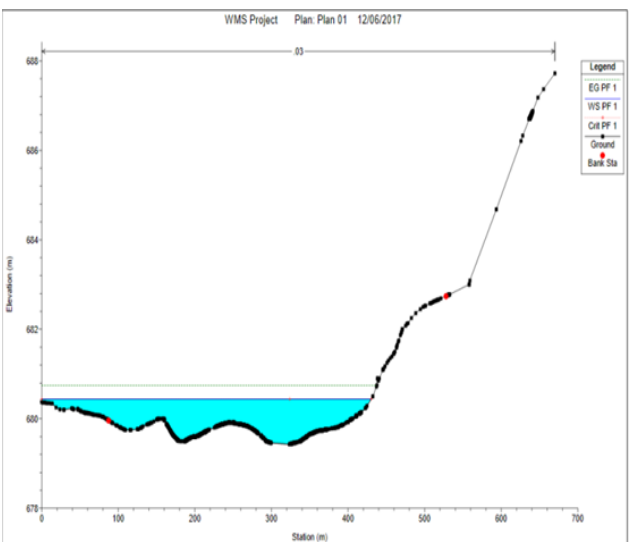
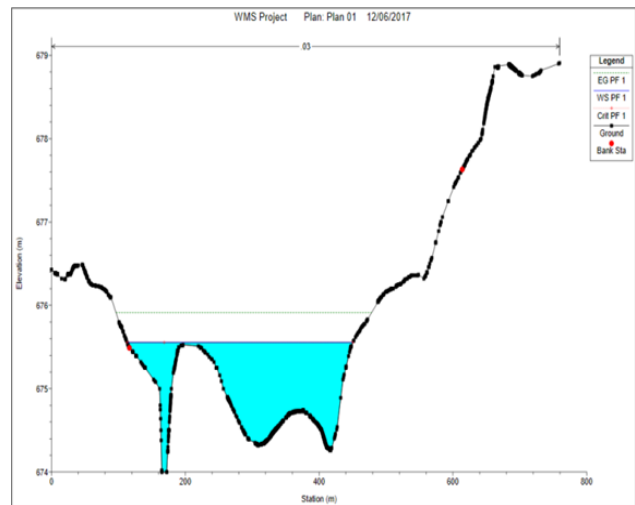
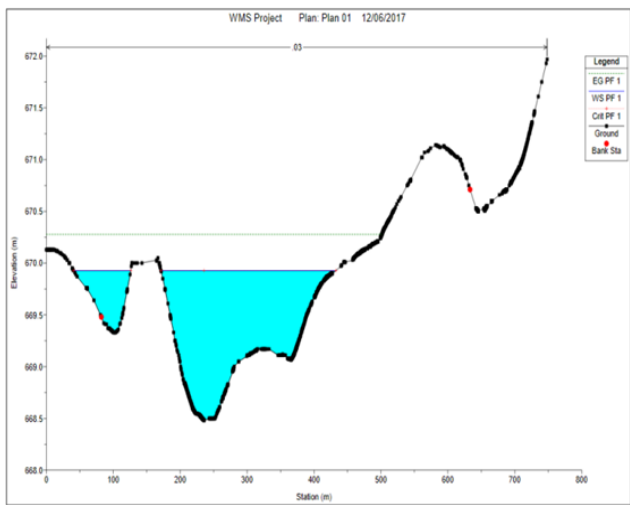
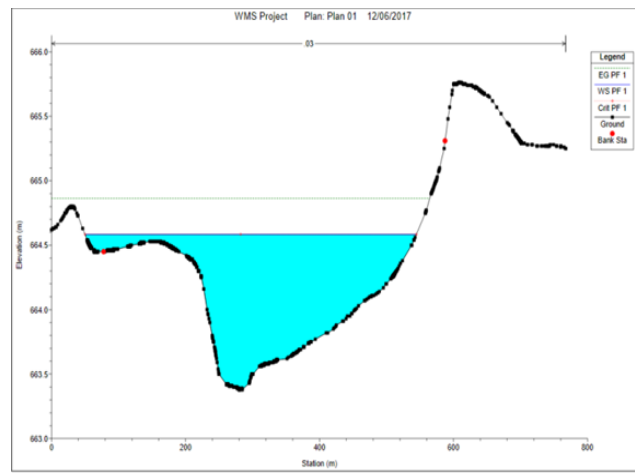
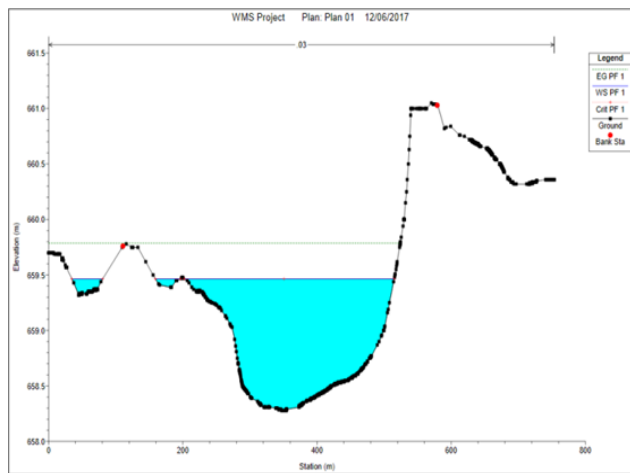


Figure 25: les 6 profils sur le long d'oued Zat

L'examen de ces profiles montrent que :

- Les zones situées entre les *profiles* **C1**, **C2**, **C3** et **C4** ne présentent pas de risques d'inondation pour les habitations et l'agriculture mais on doit rester vigilant car toutes modifications du lit mineur de l'oued au fil des années où on peut enregistrer des crues de faibles intensités peut causer un changement topographique des rives et du lit de l'oued et par conséquent une remontée du plan d'eau de la crue (Q100).
- La zone située entre les profiles **C5** et **C6** en rive gauche du lit de l'oued se situe à une cote assez basse par rapport au plan d'eau de la crue centennale ce qui signifie que c'est la zone la plus exposée au risque d'inondation.

IV.3. Facteur vulnérabilité

La vulnérabilité est la deuxième composante du risque. Cette notion a fait jaillir un débat scientifique ardu. Certains chercheurs l'abordent à partir des conséquences potentielles pour les vies humaines et les biens (dommages directs) d'autres l'appréhendent en fonction des facteurs favorables aux endommagements ou influant sur la capacité de réponse des sociétés à une situation catastrophique (D'ERCOLE, 1994).

Si différentes approches et méthodes d'évaluation des vulnérabilités existent, il est possible de distinguer, d'une part, les approches analytiques qui recherchent les causes directes et indirectes d'une catastrophe et, d'autre part, les approches systémiques basées sur la modélisation explicative ou prédictive d'un système complexe (BARROCA et HUBERT, 2008; LEONE, 2007). À l'intérieur de ces deux approches, il est possible de différencier certaines sensibilités rétrospectives, construites par les retours d'expériences; prospectives, visant à la réalisation de diagnostics ou de scénarios de risque; diachroniques, voire dynamiques, étudiant l'évolution temporelle de la vulnérabilité (PROVITOLLO, 2002; BOUCHON, 2007).

La vulnérabilité exprime le degré de dommage d'un enjeu soumis à un aléa d'intensité et d'occurrence donnée. Ces dommages peuvent être de plusieurs natures

- pertes en vies humaines et effets sur la santé des personnes;
- dégâts matériels directs;

- impacts liés aux difficultés de fonctionnement, d'échange, et de communication (qualifiés d'impacts indirects).

Dans notre cas, la vulnérabilité étudiée est celle de l'occupation du sol qui traduit le fait que des dommages économiques directs et indirects, et plus ou moins sévères, apparaissent lorsque l'eau inonde une parcelle. Dès lors, il est évident qu'une zone marécageuse est moins vulnérable au phénomène naturel d'inondation puisqu'elle en bénéficie. Par contre, les habitations ou les infrastructures de transport (routes, ponts, etc.) constituent, parmi d'autres, des enjeux très vulnérables.

Pour l'inondation à l'aval du bassin versant de oued ZAT c'est-à-dire la zone d'étude nous considérons que :

- Vulnérabilité faible : Zone marécageuse ou les lits de l'oued
- Vulnérabilité moyenne : Terrains de culture
- Vulnérabilité élevée : Habitations en zone rurale et infrastructures de transport.

IV.3.1. Vulnérabilité élevée

➤ Pont sur la route RP 9

Lors de la visite effectuée le mardi 16 Mai 2017 accompagnées notre encadrant, nous avons constaté que le pont sur la route principal RP9 est en bon état malgré le passage de la crue de 2014 qui a été la dernière qu'a connue l'oued Zat. Ceci est dû au non débordement des eaux de crues d'une part et d'autre part à la hauteur du tablier de ce dernier qui se trouve assez élevé par rapport au lit de l'oued.



Figure 26: Le pont sur la Route

Cependant la construction située juste à l'amont de ce pont a été détruite partiellement par la crue de 2014. Cette construction a été reconstruite par son propriétaire et conforté par un mur en béton armé





Caractéristique du pont amont :

Le pont amont d'Ait Ourir est caractérisé par 7 ouvertures avec une longueur différente (6 ouvertures L 14,70 et la 7eme L 13,50 en m).



Caractéristiques du Pont amont de Ait Ourir

Nombre d'ouvertures	7
Longueur (m)	14,7
Hauteur min (m)	2
Hauteur moyenne(m)	1,5
Hauteur (m)	5,2
profondeur (m)	3,7

➤ **Pont sur la route secondaire**

Ce pont est située au centre Ait Ourir reliant la rive gauche d'oued Zat à la rive droite .Il connaît un trafic très important chaque Mardi, jour du Souk.



Figure 27: Crue de 2014 (Challenge.ma)

Lors de notre visite nous avons constaté ce qui suit :

- Affouillement au niveau des travées centrales après le passage des crues antécédentes



- Dégradation des pieux ce qui met en cause la stabilité du pont et surtout pendant le passage d'une crue éventuelle ce qui mérite des travaux de réhabilitation.



- Dépôt d'alluvions en amont et en aval du pont ce qui influe sur l'écoulement des eaux de crues, aussi nous avons constaté lors de cette visite que des travaux d'entretien sont en cours.



Caractéristique du pont aval :

Le pont situé près du village d'Ait Ourir (Aït Haddi), construit sur l'oued Zat, gêne l'écoulement des eaux de crue, causant l'érosion et l'inondation du souk situé en rive gauche malgré les murs de protection en gabions réalisé dans la zone. Le souk a été déplacé. Il est recommandé de réaliser le curage de l'oued et le calibrage de ses berges.

Le pont aval d'Ait Ourir est caractérisé par 16 ouvertures



Caractéristiques du Pont aval d'Ait Ourir	
Nombre d'ouvertures	16
Longueur (m)	7,5
Hauteur (m)	2
Hauteur max(m)	3,5
profondeur (m)	1,5

➤ **Habitations**

Dans le bassin versant du Zat, la hauteur relative du village Ait Ourir par rapport au lit de l'oued est assez élevée au point qu'il est difficile de le voir submergé par une crue centennale. Cependant les habitations construites le long des berges de l'oued sont exposées aux inondations des crues (Q5, Q10, et Q100) et par conséquent à l'effondrement, ce qui met en cause la vie de ses habitants. Ce qui nécessite l'intervention des autorités locales afin d'éviter ce genre de constructions et sensibilisation des habitants de ces maisons aux dangers auxquels sont exposés lors d'une crue.



Figure 28: Habitation effondrés lors de la crue de 2014



Habitations construites dans le lit
maieur de l'oued

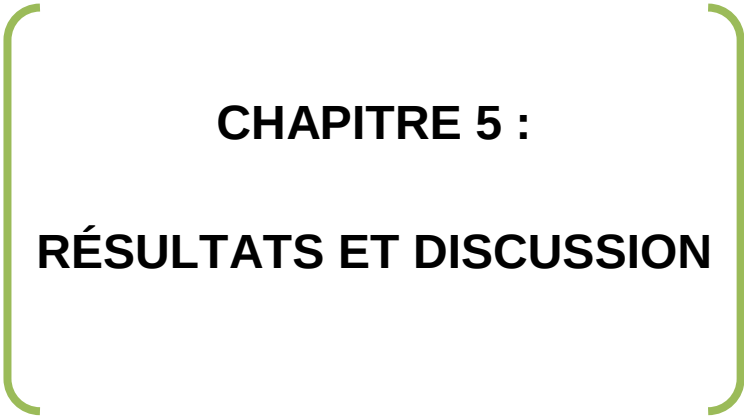
Figure 29: Habitation construites dans le lit de l'oued

IV.3.2. Vulnérabilité moyenne

Il y a une très vaste zone agricole à l'aval du centre d'AIT OURIR au long de l'oued dont la plupart sont situés au bord du lit de ce dernier .Tous ces terrains sont exposés aux inondations des crues ayant une fréquence de retour de 2 ans.



Figure 30: Terrain exposé à l'Inondation

The title is framed by two large, light green, stylized brackets that curve inwards from the left and right sides.

CHAPITRE 5 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

V.1. Terrain agricole

D'après les résultats obtenues on constate que les débits de pointes sont assez élevées appellent donc à bien gérer ces pulsations brutales des niveaux des eaux d'oued ZAT car les crues en ce milieu montagnard semi-aride sont violentes et imprévisibles. L'adoption d'un plan d'aménagement adéquat est indispensable pour lutter contre les conséquences potentielles de ces crues. Les dégâts qu'elles provoquent sont souvent énormes. Elles laissent un paysage de désolation en emportant les biens matériels et agricoles des gens. Leurs coûts financiers est également trop important et gêne le développement humain en ce milieu rural.

Les résultats de la présente étude ont permis l'évaluation de la vulnérabilité de la zone aux inondations et l'identification précise des zones inondables, des agglomérations et des infrastructures susceptibles d'être touchés par des inondations, le but final étant la définition des mesures d'adaptation permettant de limiter les dégâts potentiels et de minimiser les menaces pesant sur le développement économique de la région du centre d'AIT OURIR.

La carte de l'aléa d'inondation représente les zones où il existe un potentiel de submersion, même aux endroits où aucune inondation n'est historiquement connue. L'intérêt de cette carte consiste à évaluer l'ampleur des inondations à l'échelle du bassin versant et déterminer d'une manière générale les zones vulnérables aux inondations étant donné le manque d'observations à long terme.

L'augmentation des superficies inondées évolue de façon relativement linéaire avec la période de retour. Les étendues inondées sont très importantes, y compris sur des secteurs vulnérables.

V.2. Habitations

La topographie du village d'Ait Ourir montre que celui-ci est situé à une cote assez élevée au point qu'il est difficile de le voir submergé par une crue centennial malheureusement il y a beaucoup des agriculteurs qui logent dans leurs terrain cultivés qui se situent dans zone exposés aux inondations de crues de période de retour de cinq ans seulement. Certains même profite de ces terrains pour l'élevage

de bétails et cours un risque important que les autorités locale doivent prendre en compte afin d'éviter la catastrophe et sauvegarder la vie de cette population.

V.3. Conclusion

Au terme de ce stage, et pour lutter contre les inondations, nous avons retenu trois actions principales :

➤ La Prévention :

C'est l'information, la communication et la sensibilisation aux risques d'inondations. Il s'agit d'informer les citoyens et surtout les habitants qui logent au bord du lit de l'oued sur les causes du risque, ses conséquences et ses impacts à court et à moyen terme et enfin sur les moyens de lutte et les mesures de précaution à prendre pour se défendre contre les agressions de cette catastrophe. La sensibilisation des décideurs à la problématique des risques et leurs impacts sur l'environnement est une action à envisager notamment par les autorités locale les ONG et les spécialistes de l'Agence du Bassin Hydraulique.

➤ La préparation

Il s'agit des dispositions à prendre pour maîtriser l'intervention. C'est le cas d'organisation périodiques des exercices de simulation des opérations d'intervention.
Protection contre les risques

Il s'agit aussi d'un ensemble d'activités et des mesures visant à assurer un certain niveau de protection des vies, et des biens individuels ou collectifs (habitats et ouvrages d'art)

Pour notre bassin de l'oued Zat, la protection contre les risques d'inondations exige, à notre avis, un ensemble de solutions techniques à savoir :

- la cartographie des zones à hauts risques doit être mise à la disponibilité des autorités locale du centre d'Ait Ourir pour qu'ils prennent part de leurs responsabilités de l'application de la loi 10/95.
- le renforcement de cadre juridique et institutionnel à travers la mise en application de la loi 10/95 sur l'eau en particulier les articles 12 et 20 mentionnés en annexes.

➤ **La Construction du Barrage Ait Ziat**

La construction du barrage Ait Ziat prévue par la Direction des Aménagement Hydraulique (DAH) et l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT), assurera la protection du village d'Ait Ourir contre les inondations et sauvegardera les terrains agricoles. Le site de ce barrage est situé à une dizaine de kilomètre en amont de ce village (X= 294 500 et Y=106 100).

Les caractéristiques du barrage (source DAH) sont comme suit :

- Bassin versant : 522 km² ;
- Apport moyen annuel : 125,5 Mm³ / an ;
- Volume de la retenue : 45 Mm³ ;
- Type de barrage : digue à noyau centrale étanche ;
- Hauteur max sur fondation : 56 m ;
- Longueur de la crête : 680 m.

Bibliographie

- Ramromi Adnane, 2007, Les crues en zone montagneuse semi-aride le cas des bassins R'Dat et du Zat (Haut Atlas, Maroc).Mémoire de master, Faculté des Sciences et Technique, Marrakech, 46 p.
- ABHT (Agence de Bassin Hydraulique de Tansift), Protection des riverains contre les inondations de l'oued Goudji à Al Haouz – Etude hydrologique, Marrakech ; 44 p.
- ABHT (Agence de Bassin Hydraulique de Tensift), Atlas des Zones Inondables, Marrakech ,162p.
- Programme d'Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, Diagnostic du sous-bassin de Zat (Avril 2016), Marrakech, 114 p.

Annexes

Article 12 – « Il est interdit d'anticiper de quelque manière que ce soit, notamment par des constructions, sur les limites des francs-bords des cours d'eau temporaires ou permanents, des séguías, des lacs, des sources ainsi que sur les limites d'emprises des aqueducs, des conduites d'eau, des canaux de navigation, d'irrigation ou d'assainissement faisant partie du domaine public hydraulique ».

ARTICLE 20 – « Il est créé, au niveau de chaque bassin hydraulique ou ensemble de bassins hydrauliques, sous la dénomination de "agence de bassin", un établissement public, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. L'agence de bassin est chargée, entre autre, de réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.