



FACULTÉ DES SCIENCES
ET TECHNIQUES

MARRAKECH



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

Département des Sciences de la Terre

*Master Sciences et Techniques
« Eau et Environnement »*



Mémoire de fin d'étude

*Les inondations sur la plaine de Tensift (Maroc).
Etude dynamique et statistique et conséquences
géographiques des crues de l'oued*

Réalisé par : Zahira BELKHARCHACH

Encadrée par :

- Pr Mohamed El Mehdi SAIDI : Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech

Soutenu, le 17 Juin 2015, devant le jury composé de :

- Pr M. E. SAIDI : Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech- Encadrant
- Pr B. IGMOUILLAN : Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech- Examineur
- Pr D. CHAFIKI : Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech- Examineur

Année Universitaire 2014/2015

Résumé

L'étude porte sur le bassin versant de Tensift qui couvre une superficie de 18 500 km². Il est drainé par l'oued Tensift qui côtoie au Nord-Est la province d'El Kelâat Sraghna, à l'Est celle d'Azilal, au Sud-Est celle d'Ouarzazate, au Sud-Ouest la province d'Essaouira et au Nord-Ouest celle de Safi. Il se déverse dans l'océan atlantique. Le bassin est caractérisé par un climat aride à semi aride en aval en dessous de 2000 m d'altitude, et un climat subhumide en montagne au-delà de ce seuil, avec un couvert végétal peu développé.

Les précipitations sont variables dans le temps et dans l'espace, mais elles sont dans l'ensemble conformes aux moyennes observées sous les climats semi arides. Les débits moyens pour les différents pas de temps sont irréguliers.

Influencé par ses paramètres géomorphologiques et climatiques, le bassin a un comportement hydrologique variable et imprévisible. Il donne naissance à des crues de longue durée qui causent souvent des dégâts importants.

L'estimation des débits de pointe et des précipitations maxima de différentes périodes de retour, par le logiciel R, confirme la possibilité d'avoir des crues importantes qui peuvent avoir des conséquences dévastatrices en aval.

A cet effet plusieurs mesures de protection et de prévention ont été prises afin de prévenir le phénomène et d'en atténuer les conséquences.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et ma vive reconnaissance envers :

Monsieur M. SAIDI, Professeur au Département des Sciences de la Terre à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et son appui pendant toute la période du travail.

Je remercie les membres de jury Monsieur B. IGMOULLAN et Monsieur D. CHAFIKI qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Je présente mes sincères et vifs remerciements à mes parents, que ce travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, de vos prières et le fruit de vos innombrables sacrifices.

Je remercie vivement mes biens aimés sœurs et frère, pour leur encouragement. Pour toutes les personnes dont je n'ai pas cité leurs noms, qu'elles soient toutes assurées de mes profondes gratitude.

Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail dans les meilleures conditions.

Table des matières

Remerciements.....	3
Liste des figures	7
Liste des tableaux	9
Liste des photos	10
Introduction	11

Chapitre I : Situation géographique et analyse géomorphologique

I- Situation géographique du bassin versant de Tensift	12
II- Analyse géomorphologique du bassin versant de Tensift	12
II.1- Le bassin versant d'Abadla	12
II.1.1- La morphologie et les reliefs	13
II.1.2- Géologie générale et lithologie	15
II.1.3- Le réseau hydrographique	16
II.1.4- Le climat	17
II.2- Le bassin versant de Talmest	18
II.2.1- La morphologie et les reliefs	18
II.2.2- Géologie générale et lithologie	20
II.2.3- Le réseau hydrographique	21
II.2.4- Climatologie générale	23
II.2.5- La végétation	23

Chapitre II : Les précipitations sur le bassin versant

I- Analyse des régimes pluviométriques	24
I.1- Précipitations moyennes mensuelles	24
I.2- Précipitations moyennes annuelles	26
II- Distributions et analyse statistique des précipitations	27
II.1- L'oued Tensift à la station Abadla	28
II.1.1- Analyse des graphes.....	28
II.1.2- Analyse des critères statistiques	29
II.1.3- Conclusion	30
II.2- L'oued Tensift à la station de Talmest.....	31
II.2.1- Analyse des graphes	31
II.2.2- Analyse des critères statistiques	31
II.2.3- Conclusion	33

Chapitre III : Hydrologie générale et régime d'écoulements

I. Débits moyens mensuels interannuels	34
I.1- Oued Tensift à la station d'Abadla	34
I.2- Oued Tensift à la station de Talmest	34
II. Débits moyens annuels et interannuels	35
II.1- Oued Tensift à la station d'Abadla	35
II.2- Oued Tensift à la station de Talmest	36
Conclusion	36

Chapitre IV : Bilans hydrologiques et relation entre les pluies et les débits

I- Station d'Abadla	37
II- Station de Talmest	38
Conclusion	38

Chapitre V : Etude dynamique des crues et analyse des hydrogrammes

I- Analyse des hydrogrammes des crues	39
I.1- Le bassin versant de Tensift à la station d'Abadla	39
I.1.1- La crue du 12 février et 3 novembre 1987	39
I.1.2- La crue du 10 novembre 1988	40
I.1.3- La crue du 29 octobre 1999.....	41
I.2- Le bassin versant de Tensift à la station de Talmest.....	42
I.2.1- La crue du 19 Octobre 1979	42
I.2.2- La crue du 09 mai 1982.....	42
I.2.3- La crue du 10 novembre 1988.....	44
I.2.4- La crue du 28 octobre 1999	45
Conclusion	45
II- Les temps de base et les temps de montée des crues	46
II.1- Le bassin versant de Tensift à la station d'Abadla.....	46
II.2- Le bassin versant de Tensift à la station de Talmest.....	47
Conclusion.....	47
III- Répartition mensuelle et saisonnière des crues	48
III.1- Le bassin versant de Tensift à la station d'Abadla.....	48
III.2- Le bassin versant de Tensift à la station de Talmest	48
Conclusion	49
IV- La vitesse de propagation des crues	49

Chapitre VI : Analyse statistique des crues

I- L'oued Tensift à la station d'Abadla	53
I.1- L'analyse des graphes	53
I.2- L'analyse des critères statistiques	54
I.3- Estimation de probabilités de crues	55
II- L'oued Tensift à la station de Talmest	55
II.1- L'analyse des graphes	55
II.2- L'analyse des critères statistiques	56
II.3- Estimation de probabilités de crues	57
III- Evènement hydrologique de Novembre 2014	58

Chapitre VII : Bilan des crues et leurs conséquences géographiques

I- Bilan des crues	62
I.1- Bassin versant au niveau de la station d'Abadla	63
I.2- Bassin versant au niveau de la station de Talmest	64
Conclusion	65
II- Les conséquences géographiques des crues	66
II.1- Dégâts matériels.....	66

II.2- Dégâts humains	68
II.3- Dégâts environnementaux	69

Chapitre VIII : Proposition de plans d'aménagement et lutte contre les inondations

I- La préservation	71
II- La protection	71
III- Information et alerte	72
Conclusion générale	73
Bibliographie	74

Liste des figures

Figure. 1 : Situation géographique du bassin versant de Tensift.....	12
Figure. 2 : schéma de localisation de la station hydrométrique d'Abadla (ABHT).....	13
Figure. 3 : La carte hypsométrique du bassin versant d'Abadla.....	14
Figure.4 : La carte des pentes du bassin versant d'Abadla.....	14
Figure.5 : La carte géologique du bassin versant d'Abadla (Extraite de la carte géologique de Marrakech 500000è).....	16
Figure.6 : La carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Abadla.....	17
Figure. 7 : schéma de localisation de la station hydrométrique de Talmest (ABHT).....	18
Figure. 8 : La carte hypsométrique du bassin versant de Talmest.....	19
Figure. 9 : La carte des pentes du bassin versant de Talmest (Extraite de la carte géologique de Marrakech 500000è).....	19
Figure.10 : La carte géologique du bassin versant de Talmest.....	21
Figure.11 : La carte du réseau hydrographique du bassin versant de Tensift et sous bassins atlasiques	22
Figure.12 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles du bassin versant de l'oued Tensift à la station d'Abadla (1970/71-2010/2011).....	24
Figure.13 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles du bassin versant de l'oued Tensift à la station de Talmest (1984/85-2010/11).....	25
Figure.14 : Les pluies mensuelles pour les bassins étudiés (1984/85-2010/11).....	26
Figure.15 : Précipitations moyennes annuelles à la station d'Abadla (1970/71-2010/11).....	26
Figure.16 : Précipitations moyennes annuelles à la station de Talmest (1984/85-2010/11)....	27
Figure.17 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon les lois statistiques, à la station d'Abadla.....	29
Figure.18 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon les lois statistiques, à la station de Talmest.....	31
Figure.19 : Régime de débits moyens mensuels de la station d'Abadla (1968/69-2012/13)...	34
Figure.20 : Régime des débits moyens mensuels de la station de Talmest (1984/85-2009/10).	35
Figure.21 : Régime des débits moyens annuels et interannuels de la station d'Abadla (1968/69-2012/13).....	35
Figure.22 : Régime des débits moyens annuels et interannuels de la station de Talmest (1970/71-2009/10).....	36

Figure.23 : La relation entre les régimes de débits et de pluies à la station d'Abadla (1970/71-2009/10)	37
Figure.24 : La relation entre les régimes de débits et de pluies à la station de Talmest (1970/71-2009/10)	38
Figure.25 : Hydrogramme de la crue du 12/02/1987 à Abadla.....	40
Figure.26 : Hydrogramme de la crue du 03/11/1987 à Abadla	40
Figure.27 : Hydrogramme de la crue du 10/11/1988 à Abadla	41
Figure.28 : Hydrogramme de la crue du 29/10/1999 à Abadla	41
Figure.29 : Hydrogramme de la crue du 20/10/1979 à Talmest	42
Figure.30 : Hydrogramme de la crue du 09/05/1982 à Talmest	43
Figure.31 : Hydrogramme de la crue du 16/11/1983 à Talmest	43
Figure.32 : Hydrogramme de la crue du 03/11/1987 à Talmest	44
Figure.33 : Hydrogramme de la crue du 10/11/1988 à Talmest	44
Figure.34 : Hydrogramme de la crue du 28/10/1999 à Talmest	45
Figure.35 : Hydrogramme Temps de montée des crues de Tensift à Abadla (1970-2006).....	46
Figure.36 : Hydrogramme Temps de base des crues de Tensift à Abadla (1970-2006).....	46
Figure.37 : Hydrogramme Temps de montée des crues de Tensift à Talmest (1970-2005)....	47
Figure.38 : Hydrogramme Temps de base des crues de Tensift à Talmest (1970-2005).....	47
Figure.39 : La répartition mensuelle des crues à la station d'Abadla (1970-2006).....	48
Figure.40 : La répartition mensuelle des crues à la station de Talmest (1970-2006).....	49
Figure.41 : Hydrogramme de la crue du 10/11/88 aux stations d'Abadla et Talmest.....	50
Figure.42 : Hydrogramme de la crue du 03/11/87 aux stations d'Abadla et Talmest.....	50
Figure.43 : Hydrogramme de la crue du 16/11/2002 aux stations d'Abadla et Talmest.....	51
Figure.44 : Hydrogramme de la crue du 29/10/99 aux stations d'Abadla et Talmest.....	51
Figure.45.a : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon les lois statistiques, à la station d'Abadla	53
Figure.45.b : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon les lois statistiques, à la station d'Abadla	54
Figure.46 : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon les lois statistiques, à la station de Talmest	56
Figure.47 : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon la loi Weibull, avant et après l'événement 2014, à la station d'Abadla	61
Figure.48 : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon la loi Log.Normal, avant et après l'événement 2014, à la station de Talmest	61

Liste des tableaux

Tableau.1 : Les pluies mensuelles interannuelles sur les deux stations (1984/85-2010/11)....	25
Tableau.2 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 20 ans...	29
Tableau.3 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 50 ans...	30
Tableau.4 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 100 ans...	30
Tableau.5 : Estimation des précipitations maximales journalières annuelles selon les lois Log Normal et Gumbel	30
Tableau.6 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 20 ans...	32
Tableau.7 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 50 ans...	32
Tableau.8 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 100 ans...	32
Tableau.9 : Estimation des précipitations maximales journalières annuelles selon les lois Normal et Weibull	33
Tableau.10: les pluies et les débits moyens mensuels interannuels d'oued Tensift à la station d'Abadla (1970/71-2009/10).....	37
Tableau.11 : les pluies et les débits moyens mensuels interannuels d'oued Tensift à la station de Talmest (1970/71-2009/10).....	38
Tableau.12 : Caractéristique de la crue du 12/02/1987 à Abadla	40
Tableau.13 : Caractéristique de la crue du 03/11/1987 à Abadla	40
Tableau.14 : Caractéristique de la crue du 10/11/1988 à Abadla	41
Tableau.15 : Caractéristique de la crue du 29/10/1999 à Abadla	41
Tableau.16 : Caractéristique de la crue du 20/10/1979 à Talmest	42
Tableau.17 : Caractéristique de la crue du 09/05/1982 à Talmest	43
Tableau.18 : Caractéristique de la crue du 16/11/1983 à Talmest	43
Tableau.19 : Caractéristique de la crue du 03/11/1987 à Talmest	44
Tableau.20 : Caractéristique de la crue du 10/11/1988 à Talmest	44
Tableau.21 : Caractéristique de la crue du 28/10/1999 à Talmest.....	45
Tableau.22 : Vitesse de propagation des crues	52
Tableau.23: Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station d'Abadla	54
Tableau.24 : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d'ajustement à la station d'Abadla	55
Tableau.25: Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station de Talmest	57

Tableau.26 : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d’ajustement à la station de Talmest	57
Tableau.27 : Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station d’Abadla	58
Tableau.28 : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d’ajustement à la station d’Abadla	59
Tableau.29 : Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station de Talmest	59
Tableau.30 : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d’ajustement à la station de Talmest	59
Tableau.31 : Estimation des débits de retour avant et après l’évènement 2014, au niveau des deux stations	59
Tableau.32.a : Pluie tombée durant l’évènement 10/11/1988	63
Tableau.32.b : Résultat du bilan de crue pour l’année 10/11/1988	63
Tableau.33.a : Pluie tombée durant l’évènement 29/10/1999	64
Tableau.33.b : Résultat du bilan de crue pour l’année 29/10/1999	64
Tableau.34.a : Pluie tombée durant l’évènement 10/11/1988	64
Tableau.34.b : Résultat du bilan de crue pour l’année 10/11/1988	64
Tableau.35.a : Pluie tombée durant l’évènement 29/10/1999	65
Tableau.35.b : Résultat du bilan de crue pour l’année 29/10/1999	65

Liste des photos

Photo.1 : Inondation des locaux de la station de Talmest sur l’oued Tensift (ABHT, 2014)...	67
Photo.2 : Certains seuls de recharge artificielle sur l’oued Zat ont été également impactés (ABHT, 2014)	67
Photo.3 : Route inondée par l’oued Rdat, sidi rahal (ABHT, 2014).....	67

Introduction

Le bassin versant du Tensift est situé au centre Ouest du Maroc entourant la région de Marrakech. Cette région est caractérisée par un climat aride à semi aride, une irrégularité importante des précipitations et du régime de l'oued. Le bassin versant de Tensift peut être subdivisé en deux parties dont le fonctionnement hydrologique est plus contrasté, à savoir les montagnes du Haut Atlas et la plaine centrale semi-aride du Haouz.

Le risque inondation est très présent dans le bassin du Tensift. Dans sa partie montagneuse, il est régulièrement frappé par des inondations parfois meurtrières, tels que les événements tragiques de l'Ourika en août 1995. Les inondations en plaine ont un caractère particulier qui les distingue des crues en zones montagneuses. En plaine, les débordements sont facilités par les berges et les versants de faibles pentes et l'écoulement se fait en nappe alors qu'il est encaissé en milieu montagnard.

Dans ce travail consacré aux crues sur la plaine de Tensift, au niveau de deux stations hydrométriques d'Abadla et de Talmest, les objectifs principaux sont l'étude des paramètres géomorphologiques, climatiques et hydrologiques à l'origine des crues, l'étude de ces crues sur les plans dynamiques et fréquentielles pour aboutir à une compréhension de ces événements hydrologiques extrêmes, l'analyse de leurs impacts et la proposition de solutions pour limiter leurs dégâts socio-économiques.

Compte tenu des objectifs de notre travail, nous avons choisi de le présenter en plusieurs chapitres :

- L'étude morphométrique des bassins versants tels que la délimitation, la forme, les pentes, les réseaux hydrographiques...
- L'étude du régime pluviométrique et du régime des écoulements des bassins versants, ainsi que les bilans hydrologiques et la relation entre les pluies et les débits,
- L'étude dynamique des crues historiques des oueds par l'analyse des hydrogrammes de crues,
- L'analyse statistique et fréquentielle des crues et leurs bilans et conséquences géographiques,
- La proposition de plans d'aménagement et de lutte contre les inondations.

Chapitre I : Situation géographique et analyse géomorphologique

L'oued Tensift sur la plaine du Haouz est contrôlé au niveau de deux stations principales : Abadla et Talmest.

I- Situation géographique du bassin versant de Tensift

Le bassin versant de l'oued Tensift s'étend sur le Haouz de Marrakech et une partie des montagnes du Haut Atlas. L'oued s'écoule d'Est en Ouest de sa source à l'embouchure dans l'océan atlantique sur une longueur est de 260 km. L'oued Tensift draine un bassin versant d'une superficie de 18 500 km². Ce large domaine est situé entre les latitudes 32° 10' et 30° 50' Nord et les longitudes 9° 25' et 7° 25' Ouest. L'oued Tensift côtoie au Nord-Est la province d'El Kelâat Sraghna, à l'Est celle d'Azilal, au Sud-Est celle d'Ouarzazate, au Sud-Ouest les provinces d'Essaouira et au Nord-Ouest celle de Safi. (Fig. 1)

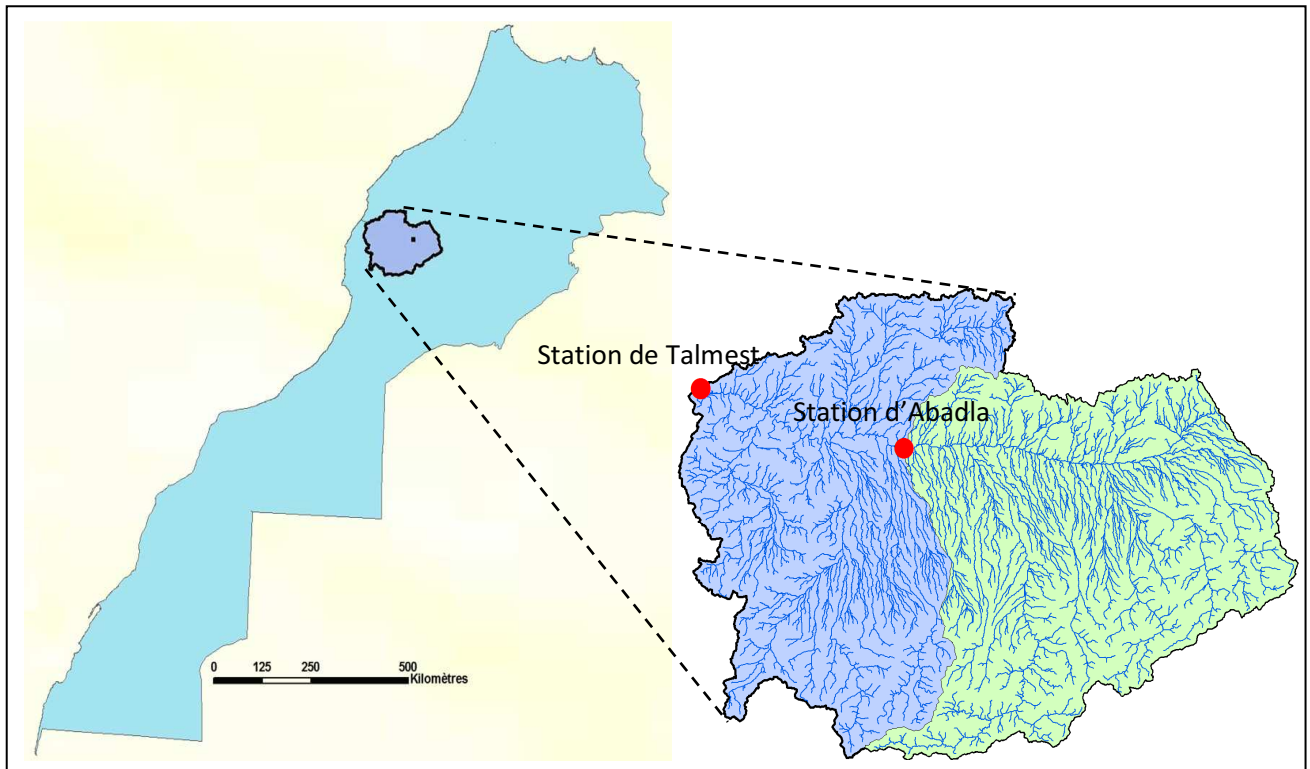


Figure.1 : Situation géographique du bassin versant de Tensift

II- Analyse géomorphologique du bassin versant de Tensift

II.1- Le bassin versant d'Abadla

La station d'Abadla est une station hydrométrique mise en service le 05/03/1969, sous le N° IRE 1675/44. La station est localisée sur la carte au 1/50000 de Ain El Bida aux coordonnées Lambert suivantes :

X = 200.000

Y = 129.500

Z = 250 NGM

La distance entre la station et l'ABHT est 57 Km dont 18 Km de piste carrossable, l'accès à la station assez facile sauf en cas de crues. (ABHT)

La station est équipée par Téléphérique et des locaux qui couvrent une superficie de 60 m² mais la superficie totale est de 3 hectares (ABHT), dont Le but de la station est de contrôler les débits en amont ainsi que la pluie, la température et l'évaporation. (Fig. 2)

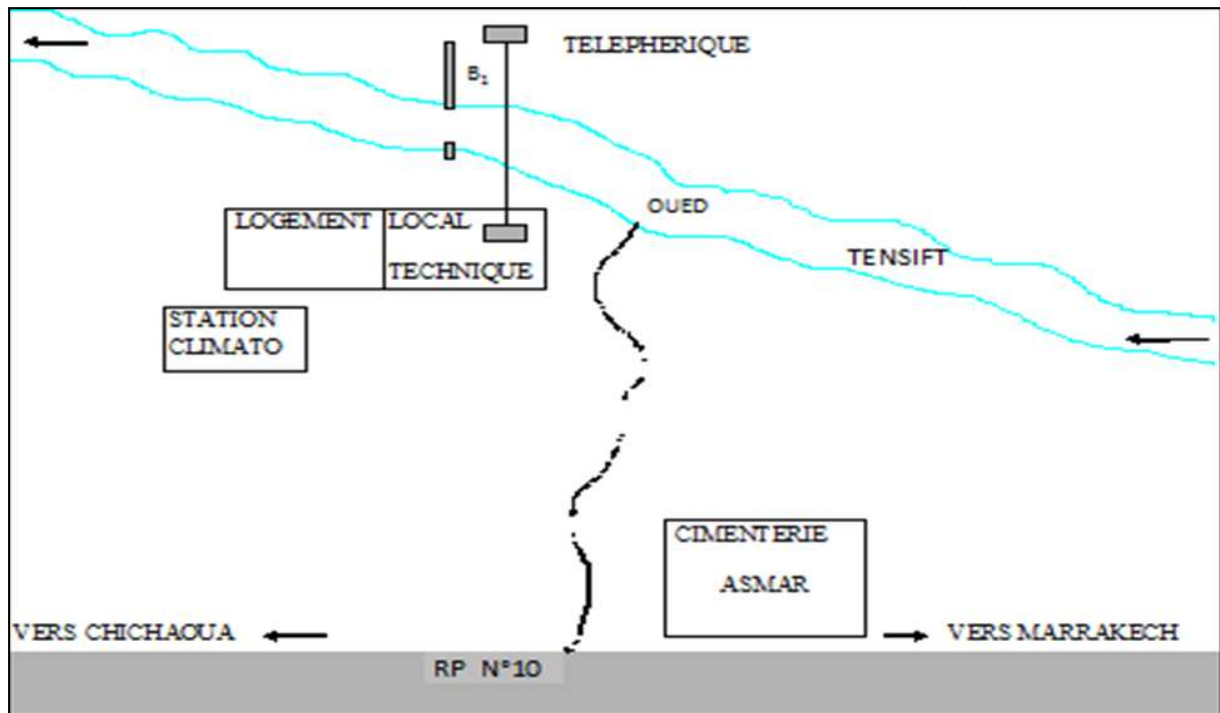


Figure. 2 : schéma de localisation de la station hydrométrique d'Abadla (ABHT)

II.1.1- La morphologie et les reliefs

Le bassin versant contrôlé par la station d'Abadla couvre une superficie de 10150 Km² avec un périmètre de 574 Km. La figure illustre les tranches d'altitudes comprises entre 247 m à l'exutoire et 4165 m au point culminant du bassin (fig.3). L'altitude moyenne est d'environ 2178 m. La pente du bassin versant varie 0° et 61,23°, avec une moyenne est de 9° qui présente 15,8 %. (fig.4)

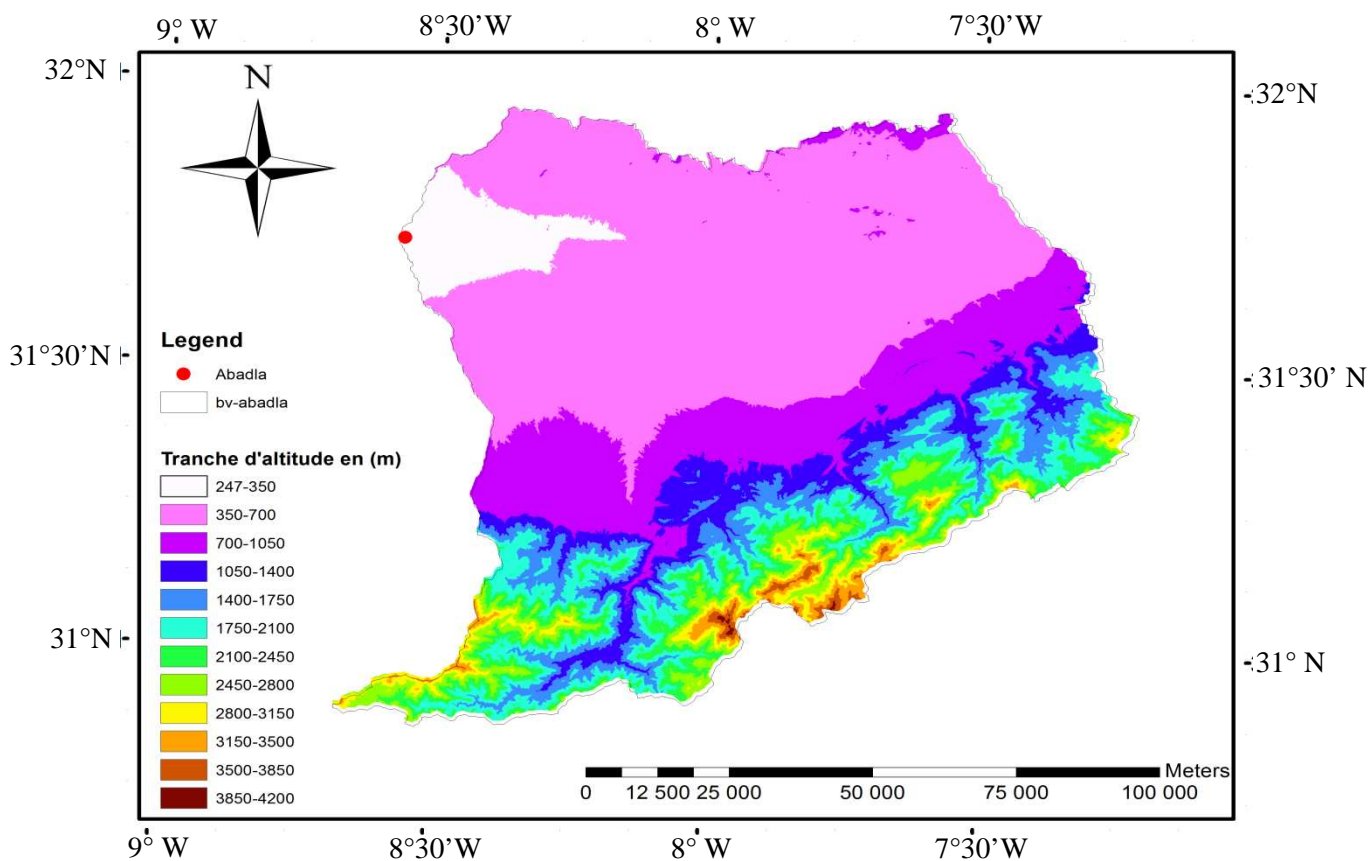


Figure.3 : La carte hypsométrique du bassin versant d'Abadla

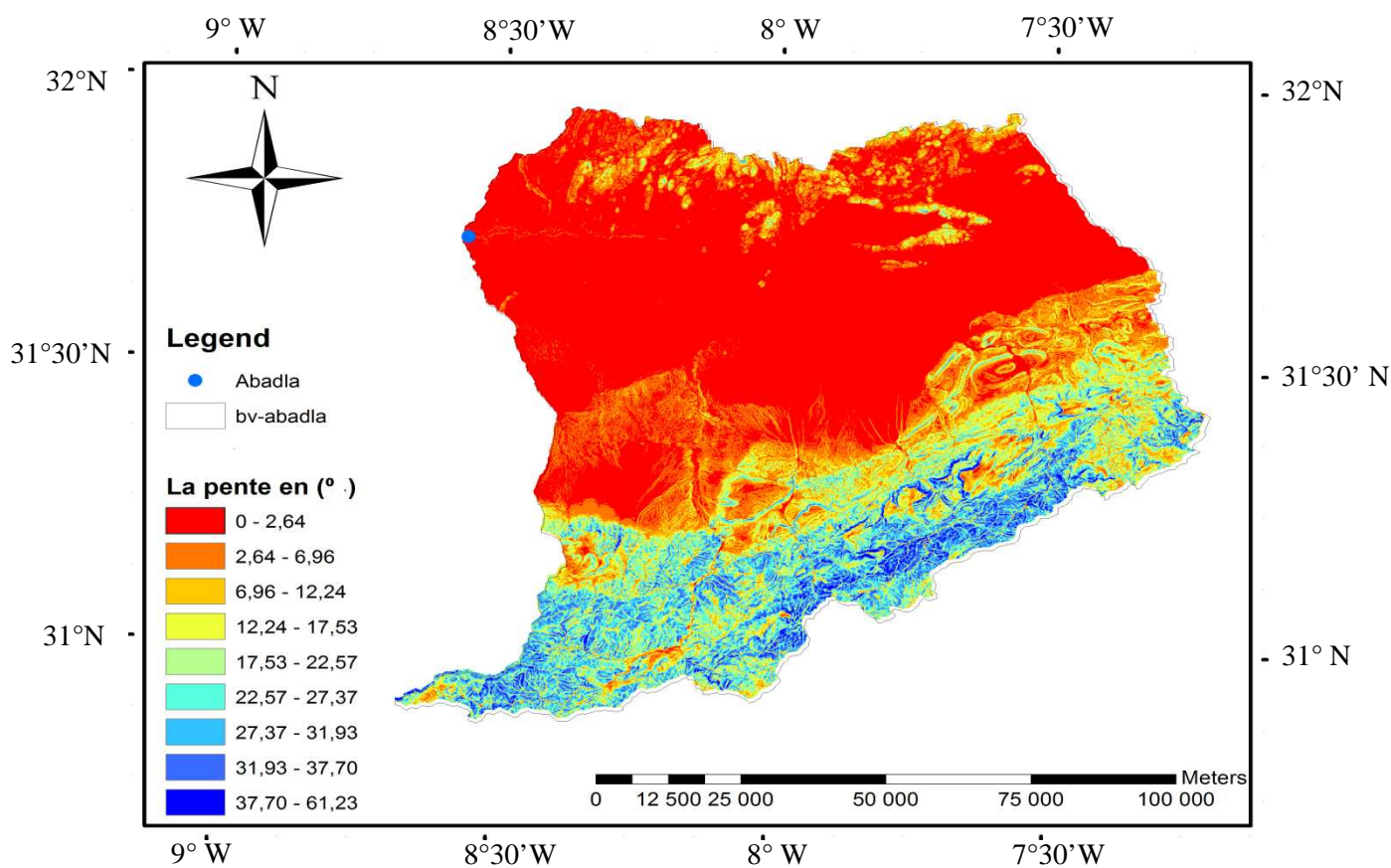


Figure.4 : La carte des pentes du bassin versant d'Abadla

II.1.2- Géologie générale et lithologie

Sur le plan géologique (Fig.5), les affleurements du bassin versant du Tensift de la partie amont jusqu'à la station d'Abadla sont constitués de faciès très diversifiées, d'âge compris entre le trias et le quaternaire.

Les dépôts du néogène au quaternaire alluvial forment la plaine. La couche de calcaire existe autour de Chichaoua et en amont jusqu'au pied du Haut Atlas. Ces formations sont généralement perméables et l'eau souterraine peut être exploitée. Quelques dépôts paléozoïques sont dispersés dans le sud du centre de la plaine, et au sud-est de Guemassa. Cette formation paléozoïque est constituée de schiste, quartzite, calcaire et elle est presque imperméable.

Les affleurements des Montagnes du Haut Atlas dans le bassin de Tensift appartiennent essentiellement au Paléozoïque et en partie au Précambrien.

La lithologie du permo-trias est composée d'un faciès formé de conglomérats, grès et argile rouge. Les faciès Précambriens sont constitués généralement des roches volcaniques (andésites, rhyolites,...etc.) et granites.

Les plissements secondaires d'Atlas sont formés essentiellement de dolomie, marne et grès d'âge Lias et Jurassique.

Les Montagnes de Jblet appartiennent aussi au Paléozoïque et sont composées de schiste, micaschiste, quartzite, et du calcaire. Les formations sont presque imperméables et aucune aquifère ne peut se former.

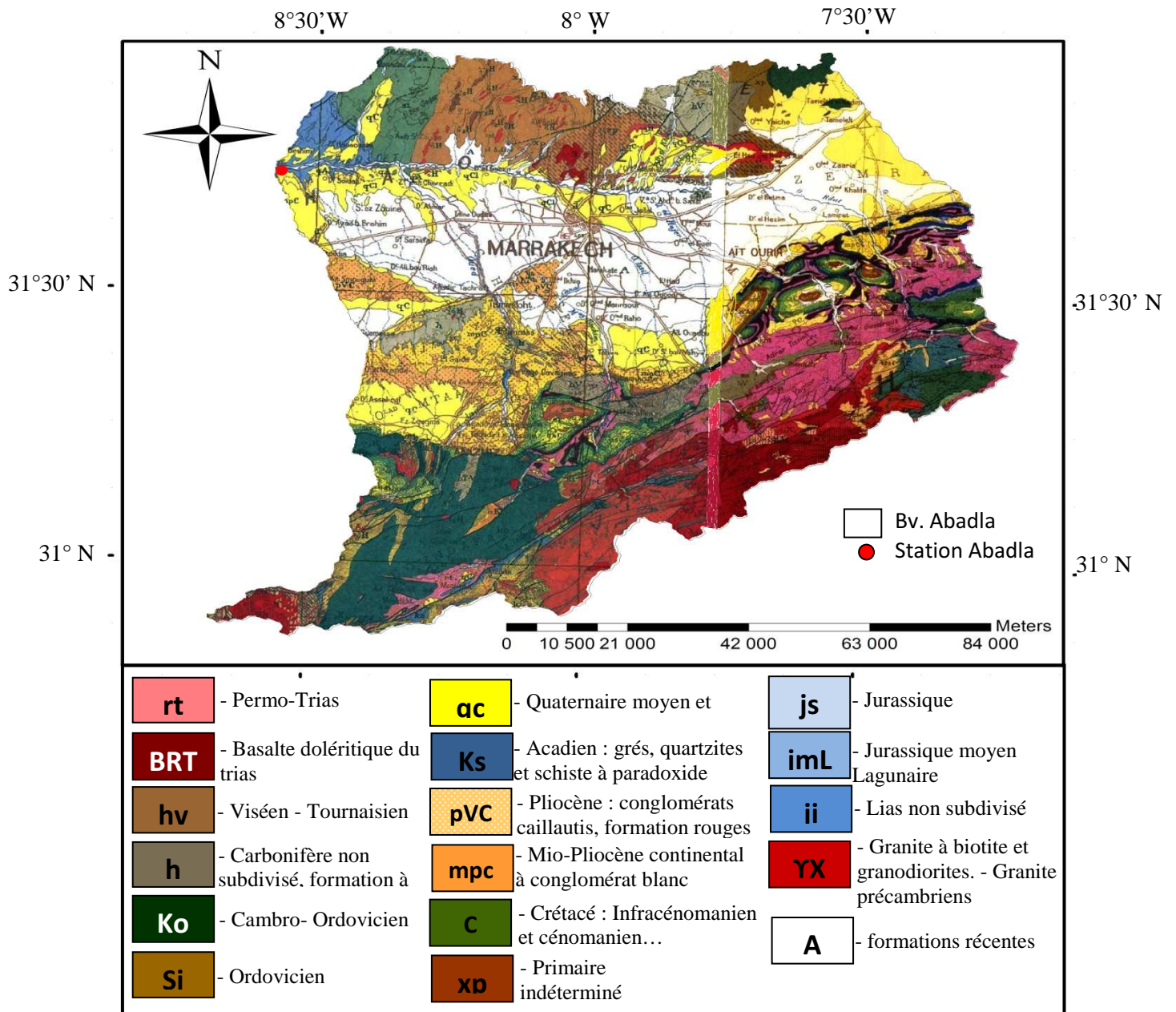


Figure.5 : La carte géologique du bassin versant d'Abadla (Extraite de la carte géologique de Marrakech 500000è)

II.1.3- Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin de Tensift à la station d'Abadla est assez dense et bien ramifié, et les principaux affluents du cours principal, qui sont situés entièrement dans la Haut Atlas de Marrakech (Fig.6) :

- Oued R'Dat,
- Oued Zat,
- Oued Ourika est un affluent de oued Hadjer, lui-même affluent de Tensift sur sa rive gauche.

- Oued N'Fis constitue le principal affluent rive gauche de Tensift, avec l'altitude moyenne est de 2300 m.

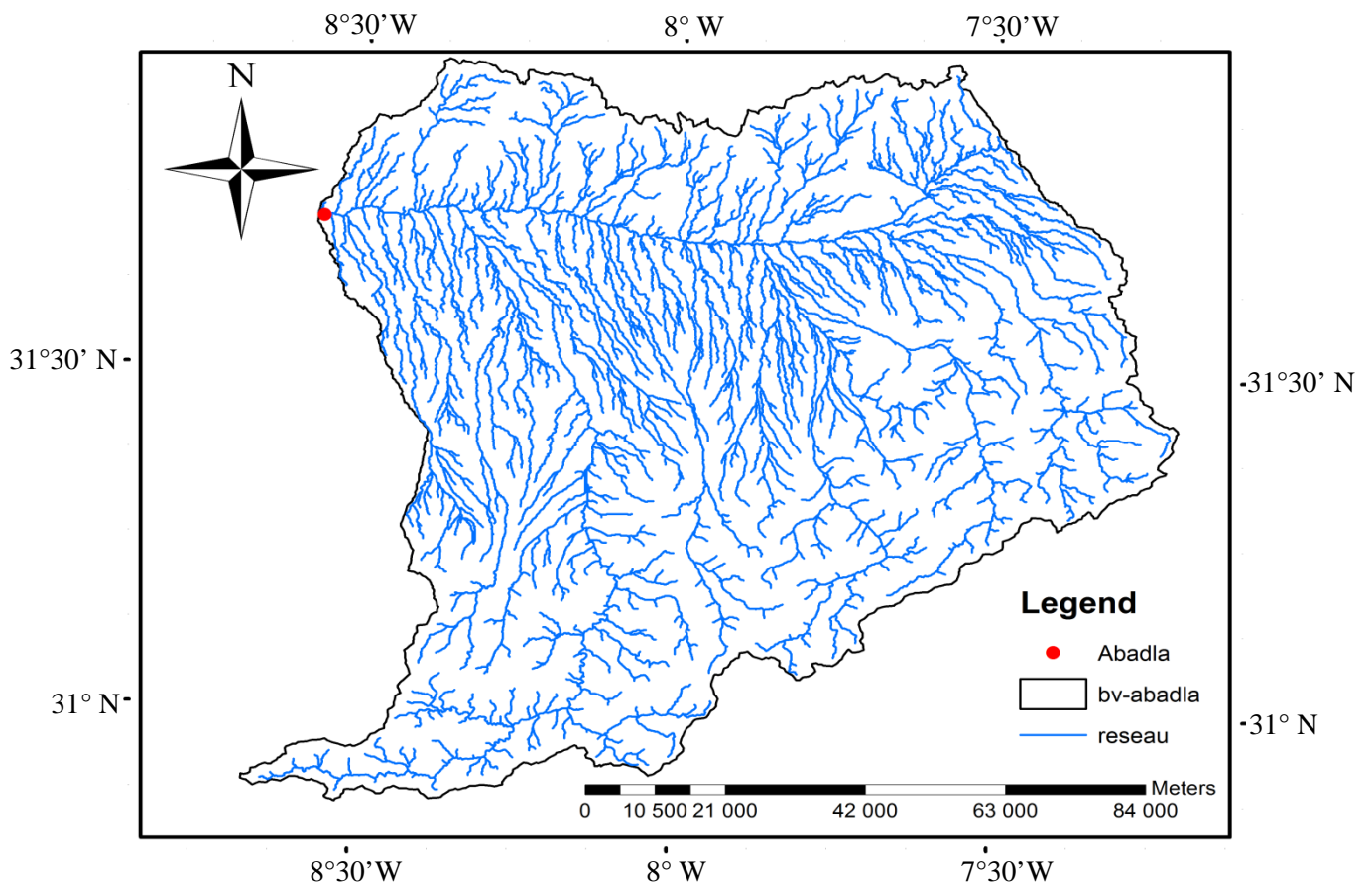


Figure.6 : La carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Abadla

II.1.4- Le climat

La température moyenne annuelle à la station ABADLA est de 20.4°C, avec une température maximale absolue de l'ordre 47.8 °C et une température minimale absolue de l'ordre -11.2 °C. (ABHT)

A l'échelle mensuelle, les mois les plus froids sont Décembre et Janvier avec respectivement des valeurs moyennes 13.9 °C et 12.6°C, les mois les plus chauds sont Juillet et Août avec la valeur moyenne 28,4 °C. (ABHT : période d'observation de la mise en service jusqu'à août 2004).

L'évaporation totale annuelle moyenne mesurée par bac Colorado à la station Abadla est de 2693,5 mm. L'évaporation minimale est enregistrée pendant le mois de Janvier alors que la maximale intervient pendant les mois d'été.

Le climat est par ailleurs influencé par l'existence des vents secs et chauds, dont La vitesse moyenne annuelle du vent est 3 m/s.

II.2- Le bassin versant de Talmest

Le bassin versant de l'oued Tensift à la station Talmest contrôlant 18500 km² couvre pratiquement l'ensemble du bassin versant du Tensift qui est de 19400 km² à l'embouchure, dont 7075 km² seulement représente la partie active. La station contrôle les débits en amont.

La station de Talmest a été mise en service le 01/09/1970, sous le N°IRE 189/43, elle est localisée sur la carte au 1/50 000 aux coordonnées Lambert :

$$\begin{aligned} X &= 133.800 \\ Y &= 147.750 \\ Z &= 53 \text{ NGM} \end{aligned}$$

La distance entre l'ABHT et la station est 220 km, l'accès à la station est facile. La station occupe un terrain de 2237m² dont 86,24 de superficie couverte (Fig.7).

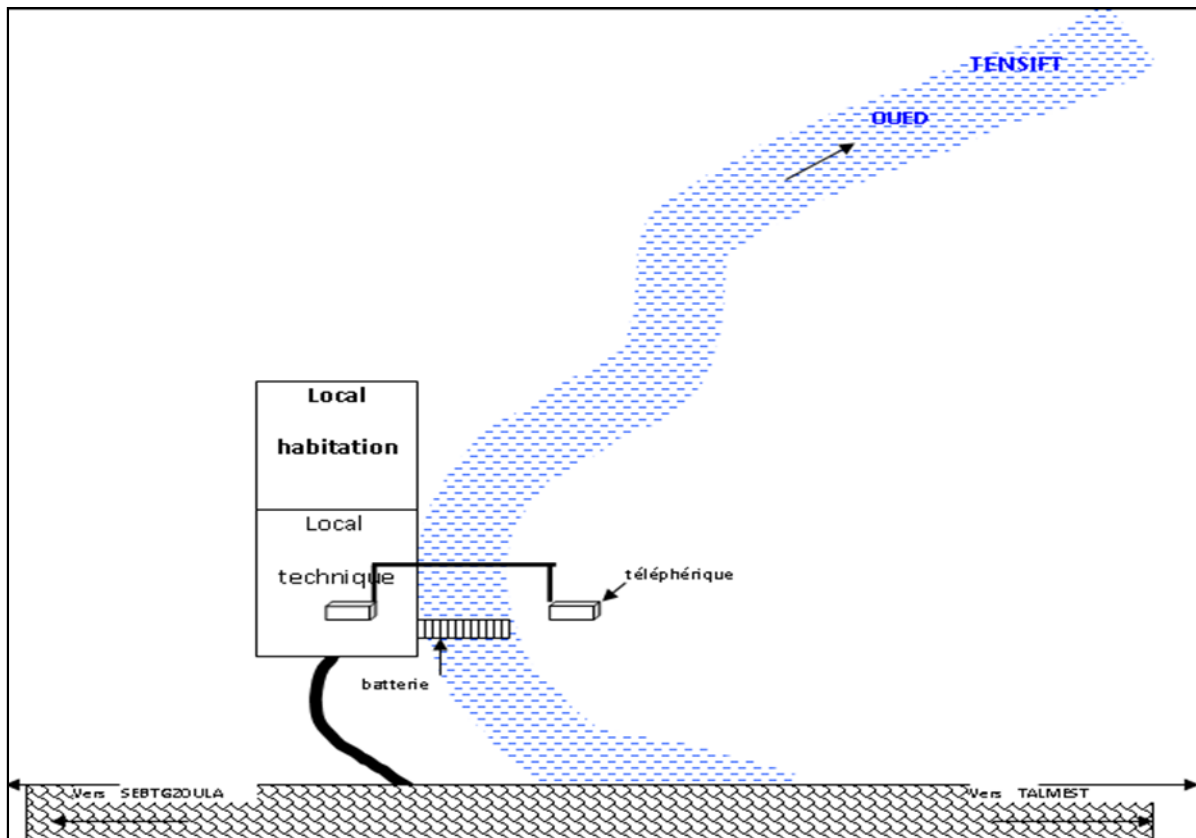


Figure.7 : schéma de localisation de la station hydrométrique de Talmest (ABHT)

II.2.1- La morphologie et les reliefs

Le bassin versant de l'oued Tensift à la station Talmest a une surface de 18500 km², avec un périmètre de 819 km. Les altitudes y varient entre 43 et 4165 m avec une moyenne de 2100 m. (fig.8)

D'après la carte on constate que les tranches de la pente comprises entre 0° et 61°. La pente moyenne est de 7,34° qui est de l'ordre de 13 %. (fig.9)

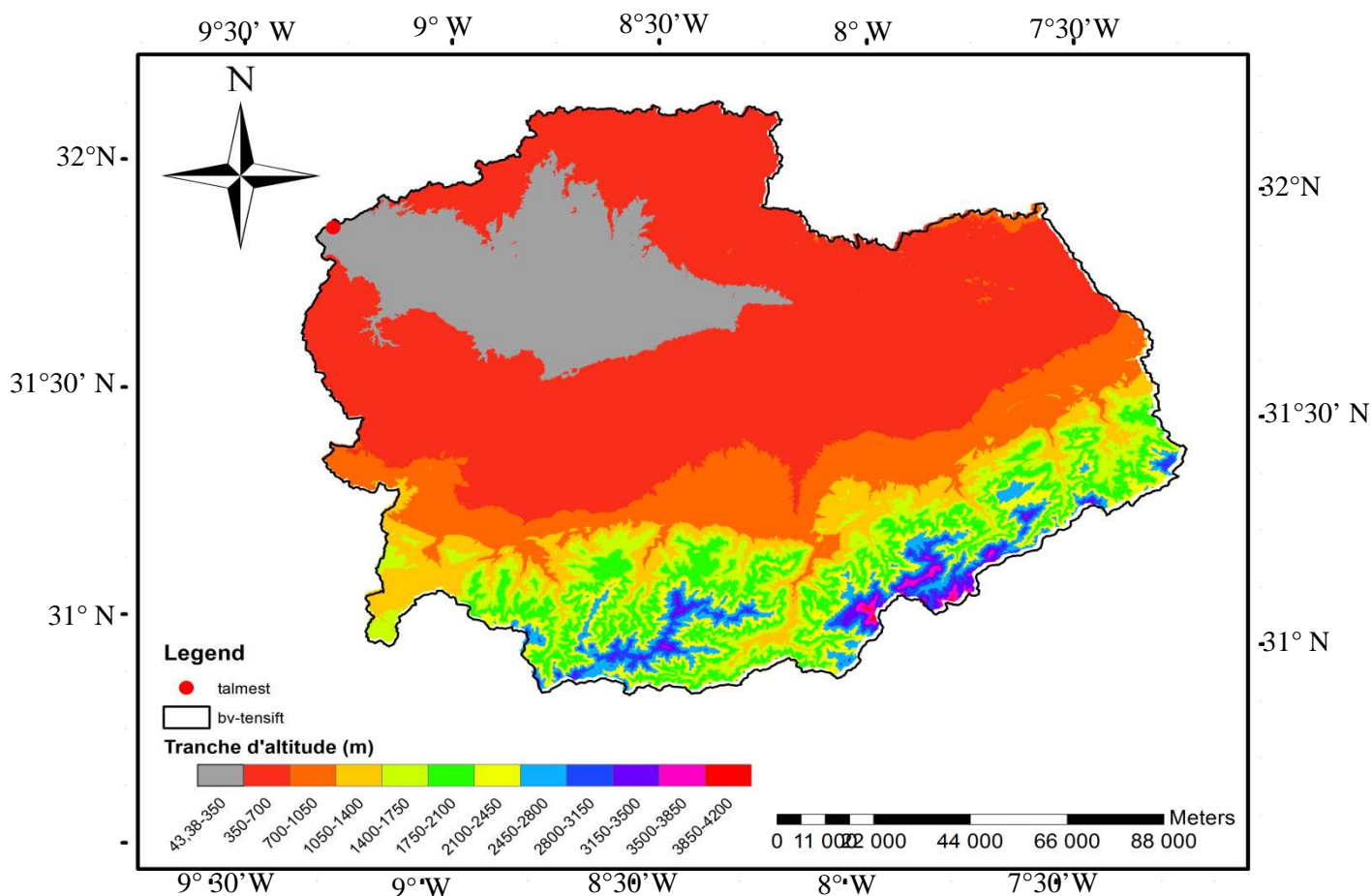


Figure.8 : La carte hypsométrique du bassin versant de Talkest

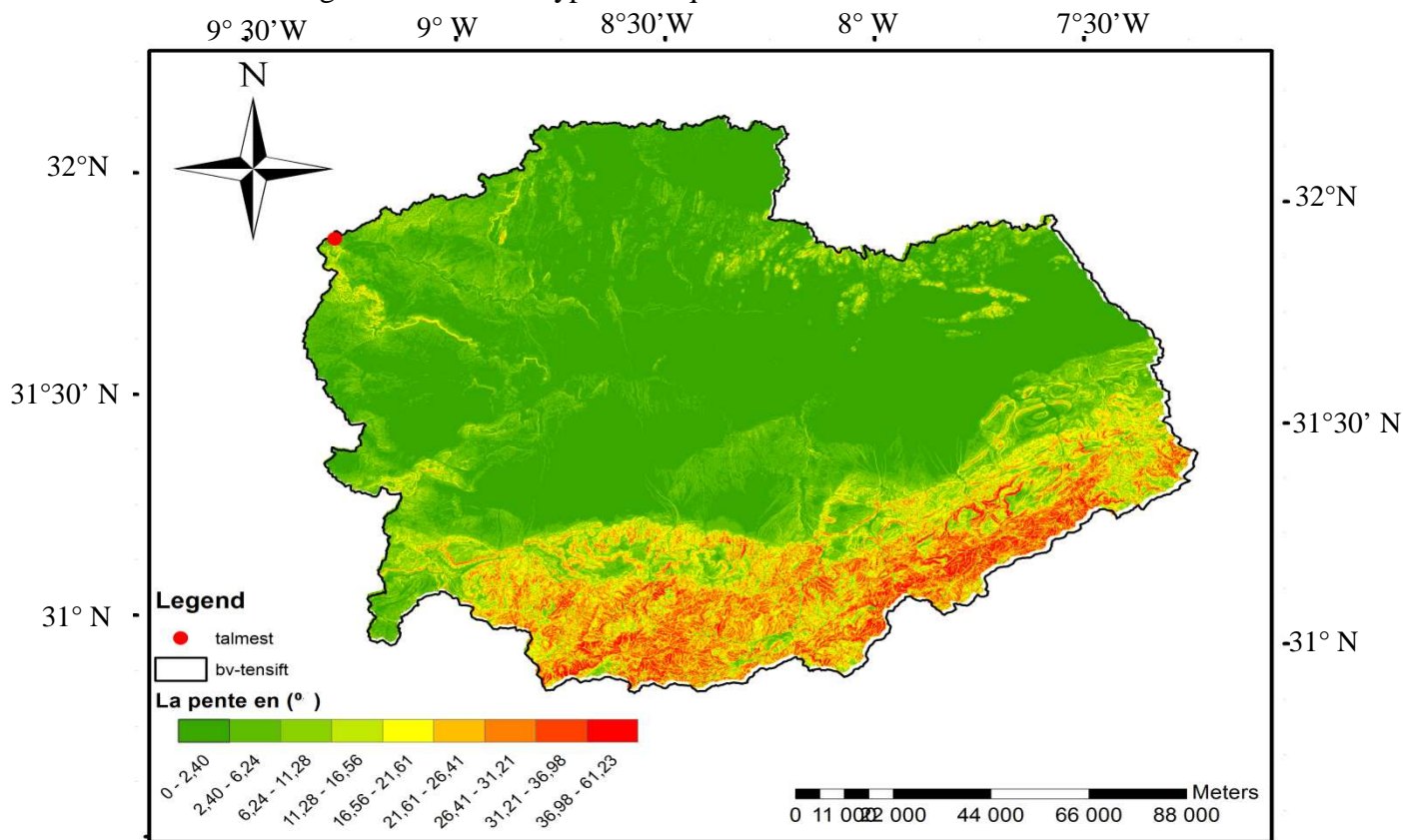


Figure.9 : La carte des pentes du bassin versant de Talkest

II.2.2- Géologie générale et lithologie

La géologie du bassin versant de l'oued Tensift est caractérisée par une lithologie très diversifiée (S. Riad, 2003) : (fig.10)

- **Le Haut Atlas :**

Les affleurements lithologiques sont dominés par les faciès suivants des roches éruptives et métamorphiques précambriennes notamment les granites, diorites, dolérites, andésites et rhyolites, des schistes primaires, des formations secondaires fortement colorées en rouge et largement dominées par des calcaires, des grès, des marnes et des argiles.

- **Les Jbilet et Mouissates :**

Les schistes sont largement répandus dans les Jbilet avec des faciès et de couleurs très variés. On y distingue des schistes sombres souvent lités, des schistes argileux et des schistes gréseux avec des bancs épais de grès ou de quartzites. Par ailleurs, d'autres formations moins étendues peuvent être distinguées notamment des conglomérats, des affleurements calcaires et siliceux, des roches éruptives comme les granites et les gabbros du Précambrien.

- **Le plateau de Mouissates :**

Il est dominé dans une large mesure par des roches carbonatées du Jurassique.

- **Le bassin d'Essaouira-Chichaoua :**

Seul le secteur nord de cet ensemble géomorphologique fait partie du bassin versant du Tensift. Il s'agit d'un large plateau légèrement relevé au Sud et au Nord. Les affleurements rocheux sont dominés par des calcaires jurassiques et crétacés, des couches phosphatées marneuses et marnocalcaires du Tertiaire et enfin un Quaternaire localement enclavé dans les cuvettes synclinales ou bordant le lit actuel de l'oued Tensift sous forme de terrasses caillouteuses ou sablo-limoneuses.

- **La plaine de Haouz :**

Elle est caractérisée par une topographie plane et monotone s'étendant sur une largeur de 150 km d'Est en Ouest. Le socle primaire schisteux est recouvert par des formations secondaires et tertiaires variées, notamment des grès rouges du Permo-Trias ainsi que des calcaires, marnes et grès du Crétacé et de l'Eocène. Le remplissage quaternaire est assuré par des épandages alluviaux caillouteux, limoneux ou sableux, dont les plus anciens sont surmontés d'une carapace calcaire.

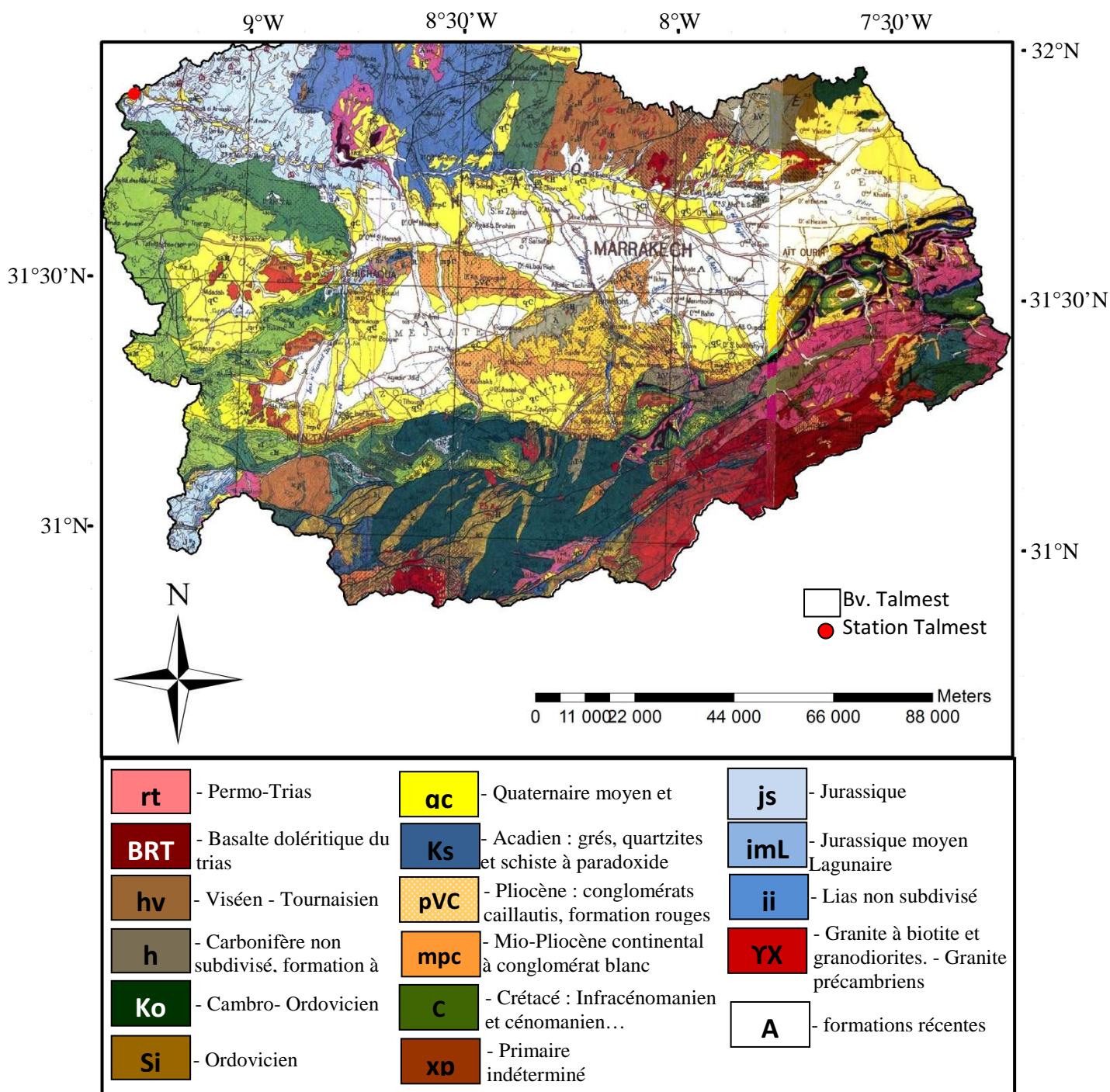


Figure.10 : La carte géologique du bassin versant de Talmest (Extraite de la carte géologique de Marrakech 500000è)

II.2.3- Le réseau hydrographique

Le bassin du Tensift s'alimente essentiellement dans le domaine atlasique. Le réseau hydrographique du bassin comporte principalement l'Oued Tensift, qui s'écoule d'Est en Ouest de sa source, à l'embouchure dans l'Océan Atlantique. Cet oued draine, par ses affluents rive gauche, les trois quarts du massif ancien du Haut Atlas. Ces affluents, installés sur un relief montagneux à structure et nature géologique hétérogène, ont des caractères torrentiels.

L'aire du bassin peut être subdivisée en deux zones :

- la zone du cours amont du Tensift et ses affluents de la rive gauche, s'étendant sur une superficie de 11 900 Km², constituent la partie hydrologique active du bassin,
- la zone du bas Tensift qui englobe le cours aval de l'oued Tensift et le bassin de l'Oued Chichaoua. Elle s'étend sur une superficie de 6600 Km².

Les principaux affluents de l'oued Tensift sont localisés dans le Haouz, essentiellement situés à la rive gauche, et prennent naissance à partir du Haut Atlas. Ceux contribuant aux écoulements de surface de Tensift sont principalement : Oued Ghdat, Oued Zat, Oued Ourika, Oued Reraya, Oued N'fis, Assif El Mal, Oued Chichaoua, Oued Tiroula et Oued Talmest(Fig.11).

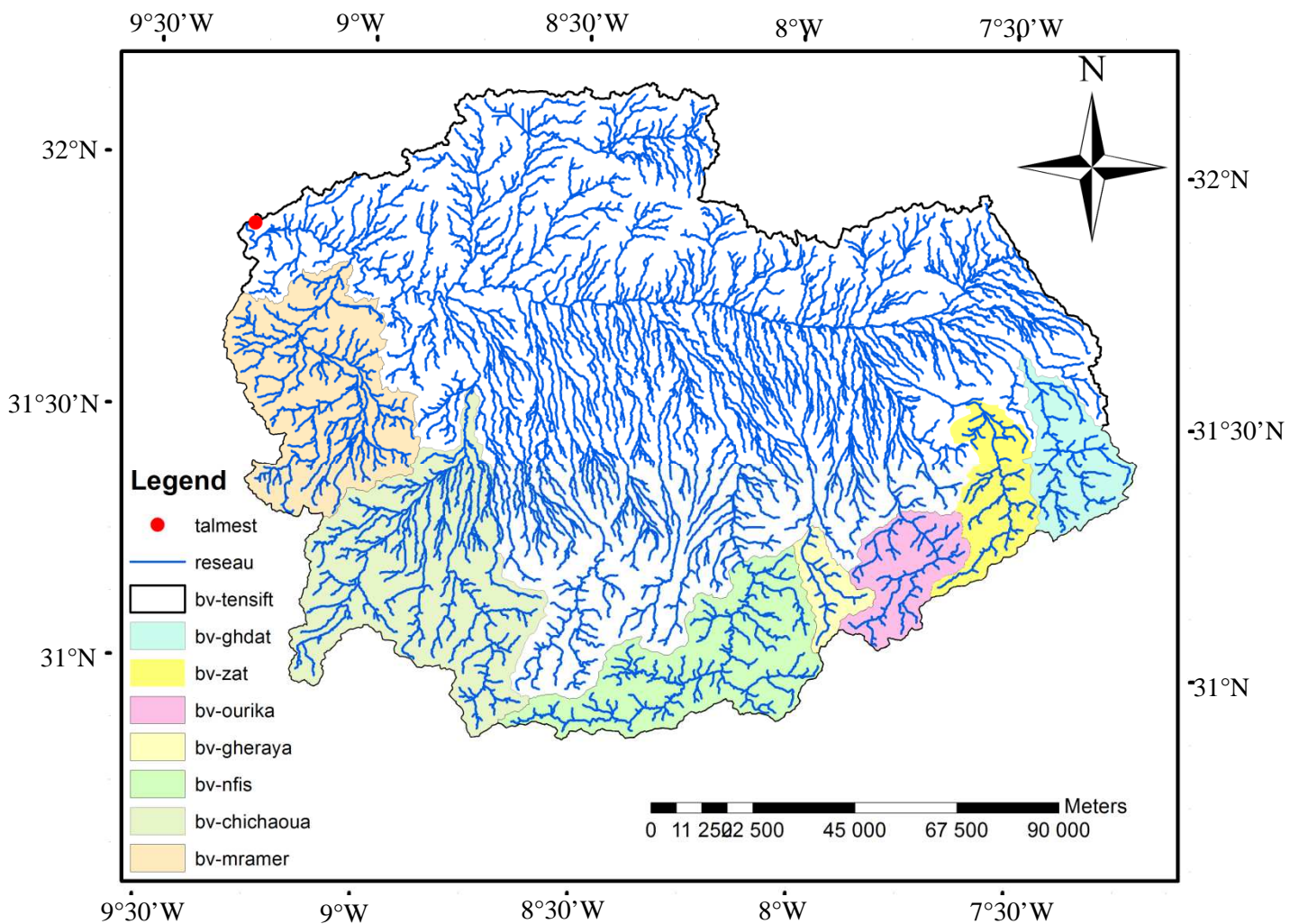


Figure.11 : La carte du réseau hydrographique du bassin versant de Tensift et sous bassins atlasiques

II.2.4- Climatologie générale

Le régime climatique du bassin versant de l'oued Tensift est caractérisé par une grande aridité dont l'intensité est conditionnée essentiellement par l'altitude et en une moindre mesure par la continentalité.

Par ailleurs, le contraste saisonnier est très bien marqué, les pluies qui sont souvent concentrées durant la période automnale et hivernale, sont irrégulières, intenses et violentes. Le reste de l'année, la sécheresse prend une ampleur considérable surtout dans les zones de plaine où les températures et l'évaporation sont élevées.

La climatologie se caractérise donc par :

- un climat semi-aride de type continental. Les amplitudes thermiques sont assez importantes entre l'hiver et l'été : 45°C comme température maximale et 5°C comme température minimale.
- une faible pluviométrie moyenne allant de 250 à 350 mm/an en plaine avec des variations interannuelles et inter-saisonnières importantes, mais une pluviométrie plus importante au-delà de 1000 m d'altitude, qui peut varier entre 300 et 700 mm.

II.2.5- La végétation

La prédominance des sols nus est bien visible sur l'ensemble du bassin. Dans les Jbilet et sur les flancs de l'Atlas les sols superficiels où les roches affleurantes dominent. En absence du couvert végétal, les épisodes pluvieux violents sont responsables du ravinement important. Sur le piémont de l'Atlas et les pentes douces au sud des Jbilet une végétation éparse apparaît au printemps et disparaît rapidement sous l'effet de l'aridité. (H. Haddani, 2012)

La forêt est peu répandue, présente principalement sur les piémonts. Elle est constituée de résineux, de quelques feuillus et de genévrier thurifère en altitude. Au fond des vallées encaissées de l'Atlas les terres sont cultivées. (H. Haddani, 2012)

Chapitre II : Les précipitations sur les bassins versants Abadla et Talmest

I- Analyse des régimes pluviométriques

I.1- Précipitations moyennes mensuelles

A la station d'Abadla, la représentation graphique des variations des moyennes mensuelles interannuelles des précipitations, durant la période 1970/71-2010/2011, montre une variation irrégulière. Les fortes valeurs sont enregistrées au niveau des mois novembre à mars, c-à-d les mois les plus pluvieux, 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 14.62 mm. (fig.12)

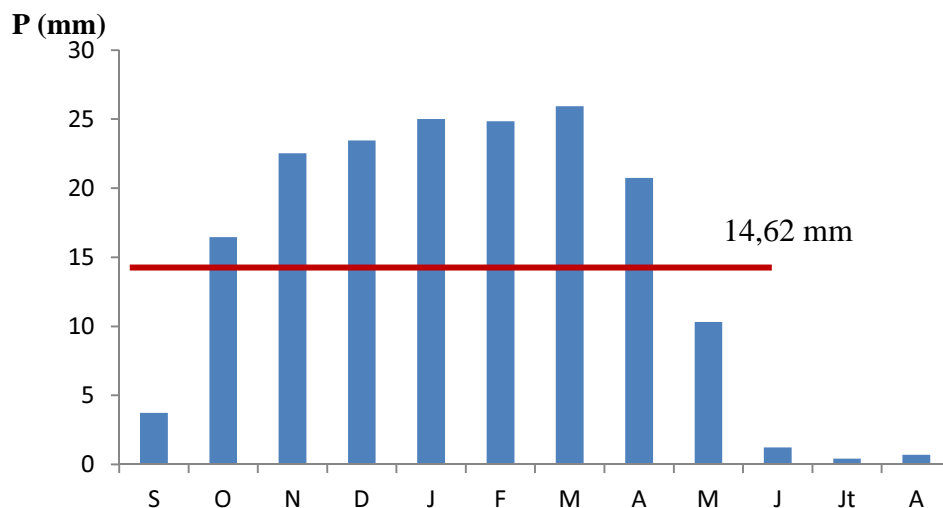


Figure.12 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles du bassin versant de l'oued Tensift à la station d'Abadla (1970/71-2010/2011)

La figure montre la variation mensuelle des précipitations à la station de Talmest avec une moyenne de 23.50 mm. (fig.13)

L'évolution des précipitations mensuelles montre un maximum en décembre et en janvier et un minimum en juillet et août, ce qui fait que le régime est pluvial.

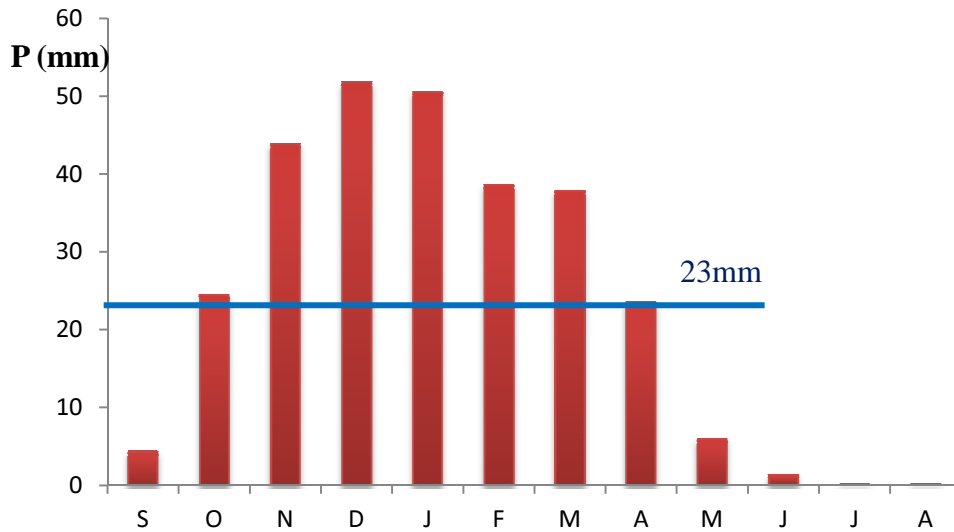


Figure.13 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles du bassin versant de l’oued Tensift à la station de Talmest (1984/85-2010/11)

Le tableau 1 suivant représente les données disponibles des pluies mensuelles interannuelles au niveau de l’exutoire du bassin versant dans les deux stations Abadla et Talmest :

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Station d’Abadla	3,06	14,91	26,80	21,26	25,50	26,29	27,62	18,46	9,03	1,49	0,32	0,79
Station de Talmest	3,23	24,87	45,41	57,49	53,87	41,67	38,52	23,01	6,39	1,22	0,09	0,07

Tableau.1 : Les pluies mensuelles interannuelles sur les deux stations (1984/85-2010/11)

D’après la figure 14, les précipitations mensuelles du bassin de Tensift au niveau de Talmest sont les plus importantes, suivies par celles au niveau d’Abadla. Ceci est du au climat dominant au niveau de chaque station, un climat méditerranéen océanique au niveau de Talmest, un climat méditerranéen aride au niveau d’Abadla.

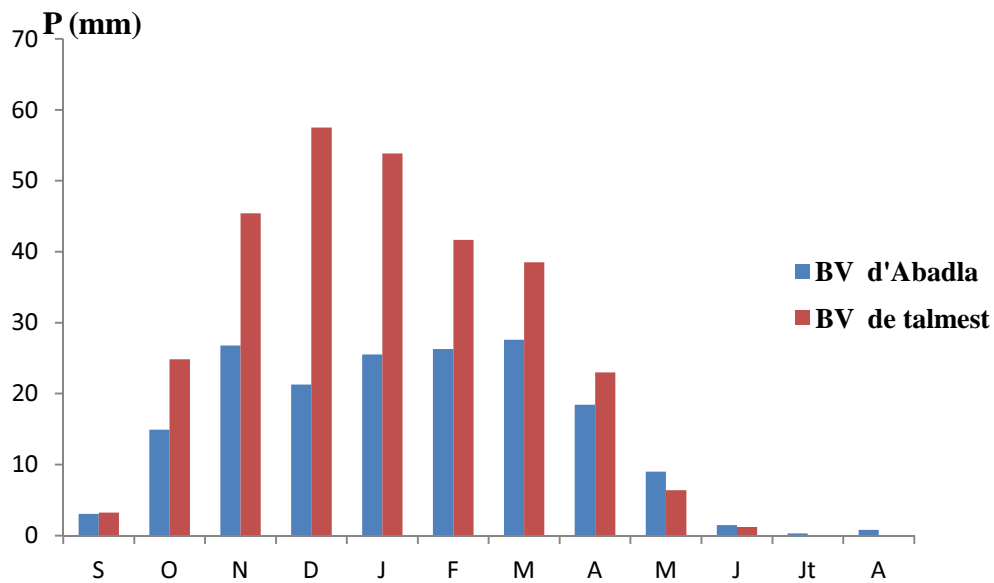


Figure.14: Les pluies mensuelles pour les bassins étudiés (1984/85-2010/11)

I.2- Précipitations moyennes annuelles

L'analyse de l'évolution des précipitations à la station d'Abadla, durant la période 1970/71-2010/11, montre que l'année 1970-1971 est la plus arrosée avec un valeur de 329 mm et l'année 2000-2001 est la plus sèche avec un valeur de 60 mm. Notons que la précipitation moyenne interannuelle s'évalue à 175 mm (fig. 15).

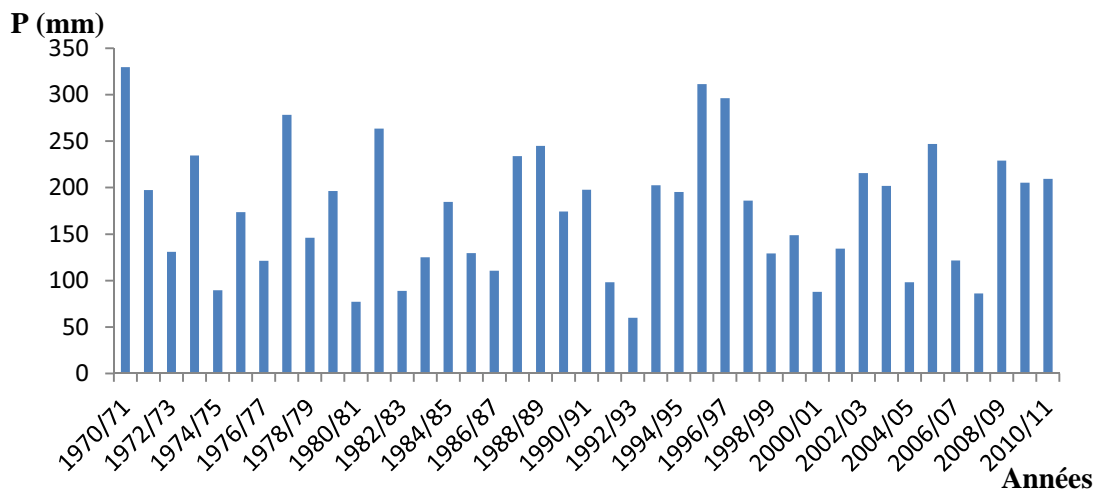


Figure.15 : Précipitations moyennes annuelles à la station d'Abadla
(1970/71-2010/11)

La figure 16 montre que les précipitations varient d'une année à l'autre autour d'une moyenne interannuelle de l'ordre 286 mm. Pour la série d'années dépouillée de 1984/85 jusqu'à 2010/11, on trouve des années pluvieuses dont la hauteur dépasse largement la moyenne à savoir les années 87/88, 89/90, 95/96, 96/97, 08/09 et 10/11, et d'autres de pluviosité très faible, telle 86/87. Les précipitations montrent donc une irrégularité remarquable avec un maximum de 604 mm et un minimum de 101,4 mm.

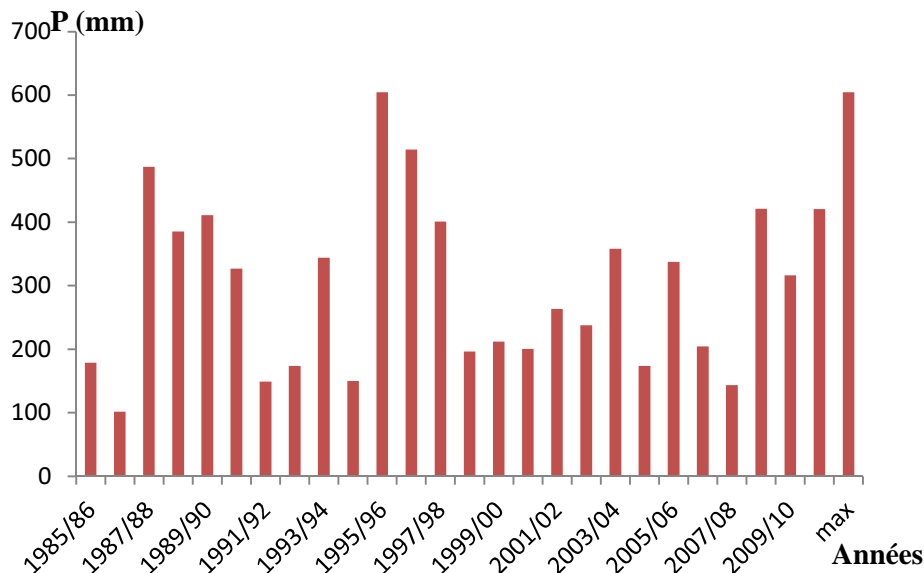


Figure.16: Précipitations moyennes annuelles à la station de Talmest
(1984/85-2010/11)

II- Distributions et analyse statistique des précipitations

L'analyse fréquentielle repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ce modèle décrit la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

L'objectif est de faire une analyse fréquentielle sur une longue série de précipitations maximales journalières enregistrées au niveau des stations Abadla et Talmest, en essayant d'ajuster à cette série pour chaque station une loi de probabilité théorique. Cette analyse permettra d'estimer le temps de retour d'un événement comme les précipitations.

Les lois statistiques appliquées dans cette étude sont : loi de Gamma, lois Normal et Log.Normal, loi de Gumbel, loi de Cauchy, loi de Weibul, loi exponentielle et loi Logistique.

Ce présent travail sera réalisé par le logiciel R, qui sert à manipuler des données, à tracer des graphiques et à faire des analyses statistiques sur ces données.

Le logiciel R est un logiciel dans lequel de nombreuses techniques statistiques modernes et classiques ont été implémentées. Les méthodes les plus courantes permettant de réaliser une analyse statistique telles que : statistique descriptive, tests d'hypothèses, analyse de la variance... etc. (http://www.biostatisticien.eu/springeR/livreR_presentation.pdf)

Ce logiciel nous a permis d'ajuster plusieurs distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité, pour choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile d'une période de retour donnée.

II.1- L'Oued Tensift à la station d'Abadla

Notre étude porte sur l'ajustement des précipitations maximales journalières du bassin versant de l'Oued Tensift à la station d'Abadla, sur une période d'observation de 40 ans (1970/71 - 2010/2011).

II.1.1- Analyse des graphes

La figure 17 montre des graphiques qui présentent les probabilités empiriques et théoriques des distributions des lois statistiques.

Visuellement on remarque que les lois Log Normal et Gambel présentent les meilleurs ajustements de la variable précipitation maximale journalière.

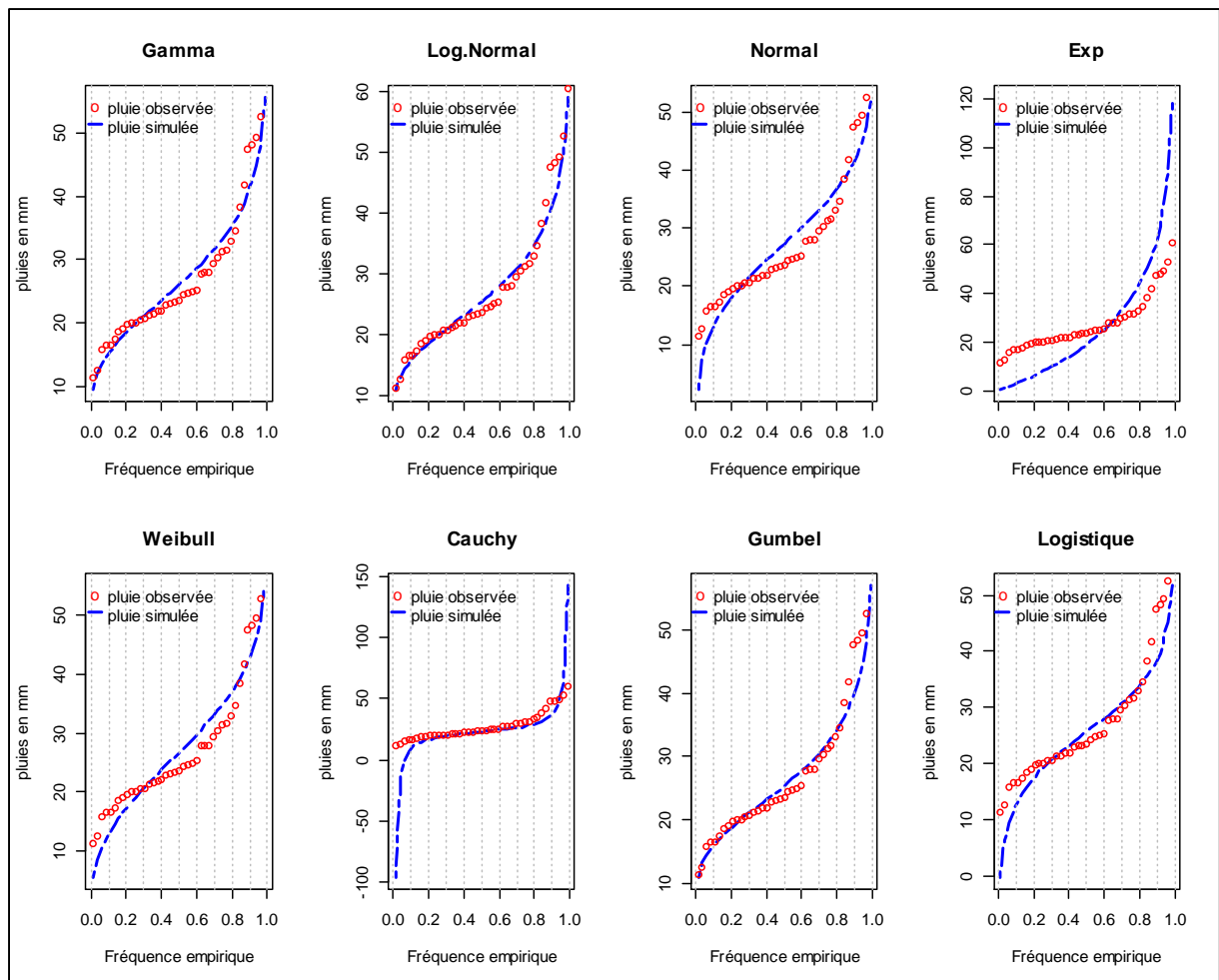


Figure.17 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon les lois statistiques, à la station d'Abadla.

II.1.2- Analyse des critères statistiques

Les tableaux 2, 3 et 4 suivants montrent les valeurs observées des critères d'information bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC). Ces critères permettent de comparer le degré d'ajustement. Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs de ces critères statistiques.

Lois statistiques	Précipitation estimée (mm)	AIC	BIC
Normal	45.6	318	321.4
Log.Normal	47	305	308.4
Cauchy	51.8	316.8	320.2
Gamma	46.2	307.7	311.1
Weibull	47.2	314.6	318.1
Logistique	43	315.5	318.9
Gumbel	45.6	305.2	308.6
Exponentielle	81.8	355.2	356.9

Tableau.2 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 20 ans

Lois statistiques	Précipitation estimée (mm)	AIC	BIC
Normal	50.2	318	321.4
Log.Normal	54.7	305	308.4
Cauchy	95.6	316.8	320.2
Gamma	52.4	307.7	311.1
Weibull	52.4	314.6	318.1
Logistique	48.6	315.5	318.9
Gumbel	52.9	305.2	308.6
Exponentielle	106.9	355.2	356.9

Tableau.3 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 50 ans

Lois statistiques	Précipitation estimée (mm)	AIC	BIC
Normal	53.2	318	321.4
Log.Normal	60.6	305	308.4
Cauchy	168.4	316.8	320.2
Gamma	56.8	307.7	311.1
Weibull	55.8	314.6	318.1
Logistique	52.8	315.5	318.9
Gumbel	58.4	305.2	308.6
Exponentielle	125.8	355.2	356.9

Tableau.4 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 100 ans

Les résultats d'ajustement visuel sont identiques à ceux d'ajustement numérique, dont la loi Log Normal est la loi la mieux adaptée pour l'estimation des précipitations maximales journalières, suivit par la loi de Gumbel. Elles permettent de faire une estimation pour les périodes de retour les plus élevées.

Le tableau 5 suivant résume Les estimations des précipitations maximales journalières annuelles calculées pour les différentes périodes de retour selon les lois Log.Normal et Gumbel.

Période de retour		2	5	10	20	50	100
Hauteur des précipitations estimées	Log Normal	25.4	34.8	41	47	54.7	60.6
	Gumbel	25.4	34.2	40	45.6	52.9	58.4

Tableau.5 : Estimation des précipitations maximales journalières annuelles selon les lois Log Normal et Gumbel

II.1.3- Conclusion

La comparaison graphique et les critères statistiques d'ajustement obtenus nous permet de conclure que les lois les mieux adaptées pour l'estimation des précipitations maximales journalières sont la loi Log Normal et Gumbel.

II.2- L'oued Tensift à la station de Talmest

A la station de Talmest, l'ajustement des précipitations maximales journalières se fait sur une période d'observation de 26 ans (1984/85 - 2009/2010).

II.2.1- Analyse des graphes

Selon la méthode Visuelle, on remarque que les meilleurs ajustements de la variable précipitation maximale journalières son présentés par les lois Normal et Weibull. (fig.18)

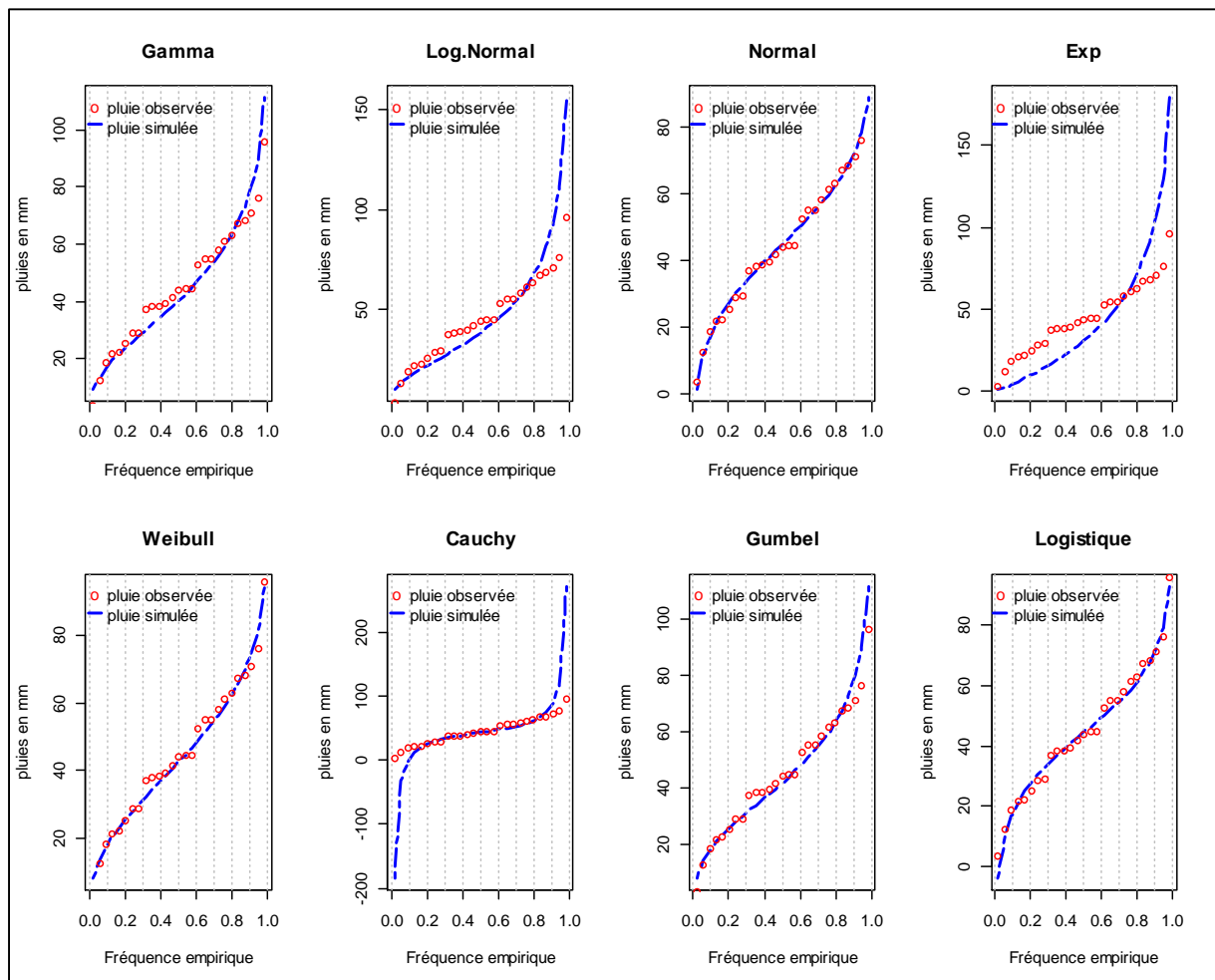


Figure.18: Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon les lois statistiques, à la station de Talmest.

II.2.2- Analyse des critères statistiques

De même, pour vérifier les résultats graphiques, en se basant sur les critères statistiques numériques AIC et BIC. Ces critères sont résumés dans les tableaux 6, 7 et 8 suivants :

Lois statistiques	Précipitation estimée (mm)	AIC	BIC
Normal	79.4	245.1	247.7
Log.Normal	115.8	256	258.6
Cauchy	127.2	256.2	258.8
Gamma	92.3	248.4	251.
Weibull	82.9	245.2	247.7
Logistique	80.3	246.1	248.6
Gumbel	91.9	246.7	249.3
Exponentielle	134.3	261.3	262.6

Tableau.6 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 20 ans

Lois statistiques	Précipitation estimée (mm)	AIC	BIC
Normal	88.1	245.1	247.7
Log.Normal	152.7	256	258.6
Cauchy	254.4	256.2	258.8
Gamma	109.7	248.4	251
Weibull	93.6	245.2	247.7
Logistique	91.9	246.1	248.6
Gumbel	109.9	246.7	249.3
Exponentielle	175.4	261.3	262.6

Tableau.7 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 50 ans

Lois statistiques	Précipitation estimée (mm)	AIC	BIC
Normal	93.8	245.186	247.778
Log.Normal	183.6	256	258.6
Cauchy	465.9	256.2	258.8
Gamma	122.3	248.4	251
Weibull	100.8	245.2	247.7
Logistique	100.5	246.1	248.6
Gumbel	123.4	246.7	249.3
Exponentielle	206.5	261.3	262.6

Tableau.8 : Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 100 ans

D'après les résultats présentés aux tableaux 6, 7 et 8, on remarque que les valeurs les plus faibles présentées par les critères statistiques correspondent aux lois Normal et Weibull, ce qui confirme les résultats graphiques.

Les estimations des précipitations maximales journalières annuelles calculées pour les différentes périodes de retour selon les lois Normal et Weibull sont présentées dans le tableau 9 :

Période de retour		2	5	10	20	50	100
Hauteur des précipitations estimées	Normal	44.8	62.5	71.8	79.4	88.1	93.8
	Weibull	42.6	62.5	73.5	82.9	93.6	100.8

Tableau.9 : Estimation des précipitations maximales journalières annuelles selon les lois Normal et Weibull

II.2.3- Conclusion

Selon les résultats précédemment, les meilleurs ajustements correspondent à la loi Normal suivit par la loi Weibull.

Chapitre III : Hydrologie générale et régime d'écoulements

Les données hydrologiques ont fait l'objet d'une étude statistique afin d'étudier la variabilité spatiale et temporelle des débits qui permet de caractériser les régimes d'écoulements au sein des bassins versants des deux stations. On s'est basé sur l'analyse de séries de données débitométriques enregistrées au niveau de deux stations Talmest et Abadla.

I- Débits moyens mensuels interannuels

I.1- Oued Tensift à la station d'Abadla

L'étude des débits moyens mensuels dans le bassin versant de Tensift à la station d'Abadla se fait durant la période 1968/69-2012/13.

Les débits progressent en parallèle avec la survenance des premières précipitations modérées d'octobre à décembre. Dès le mois de janvier, les précipitations sur tout le bassin deviennent de plus en plus importantes pour atteindre leur maximum en mois de mars et elles ruissellent de l'amont vers l'aval et par la suite gonfler les débits des oueds. Ces derniers atteignent leur maximum entre le mois de mars et avril avec des débits respectivement de 9,60 m³/s et 11,93 m³/s, puis un débit minimum aux mois juillet et août de 0,04 m³/s. (fig.19)

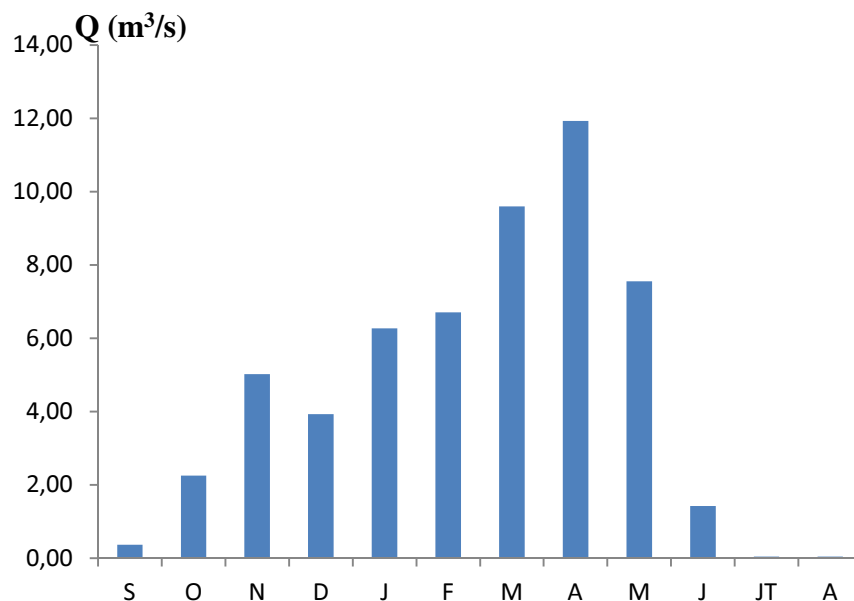


Figure.19 : Régime de débits moyens mensuels de la station d'Abadla (1968/69-2012/13)

I.2- Oued Tensift à la station de Talmest

Les débits moyens mensuels interannuels enregistrés à la station de Talmest pour la période 1984/85-2009/10 montrent des débits maximaux en mars et avril respectivement de 10,86 m³/s et 12,84 m³/s, les débits minimums sont observés en septembre de 0,50 m³/s, en juillet de 0,07 m³/s et en août de 0,12 m³/s. (fig.20)

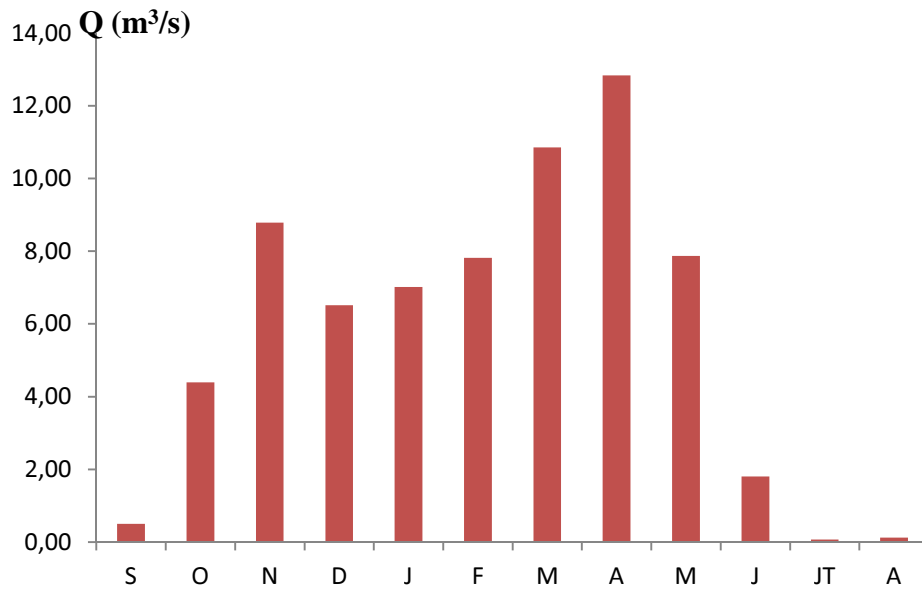


Figure.20 : Régime des débits moyens mensuels de la station de Talmest (1984/85-2009/10)

II- Débits moyens annuels et interannuels

L'analyse des débits moyens annuels et interannuels montre une irrégularité très nette dans l'ensemble des stations étudiées.

II.1- Oued Tensift à la station d'Abadla

Les débits moyens annuels et interannuels à la station d'Abadla sont importants en 1970/71 d'ordre 25.17 m³/s et nuls en 1992/93 (0.00 m³/s) avec une moyenne de 4.63 m³/s. (fig.21)

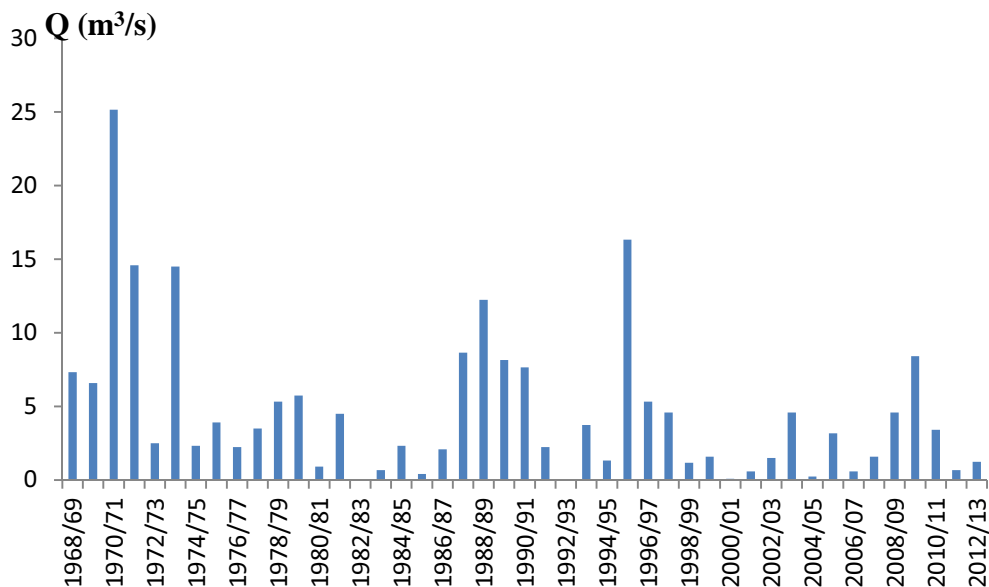


Figure.21 : Régime des débits moyens annuels et interannuels de la station d'Abadla (1968/69-2012/13)

II.2- Oued Tensift à la station de Talmest

L'analyse de régime hydrologique de l'oued Tensift à la station de Talmest montre une irrégularité interannuelle très marquée. Les lames d'eau écoulées varient énormément d'une année à une autre avec un minimum de $0.093 \text{ m}^3/\text{s}$ en 2004/2005 et un maximum de $27.47 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1970/71, avec une moyenne de $5.71 \text{ m}^3/\text{s}$. (fig.22)

La période de 1982 à 1986 montre des faibles débits influencés par la sécheresse généralisée sur tout le Maroc.

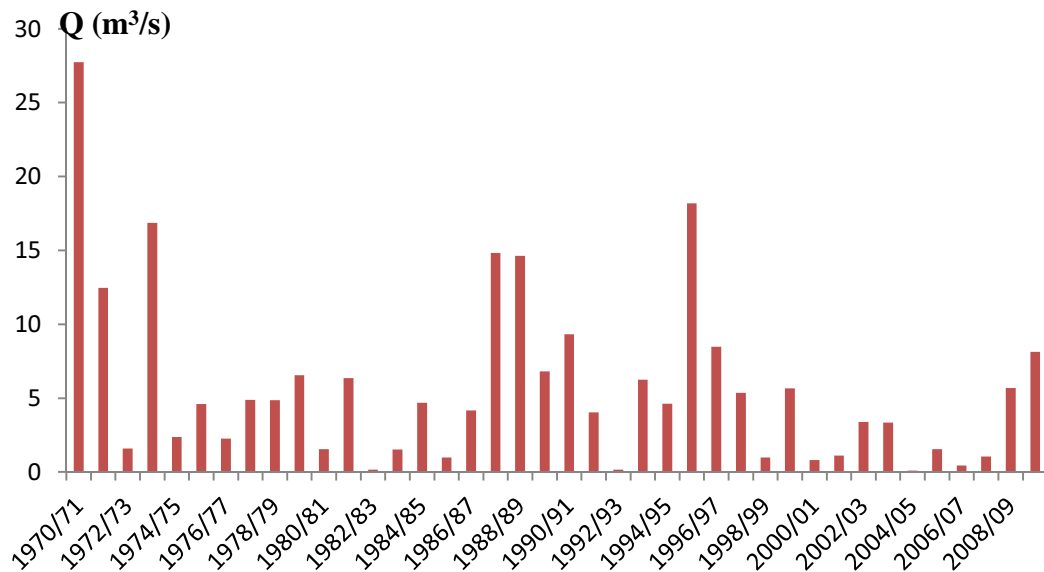


Figure.22 : Régime des débits moyens annuels et interannuels de la station de Talmest (1970/71-2009/10)

Conclusion

D'après les résultats précédents, le régime d'écoulement de Tensift est irrégulier. Il est fonction de la variabilité pluviométrique dans le bassin.

Chapitre IV : Bilans hydrologiques et relation entre les pluies et les débits

I- Station d'Abadla

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Pluies (mm)	3,73	16,46	22,53	23,45	25,01	24,84	25,95	20,75	10,32	1,23	0,42	0,69
Q (m ³ /s)	0,40	2,33	5,15	3,98	5,60	7,05	10,35	12,73	7,58	1,50	0,05	0,05

Tableau.10: les pluies et les débits moyens mensuels interannuels d'oued Tensift à la station d'Abadla (1970/71-2009/10).

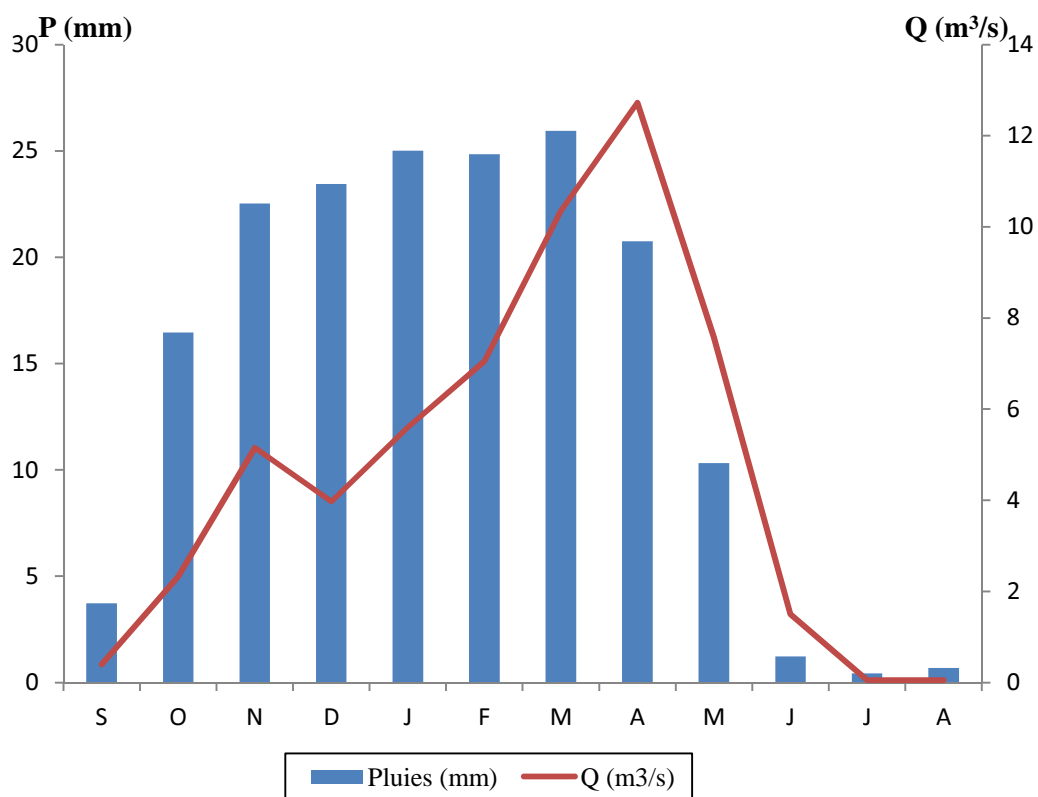


Figure.23 : La relation entre les régimes de débits et de pluies à la station d'Abadla (1970/71-2009/10)

La courbe des débits suit l'évolution de celle des pluies pendant l'automne et l'hiver, avec un décalage entre les précipitations et les écoulements mensuels visible lors du printemps. Le maximum pluviométrique de mars ne se transforme en maximum hydrologique qu'au mois d'avril, à cause de la partie neigeuse qui prend du temps pour fondre. (fig.23)

II- Station de Talmest

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Pluies (mm)	4,3	24,4	43,8	51,8	50,5	38,6	37,8	23,5	5,9	1,3	0,1	0,1
Q (m ³ /s)	0,5	4,39	8,79	6,51	7,02	7,82	10,86	12,84	7,87	1,8	0,07	0,12

Tableau.11 : les pluies et les débits moyens mensuels interannuels d'oued Tensift à la station de Talmest (1970/71-2009/10).

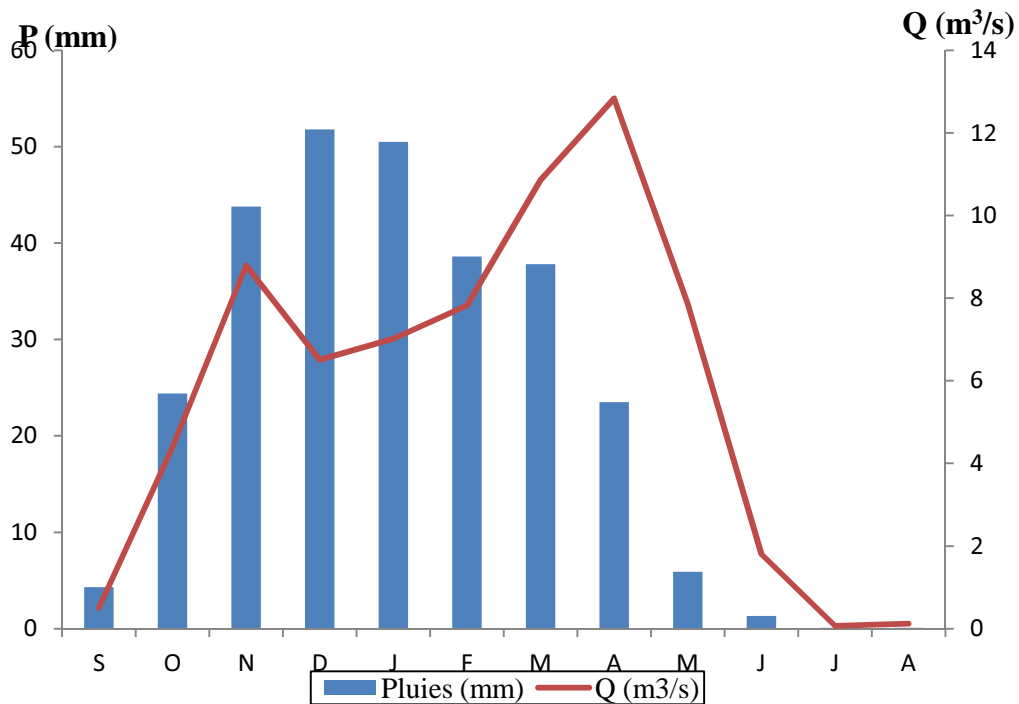


Figure.24 : La relation entre les régimes de débits et de pluies à la station de Talmest (1970/71-2009/10)

On remarque que la courbe des débits n'est pas complètement calquée sur celle des pluies et il y a un déphasage entre les deux courbes, le maximum pluviométrique est en décembre alors que le maximum hydrologique parvient 4 mois plus tard en avril, ce décalage de 4 mois confirme que les précipitations et les débits ne sont pas étroitement liés, et l'écoulement proviendrait donc pas seulement de la précipitation liquide, mais aussi de la fonte de neige au printemps, ce qui renforce l'écoulement dans cette saison. (fig.24)

Conclusion

Les régimes hydrologiques des bassins versants étudiés au niveau du deux station Talmest et Abadla ne sont donc pas exclusivement liés aux pluies mais aussi à des chutes nivales dans leurs parties amont. Celles-ci régularisent les débits des cours d'eau en renforçant les écoulements printaniers.

Chapitre V : Etude dynamique des crues et analyse des hydrogrammes

La crue est une augmentation du débit ou de la hauteur d'eau en écoulement d'un cours d'eau, pouvant provoquer un débordement de son lit mineur et par conséquent une inondation des zones plus ou moins éloignées des rives, définissant une zone inondable.

Dans cette partie, nous allons analyser les épisodes de crue en se basant sur l'analyse des hydrogrammes. L'hydrogramme est une représentation graphique de la variation temporelle du débit d'écoulement d'eau mesurée. Il donne une information fondamentale pour établir les projets d'assainissement et de rétention d'eau (réservoirs, bassins d'écrêtement de crue).

I- Analyse des hydrogrammes des crues

Nous choisirons, durant la période 1970 – 2010, cinq crues importantes en ce qui concerne le débit de pointe et qui soient représentatives pour les deux stations étudiées.

I.1- Le bassin versant de Tensift à la station d'Abadla

I.1.1- La crue du 12 février et 3 novembre 1987

La figure 25 représente l'hydrogramme de la crue de 12/02/1987. C'est une crue simple avec un seul pic (une seule montée et une seule décrue).

Le temps de base était de 151 heures mais le temps de montée n'était que de 24 heures. Les caractéristiques de cette crue montrent sa gravité, surtout que le débit de pointe de $712 \text{ m}^3/\text{s}$, a été rapidement atteint (24 h). (Tab.12)

La crue du 03/11/1987 (fig. 26) c'est une crue d'hiver. Cette crue a enregistré le débit de pointe le plus élevé qu'a connu ce bassin (avant l'événement de Novembre 2014) qui est de $1023 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tab.13). Elle a connu une montée rapide des eaux de 14,5 heures et un temps de base de 168 heures. Son hydrogramme est alors aigu et pointu caractérisant les crues brèves.

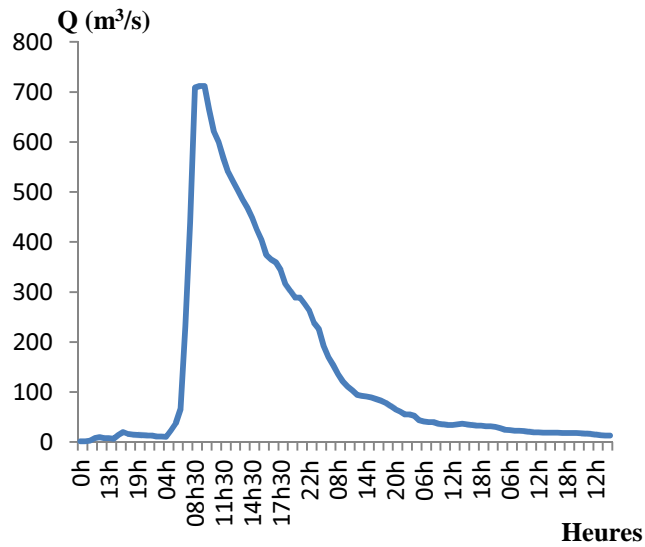


Figure.25 : Hydrogramme de la crue du 12/02/1987 à Abadla

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	11/02/1987 à 9h
date fin	17/02/1987 à 16h
débit de pointe (m ³ /s)	712
débit max. moyen (m ³ /s)	73,462
débit base avant (m ³ /s)	2,44
débit base après (m ³ /s)	10,5
volume 10 ⁶ m ³	39,934
temps de base (heures)	151
temps de montée (heures)	24
coefficient de pointe	9,7

Tableau.12 : Caractéristique de la crue du 12/02/1987 à Abadla

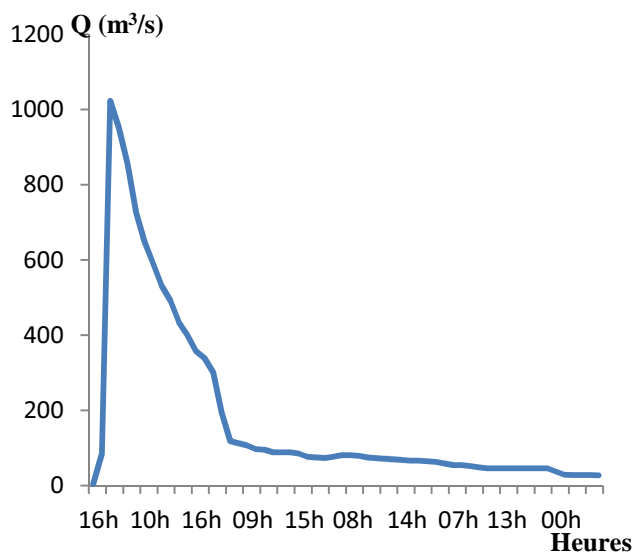


Figure.26 : Hydrogramme de la crue du 03/11/1987 à Abadla

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	02/11/1987 à 16h
date fin	09/11/1987 à 16h
débit de pointe (m ³ /s)	1023
débit max. moyen (m ³ /s)	124,737
débit base avant (m ³ /s)	3,87
débit base après (m ³ /s)	20,8
volume 10 ⁶ m ³	754,407
temps de base (heures)	168
temps de montée (heures)	14,5
coefficient de pointe	8,2

Tableau.13 : Caractéristique de la crue du 03/11/1987 à Abadla

I.1.2- La crue du 10 novembre 1988

A partir de l'hydrogramme représenté sur la figure, la crue du 10/11/1988 est simple. Son temps de base est de 144 heures et le temps de montée de 19 heures avec un débit de pointe de 810 m³/s. Les arrivées successives des eaux de ce bassin donnent un hydrogramme plus étalé. (fig.27) (Tab.14)

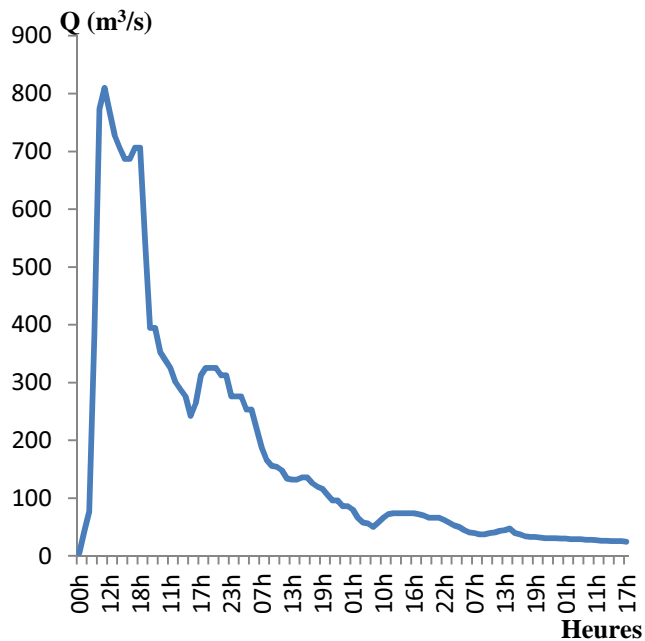


Figure.27 : Hydrogramme de la crue du 10/11/1988 à Abadla

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	09/11/1988 à 16h
date fin	15/11/1988 à 17h
débit de pointe (m ³ /s)	810
débit max. moyen (m ³ /s)	171,454
débit base avant (m ³ /s)	0,39
débit base après (m ³ /s)	24,7
volume 10 ⁶ m ³	88,882
temps de base (heures)	144
temps de montée (heures)	19
coefficient de pointe	4,7

Tableau.14 : Caractéristique de la crue du 10/11/1988 à Abadla

I.1.3- La crue du 29 octobre 1999

L'hydrogramme prend la même forme d'une crue simple monogénique avec une forte pointe de crue de 724 m³/s. Les temps de base et de montée étaient assez courts avec des valeurs successives 80 heures et 4 heures. Ce genre de crue de courte durée et de fort débit de pointe constitue un risque majeur pour les dégâts occasionnés. (fig.28) (Tab.15)

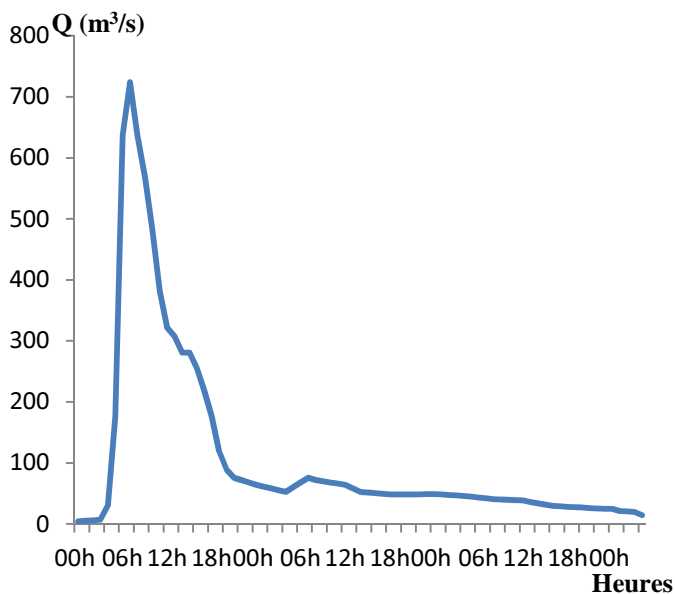


Figure.28 : Hydrogramme de la crue du 29/10/1999 à Abadla

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	29/10/1999 à 3h
date fin	1/11/1999 à 12h
débit de pointe (m ³ /s)	724
débit max. moyen (m ³ /s)	94,587
débit base avant (m ³ /s)	7
débit base après (m ³ /s)	14,2
volume 10 ⁶ m ³	27,241
temps de base (heures)	80
temps de montée (heures)	4
coefficient de pointe	7,7

Tableau.15 : Caractéristique de la crue du 29/10/1999 à Abadla

I.2- Le bassin versant de Tensift à la station de Talmest

I.2.1- La crue du 19 Octobre 1979

C'est une crue d'hiver, le temps de base était de 111 heures et le débit de pointe fût de l'ordre de $729 \text{ m}^3/\text{s}$. Il a été atteint après un temps de montée de 55 heures. Ce débit de pointe représente à peu près six fois le débit moyen de la crue. (fig.29) (Tab.16)

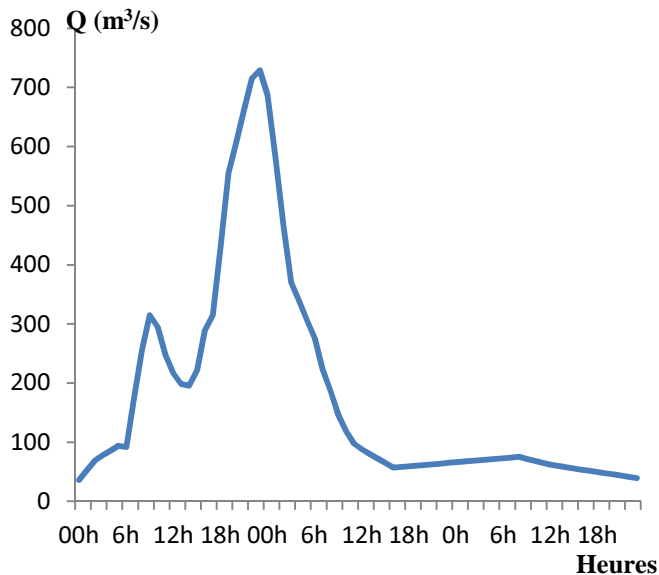


Figure.29 : Hydrogramme de la crue du 20/10/1979 à Talmest

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	18/10/1979 à 16h
date fin	23/10/1979 à 8h
débit de pointe (m^3/s)	729
débit max. moyen (m^3/s)	117,614
débit base avant (m^3/s)	6,83
débit base après (m^3/s)	21,27
volume 10^6 m^3	46,999
temps de base (heures)	111
temps de montée (heures)	55
coefficient de pointe	6,2

Tableau.16 : Caractéristique de la crue du 20/10/1979 à Talmest

I.2.2- La crue du 09 mai 1982

L'hydrogramme de la crue du 09 mai 1982 (fig.30) montre un temps de base de 160 heures. Le débit de pointe est de $830 \text{ m}^3/\text{s}$. Il a été atteint après un temps de montée de 30 heures (Tab.17). Cette crue a une forme aigüe et pointue, ce qui peut augmenter sa gravité. Il semble les crues en 1983 et en 1987, avec un débit de pointe de l'ordre $801 \text{ m}^3/\text{s}$, mais ils se différencient entre eux par les temps de base et de montée. (Figures 31 et 32) (Tab.18 et Tab.19)

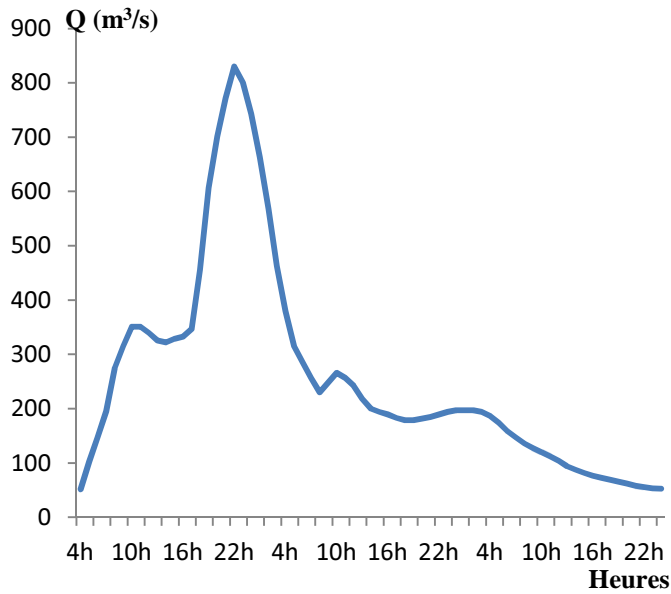


Figure.30 : Hydrogramme de la crue du 09/05/1982 à Talmest

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	08/05/1982 à 16h
date fin	15/05/1982 à 9h
débit de pointe (m ³ /s)	830
débit max. moyen (m ³ /s)	115,588
débit base avant (m ³ /s)	2,81
débit base après (m ³ /s)	24,75
volume 10 ⁶ m ³	66,579
temps de base (heures)	160
temps de montée (heures)	30
coefficient de pointe	7,2

Tableau.17 : Caractéristique de la crue du 09/05/1982 à Talmest

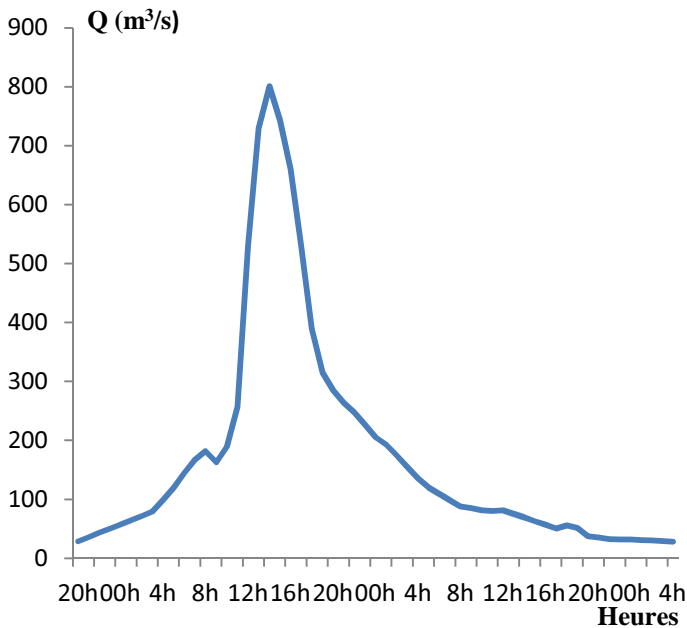


Figure.31 : Hydrogramme de la crue du 16/11/1983 à Talmest

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	15/11/1983 à 16h
date fin	18/11/1983 à 12h
débit de pointe (m ³ /s)	801
débit max. moyen (m ³ /s)	140,809
débit base avant (m ³ /s)	0
débit base après (m ³ /s)	16,5
volume 10 ⁶ m ³	33,963
temps de base (heures)	67
temps de montée (heures)	22
coefficient de pointe	5,7

Tableau.18 : Caractéristique de la crue du 16/11/1983 à Talmest

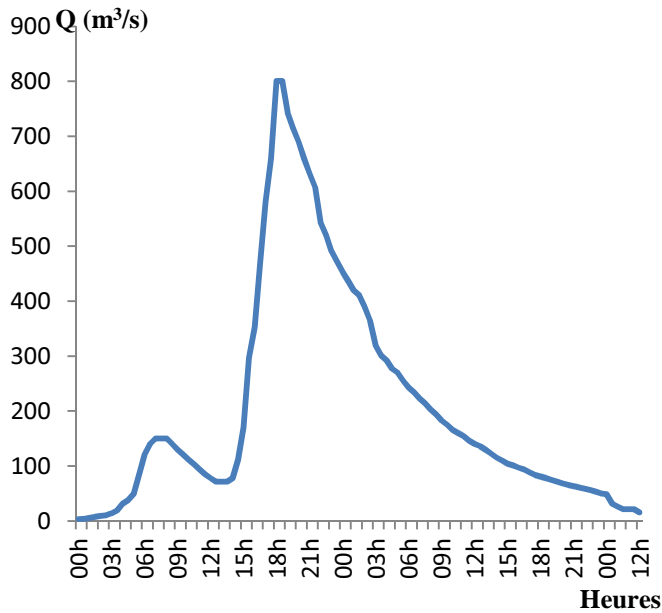


Figure.32 : Hydrogramme de la crue du 03/11/1987 à Talmest

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	02/11/1987 à 23h30
date fin	06/11/1987 à 16h
débit de pointe (m ³ /s)	801
débit max. moyen (m ³ /s)	122,914
débit base avant (m ³ /s)	2,4
débit base après (m ³ /s)	12,7
volume 10 ⁶ m ³	39,16
temps de base (heures)	88,5
temps de montée (heures)	18,5
coefficient de pointe	6,5

Tableau.19 : Caractéristique de la crue du 03/11/1987 à Talmest

I.2.3- La crue du 10 novembre 1988

Cette crue est la plus importante des années étudiées. Elle est caractérisée par un débit de pointe de 1275 m³/s et une montée des eaux qui s'est faite en 30 heures et une décrue en 192 heures, son hydrogramme est aigu et pointu. (fig.33) (Tab.20)

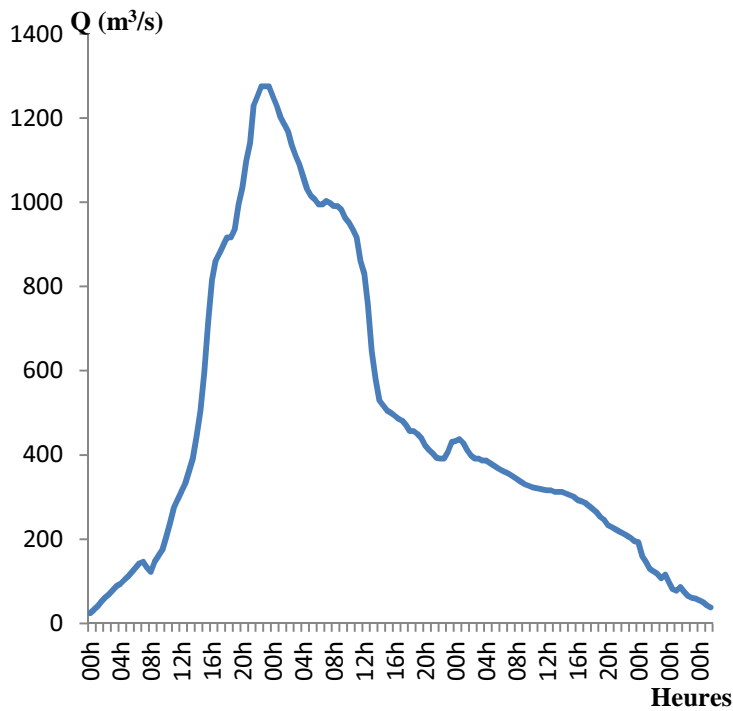


Figure.33 : Hydrogramme de la crue du 10/11/1988 à Talmest

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	09/11/1988 à 16h
date fin	17/11/1988 à 16h
débit de pointe (m ³ /s)	1275
débit max. moyen (m ³ /s)	224,815
débit base avant (m ³ /s)	19
débit base après (m ³ /s)	38
volume 10 ⁶ m ³	155,392
temps de base (heures)	192
temps de montée (heures)	30,5
coefficient de pointe	5,7

Tableau.20 : Caractéristique de la crue du 10/11/1988 à Talmest

I.2.4- La crue du 28 octobre 1999

La figure 34 montre qu'il s'agit d'une crue complexe car elle présente deux pics. Elle a duré environ huit jours, passant de 1,21 m³/s à 500 m³/s pendant 16 heures pour le premier pic. Une décrue s'en est suivie et le débit a diminué jusqu'à 250 m³/s. Un second pic a atteint et 1171 m³/s en 28 heures (Tab.21). Le deuxième pic peut être dû à l'arrivée des eaux des affluents, collectées plus tard.

Cette crue peut être considérée dangereuse car elle est caractérisée par un débit de pointe élevé et un long temps de base de l'ordre 163 heures.

La longue durée de cette crue probablement due à la grande superficie de bassin de Tensift qui nécessite plus du temps pour orienter les eaux au cours principal du son réseau hydrographique. Les eaux du bassin aval passent à l'exutoire en premier, suivies des eaux du bassin moyen et enfin de celles du bassin amont.

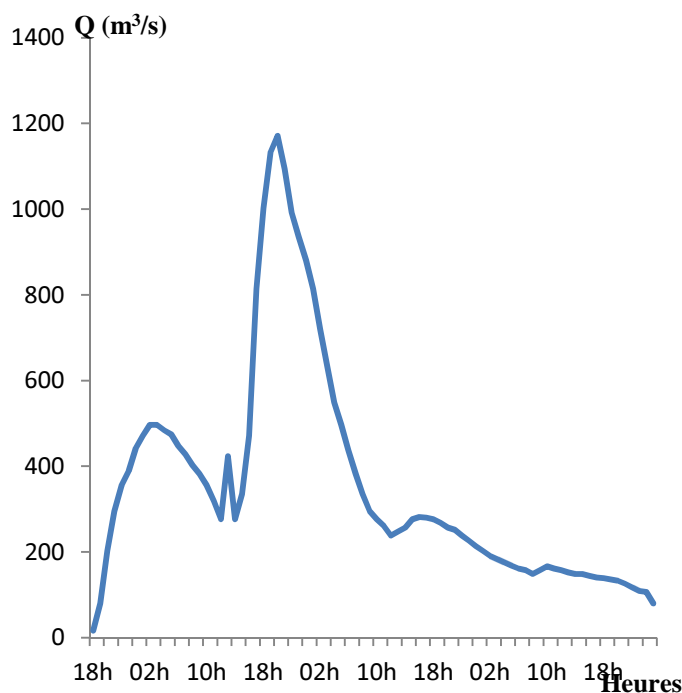


Figure.34 : Hydrogramme de la crue du 28/10/1999 à Talmest

CARACTERISTIQUES DE LA CRUE	
date début	28/10/1999 à 16h
date fin	04/11/1999 à 12h
débit de pointe (m ³ /s)	1171
débit max. moyen (m ³ /s)	197,114
débit base avant (m ³ /s)	1,21
débit base après (m ³ /s)	16,2
volume 10 ⁶ m ³	115,666
temps de base (heures)	163
temps de montée (heures)	28
coefficient de pointe	5,9

Tableau.21 : Caractéristique de la crue du 28/10/1999 à Talmest

Conclusion

La crue du 1999 au niveau des bassins de haut atlas (Les crues du N'Fis, de la Ghiraya et de l'Ourika) a été violente avec des débits de pointe très élevés (1575 m³/s, 413 m³/s et 762 m³/s) (ABHT), ce qui explique les pointes et les valeurs d'eau au niveau des deux stations d'Abadla et Talmest.

Donc, les crues du bassin de Tensift sont caractérisées par des hydrogrammes aigus et pointus, avec parfois une longue durée qui est due à la grande superficie de ce bassin, ainsi

que par des débits de pointes assez élevés. Les crues prennent généralement naissance à l'amont, par la collecte des eaux des affluents des petits bassins.

II- Les temps de base et les temps de montée des crues

Dans ce paragraphe, nous allons essayer d'analyser les durées globales des crues et leurs temps de montée pour chercher une éventuelle typologie des crues du bassin du Tensift.

Concernant cette étude, nous avons analysé les hydrogrammes de toutes les crues enregistrées par l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift de 1970 à 2006. Elles sont au nombre de 36 pour la station d'Abadla et 35 pour la station de Talmest.

II.1- Le bassin versant de Tensift à la station d'Abadla

Les figures illustrent les temps de base et les temps de montée des crues de Tensift à la station d'Abadla.

Temps de montée : d'après l'hydrogramme (fig. 35), on constate que la majorité des temps de montée sont compris entre l'intervalle [0 ; 10] et l'intervalle [20 ; 40] heures.

Temps de bas : L'hydrogramme de temps de base (fig.36) montre une variabilité remarquable. On constate que les crues de temps de base compris entre l'intervalle [40 ; 80] sont plus fréquentes par rapport aux autres durée.

Le temps de base et temps de montée sont liés à plusieurs facteurs, à savoir la nature imperméable du sol, la forme et la topographie du bassin qui est caractérisée par des pentes moyenne en plaine de l'ordre 15,8 %, avec des pentes très élevées dans la partie haut atlas du bassin qui accélère les vitesses d'écoulement et diminue les temps de ruissèlement ...etc.

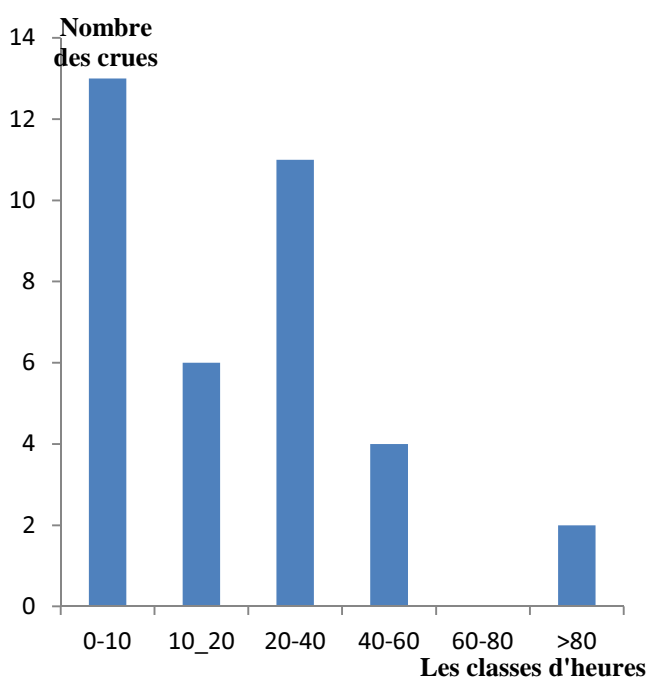


Figure.35 : Hydrogramme Temps de montée des crues de Tensift à Abadla (1970-2006)

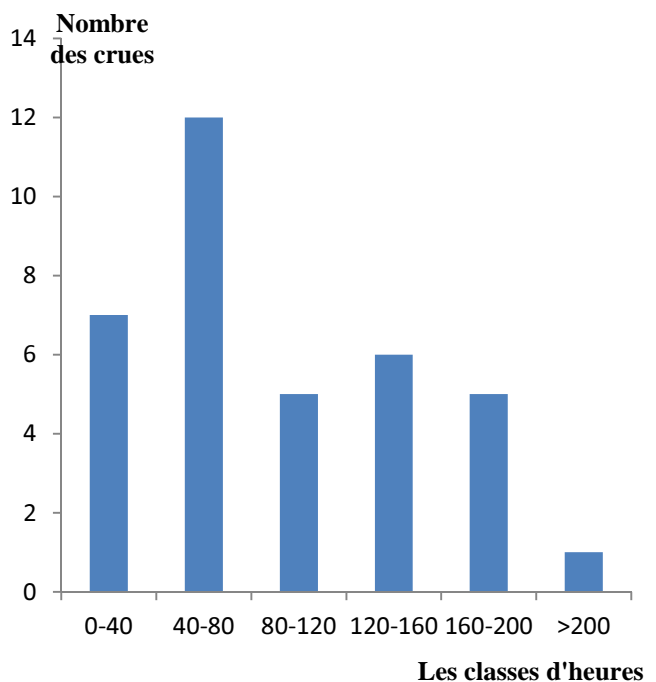


Figure.36 : Hydrogramme Temps de base des crues de Tensift à Abadla (1970-2006)

II.2- Le bassin versant de Tensift à la station de Talmest

Les figures représentent les temps de base et les temps de montée des crues de Tensift à la station de Talmest.

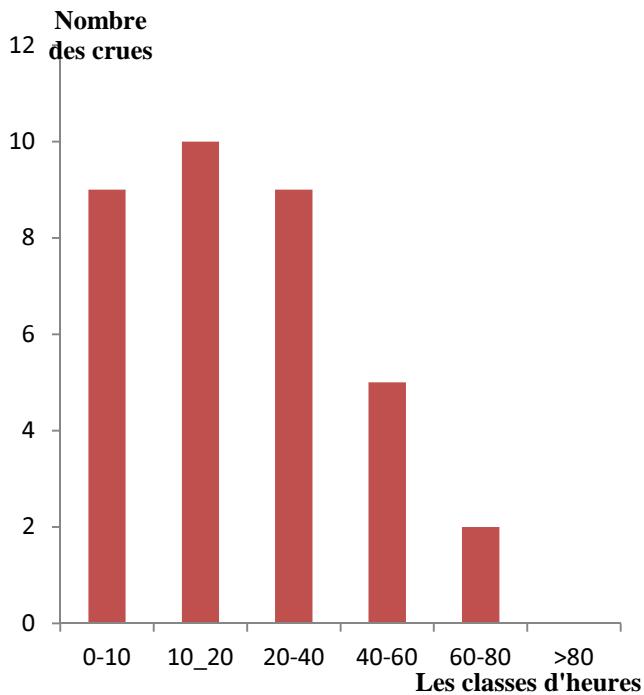


Figure.37 : Hydrogramme Temps de montée des crues de Tensift à Talmest (1970-2005)

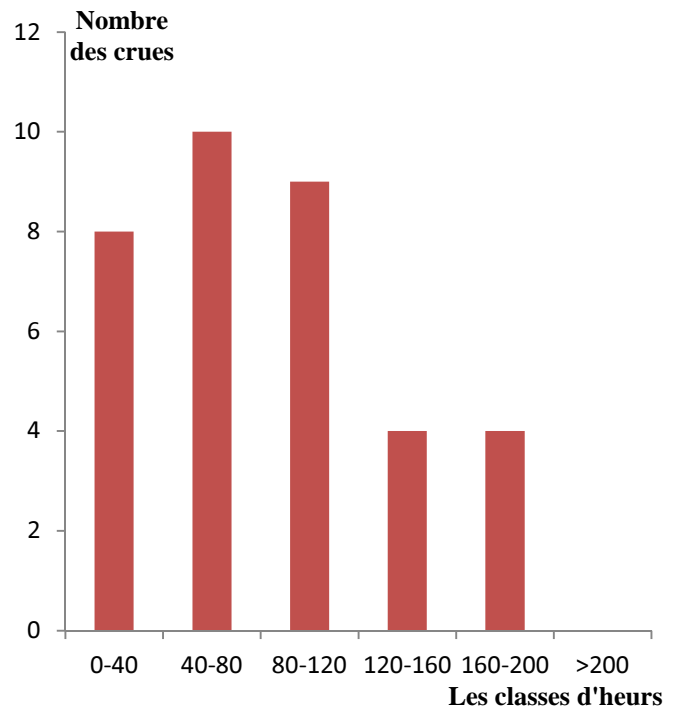


Figure.38 : Hydrogramme Temps de base des crues de Tensift à Talmest (1970-2005)

Les temps de montée (fig. 37) sont également moyens. Ils sont situés pour la plupart dans les intervalles [10 ; 20], [0 ; 10] et [20 ; 40].

Les temps de base sont très variables. Les crues les plus fréquentes peuvent durer jusqu'à trois jours, (temps de base dans l'intervalle [40 ; 80]). Elles peuvent parfois dépasser une centaine d'heures, car la superficie du bassin est assez grande (18500 Km²) et l'évacuation des eaux pluviales peut durer longtemps. (fig. 38)

Conclusion

Sur la plaine de Tensift, les temps de montée ne sont généralement pas longs, les temps de base sont donc moyens à assez grands. Les crues durent généralement plus de deux jours car le bassin couvre une grande superficie et l'évacuation des eaux pluviales peut prendre du temps. Les pluies tombées en aval passent en premier à l'exutoire, suivies des eaux des bassins moyen en amont. Ceci nous donne des hydrogrammes étalés. Les volumes d'eau mobilisés lors des crues étant généralement très importants. Ceci montre le risque majeur des crues sur la plaine.

III- Répartition mensuelle et saisonnière des crues

III.1- Le bassin versant de Tensift à la station d'Abadla

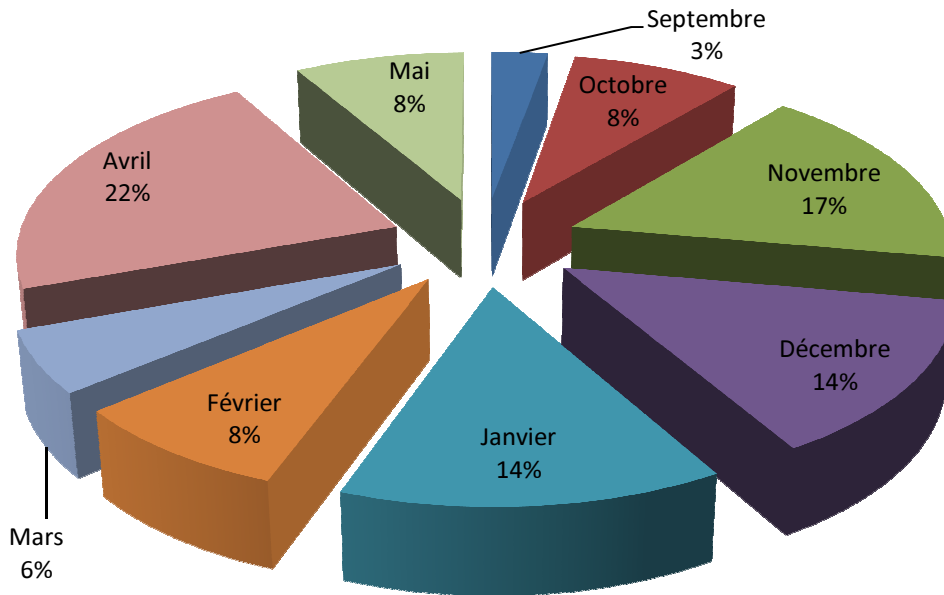


Figure.39 : La répartition mensuelle des crues à la station d'Abadla (1970-2006)

A la station d'Abadla, c'est le mois d'avril qui connaît le plus de crues, suivi des mois de novembre, décembre et janvier avec des pourcentages respectifs de 22%, 17% et 14%. Les saisons les plus riches en épisode des crues sont donc par ordre décroissant : le printemps, l'automne et l'hiver. (fig.39)

III.2- Le bassin versant de Tensift à la station de Talmest

Les crues du bassin à la station de Talmest sont plus concentrées en Automne et en hiver. Novembre et décembre sont les mois qui connaissent la plus de crues suivis d'octobre. Les pourcentages sont respectivement de 20%, 20% et 17%. (fig.40)

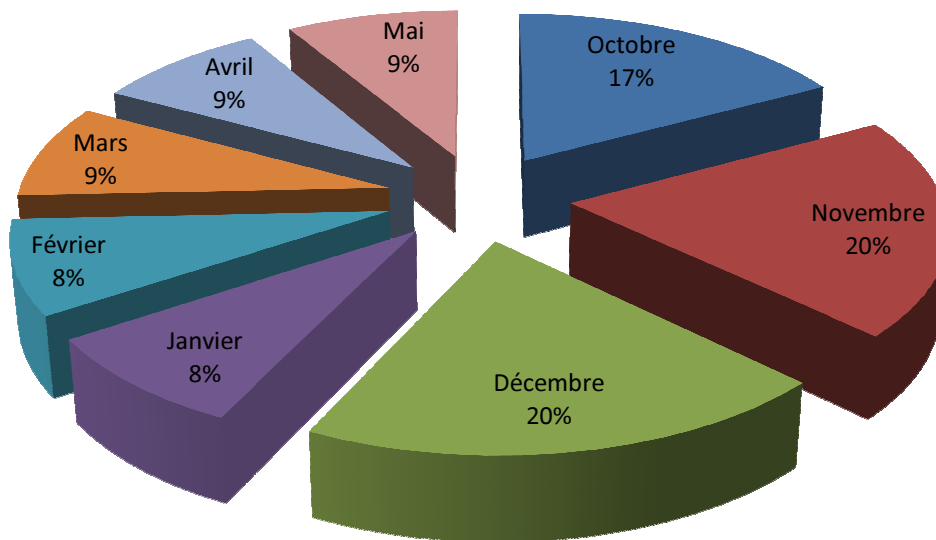


Figure.40 : La répartition mensuelle des crues à la station de Talmest (1970-2006)

Conclusion

Pour les deux stations, aucune crue n'a jamais été enregistrée aux mois de juin et de juillet. Les phénomènes orageux d'été ne sont pas fréquents dans la plaine de Tensift. Bien que ces phénomènes sont souvent enregistrés en amont du bassin sur l'Haut Atlas de Marrakech, les crues éclairs qui en résultent sont souvent absorbés par l'évaporation active en été, l'infiltration lors du grand parcours en plaine et finalement par les déviations des eaux par les seguias des riverains pour des fins agricoles.

IV- La vitesse de propagation des crues

Une crue peut être considérée comme une onde se propageant dans le cours d'eau. Comme toute onde, elle sera caractérisée par une vitesse de propagation. Dans notre cas, on va calculer cette vitesse entre les deux stations hydrologiques Abadla et Talmest.

Les données de crues de ces stations nous permettrons de calculer les vitesses de propagation des crues du l'Oued. Ceci en divisant la distance séparant les deux stations par le temps qui s'écoule entre le moment de la pointe de crue à Abadla et le moment de la pointe de crue à Talmest.

$$\text{Vitesse} = \text{Distance} / \text{Temps}$$

La digitalisation du cours d'eau principale de Tensift en suivant ses sinuosités a donné une distance de 110 Km.

Pour ce calcul, nous avons choisi quatre crues bien individualisées et ayant transité par les deux stations.

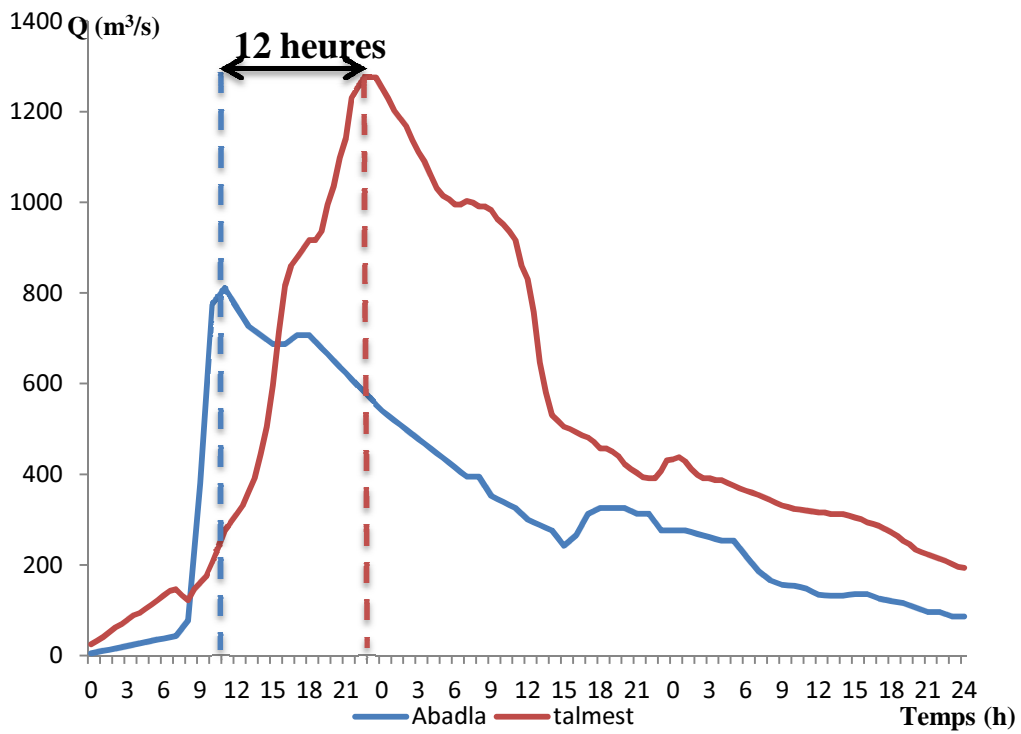


Figure.41 : Hydrogramme de la crue du 10/11/88 aux stations d'Abadla et Talmest

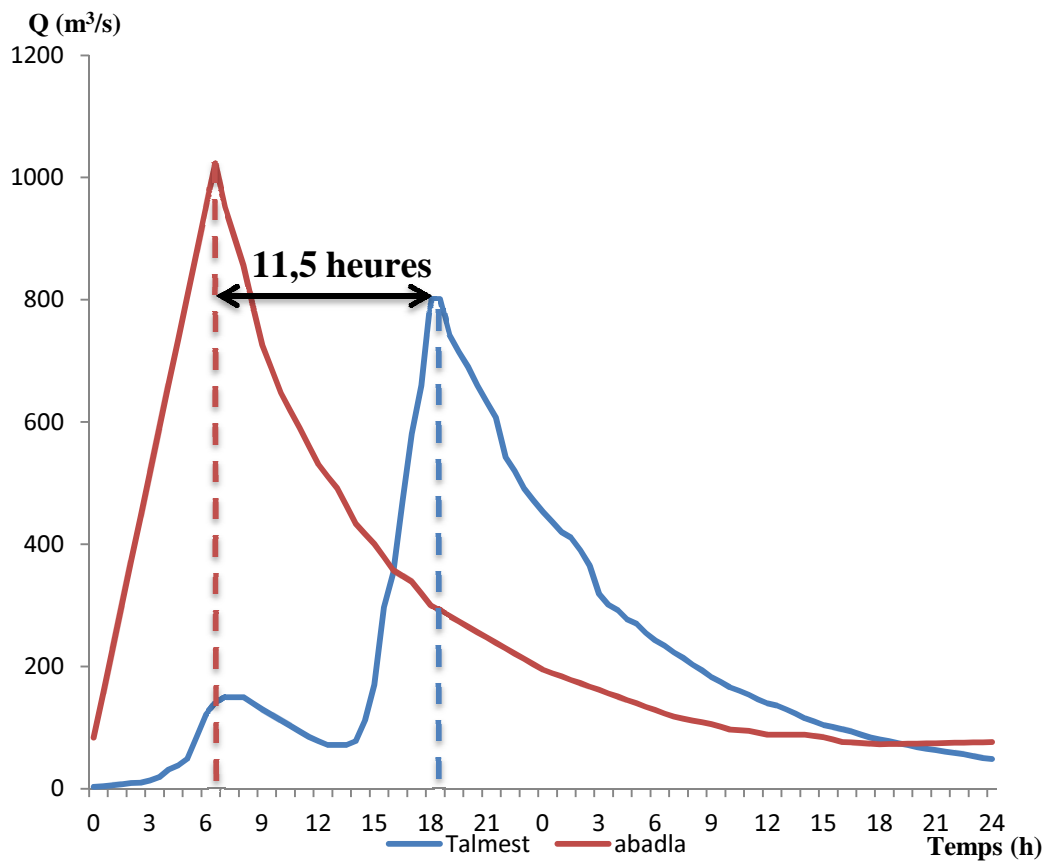


Figure.42 : Hydrogramme de la crue du 03/11/87 aux stations d'Abadla et Talmest

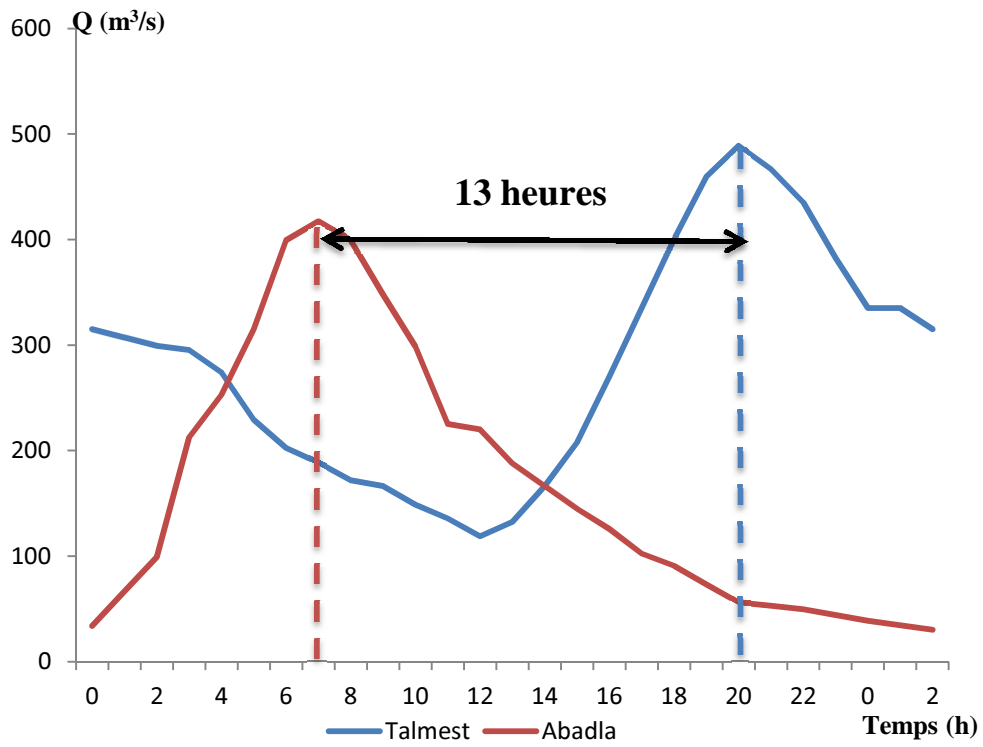


Figure.43 : Hydrogramme de la crue du 16/11/2002 aux stations d'Abadla et Talmest

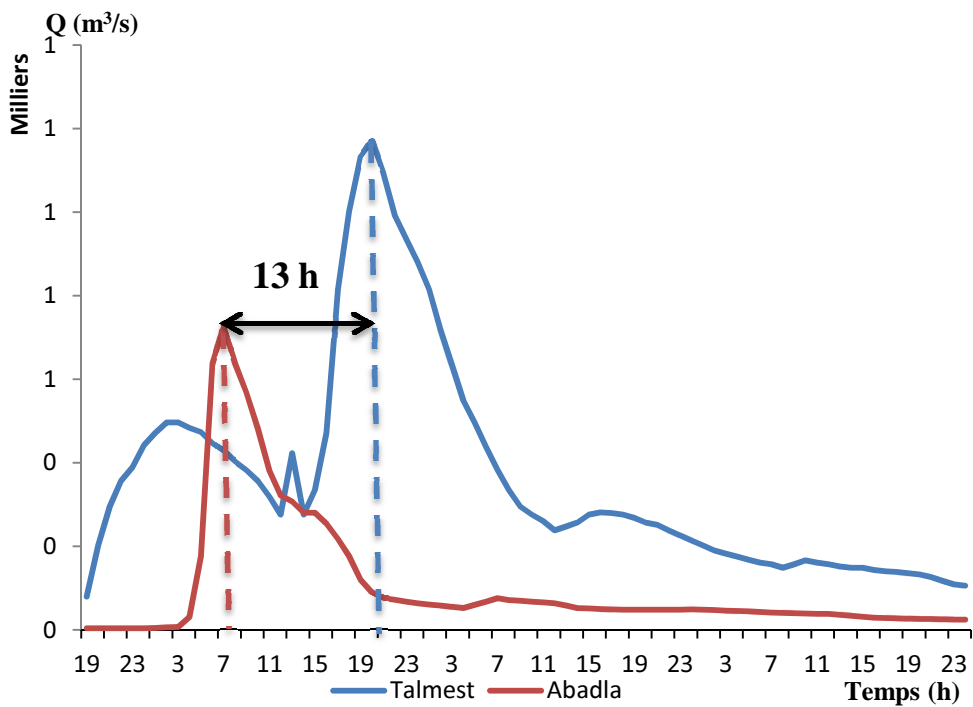


Figure.44 : Hydrogramme de la crue du 29/10/99 aux stations d'Abadla et Talmest

	Abadla		Talmest		Temps de propagation	Vitesse en (Km/h)	Vitesse en (m/s)
	Débit de pointe	Moment de la pointe	Débit de pointe	Moment de la pointe			
03/11/1987	1023	6h30	801	18h	11h30	9,56	2,66
10/11/1988	810	11h	1275	12h	12h	9,17	2,55
29/10/1999	724	7h	1170	13h	13h	8,46	2,35
16/11/2002	417	7h	489	13h	13h	8,46	2,35

Tableau.22 : Vitesse de propagation des crues

On remarque que les pointes de crues passant par Abadla mettent 11h30 à 13 heures pour atteindre Talmest. Ceci a donné des vitesses de propagation de 8,23 à 9,30 km par heure, c'est à dire des vitesses d'ordre 2,35 à 2,66 mètres par secondes. Ce sont des vitesses non négligeables. Elles résultent des conditions géomorphologiques citées au premier chapitre et confirment la présence de risques et de grands dangers auxquels il faut accorder le plus grand intérêt et la plus grande prudence. (Figures : 41, 42, 43 et 44) (Tab.22)

Chapitre VI : Analyse statistique des crues

De même que les précipitations, les données de base pour l'analyse de la fréquence des crues sont constituées par une série de mesure de débit maximal relative à une période aussi longue que possible. On essaye après d'ajuster à cette série des crues pour chaque station une loi de probabilité théorique.

I- L'oued Tensift à la station d'Abadla

L'ajustement des débits maximaux instantanés se fait durant une période d'observation de 1969/70 - 2012/2013.

I.1- L'analyse des graphes

La figure 45 montre les graphiques des résultats obtenus. Ils représentent les probabilités empiriques et théoriques des distributions de Gamma, lois Normal et Log.Normal, loi de Gumbel, loi de Cauchy, loi de Weibull, loi exponentielle et loi Logistique.

Visuellement, on peut conclure que les lois Weibul, Gamma, exponentielle et Gumbel présentent les meilleurs ajustements de la variable débit maximal instantané.

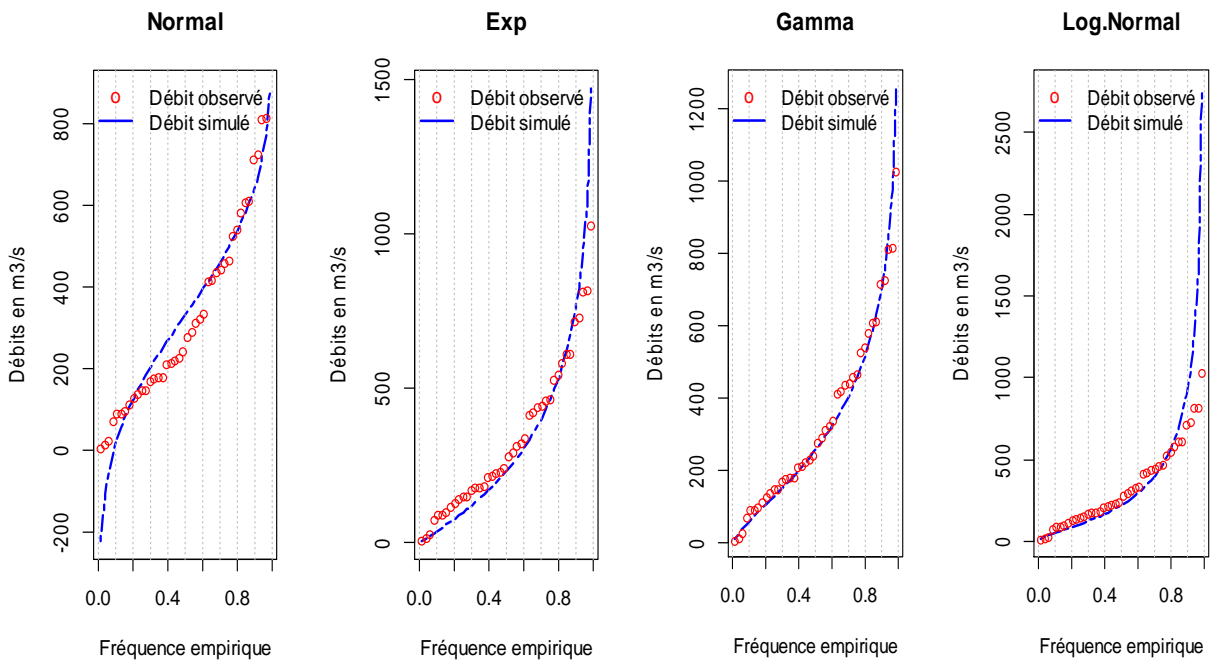


Figure.45.a : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon les lois statistiques, à la station d'Abadla

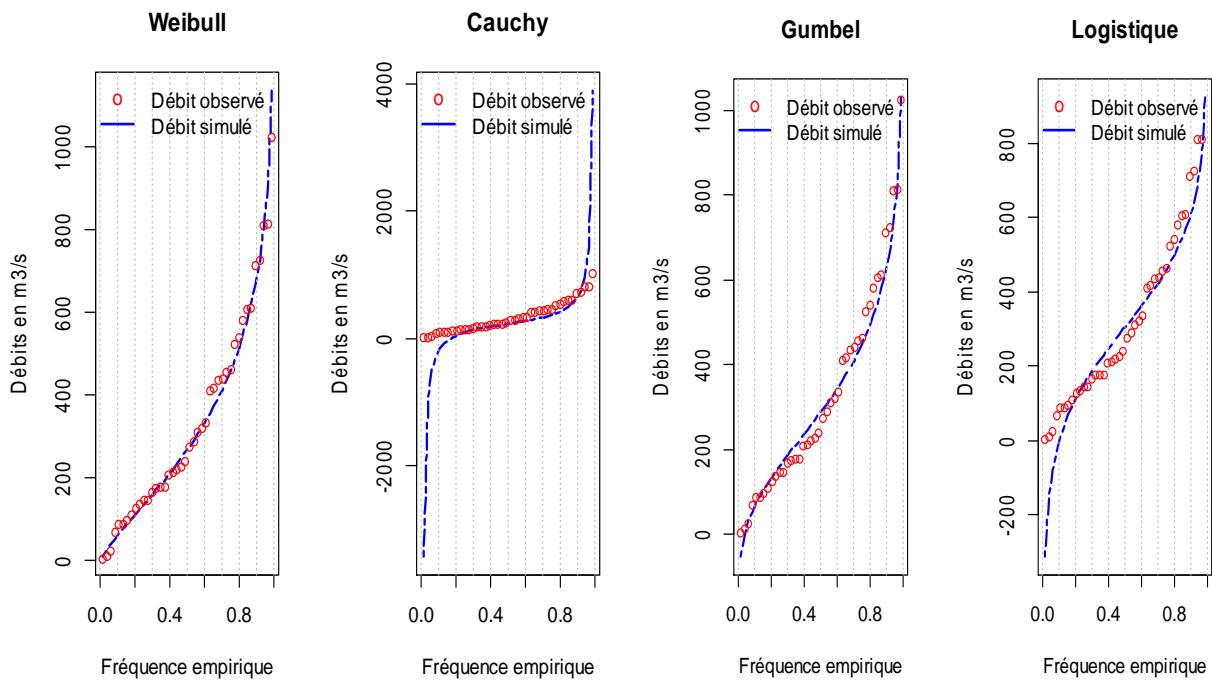


Figure.45.b : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon les lois statistiques, à la station d'Abadla

I.2- L'analyse des critères statistiques

Le tableau suivant représente les critères d'information bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC). D'après les résultats numériques obtenus, la loi Weibull représente le meilleur ajustement de la variable débit maximal instantané. (Tab.23)

Lois statistiques	AIC	BIC
Normal	585	588
Log.Normal	586	589
Cauchy	598	601
Gamma	572	576
Weibull	571	575
Logistique	585	589
Gumbel	576	580
Exponentielle	573	575

Tableau.23: Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station d'Abadla

I.3- Estimation de probabilités de crues

Le tableau suivant résume Les estimations des débits maximaux instantanés annuels calculés pour les différentes périodes de retour selon les huit lois de probabilité. (Tab.24)

		Périodes de retour							
		2	5	10	20	50	100	500	1000
Débit estimé (en m³/s)	Normal	331	537	645	734	834	900	1035	1087
	Log.Normal	222	568	928	1392	2198	2980	5518	6993
	Cauchy	233	422	655	1099	2412	4595	22046	43859
	Gamma	256	517	704	886	1123	1299	1705	1879
	Weibull	268	516	681	836	1029	1168	1475	1601
	Logistique	305	499	612	717	849	947	1173	1270
	Gumbel	286	494	632	763	943	1061	1357	1483
	Exponentielle	229	533	763	993	1297	1527	2060	2290

Tableau.24 : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d'ajustement à la station d'Abadla

On remarque que les résultats estimés pour les grandes périodes de retour sont très variables d'une loi à l'autre. Par contre, les périodes de retour de 2 ans à 10 ans présentent une faible variabilité. On retiendra les estimations de la loi Weibull qui était la plus adéquate et qui place les débits cinquantennals Q50 à 1029 m³/s et les débits centenal Q100 à 1168 m³/s. (Tab.24)

II- L'oued Tensift à la station de Talmest

L'ajustement des débits maximaux instantanés se fait durant une période d'observation de 1970/71 - 2009/2010.

II.1- L'analyse des graphes

La figure 46 présente les courbes d'ajustement pour la station de Talmest. D'après l'illustration graphique, qui montre l'ajustement entre les débits maximums observés et ceux calculés par les lois mathématiques, on remarque que les lois Log Normal, Weibul et Gamma présentent les meilleurs ajustements de la variable débit maximal instantané.

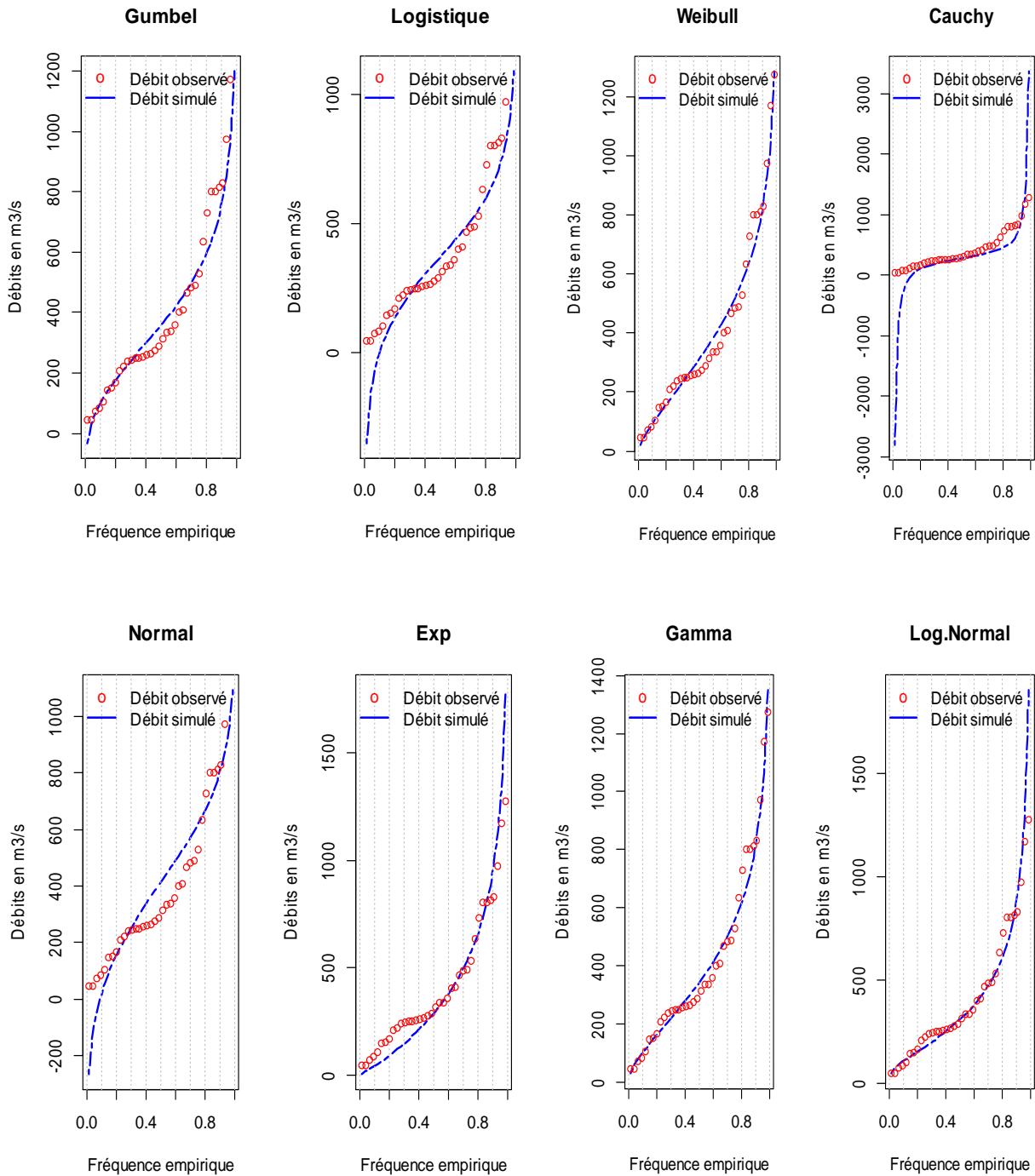


Figure.46 : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon les lois statistiques, à la station de Talmest

II.2- L'analyse des critères statistiques

C'est la loi Log.Normal qui est la mieux adaptée pour l'estimation des débits maximaux instantanés, puis qu'elle présente la valeur la plus faible du critère statistique. (Tab.25)

Lois statistiques	AIC	BIC
Normal	546	550
Log.Normal	532	534
Cauchy	548	551
Gamma	533	535
Weibull	533	535
Logistique	545	548
Gumbel	535	538
Exponentielle	535	537

Tableau.25 : Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station de Talmest

II.3- Estimation de probabilités de crues

Les estimations des débits maximaux instantanés annuels calculés pour les différentes périodes de retour, pour la station de Talmest. (Tab.26)

De même que pour la station d'Abadla, les résultats estimés au niveau de la station de Talmest sont très variables d'une loi à l'autre pour les grandes périodes de retour. Par contre, elles présentent une faible variabilité pour les petites périodes de retour. On retiendra les estimations de la loi Log.Normal qui était la plus adéquate et qui place les débits décennal Q10 à 880 m³/s cinquantennals Q50 à 1656m³/s et les débits centenal Q100 à 2071 m³/s.

		Périodes de retour							
		2	5	10	20	50	100	500	1000
Débit estimé (en m³/s)	Normal	413	670	805	916	1041	1124	1293	1358
	Log.Normal	308	614	880	1185	1656	2071	3252	3869
	Cauchy	282	457	674	1087	2310	4342	20587	40892
	Gamma	342	624	818	1004	1242	1418	1818	1987
	Weibull	352	639	823	991	1197	1343	1660	1788
	Logistique	370	601	737	861	1020	1137	1407	1523
	Gumbel	357	598	758	911	1109	1257	1600	1747
	Exponentielle	286	665	952	1239	1618	1904	2570	2857

Tableau.26 : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d'ajustement à la station de Talmest

III- Evènement hydrologique de Novembre 2014

Dans ce paragraphe, on refait le même travail, en ajoutant à la série précédente une autre valeur correspondant au débit de pointe de la crue du 30 Novembre 2014, 1597 m³/s pour Abadla et 3500 m³/s pour Talmest, pour avoir une idée sur le changement des estimations des débits de pointe et sur la faisabilité des aménagements contre les crues.

Les tableaux 27, 28, 29, 30 et 31 ci-dessous illustrent les résultats obtenus pour les deux stations :

Lois statistiques	AIC	BIC
Normal	618	622
Log.Normal	606	609
Cauchy	619	623
Gamma	595	598
Weibull	594	598
Logistique	613	616
Gumbel	601	604
Exponentielle	595	599

Tableau.27 : Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station d'Abadla

		Périodes de retour							
		2	5	10	20	50	100	500	1000
Débit estimé (en m³/s)	Normal	361	620	755	867	993	1077	1247	1350
	Log.Normal	232	608	1005	1522	2429	3317	6232	7941
	Cauchy	238	436	680	1146	2523	4813	23118	45999
	Gamma	272	568	782	993	1268	1474	1948	2151
	Weibull	279	571	775	969	1215	1396	1801	1970
	Logistique	320	540	668	787	937	1049	1305	1416
	Gumbel	307	537	689	835	1025	1166	1494	1635
	Exponentielle	250	581	831	1081	1412	1662	2243	2494

Tableau.28 : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d'ajustement à la station d'Abadla

Lois statistiques	AIC	BIC
Normal	616	613
Log.Normal	557	561
Cauchy	573	576
Gamma	563	566
Weibull	564	568
Logistique	588	591
Gumbel	572	576
Exponentielle	563	565

Tableau.29 : Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station de Talmest

		Périodes de retour							
		2	5	10	20	50	100	500	1000
Débit estimé (en m³/s)	Normal	492	975	1227	1436	1670	1827	2143	2265
	Log.Normal	328	697	1033	1430	2061	2630	4308	5207
	Cauchy	284	470	700	1138	2433	4586	21801	43318
	Gamma	379	769	1048	1321	1676	1941	2549	2809
	Weibull	367	791	1097	1395	1779	2064	2713	2988
	Logistique	397	707	889	1056	1268	1425	1787	1942
	Gumbel	403	708	910	1104	1354	1542	1976	2163
	Exponentielle	341	793	1134	1476	1927	2269	3062	3404

Tableau.30 : Estimation des débits de retour selon des différentes lois d'ajustement à la station de Talmest

			Périodes de retour							
			2	5	10	20	50	100	500	1000
Débit estimé (en m³/s)	A la station d'Abadla	Avant l'évènement	268	516	681	836	1029	1168	1475	1601
		Après l'évènement	279	571	775	969	1215	1396	1801	1970
	A la station de Talmest	Avant l'évènement	308	614	880	1185	1656	2071	3252	3869
		Après l'évènement	328	697	1033	1430	2061	2630	4308	5207

Tableau.31 : Estimation des débits de retour avant et après l'évènement 2014, au niveau des deux stations

Avant l'évènement 2014, le débit de pointe $Q_p = 1537 \text{ m}^3/\text{s}$ pour Abadla aurait une période de retour de 500 ans, et la pointe de $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ pour Talmest un temps de retour de 800 à 1000 ans. Par contre, le résultat obtenu après l'évènement 2014/2015 sera différent. Les débits estimés deviennent plus grands et par conséquent au lieu d'avoir une période de retour de 500 ans et 1000 ans pour les débits précédents, nous avons eu une période de retour de 100 ans pour $Q_p = 1537 \text{ m}^3/\text{s}$, 200 ans pour $Q_p = 3500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les figures 47 et 48 confirment les résultats numériques obtenus. Pour une durée de retour de 20 ans, par exemple, le débit estimé à la station d'Abadla, pour cette période est d'environ de $800 \text{ m}^3/\text{s}$ avant l'évènement 2014, alors qu'après ce dernier, le débit est estimé à $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour la station de Talmest, le débit est de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, mais devient d'environ $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ après l'évènement.

D'après cette comparaison, on peut dire que les ouvrages contre les crues, réalisées pour les anciennes études, ne sont plus pratiques en prenant en considération la dernière crue.

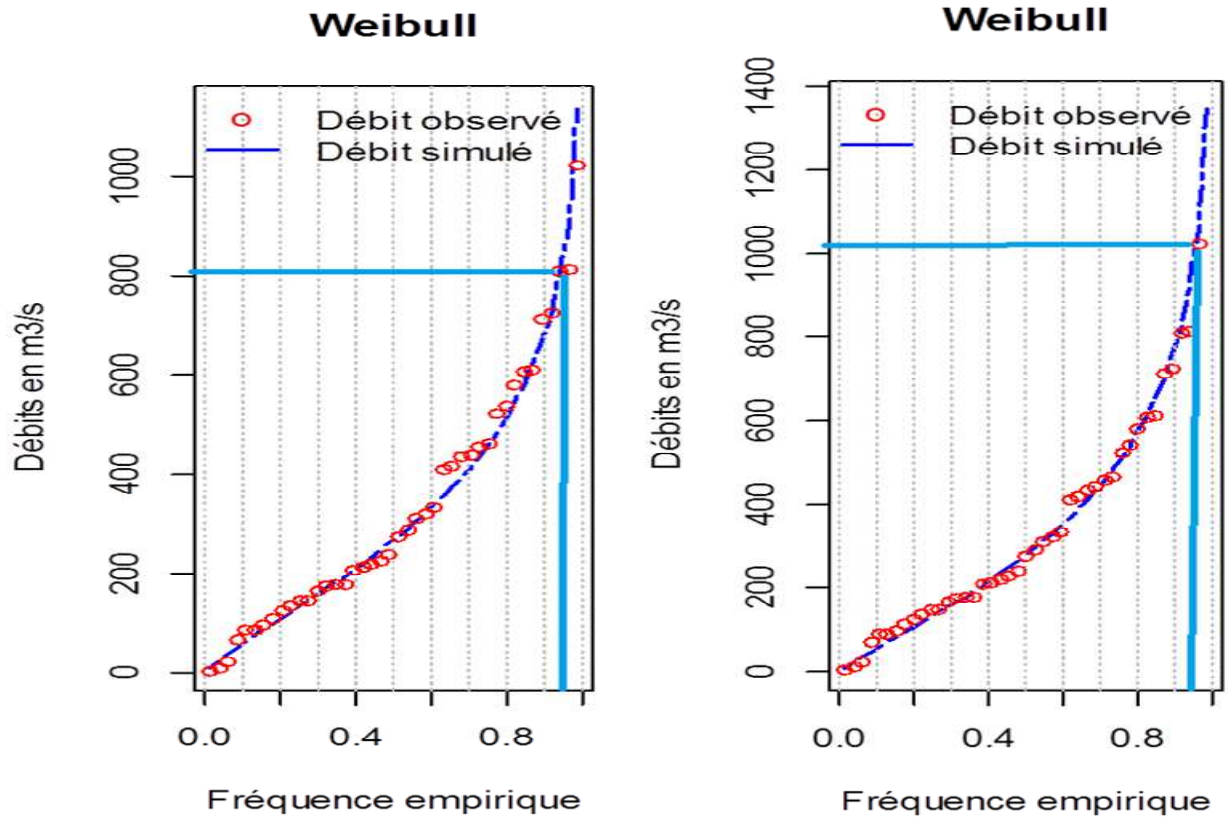


Figure.47 : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon la loi Weibull, avant et après l'événement 2014, à la station d'Abadla

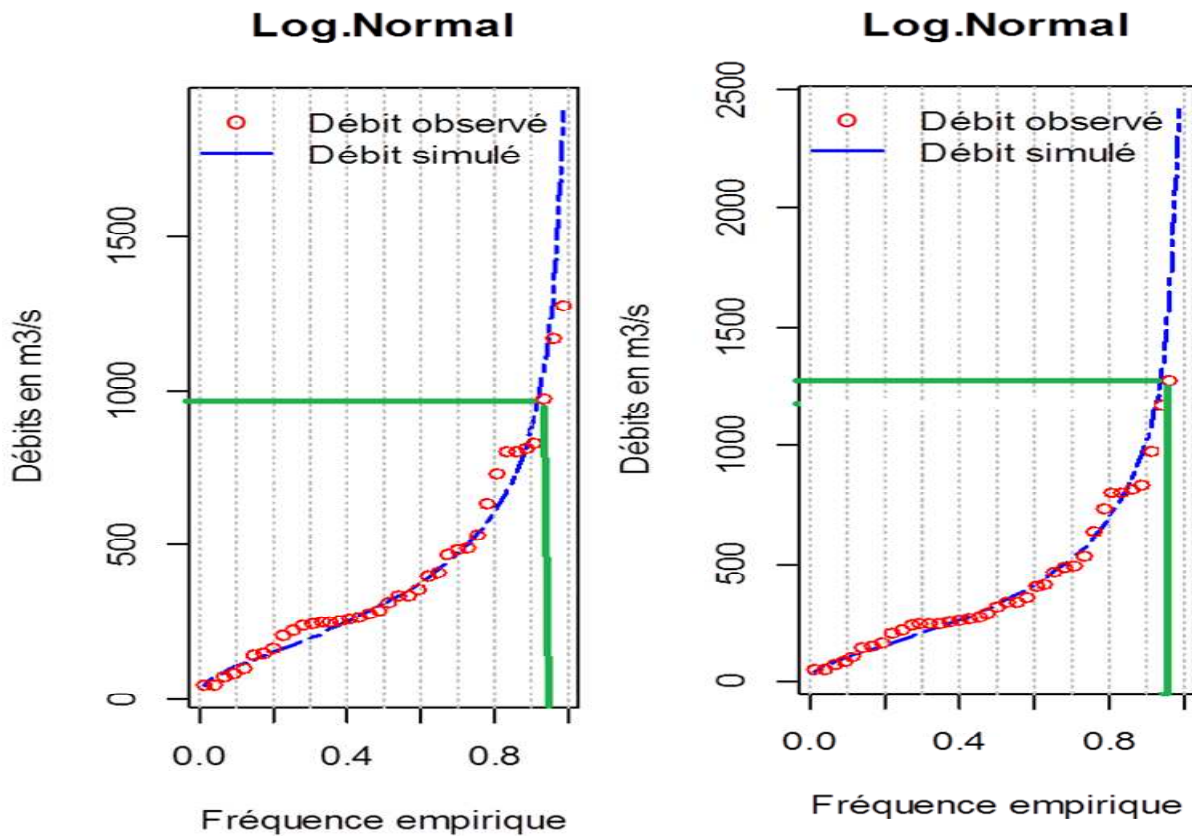


Figure.48 : Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon la loi Log.Normal, avant et après l'événement 2014, à la station de Talmest

Chapitre VII : Bilan des crues et leurs conséquences géographiques

I- Bilan des crues

Le principe du bilan de crue ou bilan d'eau est fondé sur une équation de continuité qui consiste à comparer la quantité d'eau totale arrivant dans un bassin versant avec la quantité d'eau totale sortant et s'inscrit dans sa forme la plus générale :

$$\Delta R = \sum \text{entrées} - \sum \text{sorties}$$

ΔR : la variation des réserves en eau qui cumule les variations de stockage de l'eau dans le sol et la variation des stockages superficiels (dépressions, retenues d'eau, etc.). (J. Wellens ; all,2008)

Les principaux termes possibles du bilan d'eau sont la pluviométrie et l'évapotranspiration qui reflètent les phénomènes climatologiques et le débit, mesuré à l'exutoire qui révèle le fonctionnement hydrologique du bassin versant. On aboutit ainsi à l'équation du bilan d'eau suivante pour une surface :

$$P = R + ETR + I + \Delta R_s$$

Avec :

- P : précipitation [mm] ;
- R : écoulement de surface (ruissellement) [mm];
- I : écoulement souterrain [mm] ;
- ETR : évapotranspiration réelle [mm] ;
- ΔR_s : stockages superficiels [mm].

Le déficit d'écoulement (DE) représente essentiellement les pertes d'eaux, c'est la différence entre la précipitation moyenne et la quantité d'eau sortie du bassin. D'après cette définition, l'équation peut s'écrire :

$$DE = \Delta R_s = P - (R + ETR + I)$$

Dans notre cas, les données disponibles sont le volume de pluie ou la lame d'eau tombée pendant l'événement (P) et volume d'eau écoulé (Q).

$$DE = P - Q$$

Le coefficient d'écoulement utilisé est défini comme le rapport du volume d'eau écoulé sur la lame d'eau tombée lors d'un même événement.

$$CE = Q / P$$

Pour cela, nous avons choisi d'étudier les crues de l'année 1988 et 1999 au niveau des deux stations.

Pour la détermination de volume des précipitations pendant l'événement de crue, on s'est basé sur les données de pluies journalières, pendant les jours précédant l'événement, et au niveau de plusieurs points de stations dans le bassin.

I.1- Bassin versant au niveau de la station d'Abadla

Les tableaux ci-dessous représentent les résultats du bilan de crue obtenus. D'après les données de ces tableaux, on peut tirer les remarques suivantes :

- Pour la crue de 1988 :

Le volume de précipitations moyennes du bassin à la station d'Abadla, étant de $303 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, avec un débit moyen du bassin de l'ordre de $175 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un volume écoulé de $90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Il en résulte un déficit d'écoulement de $212 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, soit plus de 70 % de la lame d'eau précipité, avec un coefficient d'écoulement qui s'élève à 30 % des précipitations. (Tableaux : 32.a et 32.b)

Stations		Sidi Rahal	Taferiat	Aghbalou	Tahannaout	Imin el Hammam	N'Kouris	Takerkoust	Marrakech	Abadla	Pluie moyenne
Pluie par Jour	7/11/1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8/11/1988	0	0	0	0	0	2	0	0	0	
	9/11/1988	0	23,6	26,9	22,2	23,1	76	24	25,3	41,8	
Pluie totale		0	23,6	26,9	22,2	23,1	78	24	25,3	41,8	29,43

Tableau.32.a : Pluie tombée durant l'événement 10/11/1988

Pluie moyenne	Volume de Pluie (m^3)	Débit moyen (m^3/s)	Volume d'eau écoulé (m^3)	déficit d'écoulement (m^3)	Coefficient d'écoulement en %
29,43	303163333	175	90720000	212443333	29,92

Tableau.32.b : Résultat du bilan de crue pour l'année 10/11/1988

- Pour la crue de 1999 :

Dans ce cas là, le volume de précipitations moyennes du bassin à la station d'Abadla, étant de $414 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, avec un débit moyen de l'ordre de $117 \text{ m}^3/\text{s}$. C'est équivalent à un volume écoulé de $60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, et le déficit d'écoulement est de $353 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Ceci représente plus de 85 % de la lame d'eau précipité, et un coefficient d'écoulement qui présente 15 % des précipitations seulement. (Tableaux : 33.a et 33.b).

Stations		Sidi Rahal	Taferiat	Aghbalou	Tahannaout	Imin el Hammam	N'Kouris	Takerkoust	Sidi Hsain	Marrakech	Abadla	Pluie moyenne
Pluie par Jour	26/10/1999	5,5	6,1	12,5	7,1	15,4	13	8	0	2,7	2,6	
	27/10/1999	0	0,2	14,2	9,1	21,6	38	7	21	4,2	15,5	
	28/10/1999	12	13,2	32,3	18,1	21,2	53	12	25	7,9	4	
Pluie totale		17,5	19,5	59	34,3	58,2	104	27	46	14,8	22,1	40,24

Tableau.33.a : Pluie tombée durant l'événement 29/10/1999

Pluie moyenne	Volume de Pluie (m ³)	Débit moyen (m ³ /s)	Volume d'eau écoulé (m ³)	déficit d'écoulement (m ³)	Coefficient d'écoulement en %
40,24	414472000	117	60652800	353819200	14,63

Tableau.33.b : Résultat du bilan de crue pour l'année 29/10/1999

I.2- Bassin versant au niveau de la station de Talmest

A partir des données du bilan effectué dans cette station, on peut tirer les constats suivants :

- Pour la crue de 1988 :

Le volume de précipitations moyennes du bassin Tensift à la station de Talmest, étant de 725 10⁶ m³, avec un volume écoulé de 246 10⁶ m³, ou un débit moyen du bassin de l'ordre de 475 m³/s, on note un déficit d'écoulement de 478 10⁶ m³, qui représente plus de 66 % de la lame d'eau précipité, soit un coefficient d'écoulement qui présente 34 % des précipitations. (Tableaux : 34.a et 34.b)

Stations		Sidi Rahal	Taferiat	Aghbalou	Tahannaout	Imin el Hammam	N'Kouris	Takerkoust	Marrakech	Abadla	Chichaoua	Talmest	Pluie moyenne
Pluie par Jour	7/11/1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8/11/1988	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0,1	
	9/11/1988	0	23,6	26,9	22,2	23,1	76	24	25,3	41,8	47,1	95,9	
Pluie totale		0	23,6	26,9	22,2	23,1	78	24	25,3	41,8	47,1	96	37,09

Tableau.34.a : Pluie tombée durant l'événement 10/11/1988

Pluie moyenne	Volume de Pluie (m ³)	Débit moyen (m ³ /s)	Volume d'eau écoulé (m ³)	déficit d'écoulement (m ³)	Coefficient d'écoulement en %
37,09	725164364	475	246240000	478924364	33,95

Tableau.34.b : Résultat du bilan de crue pour l'année 10/11/1988

- Pour la crue de 1999 :

Le bassin Tensift à la station de Talmest, présente un volume de précipitations moyennes de l'ordre de $783 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, avec un débit moyen de $315 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un volume écoulé de $163 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Il en résulte un déficit d'écoulement de $620 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, c'est à dire plus de 79 % de la lame d'eau précipité, et le coefficient d'écoulement est de 21 % des précipitations. (Tableaux : 35.a et 35.b)

Stations	Sidi Rahal	Tafe-riat	Aghb-alou	Tahan-naout	Imin el Hammam	N'Kouris	Taker-koust	Sidi Hsain	Marr-akech	Abadla	Ilou-djane	Bou Othmane	Chi-chaoua	Tal-mest	Pluie moyenne
Pluie par Jour	26/10/99	5,5	6,1	12,5	7,1	15,4	13	8	0	2,7	2,6	6,6	10	1	9,3
	27/10/99	0	0,2	14,2	9,1	21,6	38	7	21	4,2	15,5	37	54,1	9,1	0
	28/10/99	12	13,2	32,3	18,1	21,2	53	12	25	7,9	4	7,3	20	3,8	0,3
Pluie totale	17,5	19,5	59	34,3	58,2	104	27	46	14,8	22,1	50,9	84,1	13,9	9,6	40,06

Tableau.35.a : Pluie tombée durant l'événement 29/10/1999

Pluie moyenne	Volume de Pluie (m^3)	Débit moyen (m^3/s)	Volume d'eau écoulé (m^3)	déficit d'écoulement (m^3)	Coefficient d'écoulement en %
40,06	783296850	315	163296000	620000850	20,84

Tableau.35.b : Résultat du bilan de crue pour l'année 29/10/1999

Conclusion

Les coefficients d'écoulement dans le bassin de Tensift sont relativement forts : 30% pour 1988 et 15% pour 1999 à Abadla ; et 34% et 31% respectivement pour les années 1988 et 1999, à Talmest. par rapport aux coefficients de crues dans le bassin de Souss, qui sont assez faible, ils ne dépassent pas les 20% (5,7% à Ait Melloul, 12,3% à Aoulouz et 17,9% pour le bassin d'Issen).(SAIDI M. 1995)

II- Les conséquences géographiques des crues

D'après certaines crues, on peut dire que les inondations produites en plaine, à l'aval du bassin versant de Tensift, sont de type lentes ou inondations de plaine, puisque ces inondations ont une montée plus lente que celles qui naissent en amont sur la montagne, ces crues sont provoquées par des pluies prolongées qui tombent sur des reliefs peu marqués aux sols assez perméables où le ruissellement est long à se déclencher. Mais des crues rapides et parfois soudaines ont été également constatées dans les deux stations Abadla et Talmest

Ces inondations peuvent occasionner une gêne considérable pour les personnes, représenter une menace pour de nombreux riverains, et parfois provoquer des victimes en raison de la méconnaissance du risque et des caractéristiques de l'inondation (hauteurs de submersion pouvant atteindre plusieurs mètres, vitesses du courant).

Les inondations peuvent se prolonger plusieurs jours, entraînant des dégâts considérables, très importants et de très lourdes conséquences sur notre vie. Ces dommages engendrés par les inondations peuvent être classés sous trois catégories, les dégâts humains, les dégâts matériels et les dégâts environnementaux.

II.1- Dégâts matériels

Les crues ont provoqué des dégâts matériels importants au niveau des infrastructures, ainsi que l'enclavement de plusieurs douras, en plus de submersions des maisons en pisé et de terrain agricoles, aggravés principalement par l'existence de prises d'eau au niveau des lits des oueds et d'empiétements sur le domaine public hydraulique.

Des dommages ont été également occasionnés au niveau de certaines stations hydrométriques. Les dépôts de charriage qui limitent la capacité d'évacuation de l'eau par les ouvrages d'arts ont provoqué la destruction de plusieurs ponts et radiers à buses insuffisantes.

Les événements de 2014 qu'a connus la zone d'action de l'ABHT du 20 au 30 Novembre ont impacté le système de prévision et d'alerte contre les crues par (Photos : 1, 2 et 3) :

- Des problèmes de coupure de communication dans les stations ;
- Les pluviomètres pour certains station n'ont pas fonctionné ;
- Submersion de tronçons de routes et d'ouvrages d'arts ;
- Inondation des terrains agricoles ;
- Démolitions des maisons ;
- inondation des locaux de la station de Talmest sur l'oued Tensift (Photo.1) ;
- Certains seuils de recharge artificielle sur l'oued Zat ont été également impactés (Photo.2) ;
- Route inondée par l'oued Rdat, sidi rahal (Photo. 3).



Photo.1 : Inondation des locaux de la station de Talkest sur l'oued Tensift (ABHT, 2014)



Photo.2 : Certains seuils de recharge artificielle sur l'oued Zat ont été également impactés (ABHT, 2014)



Photo.3 : Route inondée par l'oued Rdat, sidi rahal (ABHT, 2014)

II.2- Dégâts humains

Les inondations ont pour conséquences de nombreux dégâts humains, les personnes périssent au cours des inondations. Le changement de la direction attaque les berges des cours d'eau et détruit les ouvrages situés en bordure comme le cas des habitations.

De plus, les inondations ne facilitent pas la vie des habitants des maisons inondés. Certaines personnes doivent quitter leur maison vers un autre logement ce qui est la plupart du temps très difficile à trouver.

D'autre part, les effets sanitaires peuvent se subdiviser en effets directs et indirects sur la santé (Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, 2008) :

❖ Effets directs sur la santé :

Les effets directs les plus significatifs sur la santé de l'homme se manifestent durant l'inondation et comprennent :

- La mortalité due à la noyade, aux crises cardiaques et aux blessures, le nombre de décès associés à des inondations est étroitement lié à la dangerosité de l'inondation et le comportement des victimes.
- Blessures sont occasionnées par les objets charriés, chutes de bâtiments et d'ouvrages.

❖ Effets indirects sur la santé :

Les effets indirects sur la santé incluent notamment :

- Les maladies infectieuses et parasitaires : sont due principalement au manque d'eau potable et la consommation d'une eau contaminée par les eaux usées et les eaux naturelles non traitées. L'incidence de maladies infectieuses en période d'inondation est très importante en cas de dommages au réseau d'assainissement (stagnation des eaux usées) et celui de l'eau potable (infiltration d'eaux usées dans le réseau).
- État de stress post-traumatique : En plus des traumatismes causés par l'inondation même, les victimes des inondations sont sujets à des troubles de la santé mentale en raison du déplacement forcé, de la perte de leurs maisons et des objets.

II.3- Dégâts environnementaux

Les dégâts au milieu naturel, dus à la submersion des eaux en crues, peuvent être classés en trois classes : dégâts sur le paysage, dégâts sur l'agriculture et sur la qualité d'eau.

❖ Dégâts sur le paysage :

Le passage de crue entraîne un effondrement de la vallée de l'oued et des berges dans les zones fragiles, ce qui entraîne l'instabilité des rives et l'érosion des terrains riverains augmentant ainsi les risques d'exposition aux inondations, et engendre encore un recouvrement du lit de l'oued par une couche de boue. Le ruissellement provoque l'éboulement des roches gréseuses et l'endommagement des seguias.

Les eaux de crues chargent divers matériaux solides, obstruant ainsi le lit de l'oued en formant un barrage naturel, c'est le phénomène d'embâcle qui entraîne la formation d'un lac temporaire ou encore le changement de chenal d'écoulement. Puis l'accumulation exagérée des matériaux fait détruit le barrage, c'est le phénomène de débâcle.

Après le passage de la crue, l'oued peut changer de direction suite à la présence des obstacles qui se trouve sur son chemin ce qui influence l'irrigation des terrasses cultivées et l'endommagement des ouvrages et les prises d'eau servant à l'alimentation du cheptel et l'irrigation.

❖ Dégâts sur l'agriculture :

La crue avec un débit de pointe important engendre l'inondation des terrains agricole qui se situent en plaine du bassin versant de Tensift, ce qui aggrave la situation et remplit ces terrains par la boue, les cailloux et les blocs qui sont facilement déplaçables, empêchant ainsi l'exploitation de ces terrains.

❖ Dégâts sur la qualité de l'eau :

Les eaux du bassin versant finissent par atteindre la nappe phréatique, qui sont chargées par différents éléments chimiques (Cl^- , SO_4^{2-} et Na^+ ...), ceci due au lessivage d'engrais et les rejets liquides qui jouent un rôle important dans la détérioration de la qualité des eaux.

Chapitre VIII : Proposition de plans d'aménagement et lutte contre les inondations

Les études dynamiques et fréquentielles des crues dans le bassin versant de Tensift, nous permettent de constater que ce bassin fait face à des crues de type lente, bien que parfois rapide, et ayant des effets graves les cotés humain, environnemental et matériel, même s'il existe des anciens ouvrages dont le rôle est d'atténuer les effets de ces crues.

L'étude fréquentielle effectuée avant l'événement 2014, nous montre que les crues avec un débit de pointe de 3500 m³/s pour Talmest et 1537 m³/s pour Abadla, ont des périodes de retour 1000 et 500 ans respectivement. Après cet événement, ces périodes de retour seront de 200 et 100 ans.

Cela veut dire que ces anciens ouvrages ne seront plus pratiques et ne permettront pas de garantir une protection absolue contre une crue de telle caractéristique.

Pour cerner ce problème dans sa globalité, le Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau a mené une étude nationale de protection des villes et centres contre les inondations : le Plan National de Lutte Contre les Inondations. Dans ce plan, il est nécessaire de développer l'ensemble des types d'actions pour réduire l'impact des inondations, tels que :

- Améliorer la connaissance du risque, notamment par la réalisation de cartes de l'aléa inondation et de cartes de risques de dommages ;
- Diminuer et ralentir le ruissellement à l'échelle de l'ensemble du bassin versant ;
- Aménager les lits des rivières et les plaines alluviales afin de maintenir et d'augmenter la capacité d'écoulement des rivières et de favoriser les zones d'expansion de crues ;
- Diminuer la vulnérabilité dans les zones inondables, notamment en y contrôlant les constructions et les transformations, ainsi que tous travaux susceptibles de perturber l'écoulement ;
- Améliorer la réaction des services de prévention et de secours en cas de calamités, notamment par une meilleure diffusion de l'information.

La réalisation de ce plan d'action et d'aménagement a été organisée en trois grands volets : la préservation, la protection et l'information. (BURGEAP, 2006)

I- La préservation

La préservation consiste :

- en la conservation et l'entretien des zones existantes servant au stockage temporaire des eaux pour ne pas aggraver l'aléa (lits des cours d'eau, zones inondables, espaces boisés, haies, prairies...),
- en la mise en place de plan de prévention du risque d'inondation et la prise en compte des zones inondables comme non constructibles au niveau des documents d'urbanisme, pour ne pas augmenter les enjeux.

II- La protection

La protection a été déclinée en trois axes : les actions généralisées sur les bassins versants à l'amont des zones inondées (actions sur les bassins versants), les actions plus locales, mais permettant de limiter les arrivées d'eaux sur un secteur à enjeux importants (ralentissement dynamique) et enfin la protection localisée au niveau des points de débordements (protection locale).

1. Actions sur les bassins versants

Ces actions concernent dans un premier temps la mise en place de bonnes pratiques agricoles sur l'ensemble des bassins versants concernés. Dans un deuxième temps, elles concernent la définition et le dimensionnement d'aménagements d'hydraulique à réaliser sur la base d'études hydrauliques.

2. Ralentissement dynamique

Deux types d'aménagements ont été retenus dans le cadre de cette étude :

- ❖ Les micro-retenues permettant le stockage le plus en amont possible,
- ❖ Les ouvrages dans les lits majeurs, permettant une retenue plus importante et plus sécuritaire des eaux, qui peuvent consister en :
 - la construction de barrages écrêteurs de crue,
 - la mise en place de remblais transversaux en lit majeur,
 - la suppression de digues dont la fonction n'est plus nécessaire afin de libérer de l'espace de stockage,
 - la construction d'ouvrages de stockage implantés en lit majeur.

Ces aménagements sont efficaces et permettent de ralentir et d'écrêter les crues, mais il est nécessaire d'avoir un bon ratio entre le volume de stockage et la hauteur de digue afin qu'ils soient réalisables.

3. La protection locale

La protection locale intervient en dernier lieu, dans les secteurs où les enjeux en zones inondables sont très importants.

Les mesures de protection locale correspondent à des aménagements tels que des digues, des déversoirs vers des zones sans enjeux, des élargissements de sections d'écoulements (ponts, lit mineur). Ces mesures doivent obligatoirement être accompagnées d'études visant à estimer leurs impacts à l'amont et à l'aval et le cas échéant à proposer la mise en place de mesures compensatoires.

Selon le plan donné par le secrétariat marocain d'état chargé de l'eau et l'environnement, on distingue la protection directe et la protection indirecte :

- La protection directe consiste à intervenir directement sur le site menacé par la réalisation des actions suivantes : le curage, Le renforcement des ouvrages de franchissements de l'oued, le recalibrage, la réalisation de canaux permettant de régénérer le couloir initial de l'oued, la protection des berges et l'endiguement de oued ;
- La protection indirecte, consiste à intervenir plus loin des sites menacés c'est-à-dire, à l'extérieur du périmètre d'aménagement, en réalisant des ouvrages sur les cours d'eau responsables des inondations par : la création des canaux périphériques de dérivation des eaux vers les oueds, l'amélioration de l'environnement et création d'espaces verts, l'aménagement des bassins versants contre l'érosion par la construction des seuils en gabions ou la réalisation des barrages ou seuils pour le stockages des crues à l'amont des zones menacées.

III- Information et alerte

Les mesures d'information et d'alerte consistent, d'une part, en la diffusion des avis de crues auprès des populations concernées, en la mise en place d'indicateurs des zones inondables, et d'autre part en l'établissement de plans de secours à plusieurs niveaux (pré-alerte, alerte, évacuation).

La définition des cotes de pré-alerte et d'alerte doit faire l'objet d'une étude à part entière et des stations de surveillance des niveaux d'eaux doivent être mise en place.

Ces mesures sont à mettre en œuvre assez rapidement, avec dans un premier temps la réalisation d'études hydrauliques visant à déterminer les cotes de pré-alerte et d'alerte pour les secteurs aux enjeux les plus importants.

Conclusion générale

Le bassin versant du Tensift offre un environnement climatique et morphologique propice au ruissellement superficiel et au développement de crues. Il est caractérisé par des pentes assez faibles sur la plaine mais beaucoup plus importantes sur les montagnes, des substratums imperméables 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 175 mm à la station d'Abadla et de 286 mm à la station de Talmest. La valeur annuelle maximale a été enregistrée pendant l'année 1970/1971 tandis que l'année sèche était 2000-2001 pour la station d'Abadla, alors que pour la station de Talmest, l'année 1995/96 est la plus arrosée, tandis que l'année sèche était 1984/85. Cependant Notons que l'essentiel de l'apport pluvial tombe sur les hauts reliefs de l'Atlas de Marrakech où les précipitations peuvent atteindre et même dépasser 500 mm par an.

Les variations mensuelles montrent que le régime pluviométrique du bassin est caractérisé par une saison pluvieuse en automne et en hiver suivi d'une longue période très peu pluvieuse d'avril à octobre.

Le régime hydrologique de bassin versant de Tensift à l'aval n'est pas exclusivement lié aux pluies mais aussi à des chutes nivales dans leur partie amont et à une nappe phréatique importante. Celles-ci régularisent les débits des cours d'eau en renforçant les débits du printemps.

Bien qu'avec des débits moyens annuels faibles ($4.63 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station d'Abadla et $5.71 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Talmest), les crues de Tensift sont caractérisées par des débits de pointes très élevés. Ils dépassent souvent $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Ils ont même atteint pour certaines crues 720, 810, et même $1275 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la fameuse crue de novembre 1988, ainsi que les débits de pointe de la crue de 30 novembre 2014 qui n'ont jamais été observés auparavant, $1597 \text{ m}^3/\text{s}$ ont été enregistrés à Abadla et même $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ à Talmest.

Ces crues sont par ailleurs caractérisées par des temps de montées variable, de quelques heures à quelques dizaines d'heures. Ce qui donne des hydrogrammes parfois étalés, avec un volume d'eau important, assez dangereux pour les dégâts qu'ils peuvent occasionner.

En se servant d'un outil statistique qui utilise une série de lois mathématiques des débits extrêmes, les prévisions et les probabilités d'occurrence des crues à Abadla, avant les crues de novembre 2014, attribuent à ces crues une période de retour de 500 ans, alors qu'en intégrant ces mêmes crues de 2014 dans les ajustements statistiques, la pointe de $1597 \text{ m}^3/\text{s}$ n'aurait plus qu'une période de retour d'environ 200 ans. Pour la station de Talmest, la pointe de $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ qui avait une période de retour de 800 à 1000 ans avant les événements hydrologiques précités, aurait finalement une durée de retour de 200 à 250 ans seulement.

Sur le plan des impacts sur le milieu naturel, ces crues sont dommageables sur l'environnement, sur le capital humain, sur les infrastructures et sur l'économie en général. Il faut donc faire face à ce risque naturel par la prévention, la prévision et la protection.

La mise à jour des modèles de prévision hydrologique en y incorporant les récentes et exceptionnelles pointes de crues incitera donc à la réactualisation de toutes les prévisions et les périodes de retours des événements hydrologiques extrêmes. Ainsi les estimations des crues cinquantennale ou centennale par exemple seront toutes revues à la hausse et les futurs aménagements hydrauliques et ouvrages d'art routiers devront s'établir sur ces nouveaux seuils hydrologiques.

Bibliographie

- ABHT - Agence du bassin hydraulique de Tensift Al Haouz.
- ABHT (2014) – Rapport de conjoncture sur l'évènement hydro-pluviométrique du 20 novembre au premier décembre 2014. Rapport interne. Marrakech, 10p.
- BURGEAP (2006) - Syndicat mixte de lutte contre les inondations. Etude de réduction du risque inondation sur le bassin versant de l'Orne (Départements du Calvados et de l'Orne). Rapport de synthèse, 21p.
- Haddani H. (2012) – Etude du fonctionnement hydrogéologique des bassins versants de Rhéraya, Ourika et Zat (Tensift_Marrakech, Maroc) : Hydrochimie isotopique. Mémoire de fin d'études, Master es Sciences Et Techniques « Eau et Environnement ». FSTG, Marrakech, 111p.
- Riad S. (2003) - Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles a partir de quelques bassins versants representatifs du Maroc. Thèse Univ. Agadir, 154p.
- SAIDI M. (1995) – Contribution à l'hydrologie profonde et superficielle du bassin du Souss (Maroc). Thèse Univ. Paris IV, 213p.
- Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement (2008). Etude pour la realisation d'une cartographieet d'un systeme d'information geographiquesur les risques majeurs au Maroc. Mission 1 : Identification des risques.Risque d'inondation, septembre 2008, Maroc, 56p.
- WELLENS J., TRAORE F., Niamian M. J., Karambiri H., Diallo M., Compaoré N.F., Dakouré D., Derouane J., Tychon B. (2008) - Elaboration du bilan d'eau du bassin versant du Kou et analyse critique des principaux composants. Article, 9p.
- http://www.biostatisticien.eu/springeR/livreR_presentation.pdf