



Année Universitaire : 2009-2010



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Modélisation hydraulique de la vallée du tronçon urbain  
de Oued Jeouna (Taza, Maroc)**

Présenté par:

**Mohammed MOURJANE**

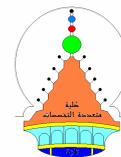
Encadré par:

**Pr. Tabyaoui Hassan, Faculté Polydisciplinaire, Taza**

**Soutenu Le 23 Juin 2010 devant le jury composé de:**

- **Pr. Benaabidate Lahcen**
- **Pr. Lahrach Abderrahim**
- **Pr. Tabyaoui Hassan**
- **Pr. Chaouni Abdel-Ali**
- **Pr. Mohamed Hanchane**

**Stage effectué à : la Faculté Polydisciplinaire de Taza**



# Dédicace

## **Avant-Propos**

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance au Doyen de la Faculté Sciences et techniques de Fès, qui m'a accordé la poursuite de mes études de Master au sein de notre établissement.

Je tiens à remercier Pr. Abderrahim LAHRACH, Chef de Département de Géologie pour ses efforts et sa détermination à améliorer nos études de Master.

J'adresse mes vifs remerciements au Pr. Lahcen BENAABIDATE, Responsable de Master : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux, pour ses qualités humaines et professionnelles et son souci à nous donner une formation de qualité.

Je dois exprimer ma gratitude à Mr. Hassan TABYAOUI, Professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taza, pour son encadrement. Ses remarques et ses critiques fructueuses ont grandement contribué à l'amélioration de ce travail.

Je remercie également tous les enseignants qui m'ont apporté des connaissances théoriques et des outils scientifiques et techniques essentiels dans ma vie académique et professionnelle.

Je remercie également, Professeurs Abdel-Ali CHAOUNI et Mohamed HANCHANE, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de siéger dans ce travail de Master.

J'ai beaucoup apprécié la bonne ambiance et l'esprit d'équipe de mes collègues de Master.

Je ne saurai conclure sans exprimer ma profonde gratitude envers tous les miens pour le soutien inconditionnel qu'ils m'ont sans cesse apportés. Je citerai mes parents, mes frères, ma sœur, et toute ma famille et mes amis.

## Sommaire

Avant-Propos	2
Introduction générale	6

### Chapitre 1 :

#### Contexte géographique et géologique du bassin versant de Oued Jeouna

I. Situation géographique et administrative.....	7
II. Cadre Géologique.....	7

### Chapitre 2 :

#### Paramètres physiographiques du bassin versant de Oued Jeouna

I. Forme du bassin versant .....	10
II. Acquisition des données .....	10
III. Détermination des paramètres physiographiques du bassin versant.....	10
III.1. Surface .....	11
III.2. Périmètre .....	11
III.3. Indice de compacité de Gravelius .....	11
III.4. Hypsométrie du bassin versant.....	11
III.5. Rectangle équivalent.....	12
III.6. Longueur du cours d'eau principal .....	13
III.7. La pente moyenne (Pm) du bassin versant .....	14
III.8. Densité de drainage .....	14
III. 9- Profil en long du cours d'eau principal.....	15
IV- Conclusion .....	15

### Chapitre 3 :

#### Etude climatologique

I- Introduction.....	16
II. Acquisition des données .....	16
III. Reconstitution des données manquantes .....	17
IV. Test d'homogénéité des données .....	18
IV. 1- Différents facteurs affectant l'homogénéité des données.....	18
IV. 2 Les principales modifications qui peuvent affecter l'homogénéité des séries .....	18
IV. 3 Différents types de test d'homogénéité.....	18
V. Analyse fréquentielle des précipitations annuelles.....	25
VI. Analyse des précipitations mensuelles.....	28
VII. Analyse des précipitations saisonnières.....	30
VIII. Influence de l'altitude sur les variations des précipitations.....	32
IX. Variation de la Température .....	32
X. Diagramme Ombrothermique.....	34
XI. l'Evapotranspiration.....	34
XI.1 Evapotranspiration potentielle ETP .....	35
XI.2 évapotranspiration réelle ETR.....	36
XII. Bilan hydrique.....	36
XIII- Conclusion.....	37

**Chapitre 4 :**  
**Etude hydrologique**

I- Introduction.....	38
II- Rappel des principes de la méthode .....	38
III- Description de méthode du Gradex .....	38
IV. Notion de période de retour.....	39
V. Application de la méthode de Gradex.....	39
V.1- Estimation du temps de concentration.....	39
V.2- Ajustement des pluies max journalières par la loi de GUMBEL.....	40
V.3- Estimation du débit de référence .....	41
V.4- Calcul de la lame d'eau ruisselée et du volume pour la fréquence 10 ans .....	42
V.5- Forme de l'hydrogramme de crue.....	42
V.6- Calcul des lames d'eau ruisselées et des débits de pointe pour différentes fréquences.	43
VI- Conclusion.....	44

**Chapitre 5 :**  
**Modélisation hydraulique de Oued Jeouna**

I- Introduction .....	45
II. Aperçus sur le logiciel HEC-RAS .....	45
III. Fonctionnement .....	46
III.1 Géométrie du cours d'eau simulé .....	46
III.2- Débits, conditions aux limites et de calcul .....	47
III.3- Résultats .....	47
IV. Régime permanent et régime transitoire .....	47
IV.1 Régime permanent .....	47
IV.2 Régime transitoire .....	49
IV.2.1 - Équation de Continuité .....	49
IV.2.2 - Équation du moment .....	50
IV.2.3 - Schéma implicite des Différences Finies .....	51
V. Réalisation du modèle hydraulique de l'oued Jeouna .....	51
V.1 - Problèmes rencontrés lors de la construction géométrique .....	52
V.2 - Géométrie de profils en travers .....	52
V.3 - Le Coefficient de Manning .....	53
V.4 - L'interpolation entre les profils transversaux .....	54
V.5 - Débits et conditions limites.....	55
VI. Visualisation et discussion des résultats .....	58
VI.1 - Ligne d'eau .....	58
VI.2. Vue de trois dimensions du tronçon modélisé .....	58
VI.3. Vitesse d'écoulement .....	61
VI. 4. Restitution de la courbe de tarage .....	63
VII- Conclusion .....	63
<b>Conclusion Générale</b>	64
<b>Bibliographie</b> .....	65

<b>Liste des figures</b> .....	67
<b>Liste des tableaux</b> .....	68
<b>Annexes</b> .....	69
<b>Planches photographiques</b> .....	77

## Introduction Générale

Qu'un pays au climat semi-aride comme le Maroc subit de temps à autre les grands méfaits des inondations, ce n'est guère un paradoxe. L'on est presque tenté d'affirmer que l'aridité favorise l'apparition de crues violentes car l'absence de couverture végétale soutient le ruissellement aux dépens de l'infiltration.

Et on peut définir ainsi une crue par la résultante d'actions et réactions de plusieurs facteurs tous dynamiques et aussi complexes les uns que les autres : d'abord les précipitations généralement de la pluie, et ensuite le bassin versant qui collecte cette pluie, qui la module et la restitue à son exutoire.

Cette étude concerne la modélisation hydraulique de Oued Jeouna (Est de la ville de Taza). Elle est basée sur une description géologique, climatique et hydrologique du bassin versant. Elle est suivie par le calcul des débits de points de différentes périodes de retour à partir des pluies journalières maximales. Cette étude fait appel à des applications mathématiques. Les équations qu'on en tire demandent, pour leur résolution, des outils informatiques. A cet effet, des logiciels de traitement de données (Ms-Excel, Ms-Access), d'applications SIG et cartographie (Map-Info, Global-Mapper) et de modélisation hydraulique (HEC-RAS) ont été appliqués.

Le choix de ce sujet vient de l'efficacité de la modélisation hydraulique dans la prévision des crues et l'adaptation des interventions contre les effets des crues dans les zones inondables. Le choix du secteur d'étude vient des conséquences provoquées par le débordement de l'Oued Jeouna sur les surfaces infrastructures de la ville de Taza.

Le document est réparti en 5 chapitres. Il commence par les chapitres 1 et 2 qui traitent la géologie, les paramètres physiographiques et climatiques du bassin versant de Oued Jeouna. Les chapitres 3 à 5 concernent l'étude hydrologique et la modélisation hydraulique de Oued Jeouna. Après la conclusion générale, des annexes et une série de planches photographiques illustrent les raisons du choix du sujet et du secteur d'étude.

## Chapitre 1 :

### Contexte géographique et géologique du bassin versant de Oued Jeouna

#### I. Situation géographique et administrative

La ville de Taza est le chef lieu d'une vaste province appartenant à la région Taza-Al Hoceima-Taounate. La province de Taza est découpée en 6 cercles dont le cercle de Taza qui comprend 7 communes à la périphérie de la ville. Les affaires communales sont actuellement gérées par le conseil de la ville.

La ville de Taza se situe dans la partie sud rifaine du Maroc. Elle est limitée au nord par la ville d'Al Hoceima à 140 Km, à l'ouest par la ville de Fès à 120 Km, par la ville de Guercif à l'est à 60 Km et au sud elle est limitée par les chaînes montagneuses du Moyen Atlas.

La ville de Taza est bâtie dans la vallée de l'Oued Larbaâ à cheval sur deux entités structurales très contrastées ; le Moyen Atlas au sud, aux roches dures (calcaires, basaltes, schistes) et au relief aux formes abruptes, et le Prérif au nord, aux matériaux tendres (marnes), aux pentes moins prononcées, fortement érodées et aux sols moins stables comme en témoignent les fréquents glissements de terrain. Cette situation de la ville, explique à la fois le relief très accidenté et les multiples types de sols rencontrés à Taza. Pour l'environnement immédiat, le relief présente une structure étagée où on peut distinguer quatre niveaux : la médina au sud (altitude moyenne 580 m), la zone du quartier Moulay Youssef avec l'Ourida et les oliviers (530 m), la ville nouvelle (500m) et la zone basse au nord de la RN1 (400m). Près de 50 % des terrains à Taza et à ses environs immédiats ont des pentes supérieures à 5 % ; 9% ont des pentes situées entre 15 % et 20%.

#### II. Cadre Géologique

La région de Taza est caractérisée par deux unités géologiques qui diffèrent par leur lithostratigraphie et leur structure. Le domaine rifain, au nord, dépôts post-Jurassiques à prédominance marneuse, au Sud, s'étend la partie Nord-est du moyen Atlas septentrional (figure 1). Les anciennes formations de cette unité sont constituées par des schistes et des roches éruptives du paléozoïque, surmontés en discordance par des argiles du Trias. Ces unités affleurent essentiellement à la faveur de failles et de la boutonnière de Zekkara (sud-ouest de Taza).

Au-dessus viennent se déposer les terrains du Jurassique, constitués par des dolomies, des calcaires et des marno-calcaires. Structuralement, le Jurassique est affecté par un système de synclinaux asymétriques orientés SW-NE (parallèles à l'accident nord moyen atlasique) et découpés par un système de failles longitudinales et transversales). Le Miocène est attribué au recouvrement marno gréseux surmontant le Jurassique au Nord, le Quaternaire, quant à lui, est représenté par des dépôts alluvionnaires et limoneux dans les vallées et les dépressions.

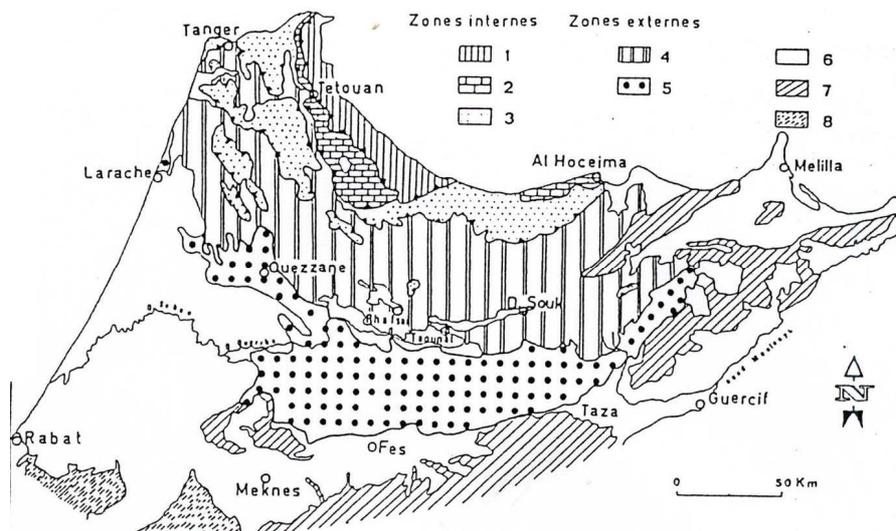


Figure 1 : Schéma géologique simplifié du Rif  
d'après la carte géologique du Maroc au 1/2000 000

- 1- Nappes paléozoïques, 2- Chaîne calcaire, 3- Nappe des flyschs, 4- Subrif, 5- Complexe tectono-sédimentaire pré-rifain, 6- bassins post-nappes (Miocène supérieur -Quaternaire, 7- Avant-pays, 8- Meseta.

La ville de Taza est limitée par à l'est, à l'ouest et au nord par un réseau hydrographique important. Les affluents principaux de l'Oued Inaouen et en particulier Oued Larbaâ et Oued Taza (lhaddar) qui traversent la ville de Taza, provoquent des débordements des eaux sur certains quartiers, des coupures de certaines routes et l'inondation de quelques terrains agricoles situés sur les rives des cours d'eau. L'Oued Larbaâ draine le versant nord pré-rifain et l'Oued Taza prend source au sud de la ville. Ces deux oueds se croisent au niveau du quartier El Melha qui constitue la zone la plus exposée aux inondations dans la ville. L'ouest Jeouna est le seul affluent sud de l'Oued Larbaâ. Il prend source au sud-est de la ville. Son tronçon nord est situé en zone urbaine. Il s'y caractérise par un lit un peu encaissé avec des berges basses de moins de 2m de hauteur en amont de la route nationale N6 et entre 2 à 3 m à l'aval.

La partie amont de cet Oued ne présente pas une morphologie particulière, puisque son lit se perd dans un talweg. La partie située en aval de la route N6 se caractérise par un lit mineur bien marqué et un lit majeur en rive gauche. Celui-ci est actuellement occupé par des habitations de quartier El Massira-2. Des maisons de ce quartier sont situées sur les rives de l'oued. L'Oued Jeouna franchit la route reliant le Quartier Al Qods au centre de Taza par un pont avec un dalot de 4 mètres de largeur et de 2.5 mètres de hauteur partiellement bouché par les dépôts des matériaux entraînés par les eaux de crue.

Le bassin versant de Oued Jeouna appartient entièrement à un contexte géologique marqué par la prédominance de formation tendre, essentiellement marneuses et marno-calcaires du crétacé et de la fin du tertiaire. Les roches gréseuses au conglomératique résistances, plus particulièrement sur la bordure sud du bassin restent peu représentées par rapport aux terrains imperméables. De plus, l'intensité de la fracturation et la présence de plusieurs accidents tectoniques reliés à la chaîne atlasique renforcent la fragilité des terrains dans la partie sud bassin versant.

Ce bassin versant appartient au contexte géologique qui associe une formation très vulnérable et imperméable. Celle-ci, pendant les phases pluvieuses permet des ruissellements importants, qui peuvent

engendrer des crues plus rapides et plus violentes que dans un bassin à substratum perméable avec une même quantité de pluie. L'impact des gouttes de pluies est fort sur les sols et la formation superficielle, les premières pluies peuvent facilement provoquer le colmatage complet du vide du sol, diminuant l'infiltration interne et provoquant des ruissellements en surface du sol presque aussitôt que la pluie commence à tomber.

Dans certaines parties de la vallée de l'oued Jeouna, les zones cultivées sont abondantes, se localisent sur les lits de l'oued, sur les terrasses et sur les cônes de déjection en raison de la disponibilité d'irrigation qui permet de développer une agriculture moderne. Certaines zones de reliefs sont caractérisées par la colonisation des plantes d'oliviers et l'extension de céréales (blé dure, orge etc....). La prolifération des zones nues dans le bassin versant correspond parfaitement aux sols nus, terrains rocheux, aux lits de l'oued et surtout aux traces d'érosion (badlands et ravines).

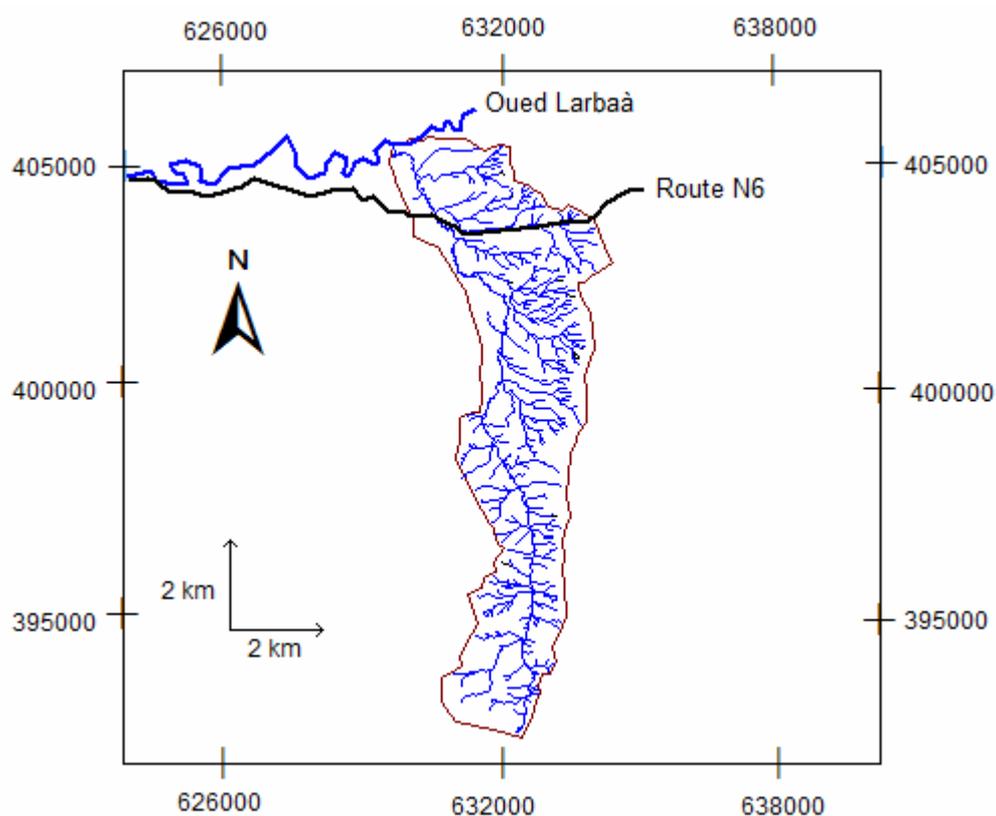


Figure 2 : Bassin versant de oued Jeouna

## Chapitre 2 : Paramètres physiographiques du bassin versant de Oued Jeouna

La physiographie et la géomorphologie d'un bassin versant ont une importance majeure car elles interviennent, et souvent d'une façon combinée, dans les modalités de l'écoulement superficiel (Riad 2003). Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage.

### I. Forme du bassin versant

Le modèle numérique de terrain est un élément important pour une compréhension facile du contexte topographique et géomorphologique général de la région. Le relief est en effet l'un des critères conditionnant l'installation des phénomènes hydrologiques, climatologiques et géomorphologiques. La restitution de la troisième composante spatiale (Z) facilite la lecture des informations topographiques et permet une exploitation facile des données.

Le MNT de la figure 3 est un SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) du bassin versant de Oued Jeouna. Il est au pas de 30 m avec une précision de l'ordre de 20 m en vertical (30 m en planimétrie). Il est restitué à partir d'images radar et peut être téléchargé sur le site <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html/>. Ce modèle permet de donner un aperçu sur la topographie du bassin versant.

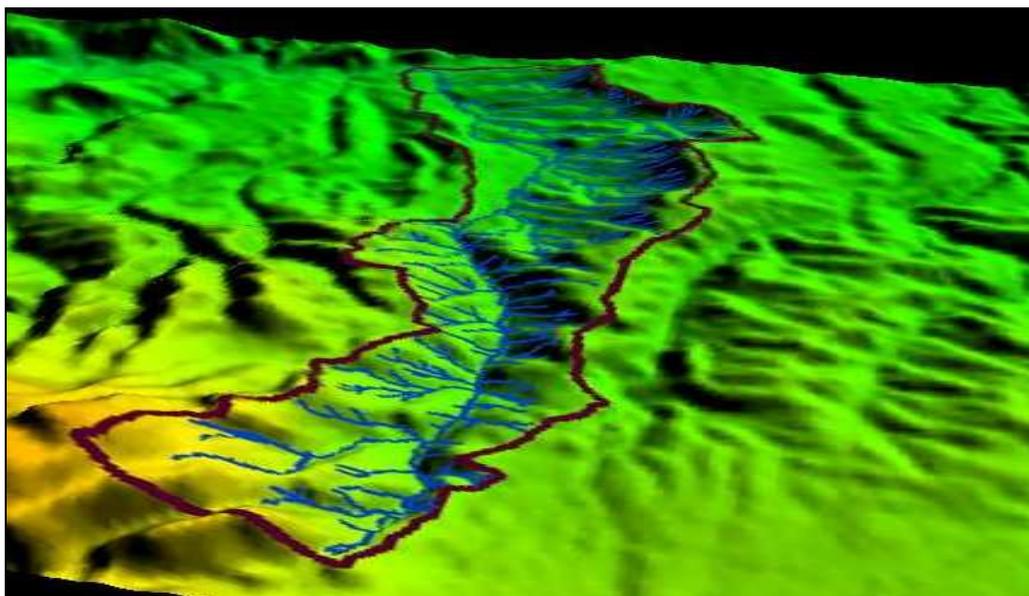


Figure 3 : Modèle numérique de terrain du bassin versant de Oued Jeouna

### II. Acquisition des données

La détermination des différentes variables physiographiques caractéristiques du bassin versant est obtenue à partir des cartes topographiques. Dans cette étude, nous avons déterminé ces variables à partir de cartes au 1/50 000 de Taza et Ain Albhira, moyennant des techniques digitales (cartes au format numérique, logiciel PhotoShop pour la scannérisation, logiciel SIG MapInfo) et à des modèles numériques de terrains.

### III. Détermination des paramètres physiographiques du bassin versant

Le comportement hydrologique du bassin versant d'Oued Jeouna est influencé par les facteurs physiographiques suivants :

### III.1. Surface

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau. Les débits vont donc être en partie reliés à sa surface. Celle-ci correspond à l'aire délimitée par l'ensemble des points les plus hauts qui constituent la ligne de partage des eaux. La surface (A) du bassin versant, exprimée en km<sup>2</sup> peut être déterminée à l'aide d'un planimètre ou mieux par les techniques de la digitalisation.

$$A = 32 \text{ km}^2$$

### III.2. Périmètre

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant. Il est exprimé en km. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant les points les plus élevés. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. Le périmètre peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par des logiciels. Dans cette étude, le calcul a été déterminée par le logiciel MapInfo.

$$P = 36.27 \text{ km}$$

### III.3. Indice de compacité de Gravelius

L'indice de compacité KG renseigne sur la forme du bassin versant. Cette dernière a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et surtout sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin, résultant d'une pluie donnée. Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il s'exprime par la formule suivante (ROCHE, 1963) :

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

Avec :

KG : Indice de compacité de Gravelius sans unité

P : Périmètre stylisé en km du bassin versant en km

A : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>

Cet indice a été déterminé à partir des cartes topographiques en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée. Un bassin versant circulaire est mieux drainé qu'un bassin allongé.

$$K_c = 1,58$$

**K<sub>c</sub>** est supérieur à 1 : le bassin versant d'Oued Jeouna a alors une forme allongée.

### III.4. Hypsométrie du bassin versant

L'étude hypsométrique du bassin versant est déterminée en fonction des intervalles d'altitude. Ce choix est fondé sur le fait que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont influencés par l'altitude.

**L'hypsogramme ou histogramme de fréquence des altitudes** est un graphique sur lequel les valeurs des altitudes sont réparties sur l'axe des abscisses. La surface, en% de la surface totale comprise entre deux altitudes successives, est reportée sur l'axe des ordonnées.

**Courbe hypsométrique** (figure 4) est construite sur le graphique précédent avec des ordonnées représentant la surface du bassin qui se trouve au-dessus des cotes d'altitudes portées en abscisse.

Altitude	Surface cumulée en km <sup>2</sup>	% de la surface totale	Fraction Xi=si/s totale
450	31.57	100	0
550	20.83	65,98	0.340
750	4.97	15,74	0.502
900	2.3	7,28	0.085
1000	1.17	3,7	0,036
1275	0	0	0.37

Tableau 1- valeurs de la courbe hypsométrique du bassin versant de Oued Jeouna

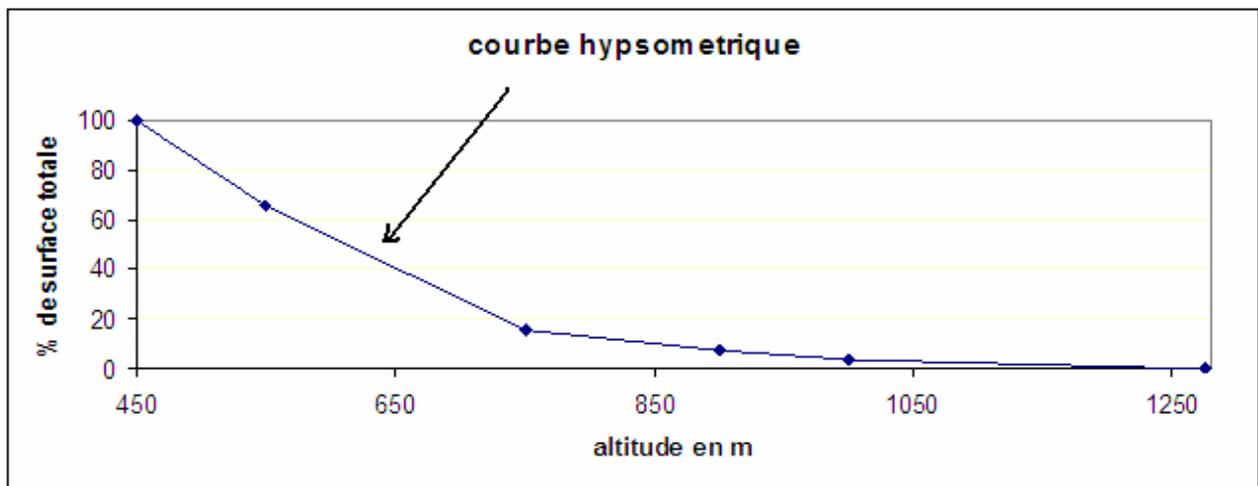


Figure 4 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Jeouna

La lecture de cette courbe montre que le bassin versant est moyennement érodé. Il s'agit donc d'un ancien bassin versant.

### III.5. Rectangle équivalent (figure 5)

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux cotés du rectangle équivalent. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau. Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes (ROCHE, 1963) :

**La longueur L :**

$$L = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right) \quad \text{Donc } L = 13.61 \text{ km}$$

La largeur l :

$$l = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right)$$

Donc l = 2.35 km

Avec :

KG: Indice de compacité de Gravelius et qui doit être supérieur ou égal à 1 ,12

A : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>

L : Longueur du rectangle équivalent en km

l : Largeur du rectangle équivalent en km.

On peut déterminer la distance des courbes de niveau on utilisant la formule suivante :

$$D_i = X_i * L$$

$X_i$	L	$D_i$
0.340	13.61	4.63
0.502	13.61	6.83
0.085	13.61	1.16
0.036	13.61	0.49
0.037	13.61	0.50

Tableau 2. Valeurs de calcul de la distance des courbes

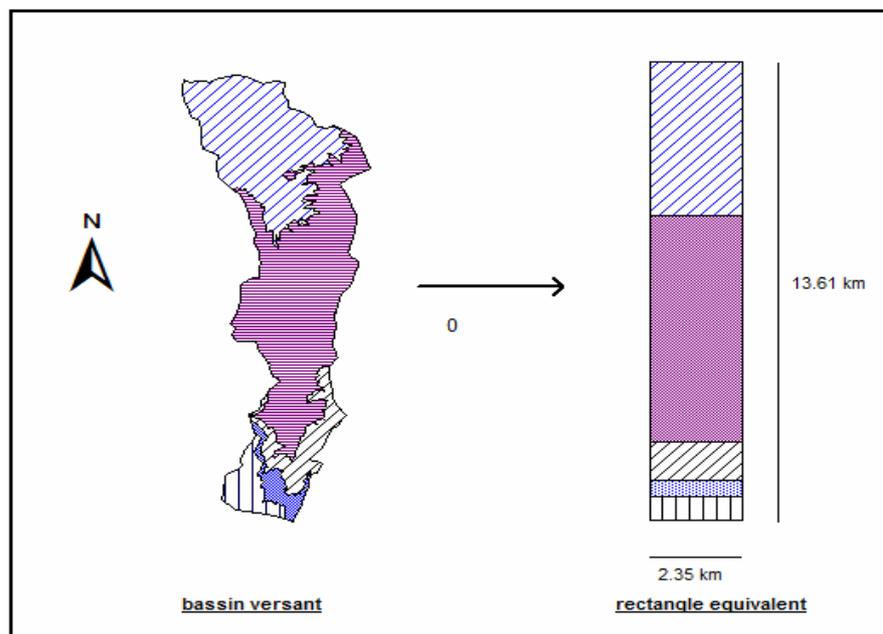


Figure 5 : Rectangle équivalent du bassin versant de Oued Jeouna

### III.6. Longueur du cours d'eau principal

La longueur du cours d'eau principal (L) est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Cette distance parcourue est exprimée en km. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la

plus grande surface. Autrement, c'est la distance mesurée le long du cours d'eau principal depuis l'exutoire jusqu'à la ligne des partages des eaux d'un bassin versant.

$$\text{Log} = 17.45 \text{ km}$$

### III.7. La pente moyenne (Pm) du bassin versant

C'est une caractéristique importante des bassins versants qui renseigne sur la topographie du bassin. La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Elle influence sur l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant (Benaabidate 2009). En effet, plus la pente est forte, plus la durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents et le cours principal est faible, par conséquent le bassin réagira d'une façon rapide aux averses. Les pentes fortes à très fortes peuvent produire des écoulements de nature torrentielle qui sont à l'origine des crues dévastatrices.

Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$S = 2\text{Alt moy}/\text{LOG}$$

Avec :

S : Pente moyenne du bassin versant en %

Alt moy : est l'altitude moyenne du bassin versant en m

LOG : longueur du cours d'eau principal

$$S = 5.6\%$$

### III.8. Densité de drainage

La densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle correspond pour un bassin versant donné de superficie « A » comme étant la longueur totale des cours d'eau d'ordre quelconque sur la superficie totale « A » du bassin versant. La densité de drainage est exprimée en km/km<sup>2</sup>

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec :

Li : Longueur totale des cours d'eau en km

A : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

$$D_d = 4.07 \text{ km}^{-1}$$

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatiques et anthropiques. En effet, les secteurs situés en zones de roches perméables ont en général des densités de drainage faibles, alors que les secteurs de roches imperméables ont des densités plus élevées.

### III. 9- Profil en long du cours d'eau principal

Le profil en long du cours d'eau principal (figure 6) élaboré à partir du tableau 3 est un graphique représentant les différentes élévations du fond du cours d'eau en fonction de la distance à l'embouchure ou exutoire. Ce profil donne une idée sur l'allure du cours d'eau. La courbe montre une forte pente (distance entre 12000 m et 13500 m de l'exutoire), une pente moyenne entre 12000 m et 4000m et faible jusqu'en aval .

Altitude en m	Distance en km
450	0.81
465	2.53
480	3.37
530	5.10
580	6.95
630	9.00
750	11.93
940	13.14

Tableau 3- Valeurs de calcul du profil en eau du cours d'eau principal

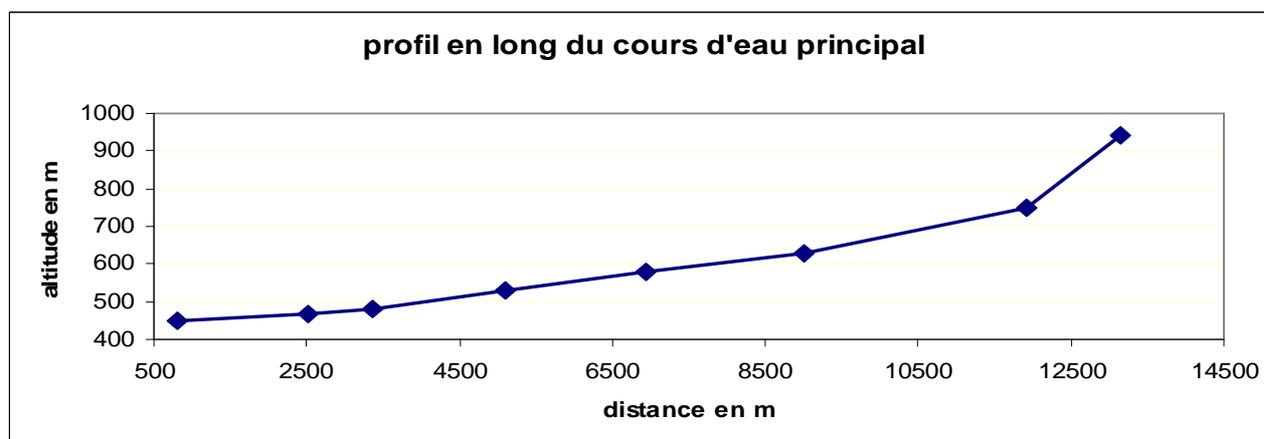


Figure 6 : Profil en long du cours d'eau principal

### IV- Conclusion :

Le bassin versant de Oued Jeouna est caractérisé par une superficie de 32 km<sup>2</sup>. La valeur de l'indice de compacité de Gravelius ( $K_c=1.58$ ) est supérieur à 1. Ceci montre que ce bassin a une forme allongée et qu'il est possible de calculer la largeur ( $l=2.35$  km) et la longueur de rectangle équivalent ( $L=13.61$  km).

A partir de la concavité de la courbe hypsométrique, on peut dire qu'il s'agit d'un bassin versant moyennement érodé surtout dans la partie aval et qu'il reste parmi les anciens bassins versants dans la région. Ces caractéristiques sont bien illustrées sur le modèle numérique de terrain.

## Chapitre 3 : Etude climatologique

### I- Introduction

Les caractéristiques climatologiques d'un bassin versant peuvent influencer sur tous les processus hydrologiques et hydrogéologiques dans ce bassin. Ce chapitre apportera plus de lumière sur la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la zone d'étude.

Les mesures de pluie directes au sol provenant d'un réseau de pluviomètres sont ponctuelles. Elles sont avant tout une valeur indicative du volume de pluie recueilli en un point spécifique. Pour des opérations d'aménagement, de gestion des eaux et de prévention des risques, cette connaissance spatiale discrète est insuffisante, notamment lors de l'interprétation d'événements pluvieux extrêmes

### II. Acquisition des données :

Cette étude est réalisée grâce à une série de données pluviométriques issue de :

- \* La Direction Provinciale de l'Agriculture Taza ;
- \* L'Agence du Bassin Hydraulique-Fès ;
- \* La Direction Provinciale des Eaux et Forêt de Nord-Est Taza ;
- \* Travaux Public – bureau d'Hydrologie de Taza ;
- \* Bureau Hydrologie de Guercif.

Après la collecte et le dépouillement des données, on constate qu'on peut diviser les 33 stations réparties sur le territoire de la Province de Taza en 3 groupes, selon la longueur de la période des données :

- **Groupe 1** : séries longues ne contiennent pas de manques : Taza (76 ans), Aknoul (46 ans), Tahla (36 ans), Guercif (36 ans) ;
- **Groupe2** : séries longues dépassant 20 ans d'enregistrement, avec certaines données manquantes : Anguied, Bab Azhar, Bab Marzouka, Bab Boudir, Echoyeb, El Kifane, El Kouchet, Had Msila, Tamjilte, Taineste, Rechida, Oued Amlil ;
- **Groupe3** : séries courtes, avec beaucoup de données manquantes. On peut le diviser en deux séries :
  - Série dépassant 10 ans (Lamrija, Saka, Taddert, Bab Lakhmis, Marticha, Chebabat, Bab Larbaa...);
  - Série ne dépassant pas 10 ans qu'on a éliminé (Tizi Ousli, Bab Laouata, Bni Hitem...).

Dans cette étude, nous allons nous intéresser qu'aux 5 stations qui ont beaucoup plus d'influence sur le secteur d'étude : stations de Taza, Bab Marzoka, Bab Boudir, El Kifane et Tadderte (figure 7).

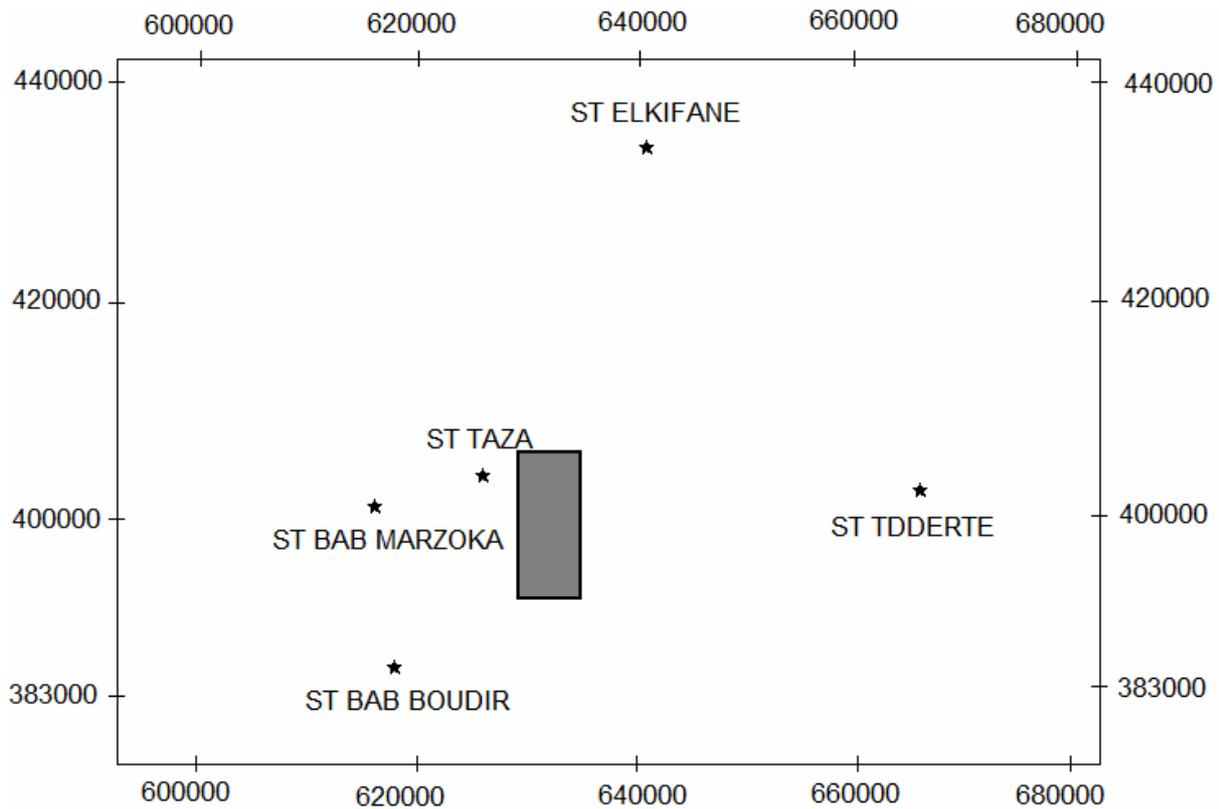


Figure 7 : Position des stations climatologiques prises en compte dans cette étude

### III. Reconstitution des données manquantes :

Dans le but de travailler sur des données complètes, nous avons utilisé des méthodes statistiques pour reconstituer les lacunes dans les séries des données pluviométriques.

**Méthode 1** : Si la moyenne annuelle de la station en question diffère de moins de 10% des stations environnantes, alors une simple moyenne arithmétique donne une bonne estimation des précipitations manquantes.

$$P_x = 1/n * \sum P_i$$

Avec

$P_x$  : donnée manquante de la station « x »

$P_i$  : donnée de la station environnante « i » pour la même période

$n$  : nombre de stations environnantes

**Méthode 2** : Si la moyenne annuelle de la station en question diffère de plus de 10% avec une des stations environnantes, l'interpolation doit alors être une pondération par le rapport des moyennes annuelles. C'est la méthode du rapport rationnel :

$$P_x = 1/n * \sum N_x/N_i * P_i$$

Avec

$P_x$  : donnée manquante de la station « x »

$P_i$  : donnée de la station environnante « i » pour la même période

$N_x$  : moyenne annuelle de la station « x »

$N_i$  : moyenne annuelle de la station environnante « i »

n : nombre de stations environnantes

**En pratique** : pour calculer le manque d'une station donnée, deux cas se présentent :

- on utilise la méthode 1 lorsque les stations environnantes sont situées à une distance  $\leq 50\text{km}$
- on utilise la Méthode 2 lorsque les stations environnantes sont situées à une distance  $> 50\text{km}$

### **Méthode 3 : utilise la valeur médiane.**

Statistiquement la médiane est la valeur des précipitations qui partage la série des données en deux parties égales. C'est une valeur probable réalisable en une année sur deux. Dans le contexte climatique méditerranéen, où les précipitations se caractérisent par une extrême variabilité interannuelle, la valeur de la médiane a plus de signification climatique que la moyenne arithmétique. C'est dans ce sens que nous avons adopté pour son emploi dans le comblement des lacunes, là où les deux méthodes (méthodes 1 et 2) sont inapplicables. Une donnée manque dans une station donnée et pour un mois donné de l'année est comblée par la valeur médiane de ce mois de la dite station.

## **IV. Test d'homogénéité des données**

### **IV. 1- Différents facteurs affectant l'homogénéité des données**

Les conditions de mesure d'une station peuvent varier au cours du temps. Les modifications des conditions de mesure peuvent introduire des ruptures artificielles dans les données qui ne reflètent pas les variations réelles du climat. En résultat, les séries climatiques sont composées de données climatiques réelles et de ruptures dues à des modifications des conditions de mesure. Ces ruptures peuvent être du même ordre de grandeur que le signal climatique réel. La correction de ces ruptures artificielles est donc nécessaire avant d'entreprendre des études sérieuses qui portent sur des séries climatiques. Le processus de détection et de correction des ruptures d'origine non climatique est appelé homogénéisation.

### **IV. 2 Les principales modifications qui peuvent affecter l'homogénéité des séries**

- le déplacement d'une station ;
- le remplacement d'un instrument de mesure ;
- le changement des heures d'observations ;
- une modification de l'environnement immédiat de l'instrument de mesure (urbanisation, croissance d'un arbre à proximité)
- un changement d'observateur.

### **IV. 3 Différents types de test d'homogénéité**

Plusieurs méthodes sont employées pour tester l'homogénéité des données climatiques. Parmi ces méthodes, on cite : test de la régression linéaire et test des doubles cumuls.

### Test de régression linéaire

Cette méthode consiste à chercher la corrélation entre deux séries de données pluviométriques. Elle est employée lorsque deux séries de données pluviométriques de deux stations présentent une intersection assez longue dans la période d'enregistrement des données.

En testant la signification de cette relation à l'aide de la table de Bravais Pearson, avec :

- Un seuil  $\alpha = 0.05$  et
- Un Nombre de degré de liberté ddl, avec  $ddl = n-p-1$  ; où
  - n : nombre de couples d'observation,
  - p : nombre de variables explicatives,

On peut conclure que les données pluviométriques des deux stations sont corrélées ou pas.

Et donc Si **R (calculé)** est supérieur à **R (lu)** dans la table, on conclut qu'il existe une corrélation linéaire significative, avec un risque  $\alpha = 0.05$  (voir table de BRAVAIS-PEARSON en Annexe).

Vu la quantité des données pluviométriques, nous allons effectuer une étude de corrélation entre 4 stations ayant un nombre suffisant des données : stations de Taza, Bab Marzoka, Bab Boudir et El Kifane. Alors que les données de la station de Tadderte ne présentent que 17 ans de mesure. Le tableau 4 montre les différentes corrélations qui existent entre les 4 stations.

Corrélation Taza/ Bab Boudir			Corrélation Taza/Bab Marzoka			Corrélation Taza/ El Kifane		
années	p,an b, boudir	p an Taza	années	p,an b , mrzka	p,an Taza	années	p,an el kifan	p,an Taza
73/74	1244	645,7	70/71	837,7	668,9	73/74	403	645,7
74/75	1118,8	607,9	71/72	700,3	535,3	74/75	331,7	607,9
75/76	1181,2	790,1	72/73	556,3	555	75/76	421,9	790,1
76/77	1850,1	904,1	73/74	415,6	645,7	76/77	319,6	904,1
77/78	1744,7	665,6	74/75	529,2	607,9	77/78	399,8	665,6
78/79	1064,7	522,6	75/76	528,4	790,1	78/79	397	522,6
79/80	1411,2	568,77	76/77	685,3	904,1	79/80	339,5	568,77
80/81	978	463,5	77/78	705,5	665,6	80/81	237,3	463,5
81/82	1126,1	451,4	78/79	683,9	522,6	81/82	328,2	451,4
82/83	714,8	418,5	79/80	677,8	568,77	82/83	204,5	418,5
83/84	938,2	554,4	80/81	460,6	463,5	83/84	348,9	554,4
84/85	640,3	361,9	81/82	429,7	451,4	84/85	172,3	361,9
85/86	1084,2	630,9	82/83	466,9	418,5	85/86	323,2	630,9
86/87	1030	413,6	83/84	549,3	554,4	86/87	325,578125	413,6
87/88	1775,3	523,4	84/85	385,5	361,9	87/88	263,083842	523,4
88/89	1008,3	477	85/86	802,9	630,9	88/89	271,3	477
89/90	960,5	629,5	86/87	537,3	413,6	89/90	433,4	629,5
90/91	1237,5	509,7	87/88	525,3	523,4	90/91	353,9	509,7
91/92	1160,6	407,1	88/89		477	91/92	238	407,1
92/93	743,5	472,8	89/90	592,2	629,5	92/93	116,1	472,8
93/94	1025	469,78	90/91	594	509,7	93/94	251,5	469,78
94/95	603,6	274,7	91/92	499,4	407,1	94/95	166,9	274,7
95/96	1694,5	954	92/93	326	472,8	95/96	342,4	954
96/97	1323,6	824,3	93/94	463,9	469,78	96/97	342,3	824,3
97/98	926	755	94/95	305,3	274,7	97/98	411,4	755
98/99	298,5	290	95/96	854,1	954	98/99	269,8	290
99/00	498,7	412	96/97	562,7	824,3	99/00	197,6	412
00/01	1152,5	790	97/98	562,3	755	00/01	418,7	790
01/02	678,4	460	98/99	345	290	01/02	278	460
02/03	1448,4	793	99/00	415,2	412	02/03	359,5	793
03/04	1124,7	820	00/01	644,9	790	03/04	279	820
04/05	535,7	417,3	01/02	460,6	460	04/05	176,7	417,3
05/06	899,6	645	02/03	712,1	793	05/06	285	645
06/07	613,9	319,7	03/04	680,6	820	06/07	240,5	319,7
			04/05	383,2	417,3			
			05/06	505,9	645			
			06/07	314,4	319,7			
<b>R calculée</b>	0,700603433		<b>R calculée</b>	0,72117651		<b>R calculée</b>	0,63327335	
<b>ddl</b>	32		<b>Ddl</b>	35		<b>ddl</b>	32	
<b>R lu</b>	0,339		<b>R lu</b>	0,325		<b>R lu</b>	0,339	

Corrélation Bab Marzoka/ Bab Boudir			Corrélation El Kifan /Bab Boudir			Corrélation Bab Marzka/ El Kifan		
années	p an b,bodir	p an b,mrzoka	Années	p an b,boudir	a an el kifane	années	p an b,marzka	a an el kifane
73/74	1244	744,1	73/74	1244	403	73/74	744,1	403
74/75	1118,8	529,2	74/75	1118,8	331,7	74/75	529,2	331,7
75/76	1181,2	528,4	75/76	1181,2	421,9	75/76	528,4	421,9
76/77	1850,1	685,3	76/77	1850,1	319,6	76/77	685,3	319,6
77/78	1744,7	705,5	77/78	1744,7	399,8	77/78	705,5	399,8
78/79	1064,7	683,9	78/79	1064,7	397	78/79	683,9	397
79/80	1411,2	677,8	79/80	1411,2	339,5	79/80	677,8	339,5
80/81	978	460,6	80/81	978	237,3	80/81	460,6	237,3
81/82	1126,1	429,7	81/82	1126,1	328,2	81/82	429,7	328,2
82/83	714,8	466,9	82/83	714,8	204,5	82/83	466,9	204,5
83/84	938,2	549,3	83/84	938,2	348,9	83/84	549,3	348,9
84/85	640,3	385,5	84/85	640,3	172,3	84/85	385,5	172,3
85/86	1084,2	802,9	85/86	1084,2	323,2	85/86	802,9	323,2
86/87	1030	537,3	86/87	1030	325,58	86/87	537,3	325,58
87/88	1775,3	525,3	87/88	1775,3	263,08	87/88	525,3	263,08
88/89	1008,3	415,6	88/89	1008,3	271,3	88/89	415,6	271,3
89/90	960,5	592,2	89/90	960,5	433,4	89/90	592,2	433,4
90/91	1237,5	594	90/91	1237,5	353,9	90/91	594	353,9
91/92	1160,6	499,4	91/92	1160,6	238	91/92	499,4	238
92/93	743,5	326	92/93	743,5	116,1	92/93	326	116,1
93/94	1025	463,9	93/94	1025	251,5	93/94	463,9	251,5
94/95	603,6	305,3	94/95	603,6	166,9	94/95	305,3	166,9
95/96	1694,5	854,1	95/96	1694,5	342,4	95/96	854,1	342,4
96/97	1323,6	562,7	96/97	1323,6	342,3	96/97	562,7	342,3
97/98	926	562,3	97/98	926	411,4	97/98	562,3	411,4
98/99	298,5	345	98/99	298,5	269,8	98/99	345	269,8
99/00	498,7	415,2	99/00	498,7	197,6	99/00	415,2	197,6
00/01	1152,5	644,9	00/01	1152,5	418,7	00/01	644,9	418,7
01/02	678,4	460,6	01/02	678,4	278	01/02	460,6	278
02/03	1448,4	712,1	02/03	1448,4	359,5	02/03	712,1	359,5
03/04	1124,7	680,6	03/04	1124,7	279	03/04	680,6	279
04/05	535,7	383,2	04/05	535,7	176,7	04/05	383,2	176,7
05/06	899,6	505,9	05/06	899,6	285	05/06	505,9	285
06/07	613,9	314,4	06/07	613,9	240,5	06/07	314,4	240,5
<b>R calculée</b>	0,737425455		<b>R calculée</b>	0,53046221		<b>R calculée</b>	0,70110721	
<b>Ddl</b>	32		<b>Ddl</b>	32		<b>ddl</b>	32	
<b>R lu</b>	0,339		<b>R lu</b>	0,339		<b>R lu</b>	0,339	

Tableau 4 : Corrélation entre les stations avec R (calculé), ddl et R (lu)

Ces résultats montrent une forte corrélation entre les séries des précipitations annuelles des quatre stations. Ils attestent d'une homogénéité des données acquises et la possibilité de leur utilisation dans la description du climat du Bassin versant de Oued Jeouna.

### **Test des doubles cumuls**

Cette méthode a été longtemps utilisée car sa mise en œuvre est simple et ne nécessite pas de moyen de calcul particulier. Elle permet de mettre en évidence des erreurs systématiques dans une série de données. Soit deux séries d'observations ( $x_i$ ,  $y_i$ ) sur des variables corrélées entre elles. Il existe alors une relation du type :

$$y_i = ax_i + b$$

Si, par exemple, à partir d'une certaine date, on produit une erreur systématique sur « x », les variables « x » et « y » seront encore corrélées mais avec des coefficients a' et b'

Si on porte dans un graphique « xi » en fonction de « yi », il ne sera généralement pas possible de constater cet écart. Par contre, si on ne porte plus « xi » et « yi » mais « Yi » et « Xi », le test sera défini ainsi...

$$Y_i = \sum_{j=1}^i y_j ; X_i = \sum_{j=1}^i x_j$$

On aura alors une fonction monotone croissante en fonction du temps. Si « x » et « y » sont stables, les points s'aligneront sur une droite, mais si une des séries subit à partir d'une certaine date, une erreur systématique, on verra les points s'aligner selon deux droites.

Ce teste oblige le choix d'une station comme référence. Dans ce cas on utilise la station de Taza comme référence. Cependant, pour l'utiliser elle-même, la station doit subir un test en se basant sur l'allure de sa courbe des précipitations cumulées.

La figure 8 montre que l'allure de la courbe cumulative de la station de Taza est rectiligne ce qui nous permet de l'utiliser comme courbe de référence de test de double cumul des autres stations. A partir de ce test on observe une corrélation entre les stations (figures 9 à 12) ce qui montre une homogénéité des données et donc nous pouvons les utiliser dans l'étude climatologique du bassin versant de Oued Jeouna.

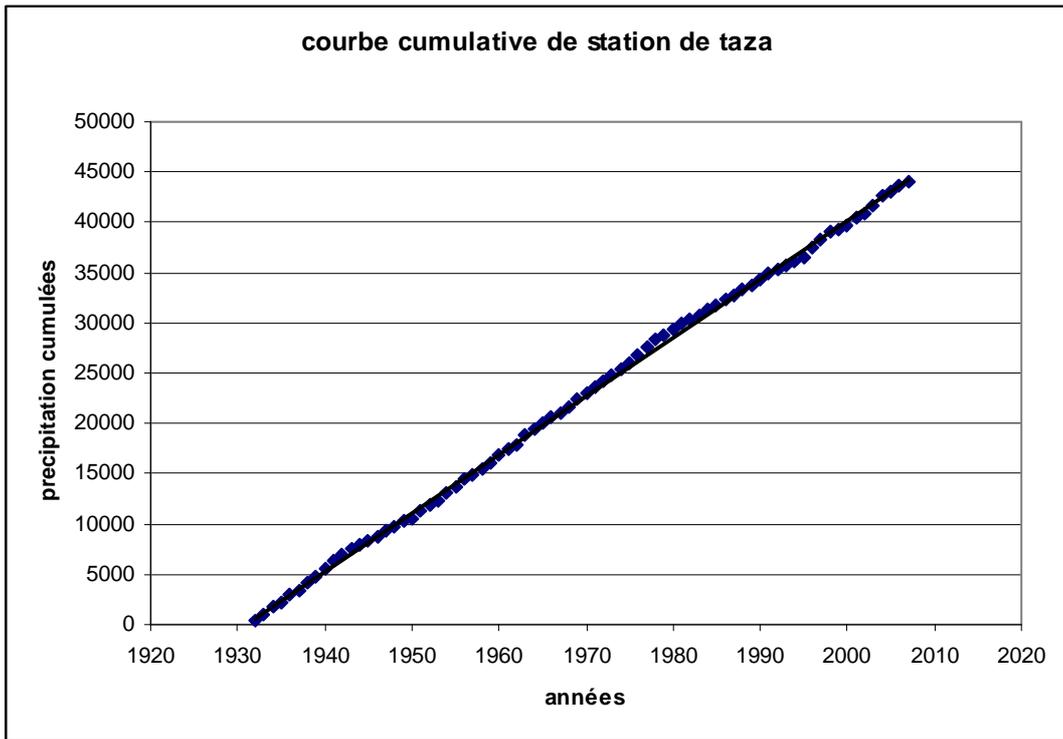


Figure 8 : Courbe cumulative de la station de Taza

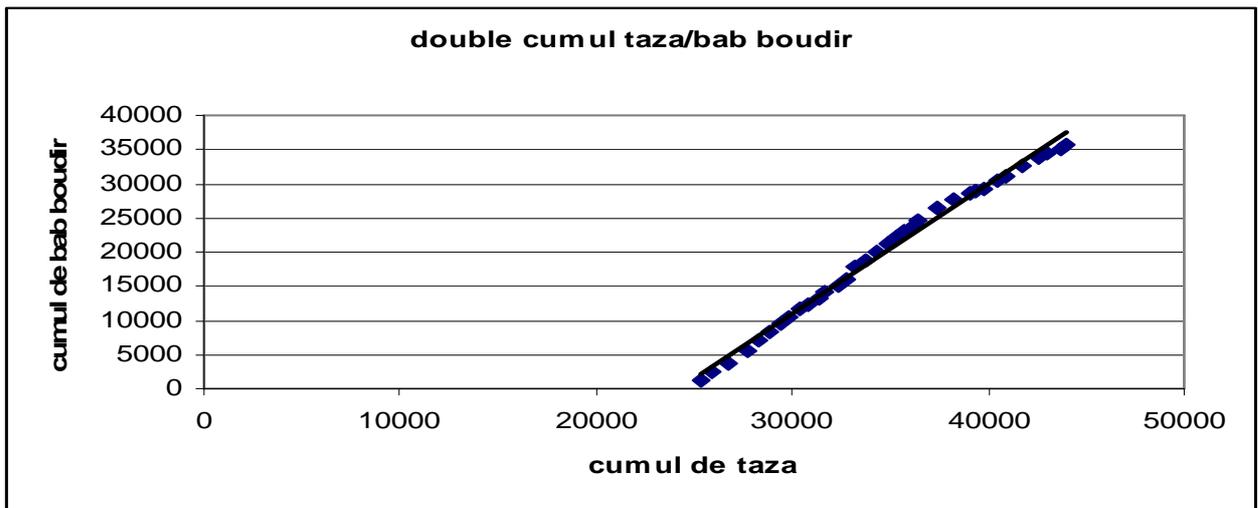


Figure 9 : Double cumul Taza/Bab Boudir

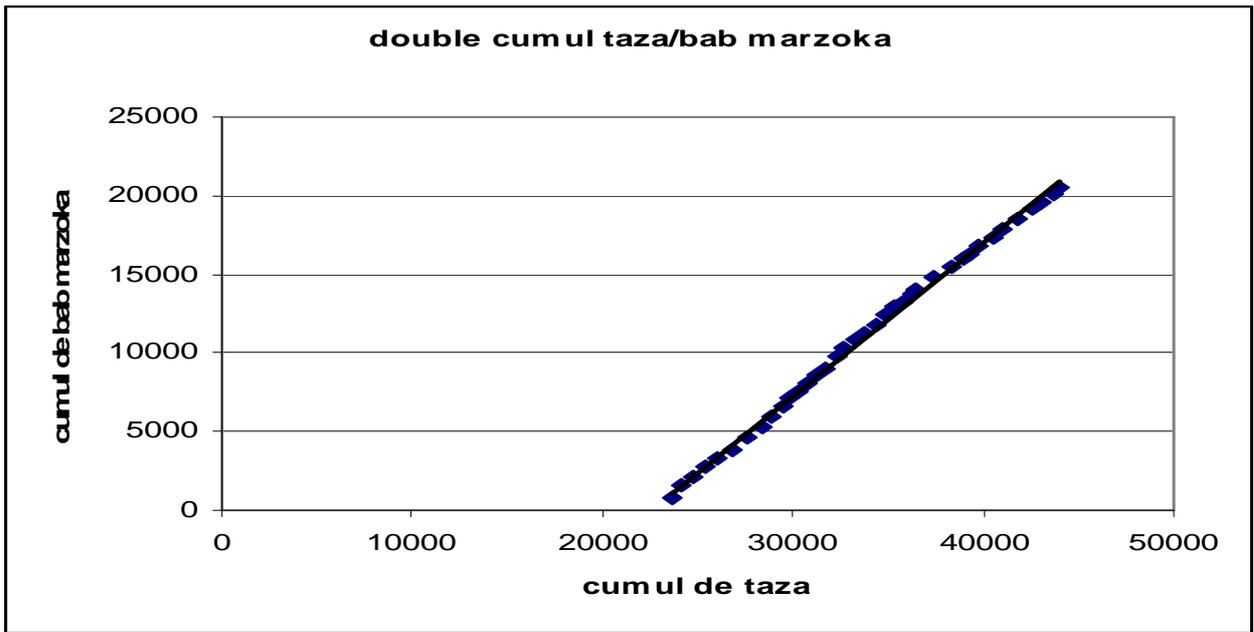


Figure 10 : Double cumul Taza/Bab Marzouka

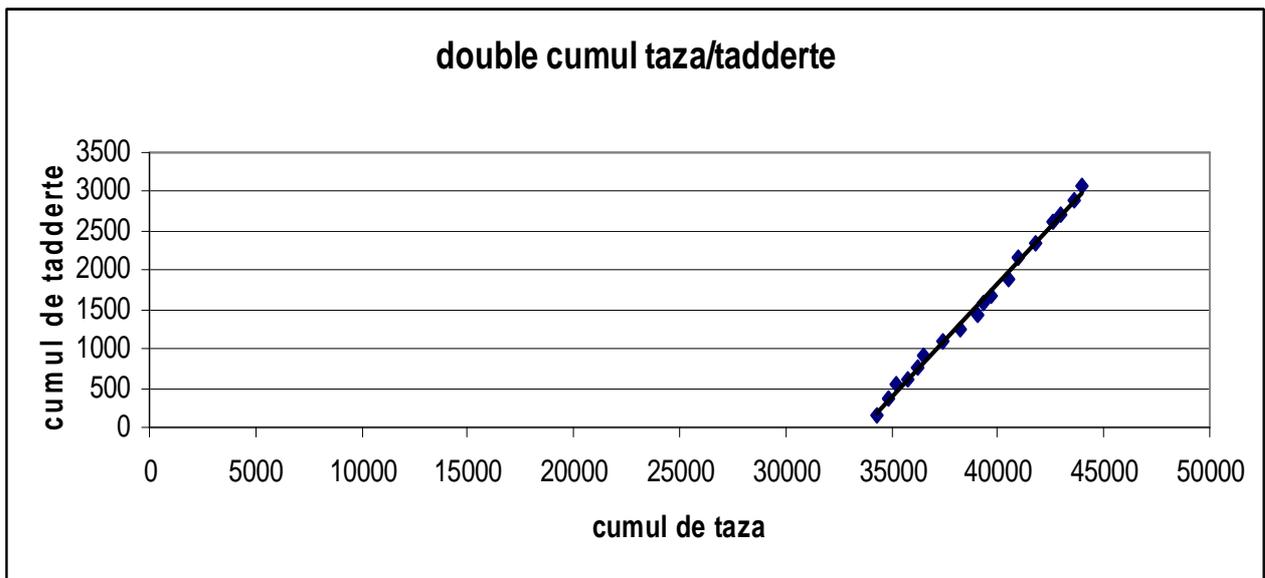


Figure 11 : Double cumul Taza/Tadderte

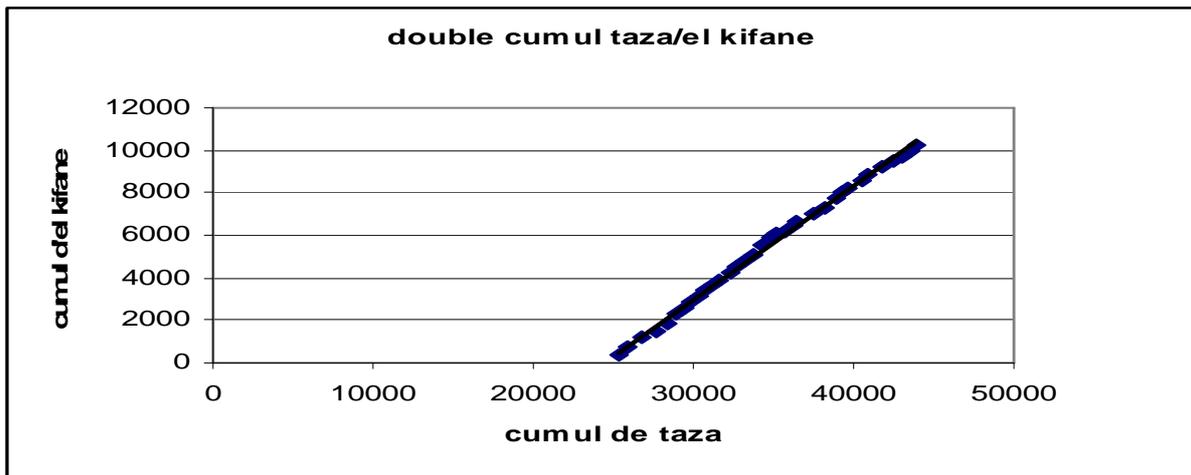


Figure 12 : Double cumulé Taza/El Kifane

### V. Analyse fréquentielle des précipitations annuelles

A partir des précipitations annuelles de chaque station, plusieurs paramètres statistiques caractéristiques de chaque station ont été calculés : la moyenne, la valeur max, la valeur min, l'écart type, le coefficient de variation, les quantiles et les centiles. Le tableau 5 illustre les différentes valeurs caractéristiques de chaque paramètre des stations étudiées.

Station	Taza	Bab Boudir	Bab Marzoka	El Kifane	Tadderte
Moyenne	578,42	1053,97	552,52	301,40	170,18
Max	969,2	1850,1	854,1	433,4	278,7
Min	274,7	298,5	305,3	116,1	47,8
Ecart.Type	164,08	375,75	147,39	82,94	55,98
Coefficient de variation (%)	28,37	35,65	26,68	27,52	32,90
Quartile 1	453,43	782,53	460,6	243,25	149,75
Quartile 2	552,15	1047,35	537,3	321,4	177,75
Quartile 3	674,13	1223,43	680,6	352,65	189,175
centile D1	409,55	606,69	367,92	182,97	98,21
centile D2	440,4	700,24	418,42	237,72	140,78
centile D3	466,74	923,36	463,24	261,93	153,21
centile D4	519,8	984,06	513,66	278,2	169,62
centile D5	552,15	1047,35	537,3	321,4	177,75
centile D6	607,9	1123,52	562,54	331	182,7
centile D7	649,5	1162,66	651,48	343,05	186,61
centile D8	704,4	1275,84	685,02	374,5	193,56
centile D9	806,5	1620,67	724,9	408,88	228,31

Tableau 5 : Paramètres caractéristiques des stations étudiées

Le tableau 5 montre que :

- les fortes précipitations sont enregistrées à Bab Boudir. La moyenne annuelle des précipitations est de 1053,97. Ceci peut être expliqué par le fait que cette station est localisée sur les reliefs du Moyen Atlas.
- les valeurs de précipitation sont identiques aux stations de Taza (578,42) et Bab Marzoka (moyenne de 552,52)

- les faibles précipitations sont enregistrées à Tadderte (moyenne de 170,18). Ceci est dû à la position géographique à l'est des reliefs du Moyen Atlas ;
- les valeurs sont peu faibles à la station d'El Kifane (moyenne de 301,40).

A la lumière de ces données, on se pose des questions relatives aux caractéristiques de la précipitation dans le secteur d'étude :

- *Question 1* : Quelle est la quantité minimum de pluie réalisable en neuf années sur dix ? Cette information est nécessaire pour savoir si les pluies sont suffisantes pour alimenter les cultures ou si une irrigation est nécessaire ;
- *Question 2* : Quelles sont les précipitations médianes sur lesquelles on peut généralement compter ?
- *Question 3* : Quelle est la quantité de pluie maximum reçue une année sur neuf afin de prévoir d'éventuels systèmes de protection du sol et/ou d'évacuation de l'eau...

Pour répondre à ces questions, nous présentons sur les figures ci-dessous (13 à 17), les pluies annuelles de chaque station pendant les trente dernières années.

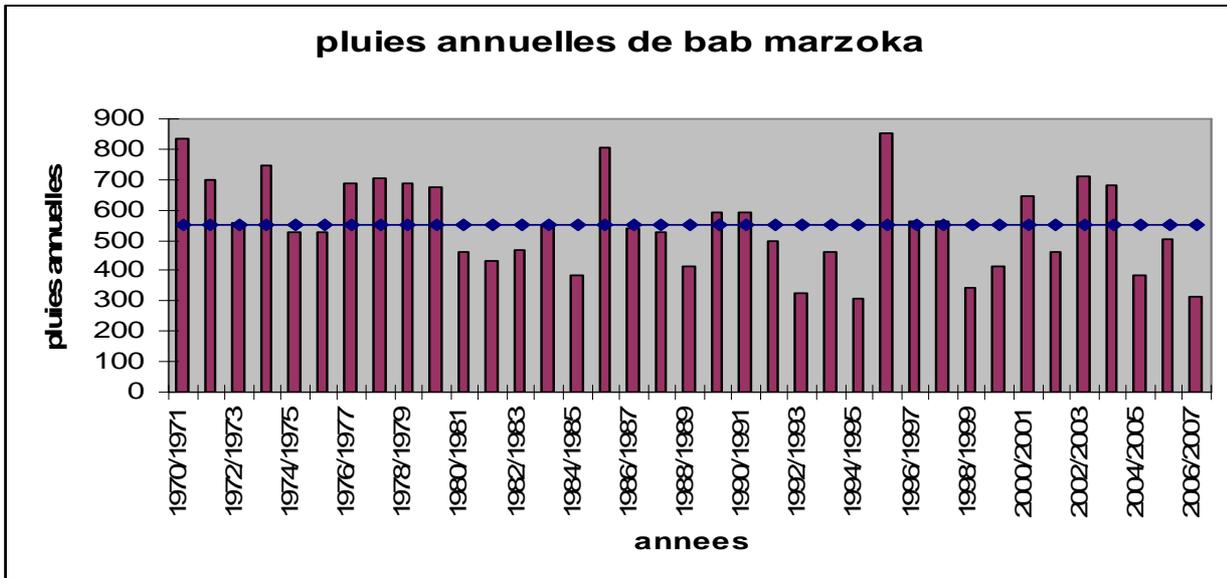


Figure 13: Pluies annuelles de la station de bab marzoka

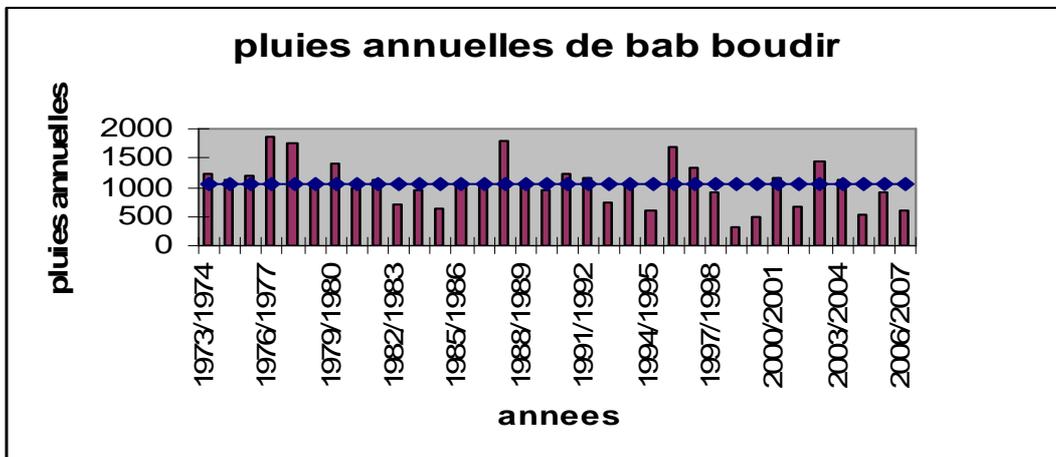


Figure 14: Pluies annuelles de la station de Bab Boudir

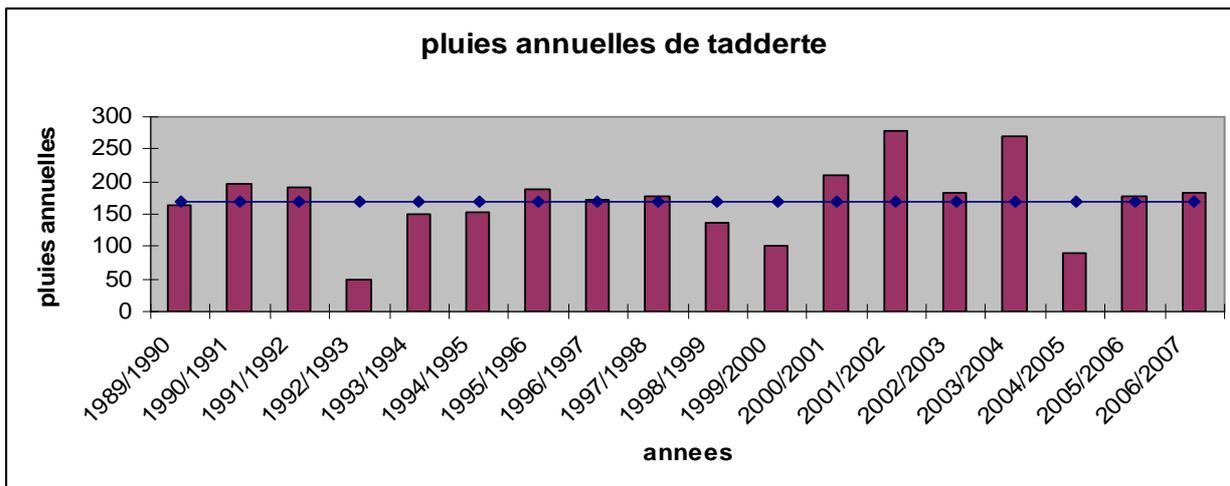


Figure 15: Pluies annuelles de la station de Tadderte

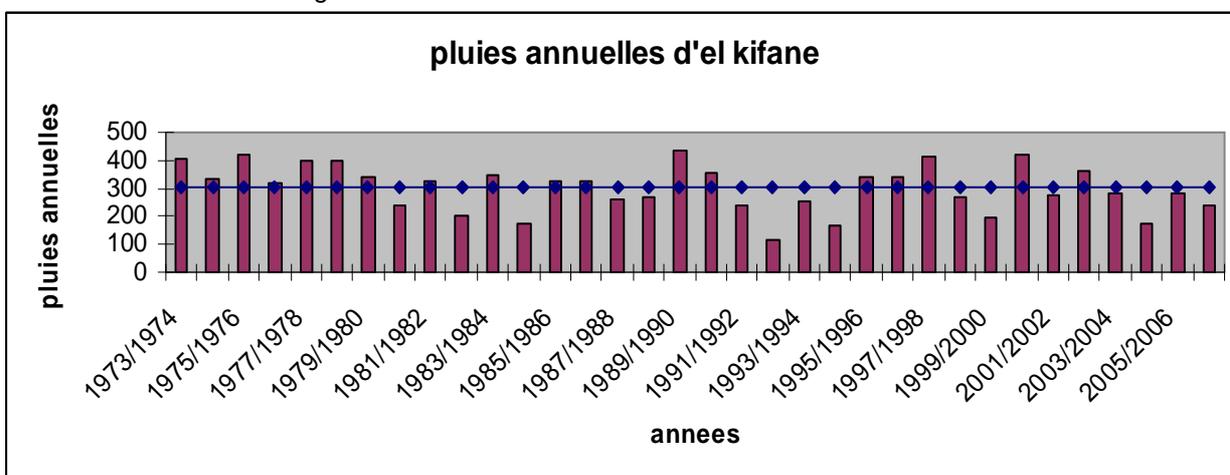


Figure 16: Pluies annuelles de la station d'El Kifane

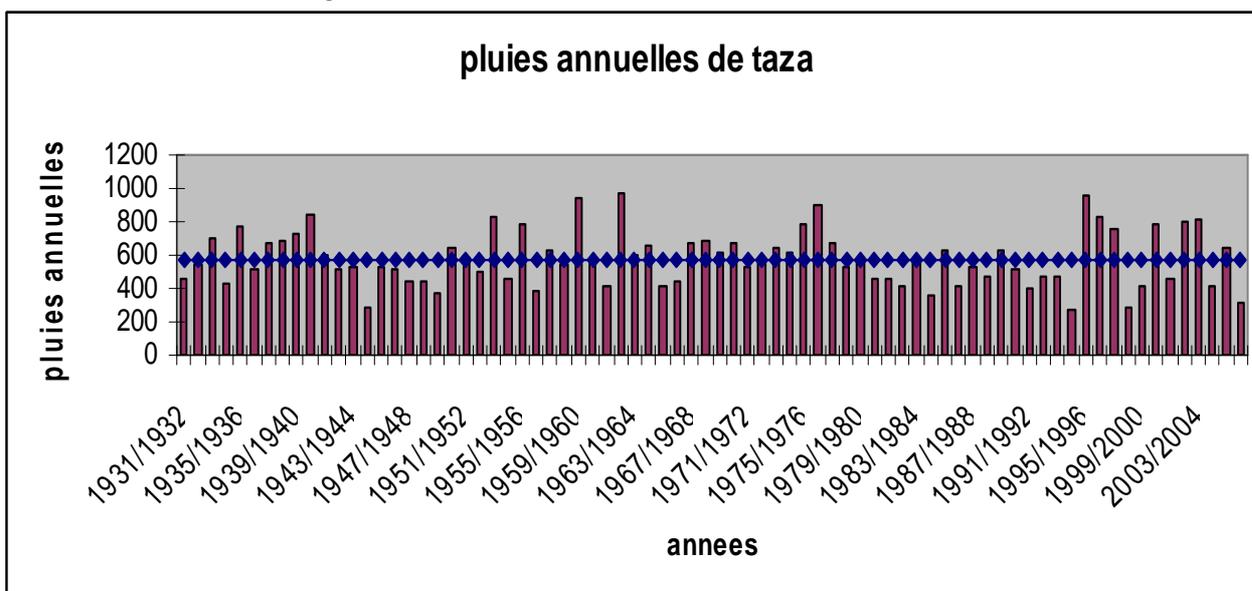


Figure 17: Pluies annuelles de la station de Taza

La comparaison sur les figures 13 à 17 entre les années de faible, moyenne et forte pluviométrie permet de tirer les résultats suivants :

- L'année de pluviométrie faible est marquée par des précipitations faibles et irrégulières. Les mois où la pluie est faible sont très fréquents. On remarque, cependant, que certains mois marquent des précipitations relativement fortes notamment le mois de mai et pendant l'été. Ces pluies, qui se font sous forme d'averses, se caractérisent par une très grande intensité. Ce régime pluviométrique s'exprime dans les cours d'eau par des écoulements torrentiels qui engendrent des débordements des eaux et des risques d'inondation.
- L'année de moyenne pluviométrie se caractérise par une pluviométrie relativement importante et qui diffère en fonction de l'altitude des stations (la moyenne est de 578,41 mm dans la station de Taza).
- L'année de forte pluviométrie est marquée par une pluviométrie est très importante, notamment dans la station de Bab Boudir où on note une moyenne de 1053,97 mm .

## VI. Analyse des précipitations mensuelles

Le but de cette analyse est d'avoir une idée sur la distribution des pluies à l'échelle mensuelle. En effet, la variation mensuelle des pluies permet de mieux comprendre la répartition temporelle des entrées du bassin qualitativement ainsi que quantitativement.

Les figures 18 à 22 présentent les variations mensuelles des précipitations au niveau de chaque station. L'analyse des courbes montre que la période de pluviométrie importante commence dès le mois de Septembre pour l'ensemble des stations observées et s'étend jusqu'au mois de Mai. La période de faible pluviométrie commence dès le mois de Juin (début d'été) et se termine au mois de Septembre.

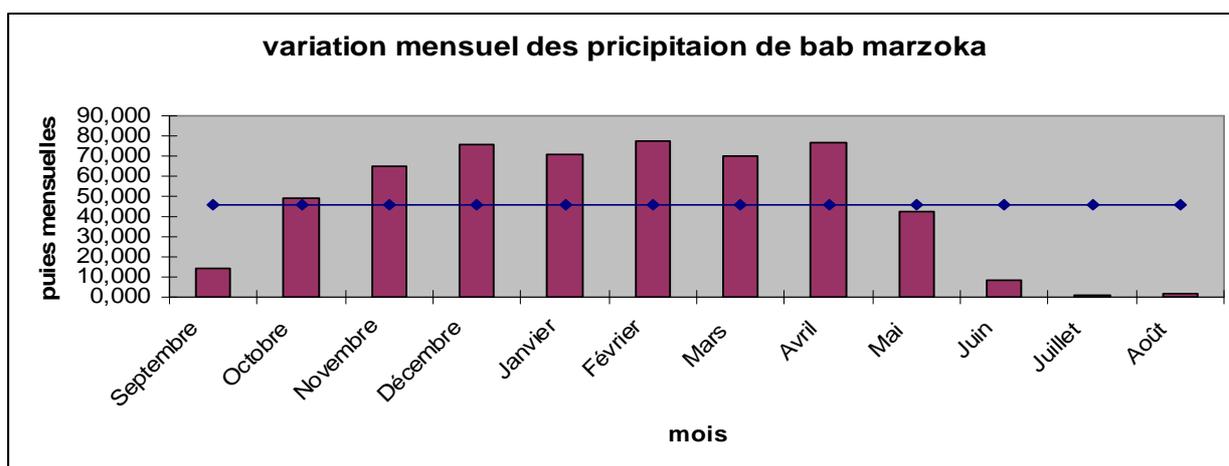


Figure 18 : Variation mensuelle des précipitations de la station de Bab Marzoka

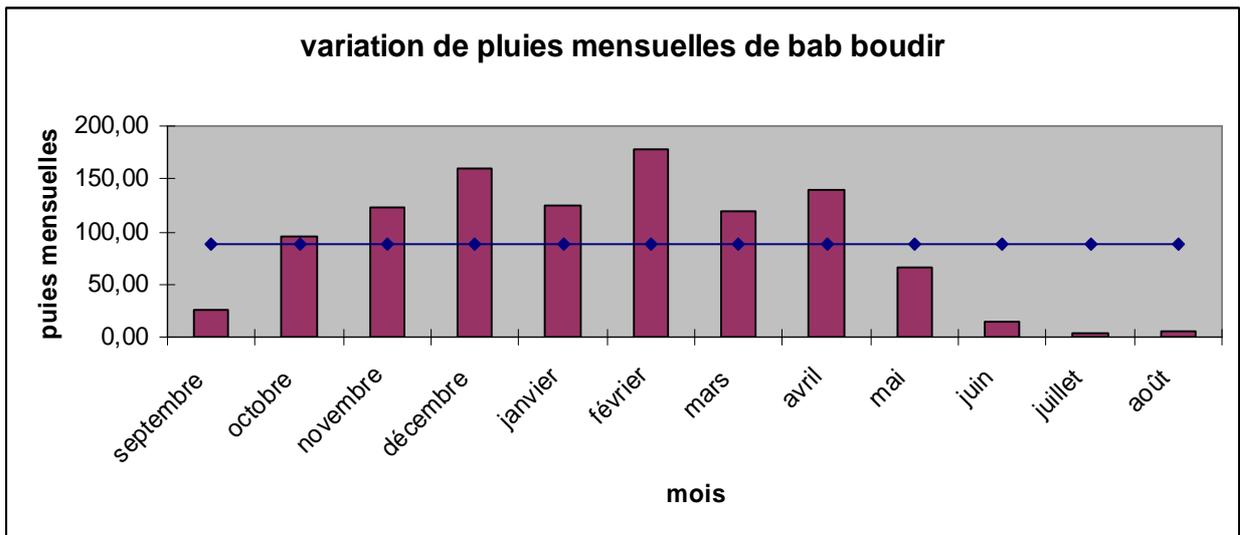


Figure 19 : Variation mensuelle des précipitations de la station de bab boudir

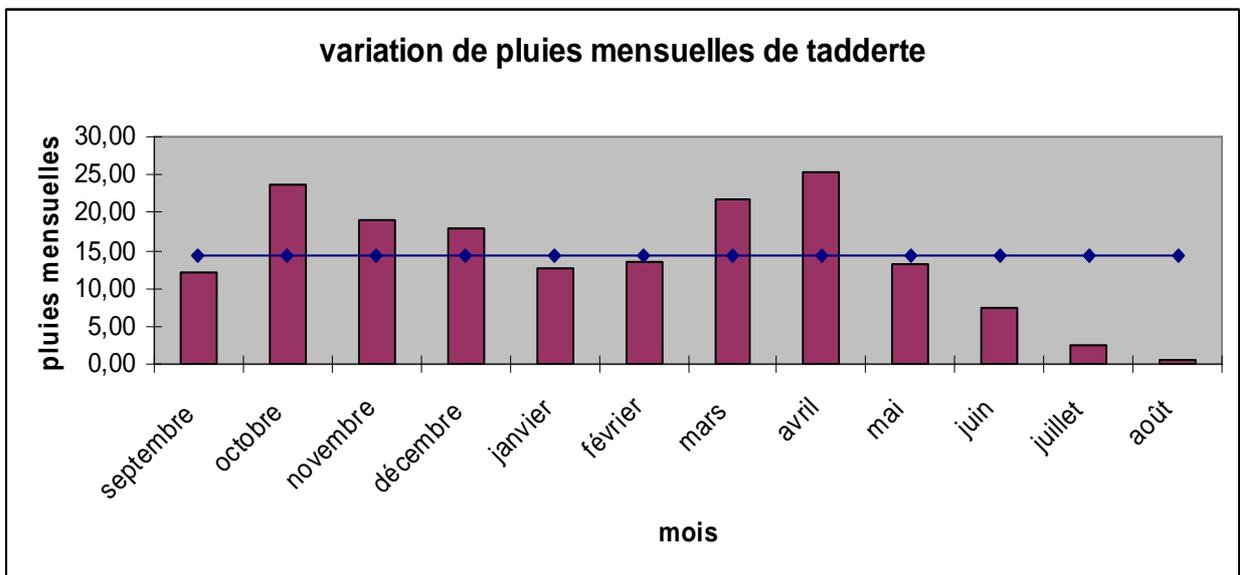


Figure 20 : Variation mensuelle des précipitations de la station de Tdderte

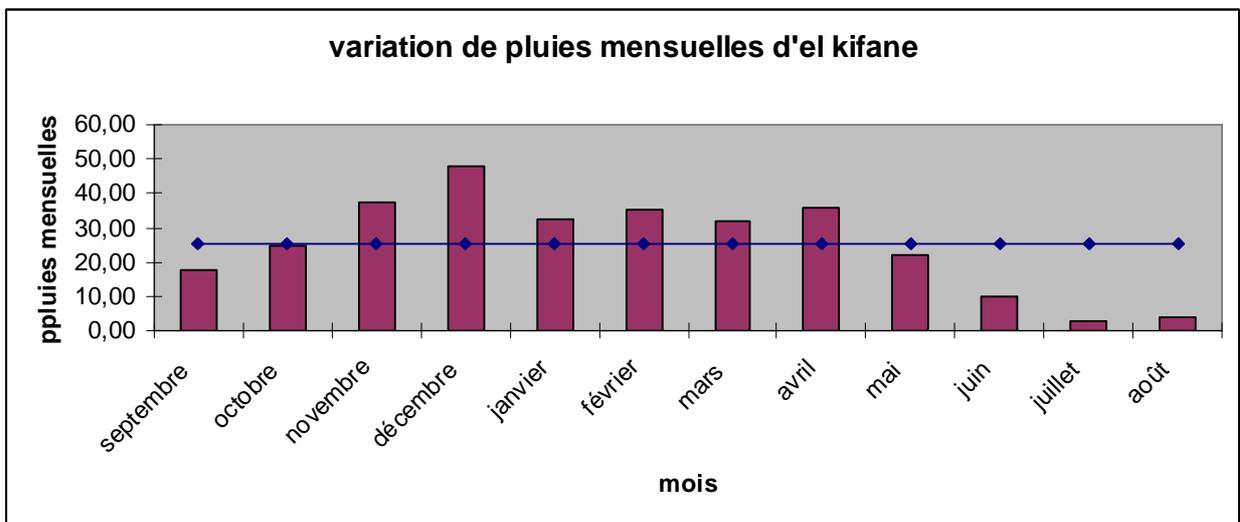


Figure 21 : Variation mensuelle des précipitations de la station d'El Kifane

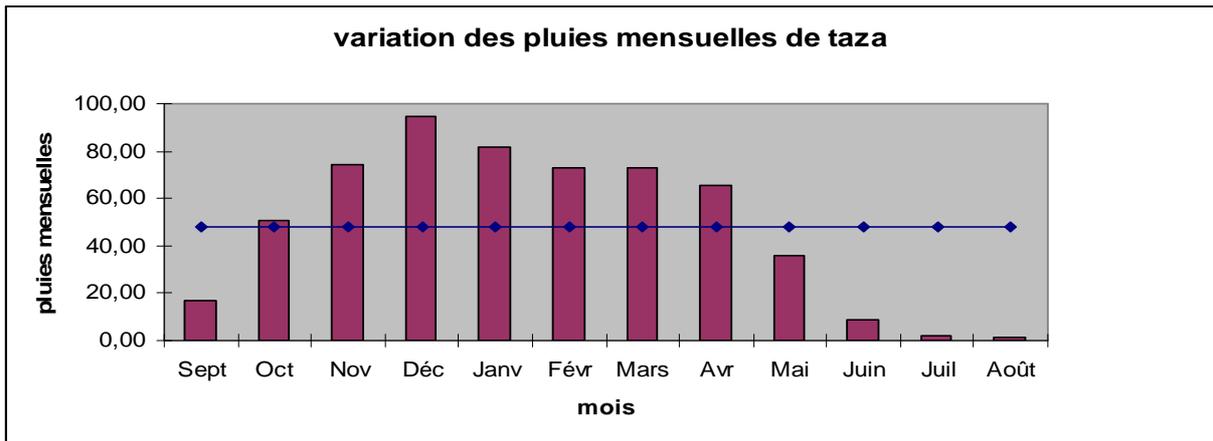


Figure 22 : Variation mensuelle des précipitations de la station de Taza

### VII. Analyse des précipitations saisonnières

La variation idéale est le passage d'une quantité moyenne des précipitations en automne et l'augmentation des précipitations dans l'hiver. Elle est suivit par une légère diminution des précipitations au printemps et de forte diminution en été.

Les figures 23 à 26 montrent que la variation idéale est exactement représentée dans les stations de Bab Boudir, Bab Marzoka, El Kifane et la station de Taza. Dans la station de Tadderte (figure 27), on observe des précipitations au printemps plus élevées qu'en hiver et en automne. Ces précipitations restent relativement faibles durant toute l'année.

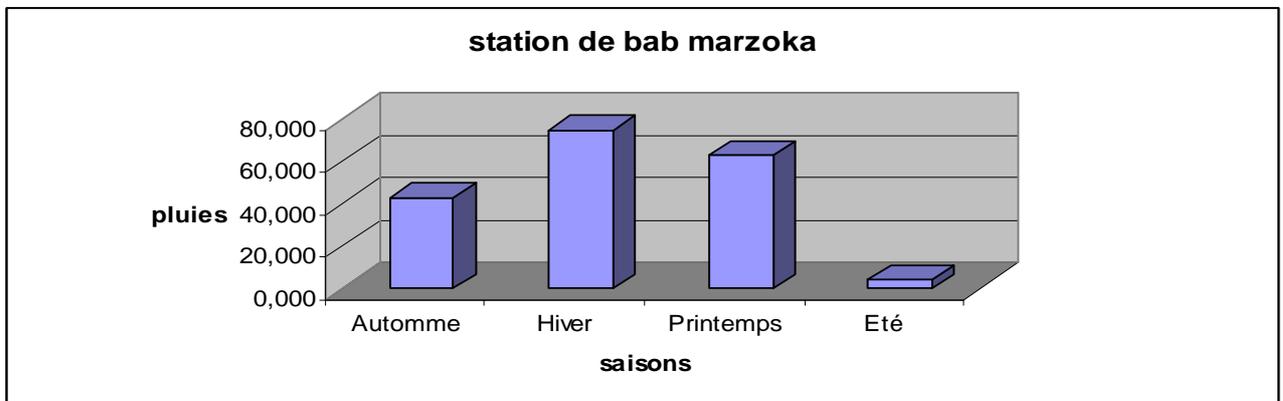


Figure 23 : Précipitations saisonnières de la station de Bab Marzoka

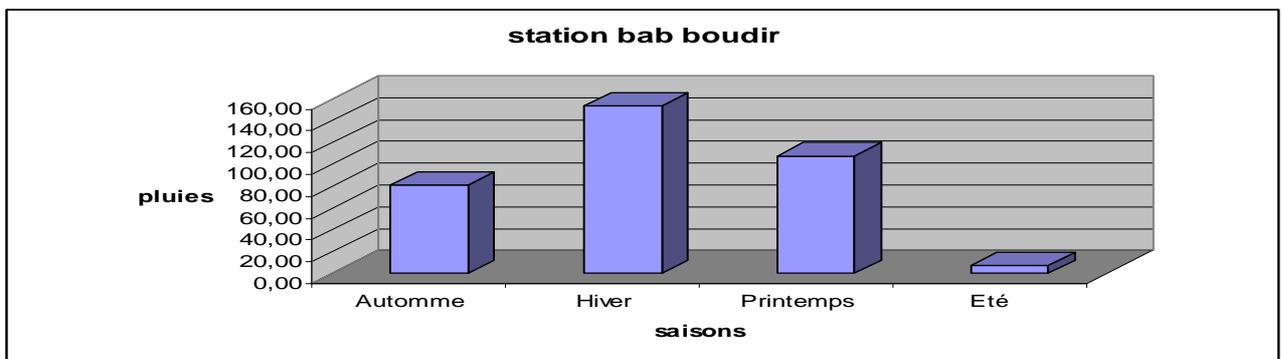


Figure 24 : Précipitations saisonnières de la station de Bab Boudir

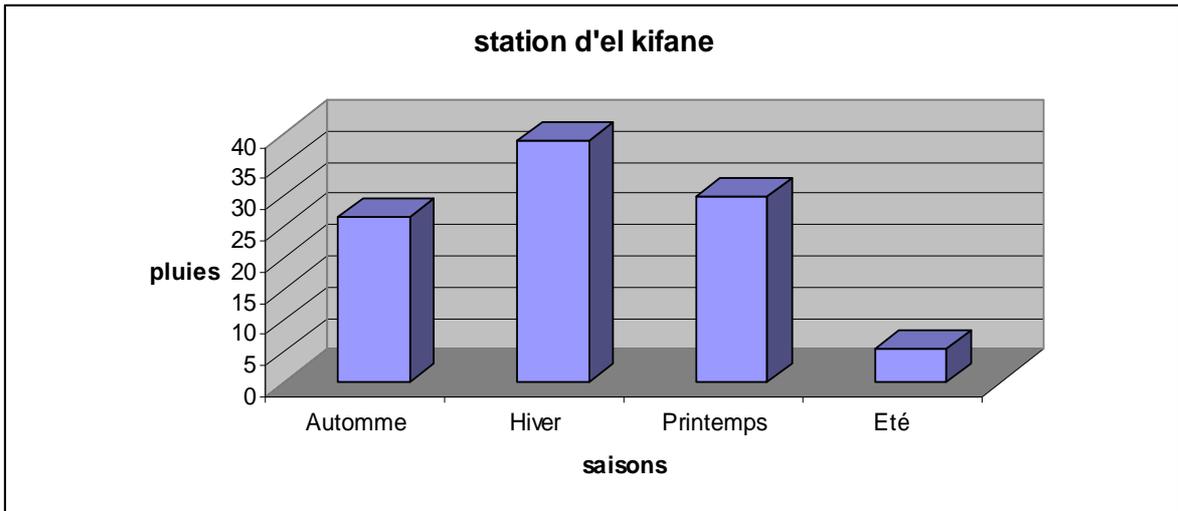


Figure 25 : Précipitations saisonnières de la station d'El Kifane

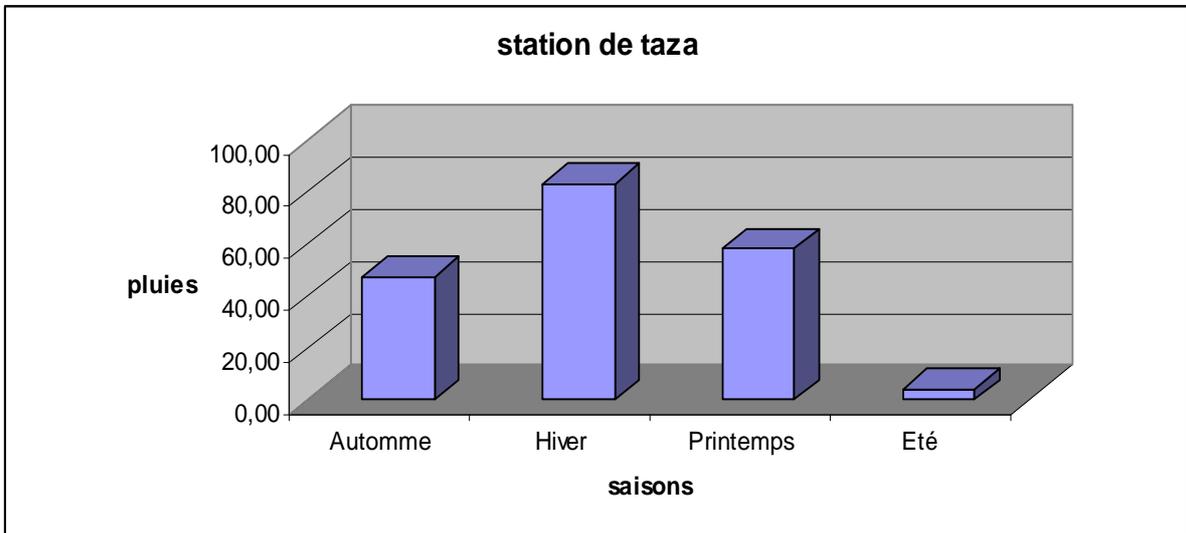


Figure 26 : Précipitations saisonnières de la station de Taza

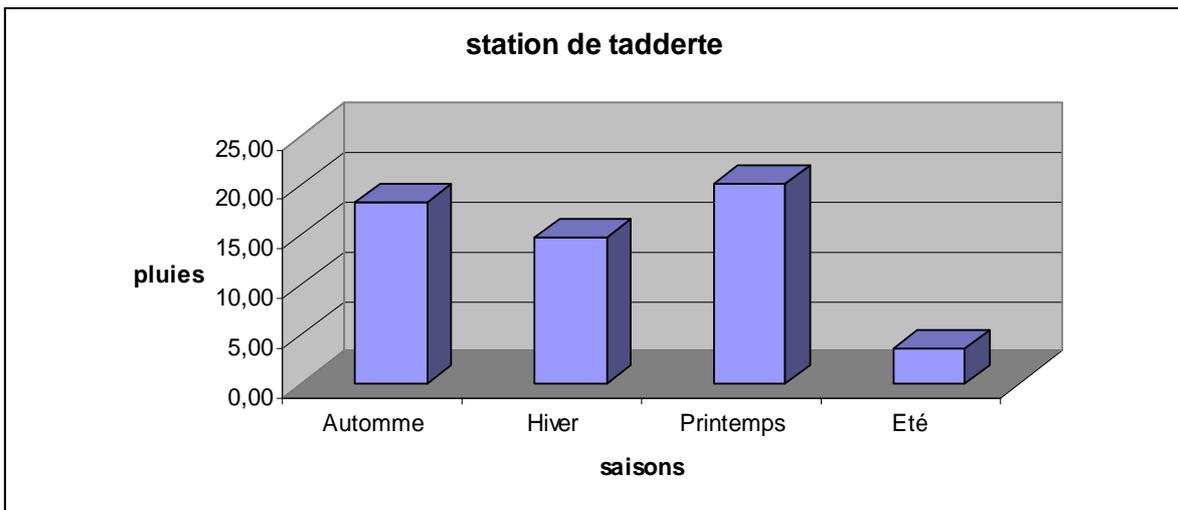


Figure 27 : Précipitations saisonnières de la station de Tadderte

### VIII. Influence de l'altitude sur les variations des précipitations

Les stations de mesures qui entourent le secteur d'étude sont situées à des altitudes différentes. L'altitude influence directement sur la variation des précipitations d'une manière quantitative et qualitative. La quantité des précipitations augmente vers les hautes altitudes.

La figure 28 montre une variation proportionnelle des quantités des précipitations en fonction de l'altitude. Les quantités des précipitations augmentent avec l'altitude.

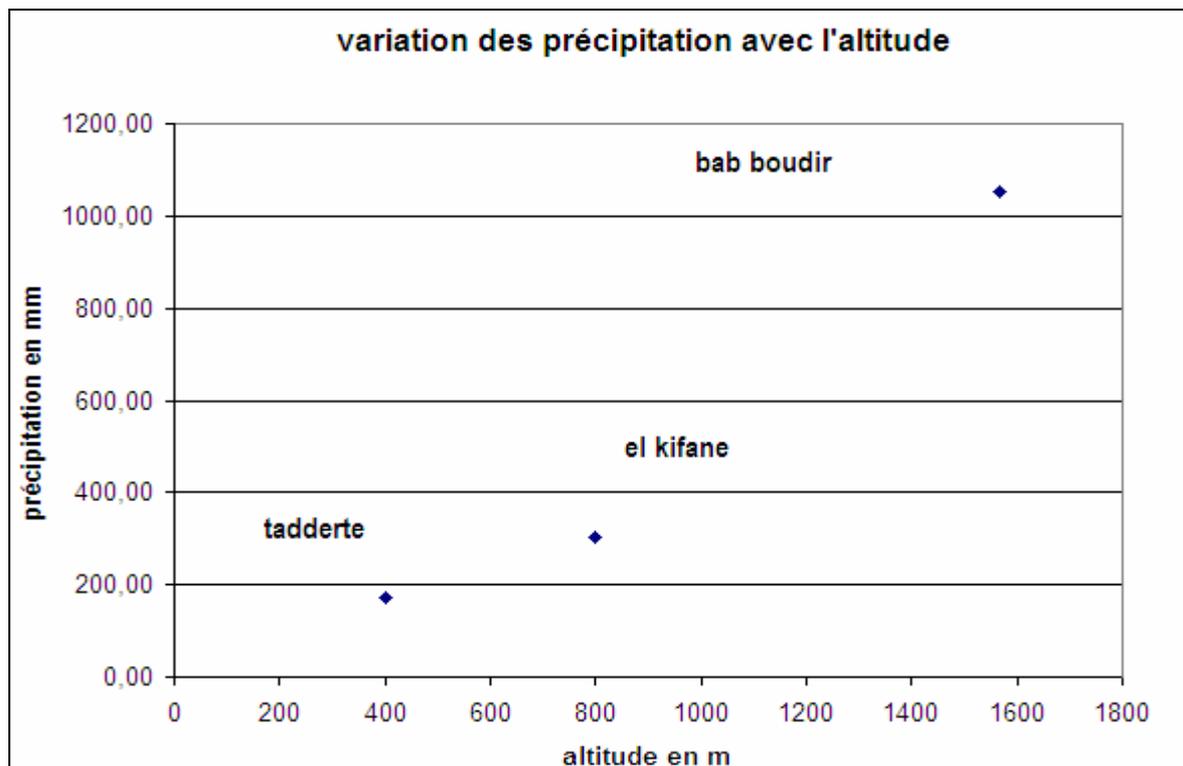


Figure 28 : Variation des précipitations en fonction de l'altitude

### IX. Variation de la Température

La température est un paramètre très important, vu qu'elle intervient d'une part comme élément déterminant pour la spécification du climat et d'autre part comme facteur essentiel pour l'estimation des potentialités hydrologiques d'une région donnée.

Les figures 29 -30 montrent la variation de la température au niveau de la station de Taza.

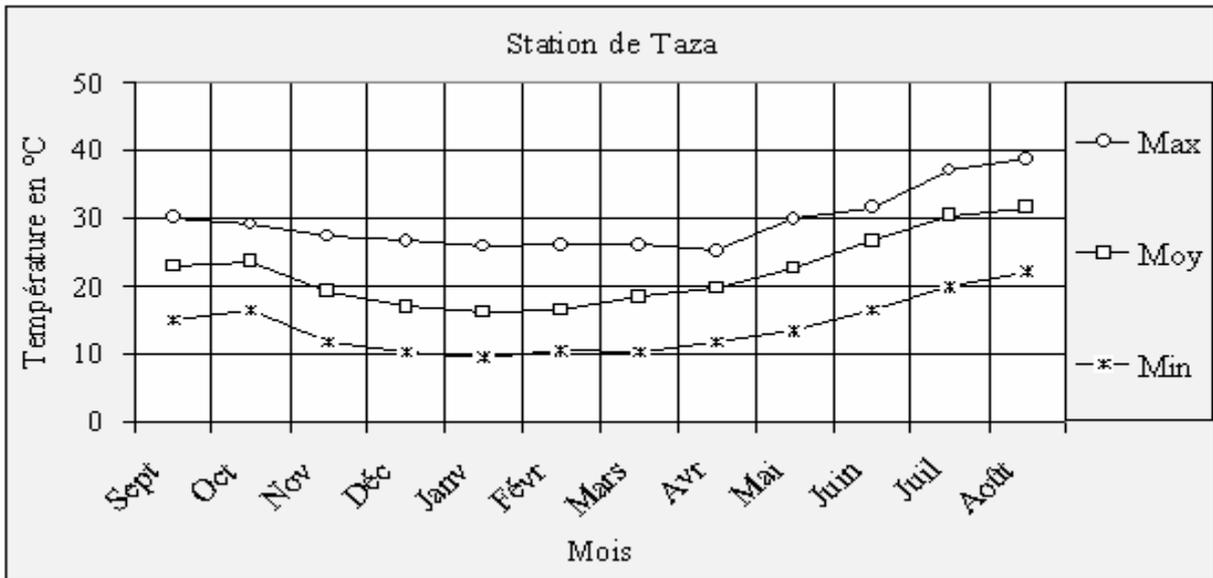


Figure 29 : Variation de la température mensuelle minimale, moyenne et maximale de la station de Taza

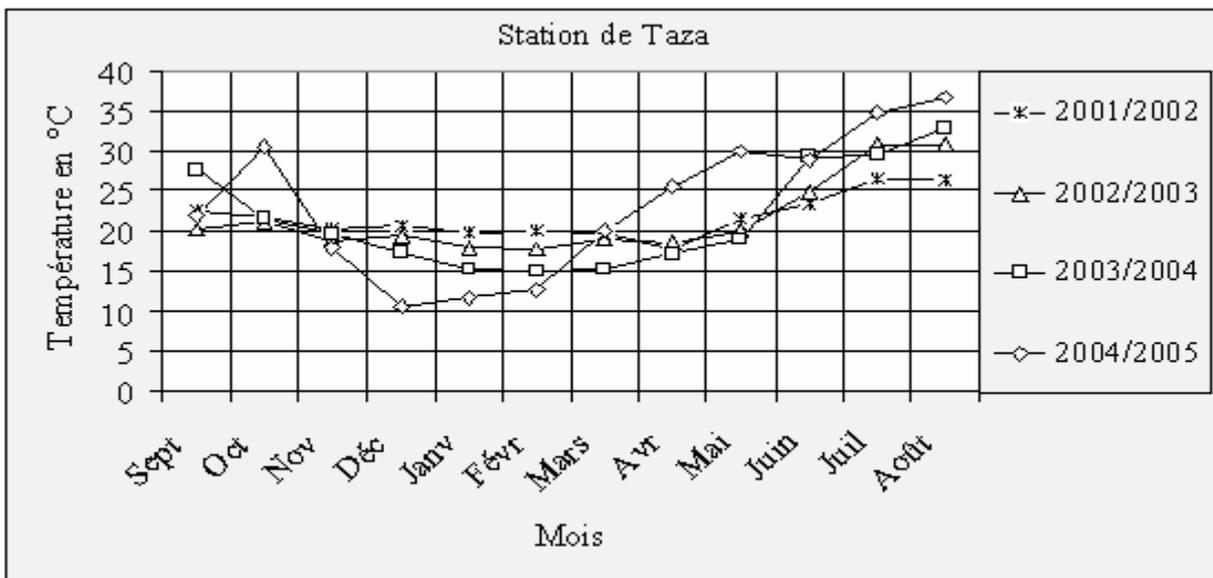


Figure 30 : Variation des températures moyennes mensuelles durant 4 années (2001-2005) de la station de Taza

Il ressort de ces diagrammes que les températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Taza sont variables. Le mois de Janvier est le mois le plus froid avec des températures minimales qui peuvent atteindre 4°C, alors que les mois de Juillet et Août sont les plus chauds avec des températures extrêmes pouvant atteindre plus de 40°C.

## X. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique permet de déterminer la période sèche et la période humide de l'année. Il définit la période humide comme étant celle où les précipitations mensuelles dépassent le double des températures mensuelles, tandis que la période sèche est celle où le double des températures mensuelles dépasse les précipitations mensuelles.

Sur le diagramme ombrothermique de la station de Taza (figure 31), on remarque que la période humide dure six mois et couvre la période d'Octobre à Avril.

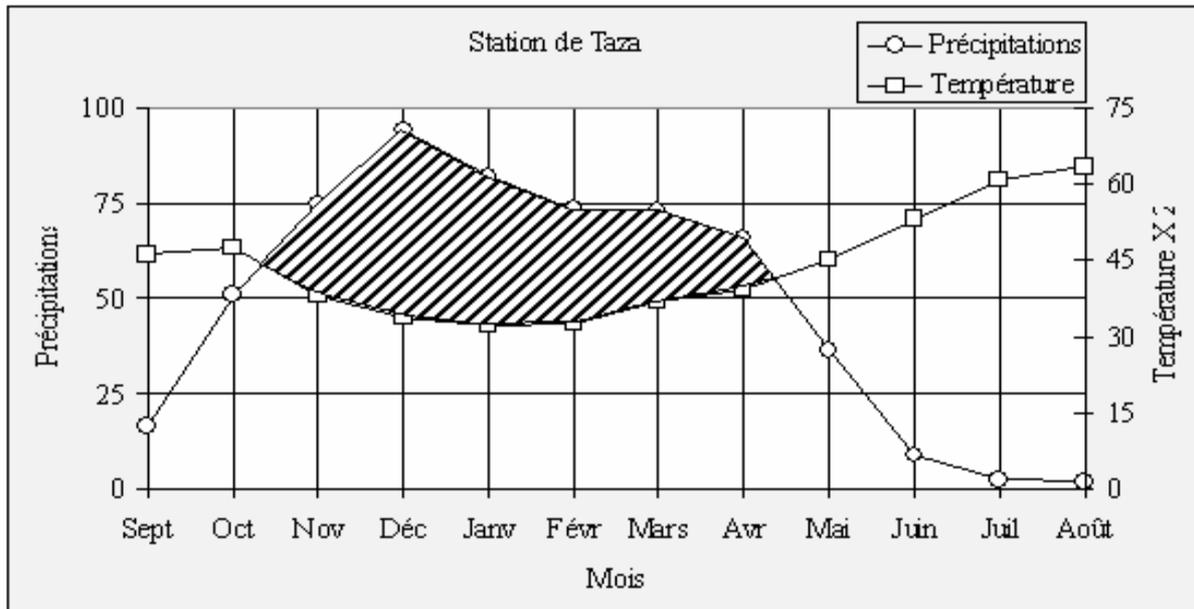


Figure 31 : Diagramme ombrothermique de Gausson de la station de Taza

Le secteur d'étude est soumis à un climat de montagne avec un effet de continentalité bien marqué. La température joue un rôle capital dans les quantités d'eau que peuvent fournir les précipitations et donc aux écoulements de surface ainsi dans la quantité des eaux qui peuvent s'évaporer.

## XI. l'Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un élément essentiel du cycle hydrologique ; son évaluation permet de mettre en regard les quantités de précipitations incidentes aussi bien à l'échelle des continents qu'à celle du bassin versant.

L'air ambiant n'est jamais sec, mais il contient une part plus ou moins importante d'eau sous forme gazeuse qui est fournie par :

- l'évaporation physique au-dessus des surfaces d'eau libre, des sols dépourvus de végétation et des surfaces couvertes par la neige ou la glace ;

- la transpiration des plantes qui permet la transformation des eaux des plantes sous forme de vapeur d'eau et qui s'échappe vers l'atmosphère.

Le terme évapotranspiration prend en compte la combinaison de l'évaporation directe à partir des surfaces d'eau libre et des sols nus et de la transpiration des végétaux. On peut ainsi distinguer :

- l'évapotranspiration réelle ETR : est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique ;
- l'évapotranspiration potentielle ETP : est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifique (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance.

### XI.1 Evapotranspiration potentielle ETP

En 1948, Thornthwaite a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration potentielle mensuelle. Cet auteur définit d'abord un indice mensuel « i »

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

Ainsi la formule de l'ETP s'écrit comme suit :  $ETP = 16 \times \left(\frac{10 \times T}{I}\right)^\alpha$

ETP: évapotranspiration potentielle en mm

T : est la température moyenne du mois considéré, exprimée en °C

I : est la somme des indices mensuels de l'année

$$\alpha = \left(\frac{1.6 \times I}{100}\right) + 0.5 = 0.49239 + 1792.10^{-5} \times I - 771.10^{-7} \times I^2 + 675.10^{-9} \times I^3$$

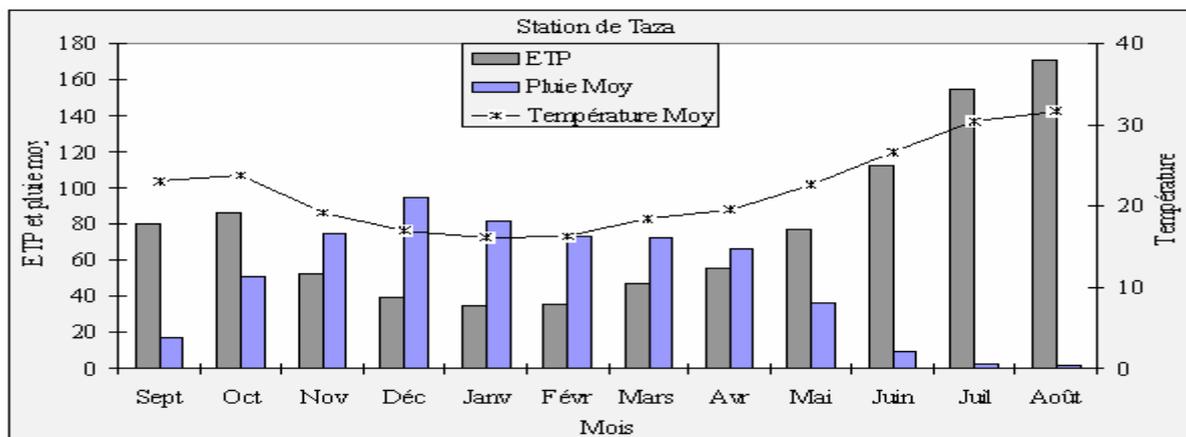


Figure 32 : Variation de l'ETP, de la température et des précipitations

Les valeurs de l'ETP calculées par la formule de Thornthwaite à l'échelle mensuelle sont en général supérieures à la lame d'eau précipitée (figure 32), sauf pour les mois de Novembre à Avril. L'ETP atteint son maximum pendant la période estivale (mois de Juin à Septembre).

## XI.2 évapotranspiration réelle ETR

M. Turc adapte à la famille des courbes  $D = f(P, T)$  établie à partir des observations faites sur 254 bassins versants situés sous tous les climats du monde la formule :

$$D = ETR = \frac{P}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}};$$

$$L = 0.05 \times T^3 + 25 \times T + 300$$

P : précipitation moyenne annuelle égale à 538 mm.

T : température moyenne annuelle dans le bassin considéré en °C.

ETR : évapotranspiration réelle en mm par an

L'adaptation de la formule de Turc aux conditions marocaines a nécessité de pondérer la température moyenne annuelle « T » par la pluie et d'utiliser « T' ».

Pour le bassin de Sebou dans lequel se trouve le bassin versant de Jeouna.

$$T' = 0.75 \times T = 0.75 \times 22^\circ C = 16.5^\circ C$$

C'est ainsi qu'on peut obtenir  $ETP = 485mm$

## XII. Bilan hydrique

L'utilisation des différents paramètres hydro-climatiques calculés, auparavant, permet de fournir une base de données nécessaire pour le calcul de l'ETR par la méthode de Thornthwaite. Cette méthode prend en compte la notion de saturation du sol. En effet dans les zones arides à semi-arides, le sol est considéré saturé quand il absorbe une lame d'eau équivalente à des précipitations de 50 mm. La RFU (réserve facilement utilisable en mm) est défini comme étant la ressource en eau facilement utilisable et qui dépend de la saturation du sol et des précipitations. Le tableau 6 et la figure 33 illustrent les principaux résultats obtenus :

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juin	Août
Température moyenne	23	24	19	17	16	16	18	20	23	27	30	32
ETP (mm)	81	86	52	40	35	36	47	55	77	113	155	171
Pluie moy (mm)	17	51	75	94	82	73	73	66	36	9	2	2
P-ETP (mm)	-64	-35	22	55	47	37	25	10	-41	-104	-152	-170
RFU (mm)	0	0	22	50	50	50	50	50	9	0	0	0
Excédent (mm)	0	0	0	27	47	37	25	10	0	0	0	0

Tableau 6 : Calcul de l'ETR par la méthode de comparaison de Thornthwaite

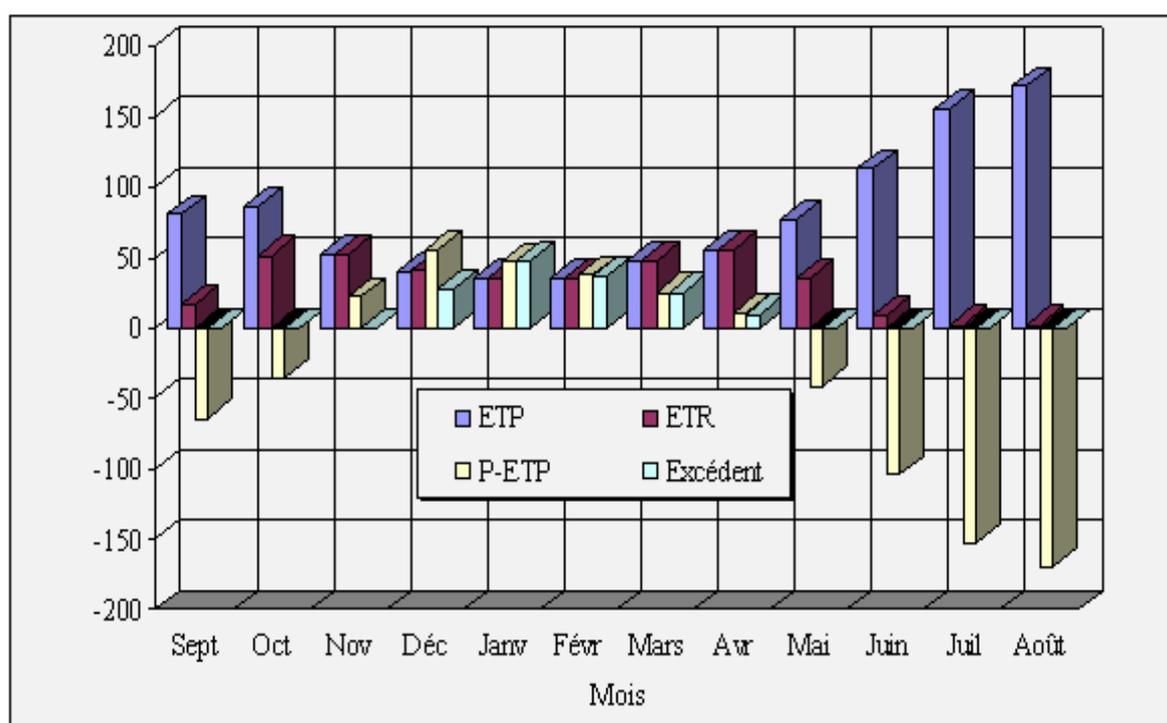


Figure 33 - Variation mensuelle des différents termes du bilan hydrique de la zone d'étude

### XIII- Conclusion

L'étude des paramètres climatiques a permis de nous donner des précisions sur les différents processus hydrologiques dans le bassin versant de Jeouna. Elle sera d'une grande utilité pour connaître les différents paramètres entrants dans le bilan hydrique du secteur d'étude.

## Chapitre 4 : Etude hydrologique

### I- Introduction

L'objectif de l'étude hydrologique est de reconnaître les « crues de projet » par les aspects du débit de pointe et de l'hydrogramme de crue. Pour l'étude des crues, nous utiliserons la méthode du Gradex. C'est la méthode de référence pour les bassins versant des zones de reliefs et a été utilisée dans de nombreux pays étrangers. Cette méthode est choisit afin d'atteindre deux sous-objectifs :

- estimer les débits de pointe ( $Q_p$ ) à l'exutoire du bassin versant étudié, pour des périodes de retour allant de 10 à 1000 ans ;
- déterminer la forme de l'hydrogramme des crues et estimer les volumes de crues.

### II- Rappel des principes de la méthode :

D'après Rémy Garçon (2001), la méthode Gradex est une méthode probabiliste : « Comparée à d'autres outils d'aide à la détermination de la crue de projet, la première caractéristique de la méthode du Gradex est de prendre place dans la famille des méthodes probabilistes, par opposition à celle des méthodes maximalistes. Il ne s'agit pas de fournir une estimation du maximum possible (ou « probable ») du débit d'une rivière en un lieu donné, mais d'estimer la probabilité de dépasser des valeurs extrêmement fortes. Cette approche des valeurs extrêmes permet au projeteur d'afficher un niveau de fiabilité explicite vis-à-vis du risque de crue, niveau qui dépendra généralement de la vulnérabilité de la vallée aux conséquences d'une crue dépassant la crue de projet ».

« La référence à une crue « maximale » ou à une fraction de celle-ci peut alors être abandonnée au profit d'un dimensionnement à une crue de durée de retour donnée, par exemple la crue millennale ou la crue décennennale (celles ayant une chance sur mille ou sur dix mille d'être dépassées une année donnée) ».

Le succès de cette méthode est en particulier lié à sa (relative) facilité de mise en œuvre, qui résulte de la simplification extrême du processus de transformation de la pluie en débit.

### III- Description de méthode du Gradex

Pour l'application de la méthode du Gradex, on a procédé aux étapes suivantes :

- Ajustement par la loi de Gumbel des pluies maximales journalières et détermination, des  $P_{jmax}(T)$  pour une période « T » allant de 10 à 100ans ;
- Détermination du Gradex journalier ( $G_p(24)$ ). Le passage des valeurs journalières aux valeurs en 24h se fait en majorant les valeurs journalières de 15% pour tenir compte de la coulissance de la pluie ;
- Calcul du Gradex des pluies sur le temps de concentration  $G_p(T_c)$  à partir du Gradex des pluies en 24 heures ;
- Calcul du débit de pointe de référence  $Q_p(T^*)$  (pivot du Gradex) en utilisant la formule empirique de Caquot ;

- Calcul des débits de pointe et des lames d'eau ruisselées pour chaque période de retour par la méthode du Gradex classique.

#### IV. Notion de période de retour

D'après le Glossaire International d'Hydrologie (1992), la période de retour, ou période de récurrence est la « *Moyenne à long terme du temps ou du nombre d'années séparant un événement de grandeur donnée d'un second événement d'une grandeur égale ou supérieure. Exemple : pointe de crue* ».

Pour un évènement particulier, par exemple, le débit d'une rivière dépasse une valeur donnée au cours d'une année donnée, la probabilité de cet évènement est une mesure de la vraisemblance de sa réalisation et elle est par convention comprise entre 0 et 1. La valeur 0 est lorsqu'il est impossible que l'évènement se produise et 1 lorsque sa réalisation est certaine.

Si « p » est la probabilité que l'évènement donné se produise au cours d'une année donnée, le temps de retour attaché à cet évènement est défini comme l'inverse de cette probabilité :  $T=1/p$ . (Miquel, 1984).

Le temps de retour n'est qu'une autre façon d'exprimer la probabilité d'un évènement à un moment donné. Il ne fait référence à aucune notion de régularité ou de périodicité et peut même s'appliquer à des évènements qui ne se sont pas produits et qui ne se produiront peut-être jamais à l'avenir.

La probabilité et le temps de retour ne sont que des estimations de la vraisemblance de l'évènement considéré (Gumbel 1935). Ils sont utiles en particulier pour des études de sécurité des ouvrages, aux crues millénaire ou décennales (crues ayant respectivement une probabilité 0,001 et 0,0001 de se produire au cours d'une année donnée) d'une rivière qui n'existait pas il y a cinq mille ans, qui n'existera peut-être plus dans dix mille ans et qui n'est de toute façon plus la même que celle qui existait il y a quelques centaines d'années du fait des multiples transformations naturelles et/ou anthropiques qu'elle a subi.

#### V. Application de la méthode de Gradex

##### V.1- Estimation du temps de concentration

Les deux formules empiriques suivantes expriment toutes le temps de concentration  $T_c$  (en heure) en fonction de L (longueur du plus long thalweg en m), de I (pente moyenne en m/m) et de  $S_{bv}$  (superficie du bassin versant en Ha).

On a utilisé les valeurs :  $L = 17450$  m,  $I = 0.056$ ,  $A = 32$  km<sup>2</sup> et  $S_{bv} = 3.2$  Ha

- La formule de Kirplich :

$$T_c = 0.01947 \times L^{0.77} \times I^{-0.385}$$

$T_c$  est le temps de concentration en min;

L : est longueur du Talweg en m ;

I : est la pente moyenne du talweg en m/m.

$$T_c = 109.02 \text{ mn} = 1.81 \text{ h}$$

➤ La formule de Turrazza :

$$T_c = 1.662 \times S_{bv}^{0.5}$$

$T_c$  : est le temps de concentration en min ;

$S_{bv}$  : est surface du bassin versant en Ha.

$$T_c = 94.02 \text{ mn} = 1.57 \text{ h}$$

Et donc une valeur plus adaptée soit la moyenne de ces deux valeur qui est égale à  **$T_c = 1.69 \text{ h}$**

### V.2- Ajustement des pluies max journalières par la loi de GUMBEL

L'ajustement des pluies max journalières peut se faire par plusieurs lois d'ajustement. La loi de Gumbel est une loi très utilisée en hydrologie et en climatologie (Makhlouf, 1994, Miquel, 1984).

Notre échantillon va être représenté sur la figure 34. L'axe des X représente les valeurs de variable de GUMBEL et l'axe des Y représente les pluies max journalières de la station de Taza. Les valeurs numériques sont représentées dans le tableau en annexe.

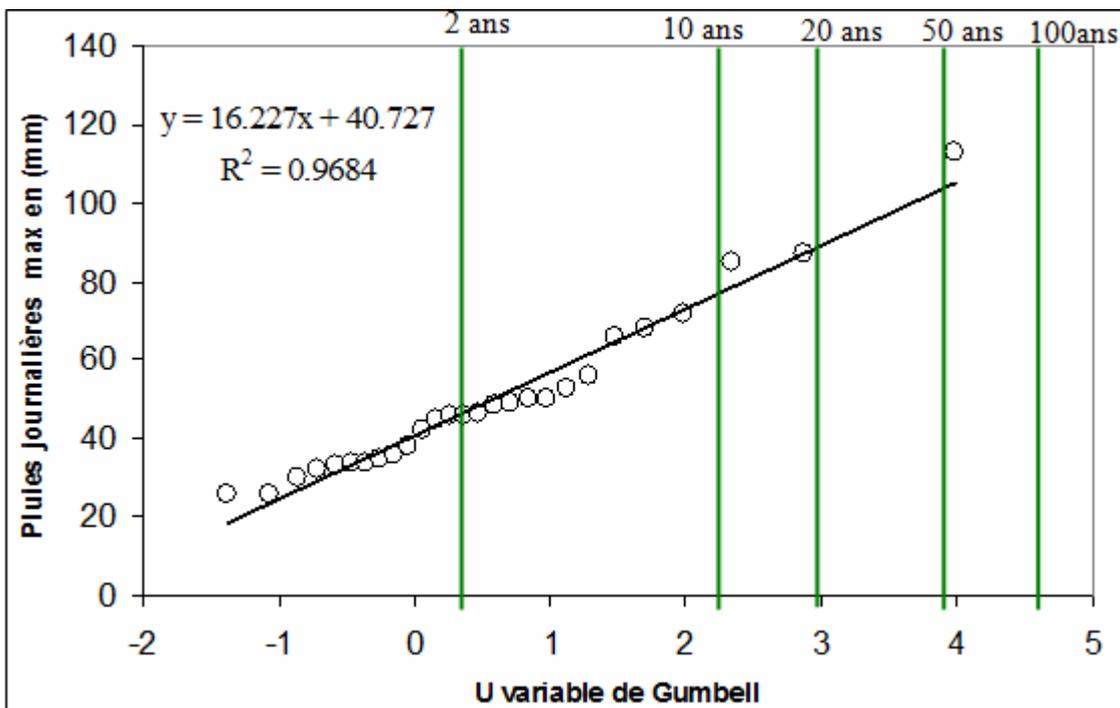


Figure 34 : Ajustement des pluies max journalières de la station de Taza par la loi de Gumbel

De la figure 34, on a tiré le Gradex et les maximales journalières pour différentes périodes de retour. Le Gradex correspond à la pente de la droite d'ajustement.

Station	Gradex	Pjmax 2 ans	Pjmax 10 ans	Pjmax 20 ans	Pjmax 50 ans	Pjmax 100 ans	Pjmax 1000 ans
Taza	16.22mm	46.67mm	77.24mm	88.92mm	104.04	115.37mm	152.81mm

Tableau 7 : Pjmax de chaque période de retour avec le Gradex

Les valeurs représentées dans le tableau 8 correspondent à des valeurs journalières. Le passage aux pluies en 24 heures, se fera en multipliant les valeurs par un coefficient égal à 1,15 et ceci pour tenir compte de la coulissance de la pluie. La valeur du Gradex doit aussi être changée avec la multiplication du Gradex des pluies journalières par le même coefficient de 1.15.

Station	Gradex24	P24 2 ans	P24 10 ans	P24 20 ans	P24 50 ans	P24 100 ans	P24 1000 ans
Taza	18.65mm	53.67mm	88.82mm	102.3mm	119.65mm	132.68mm	175.73

Tableau 8 : P24 de chaque période de retour avec le Gradex

### V.3- Estimation du débit de référence

La méthode du Gradex repose sur le fait qu'au-delà d'une certaine fréquence dite de référence  $T^*$ . (Makhlouf, 1994, Miquel, 1984) Cette valeur est généralement comprise entre la fréquence décennale et vingtennale (selon la perméabilité des sols). Pour le cas du bassin versant de Jeouna, nous allons considérer comme fréquence de référence la fréquence décennale ( $T^* = 10$  ans).

Le débit de référence  $Q_p$  ( $T^*=10$ ) est calculé par la formule empirique de Caquot 2 :

$$Q_p (T^* = 10) = K^{1/U} \times I^{V/U} \times C^{1/U} \times A^{W/U}$$

$Q_p$  ( $T^* = 10$ ) : débit de référence décennale

I : est la pente moyenne du Talweg

C : coefficient du ruissellement pris égal à 20%

A : superficie du bassin versant (en hectares)

K : coefficient d'expression  $0.5^{b(f)} a(f)/6.6$

U : coefficient d'expression :  $1+0.287b(f)$

V : coefficient d'expression :  $-0.41b(f)$

W : coefficient d'expression :  $0.95+0.507b(f)$

La formule devient alors par période de retour (10 ans) comme suit :

$$Q_p (T^* = 10) = 0.9987 \times I^{0.2783} \times C^{1.195} \times A^{0.791}$$

Le débit de référence  $Q_p$  ( $T^*=10$ ) par la formule empirique (Caquot 2).

$$Q_p (T^*=10) = 38.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ce débit doit être corrigée ensuite par un coefficient d'influence « m » calculé à partir de coefficient d'allongement « M ».

**Coefficient d'allongement M :**

$$M = \frac{L}{\sqrt{A}}$$

L : longueur du talweg en hm.

A : surface du bassin versant en ha.

$$M = 3.085$$

**Coefficient d'influence m :**

Le débit calculé est corrigé par un coefficient d'influence « m » :

$$m = \left( \frac{M}{2} \right)^{0.7 \cdot b} \quad m = 0.84$$

Finalement on trouve :  $Q_p (T^*=10) = 32.56 \text{ m}^3/\text{s}$

**V.4- Calcul de la lame d'eau ruisselée et du volume pour la fréquence 10 ans (tableau 9)**

**Calcul du volume V (T\*=10)**

Le volume V ( $T^*=10$ ) correspondant au débit de référence ( $T^*=10$ ) peut être calculé par multiplication de débit de pointe de référence fois le temps de concentration :

$$V (T^*=10) = Q_p(T^*=10\text{ans}) \cdot T_c$$

**Calcul de la lame d'eau ruisselée Lr (T\*=10)**

Lr ( $T^*=10$ ) est la lame d'eau ruisselée de référence. Elle est déduite du volume de référence V( $T^*=10$ ) en divisant ce dernier par la superficie du bassin versant.

$$L_r (T^* = 10) = \frac{V}{S_{bv}}$$

$Q_p (T^*=10) \text{ m}^3/\text{s}$	$V(T^*=10) \text{ Mm}^3$	$L_r (T^*=10) \text{ mm}$
32.56	0.18	5.75

Tableau 9 :  $Q_p$  et V et Lr de période de retour de 10 ans

**V.5- Forme de l'hydrogramme de crue**

En absence d'une station de jaugeage qui peut nous fournir des données sur les débits enregistrés, et par la suite une idée sur la forme de l'hydrogramme de crue, nous adoptons un hydrogramme de

forme triangulaire simplifiée avec un temps de base égale à deux fois le temps de concentration. La figure 35 montre un exemple d'hydrogramme de crue de fréquence décennale.

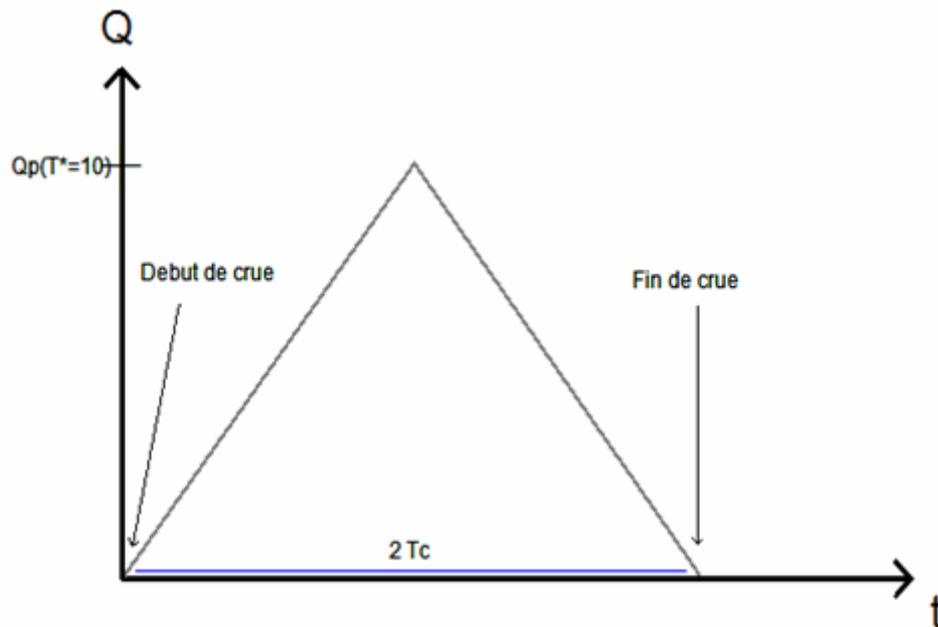


Figure 35 : Diagramme de crue décennale

#### V.6- Calcul des lames d'eau ruisselées et des débits de pointe pour différentes fréquences (tableau 10)

Le principe de base sur lequel on s'est basé pour le calcul des crues par la méthode du Gradex, est que la crue est d'autant plus importante en terme de débit de pointe, si le bassin versant considéré est soumis à un épisode pluvieux dont la durée coïncide avec le temps de concentration du bassin. D'autre part, on considère qu'une pluie d'une période de retour « T » engendre une crue de même période de retour. Le passage des pluies en 24 heures aux pluies sur le temps de concentration pour chaque fréquence se fait en utilisant la formule suivante :

$$P(Tc) = P(24) \times \left( \frac{Tc}{24} \right)^{(1-b)}$$

Par conséquent, les lames d'eau ruisselées  $L_r(T, Tc)$  au bassin étudié, sur le temps de concentration et pour différentes périodes de retour, sont obtenues en utilisant l'équation ci-dessous:

$$L_r(T.Tc) = L_r(T*.Tc) + G_p(Tc) \times [U(T) - U(T*)]$$

$U(T) = -\ln(-1-1/T)$  est la variable de Gumbel ;

$L_r(T*.Tc)$  est la lame d'eau ruisselée de référence ;

$G_p(Tc)$  est le Gradex sur le temps de concentration calculé à partir du Gradex en 24 heures par la formule suivante :

$$Gp(Tc) = Gp(24) \times \left( \frac{Tc}{24} \right)^{(1-b)}$$

On peut déduire le volume de la crue en multipliant la lame d'eau par la superficie totale du bassin versant. On calcule le débit de pointe en divisant le volume par le temps de concentration du bassin versant.

On obtient donc les résultats suivants :

T ans	U (T)	P (Tc) mm	Lr (Tc) mm	V Mm <sup>3</sup>	Qp m <sup>3</sup> /s	Cr %
10	2.25	28.23	5.75	0.18	32.56	20.37
20	2.97	32.51	10.02	0.32	52.7	30.82
50	3.9	38.03	15.53	0.5	81.71	40.85
100	4.6	42.17	19.69	0.63	103.54	46.68
1000	6.9	55.85	33.32	1.07	175.28	59.67

Tableau 10 : Lame d'eau précipitée, volume et débit de pointe de chaque fréquence

## VI- Conclusion

La méthode de Gradex est composée d'un ensemble d'étapes enchaînées qu'il faut suivre pour calculer les débits de pointe des différentes périodes de retour. Ces débits seront nécessaires pour la modélisation hydraulique.

## Chapitre 5 : Modélisation hydraulique de Oued Jeouna

### I- Introduction

D'après le dictionnaire de l'environnement, le modèle hydraulique est « *une représentation simplifiée de type débit-débit, relativement abstraite, d'un processus, d'un système, en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir* ».

Elle est basée sur la résolution des équations d'écoulements des fluides au niveau des canaux artificiels ou naturels (rivière, Châaba...). L'efficacité et la précision des calculs dépendront directement de la qualité des données de base et de l'inventaire, exhaustif si c'est possible, des éléments existants sur le terrain et qui participent, directement ou indirectement, à l'écoulement de surface (coefficient de Manning, profils...).

Ces types de modèles sont intimement liés aux données topographiques puisqu'elles forment l'ossature du modèle géométrique utilisé pour les modélisations pour étudier la propagation du débit dans un cours d'eau.

Pour la modélisation de la vallée du bassin versant, nous allons utiliser le logiciel HEC-RAS (version 4.0, figure 36). Ce choix est fondé sur la disponibilité, la simplicité et la qualité des résultats exploitables et interprétables que présente ce logiciel.

### II. Aperçus sur le logiciel HEC-RAS

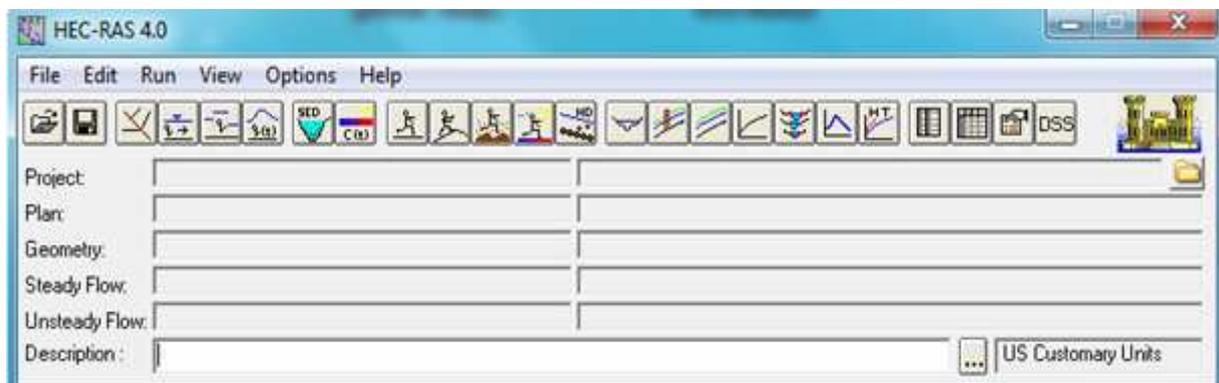


Figure 36 : Logiciel HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) est un logiciel qui fonctionne sous Windows et qui est intégré pour l'analyse hydraulique. Il permet de simuler les écoulements à surface libre. Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux et permet de simuler les écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques.

Les calculs de lignes d'eau permettent tant l'analyse de la capacité de cours d'eaux (risques de débordement, inondations) que l'étude de l'impact de modifications des conditions de bords (ponts, endiguements).

Les calculs de lignes d'eau d'écoulement graduellement variés sont basés sur l'équation de Bernoulli. Les pertes de charge sont évaluées par l'équation de Manning - Strickler pour le terme de frottement et par des coefficients de contraction - expansion. En écoulement brusquement varié, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement. Celle-ci est appliquée aux ressauts, et dans certains cas, aux passages de ponts et aux confluences.

La résolution de ces équations nécessite la connaissance de la géométrie du cours d'eau, de ses caractéristiques de rugosité et du débit d'écoulement.

### **III. Fonctionnement**

HEC-RAS est capable de modéliser, avec une extrême finesse, un large éventail de conditions d'écoulement (Guide HEC-RAS, 2005). Le centre de contrôle, pièce maîtresse d'HEC-RAS, permet de gérer et de combiner les différents types de données:

- Géométrie;
- Débits et conditions aux limites;
- Conditions de calcul;
- Résultats.

Un même projet peut contenir plusieurs descriptions géométriques, plusieurs jeux de débits (Q10, Q100). Les conditions de calcul sont des combinaisons de débits et de géométries.

#### **III.1- Géométrie du cours d'eau simulé (figure 37)**

Les réseaux de cours d'eau sont organisés en biefs séparés par des connections où s'opèrent les additions et séparations de débits. Il est possible de simuler des réseaux dendritiques et maillés. Dans chaque bief, les profils en travers définissant la géométrie sont classés selon leur position métrique. Les données relatives à chaque section sont :

- le profil en travers, défini par une série de couples distance-altitude;
- les coefficients de rugosité et de perte de charge;
- la distance à la section suivante.

Une série d'options permet de placer des obstacles et des zones d'eau morte. D'autres éléments, tels que ponts, ponceaux, épis, glace peuvent également être simulés par HEC-RAS.

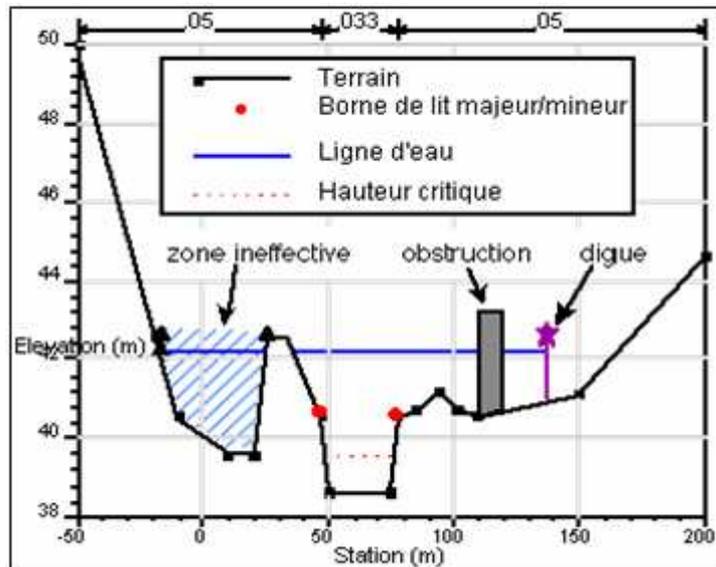


Figure 37 : Définition d'une section de cours d'eau dans HEC-RAS (Guide HEC-RAS, 2005)

### III.2- Débits, conditions aux limites et de calcul

Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements. Dans ce dernier cas, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel-fluvial, caractérisés par un ressaut.

### III.3- Résultats

Tous les résultats obtenus peuvent être consultés sous forme graphique (profil en long, sections, courbes hauteur-débit, vue 3D) ainsi que sous forme de tableaux, exportables, via les procédures standard de copier-coller, vers tout tableur ou traitement de texte.

## IV. Régime permanent et régime transitoire

### IV.1- Régime permanent

#### Équations pour le calcul des profils de base

Le logiciel HEC-RAS permet de calculer les niveaux d'eau, les niveaux d'énergie, les débits maxima atteints au niveau des rivières ainsi que d'autres variables de sortie (figure 38).

Les profils des niveaux d'eau sont calculés d'un profil en travers au suivant en résolvant l'équation d'énergie avec une procédure itérative appelée la méthode de pas standard (the standard step method). L'équation d'Énergie est écrite comme suit :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_2 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Y1, Y2 : hauteur d'eau au niveau des profils en travers

V1, V2 : vitesse moyenne

G : accélération de la pesanteur

Z1, Z2 : cote du fond

$\alpha_1, \alpha_2$  : Coefficient de pondération

He : perte de charge

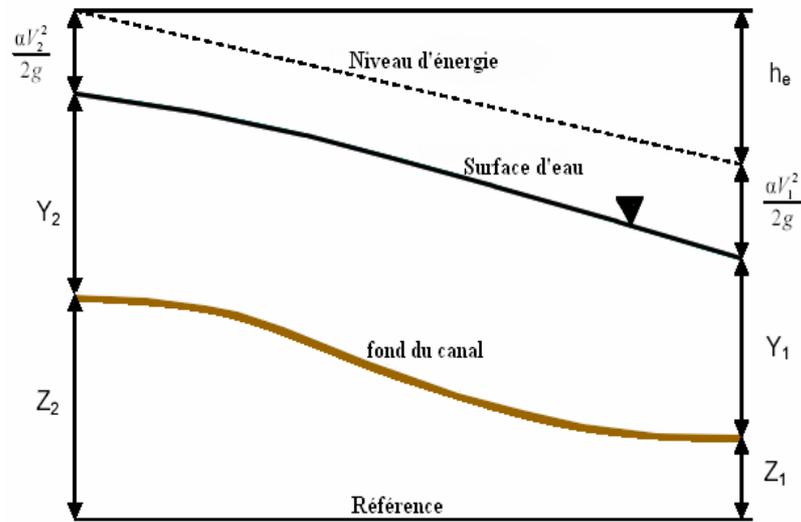


Figure 38 : Représentation des différents termes de l'équation d'énergie (Guide HEC-RAS, 2005)

La perte de charge entre deux positions 1 et 2 est composée par les pertes dues à la friction et à la contraction. L'équation de la perte de charge «  $h_e$  » est définie par l'équation suivante :

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

L : longueur ;

C : coefficient de la perte par contraction ;

$\bar{S}_f$  : Pente de friction entre sections

### **Subdivision du profil en travers pour le calcul de transport**

La détermination de transport total et le coefficient de vitesse pour un profil en travers exige que le flux soit subdivisé dans des unités pour lesquelles la vitesse est uniformément distribuée. L'approche utilisée dans la plupart des logiciels de modélisation y compris HEC-RAS est de subdiviser le flux dans des secteurs compartimentés en utilisant les points de subdivision de « n » valeur(s) comme la base pour la subdivision (figure 39). Le transport est calculé dans chaque subdivision en utilisant la forme suivante de l'équation de Manning :

$$Q = K \times \sqrt{S_f}$$

avec 
$$K = \frac{1.486}{n} A R^{\frac{2}{3}}$$

A : surface d'écoulement

K : le transport de subdivision

R : rayon hydraulique du compartiment

n : coefficient de rugosité de Manning

Le transport total pour le profil est obtenu en additionnant les trois transports de subdivision (gauche, le canal et le droit).

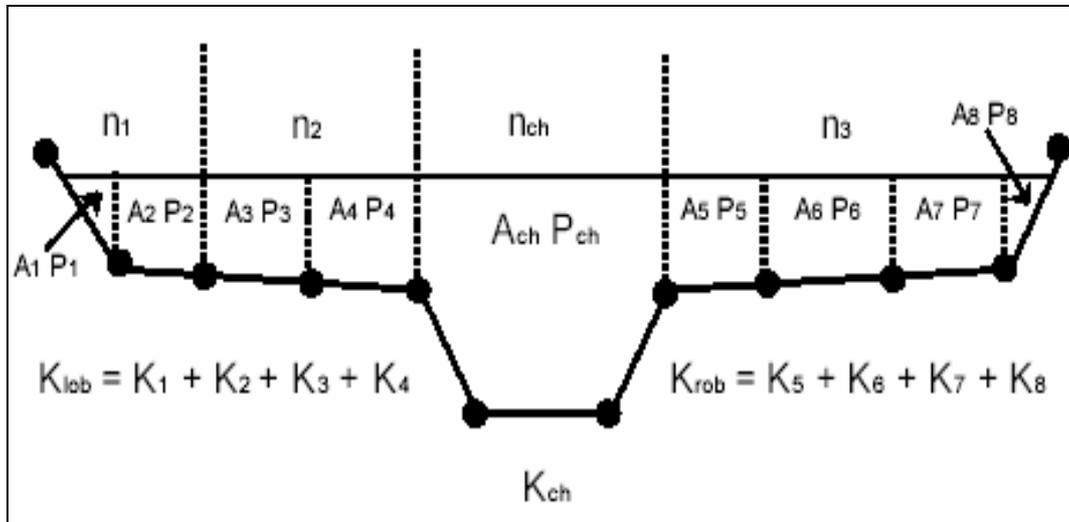


Figure 39 : Méthode de la subdivision du transport

#### IV.2- Régime transitoire

Les lois physiques qui dirigent l'écoulement dans un cours d'eau sont : (1) le principe de conservation de masse (continuité) et (2) le principe de conservation d'Elan ou de vitesse. Ces lois sont exprimées mathématiquement en forme d'équations différentielles partielles.

##### IV.2.1- Équation de Continuité

Considérons le volume de contrôle élémentaire montré dans la figure 40. Sur cette figure, la distance  $x$  est mesurée le long du canal, comme indiquée. Au milieu du volume de contrôle, le flux et le secteur de flux total sont dénotés  $Q(x, t)$  et  $\Delta$ , respectivement

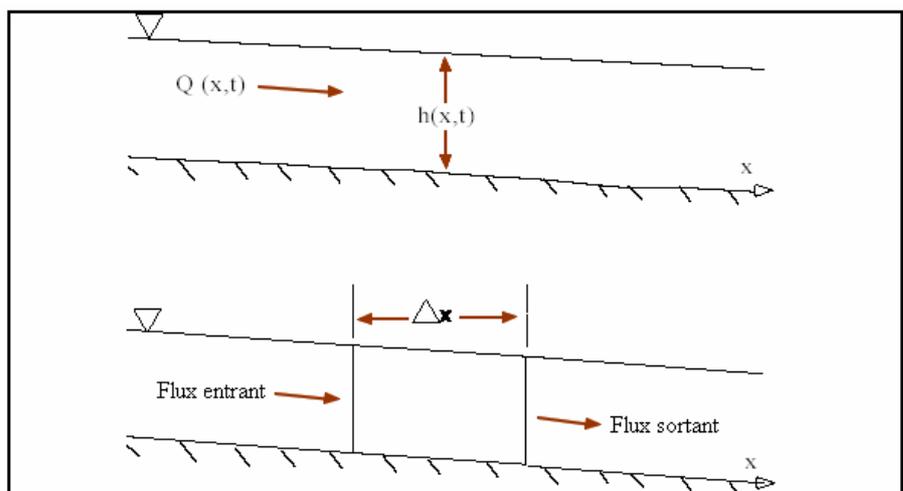


Figure 40 : Volume de contrôle élémentaire pour la dérivation des équations de continuité et de vitesse (ou de moment)

La loi de conservation de masse pour un volume de contrôle stipule que le débit moyen net dans le volume doit être égal au taux de changement de stockage à l'intérieur du volume

En assumant que  $\Delta x$  est petit, le changement de la masse dans le volume de contrôle est égal :

$$\rho \frac{\partial A_r}{\partial t} \Delta x = \rho \left[ \left( Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) - \left( Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) + Q_t \right]$$

Où  $Q_t$  est le flux latéral entrant au volume de contrôle et  $\rho$  est la densité du fluide.

Simplifions l'équation en divisant par  $\rho \Delta x$ , on aura la forme finale de l'équation de continuité :

$$\frac{\partial A_r}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_t = 0$$

#### IV.2.2 - Équation du moment

L'équation de conservation du moment est exprimée selon la deuxième loi de Newton comme :

$$\sum F_x = \frac{dM}{dt}$$

Cette équation, appliquée à un volume de contrôle, déclare que le taux net du moment entrant au volume (le flux d'Élan) plus la somme de toutes les forces externes agissant sur le volume doivent être égaux au taux d'accumulation du moment.

On considérera ainsi trois forces :

➤ la force de pression :

$$F_p = \int_0^h \rho g (h - y) T(Y) dy$$

Où « h » est la profondeur, « y » la distance au-dessus du canal et « T (y) » une fonction de largeur.

➤ la gravité :

$$F_g = \rho g A \sin \theta \times \Delta x$$

$\theta$  est l'angle que le canal fait avec l'horizontal.

$$\theta \approx \tan \theta = -\frac{\partial z_0}{\partial x}$$

Pour des rivières naturelles  $\theta$  est petit et, où  $Z_0$  est l'élévation.

Donc la force de gravitation peut être écrite comme :

$$F_g = -\rho g A \frac{\partial z_0}{\partial x} \Delta x$$

➤ la force de friction :

Les forces de friction entre le canal et le fluide peuvent être écrites comme suit:

$$F_f = -\tau_0 P \Delta x$$

Où  $\tau_0$  est la contrainte moyenne agissant sur les frontières du fluide et P est la section mouillée.

Donc la nouvelle forme du principe de conservation du moment montre que le taux net de moment (le flux d'élan) entrant au volume plus la somme de toutes les forces externes agissant sur le volume est égal au taux d'accumulation du moment, de là :

$$\rho \Delta x \frac{\partial Q}{\partial t} = -\rho \frac{\partial QV}{\partial x} \Delta x - \rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x - \rho g A \frac{\partial z_0}{\partial x} \Delta x - \rho g A S_f \Delta x$$

### IV.2.3 - Schéma implicite des Différences Finies

La procédure numérique la plus couronnée de succès et acceptée pour résoudre les équations d'écoulement transitoire unidimensionnel est le schéma implicite à quatre points. La stabilité des résultats finaux dépend de plusieurs facteurs qui influencent la solution du système. A cause de ces facteurs, n'importe quelle application du modèle devrait être accompagnée par une étude de sensibilité, où l'exactitude et la stabilité de la solution sont évaluées avec divers pas de temps et de distance.

La forme générale du schéma implicite est définie comme suit (figure 41) :

Dérivation par rapport au temps

$$\frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{0.5(\Delta f_{j+1} + \Delta f_j)}{\Delta t}$$

Dérivation par rapport à x

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{\Delta f}{\Delta x} = \frac{(f_{j+1} - f_j) + \theta(\Delta f_{j+1} - \Delta f_j)}{\Delta x}$$

La valeur de la fonction f est alors :

$$f \approx \bar{f} = 0.5(f_j + f_{j+1}) + 0.5\theta(\Delta f_j + \Delta f_{j+1})$$

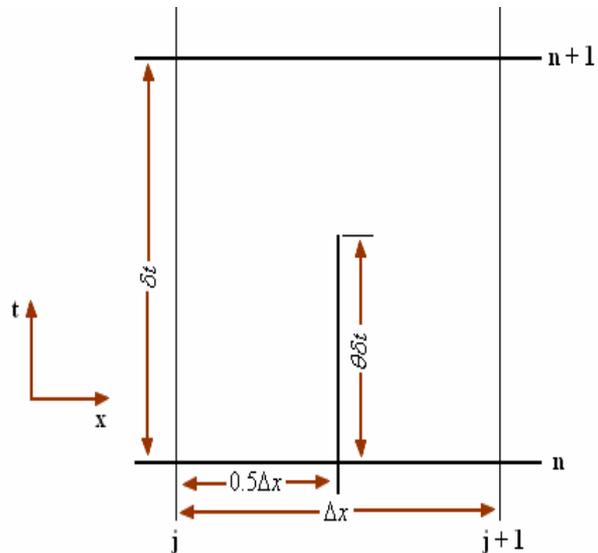


Figure 41 : Cellule typique de calcul par la méthode des différences finies

### V. Réalisation du modèle hydraulique de l'oued Jeouna

Le régime permanent reste le plus simple et le plus satisfaisant pour la réalisation du modèle hydraulique d'Oued Jeouna et pour avoir des résultats exploitables dans l'étude du bassin versant.

Cependant, il est important de signaler que les hypothèses suivantes sont implicites dans les expressions analytiques utilisées dans le logiciel HEC-RAS :

- ❖ l'écoulement est permanent ;
- ❖ l'écoulement est graduellement variable (sauf au niveau des ouvrages hydrauliques);
- ❖ l'écoulement est unidimensionnel ;
- ❖ la rivière a une pente inférieure à 1/10

### **V. 1 - Problèmes rencontrés lors de la construction géométrique**

Parmi les problèmes rencontrés, la présence de méandres très serrés sur des distances très petites. La direction d'écoulement à pleins bords peut être perpendiculaire voire opposée à la direction de l'écoulement débordant. A ce moment, il devient difficile de tracer des profils en travers au niveau des méandres.

Pour remédier ce problème il a été préférable de privilégier l'écoulement dans le lit mineur. Il aurait été possible de construire une ossature privilégiant le sens d'écoulement général dans le lit majeur pour éviter les tracés de profils tordus ; mais il n'est pas certain que cela soit plus réaliste car malgré tout, même en crue, une partie importante du débit suit les contorsions méandriformes du lit mineur.

### **V.2 - Géométrie de profils en travers :**

Les données topographiques constituent le socle sur lequel se construisent toutes les modélisations hydrauliques de rivière. Ainsi les principaux éléments topographiques sont les profils en travers perpendiculaires aux sens d'écoulement, linge, berges, digues, levées...Le profil en travers est l'élément géométrique primordial. Il est extrait d'un MNT représentant le tronçon de l'Oued Jeouna. Le profil (figure 42) a été choisi de sorte à montrer le maximum d'informations morphologiques de la plaine alluviale de l'Oued Jeouna.

D'après Kreis (2005), le profil en travers doit respecter cinq règles principales pour qu'il soit représentatif :

- Les profils doivent être perpendiculaires à la direction d'écoulement des eaux
- Ils ne doivent pas se croiser
- Ils doivent recouper toute la plaine d'inondation :
- Ils doivent décrire le profil en long du cours d'eau. Cela n'est pas toujours facile à réaliser dans le cas d'un cours méandriforme avec une large plaine d'inondation.
- Ils doivent prendre en compte les modifications géomorphologiques des lits mineurs et majeurs (élargissement, méandres, contraction, diffluence...). Des problèmes peuvent apparaître lorsque les méandres sont très resserrés ou que les angles de diffluence sont fermés. Il devient alors compliqué de tracer des profils sans que les tracés se recourent.

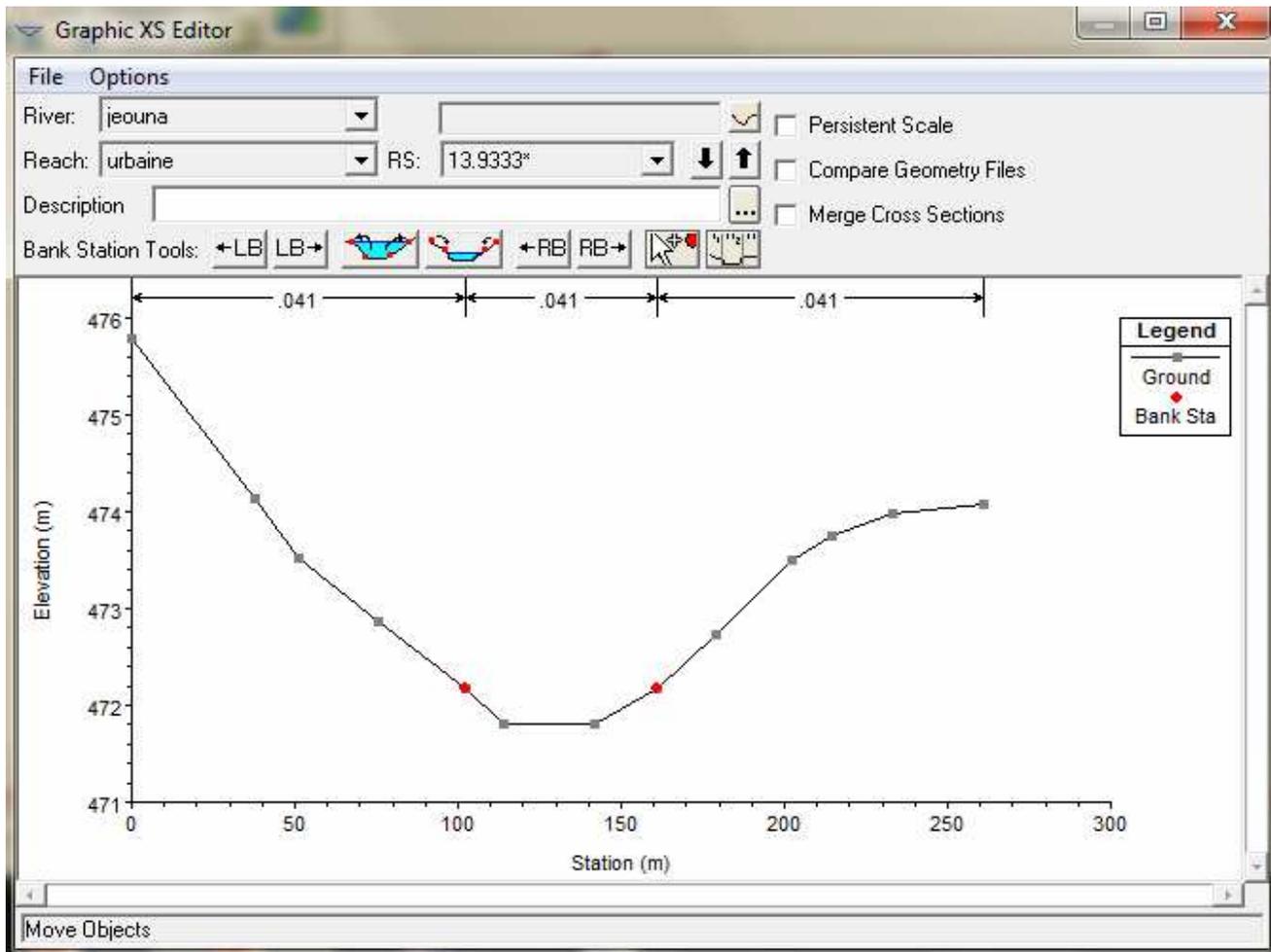


Figure 42 : Exemple d'un profil établi par HEC-RAS

### V.3 - Le Coefficient de Manning:

La nature du lit intervient dans le processus d'écoulement par la rugosité du lit et par la mobilité des matériaux. La rugosité caractérise la résistance du lit au déplacement de l'eau. Elle varie d'un secteur à l'autre du lit avec la nature physique du matériau et avec sa granulométrie. La présence d'ondulations dans les fonds sableux (dunes dissymétriques ou petites rides régulièrement espacées), ou l'existence d'éléments secondaires rapportés (végétation, cailloux, détritux) l'augmente considérablement.

La rugosité du lit peut-être évaluée par la valeur du coefficient  $n$  de la formule de MANNING qui s'écrit :

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2}$$

ou bien par la valeur du coefficient  $K$  qui est l'inverse du coefficient de rugosité de MANNING

Nature du lit	$N$	$K = \frac{1}{n}$
Lits bétonnés	0.015	70
Lits naturels propres à fond lisse	0.020	50
Lits naturels propres à fond rugueux	0.030	33
Lits naturels avec végétation	0.050 à 0.100	20 à 10

Tableau 11 : Quelques valeurs indicatives du coefficient de rugosité

Dans cette étude, le choix des coefficients de rugosité s'est effectué sur la base des observations sur le terrain,

A partir de ce tableau (voir annexe) et de sortie sur le terrain on a pu estimer la valeur moyenne de chaque section transversale. Le tableau 12 montre les différents profils classés par ordre décroissant de l'amont vers l'aval avec leur coefficient de Manning.

Section transversale	Observation	Coefficient de Manning estimé
1	Brosse claire	0.050
2	Brosse claire	0.050
3	Brosse claire+propre et droit	0.040
4	Brosse claire	0.050
5	Brosse claire	0.050
6	Brosse claire	0.050
7	Brosse claire	0.050
8	Brosse claire	0.050
9	Brosse claire	0.050
10	Béton inachevé	0.014
11	Béton inachevé	0.014
12	Béton inachevé	0.014
13	Arbres	0.15
14	Arbres	0.15
15	Arbres	0.15
16	Arbres	0.15

Tableau 12 : Coefficient de Manning des sections transversales

#### V.4 - L'interpolation entre les profils transversaux :

La fonction « XS Interpolation » dans le menu « Tods » du logiciel HEC-RAS permet d'ajouter par interpolation de nouvelles sections entre deux sections existantes (figure 43). Cela favorise une augmentation de la stabilité des calculs de niveau par le modèle. Il est recommandé d'avoir une

distance raisonnable entre deux sections transversales. En assumant que la pente et les propriétés des sections varient de façon linéaire entre deux sections consécutives. De ce fait le HEC-RAS permet d'ajouter par interpolation de nouvelles sections entre des sections existantes.

#### **V.5 - Débits et conditions limites**

L'étape suivante de la modélisation hydraulique est de spécifier les débits utilisés pour calculer les profils d'écoulements. Les résultats d'une analyse de fréquences des débits maximums sont utilisés pour calculer les profils d'écoulement correspondants (figure 44). Les débits utilisés ont été obtenus à partir de l'étude hydrologique précédemment réalisée et réaffichée dans le tableau suivant.

<b>T(ans)</b>	10	20	50	100
<b>Qp(M3/s)</b>	32.56	52.7	81.71	103.54

Tableau 13 : Débits des périodes de retour nécessaires à la modélisation

Ces débits sont représentatifs de la section amont et considérés valides sur tout le tronçon de rivière. Le débit ne change pas dans le tronçon puisqu'il n'y a pas de changements significatifs de débit causés par d'autres sources tels les affluents ou les rejets importants des eaux usées...

Les conditions aux limites sont nécessaires pour établir la hauteur d'eau initiale au niveau des extrémités du système rivière (amont et aval). Cette hauteur d'eau initiale est nécessaire pour commencer les calculs. A cet effet, on a supposé que l'écoulement est de type infra-critique c'est-à-dire qu'il y a une perturbation dans la géométrie du cours d'eau (régime fluvial) ou encore un niveau d'eau élevé à l'aval, qui provoque des ondes de gravité qui se propagent en partie vers l'amont. Aussi, on a spécifié dans la section aval, un niveau approximatif du fleuve, c'est-à-dire que ce niveau va influencer les niveaux d'eau qui seront calculés en rivière.



Figure 43 : Résultat d'interpolation entre les profils

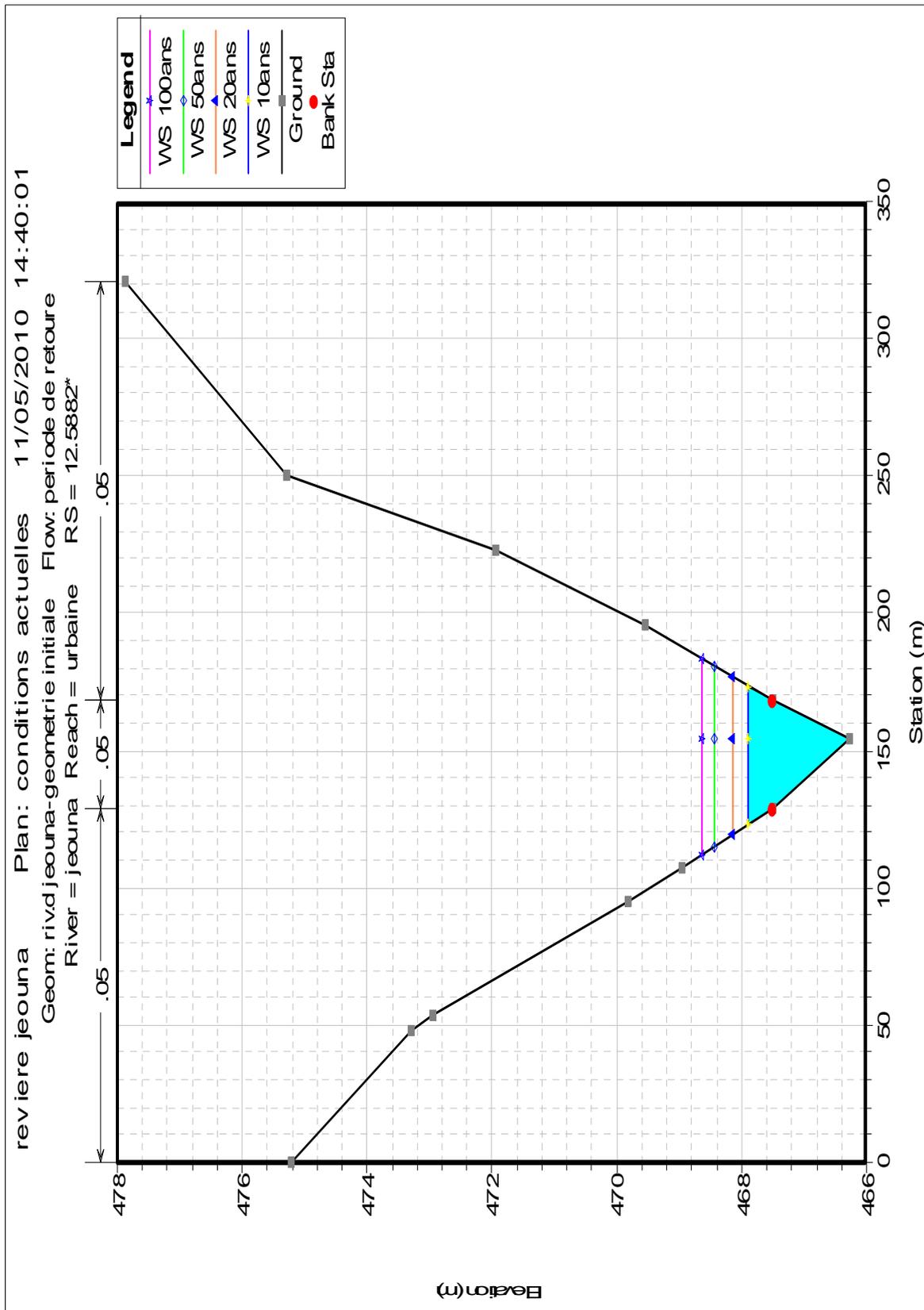


Figure 44 : Exemple d'un profil de la section amant de l'Oued Jeouna

## **VI. Visualisation et discussion des résultats**

La saisie des données géométriques concernant les profils des sections transversales et les débits de pointe de différentes période de retour, ainsi que les conditions limites dans le logiciel HEC-RAS a permis d'effectuer les calculs et d'extraire des résultats comme la vue en profil du tronçon simulée, le niveau d'eau de chaque période de retour sur les profils, une vue de trois dimensions du niveau d'eau dans le tronçon d'étude des tables descriptives et la courbe de tarage.

### **VI.1 - Ligne d'eau (figure 45)**

La ligne d'eau représente une vue en profile de tronçon d'étude avec le niveau et la surface d'eau de l'oued et le niveau d'eau de chaque période de retour. Dans le cas de cette étude (figure 47), la différence entre les niveaux des périodes de retour n'est pas bien visible. La figure 48 montre que cette différence existe et est bien lisible. Le comportement des crues est sensible aux irrégularités de la topographie.

### **VI.2 - Vue de trois dimensions du tronçon modélisé (figure 46)**

HEC-RAS fournit une vue de trois dimensions qui facilite le suivi du comportement des eaux de crue de périodes de retour.

Cette figure montre que dans la partie amont située au sud du bassin versant, il n'y a pas un fort débordement de crue. A cause de la pente, la concentration des eaux s'est effectuée au centre de la vallée. Dans la partie aval, s'observe un énorme débordement et surtout dans la partie droite. Ce débordement touche les constructions du quartier Al Qods 1 et surtout les bordures de la grande mosquée AlQods. Sur la bordure gauche, des infrastructures privées (usines) sont installées sur des endroits aménagés (voir photos 11 à 13 en annexe).

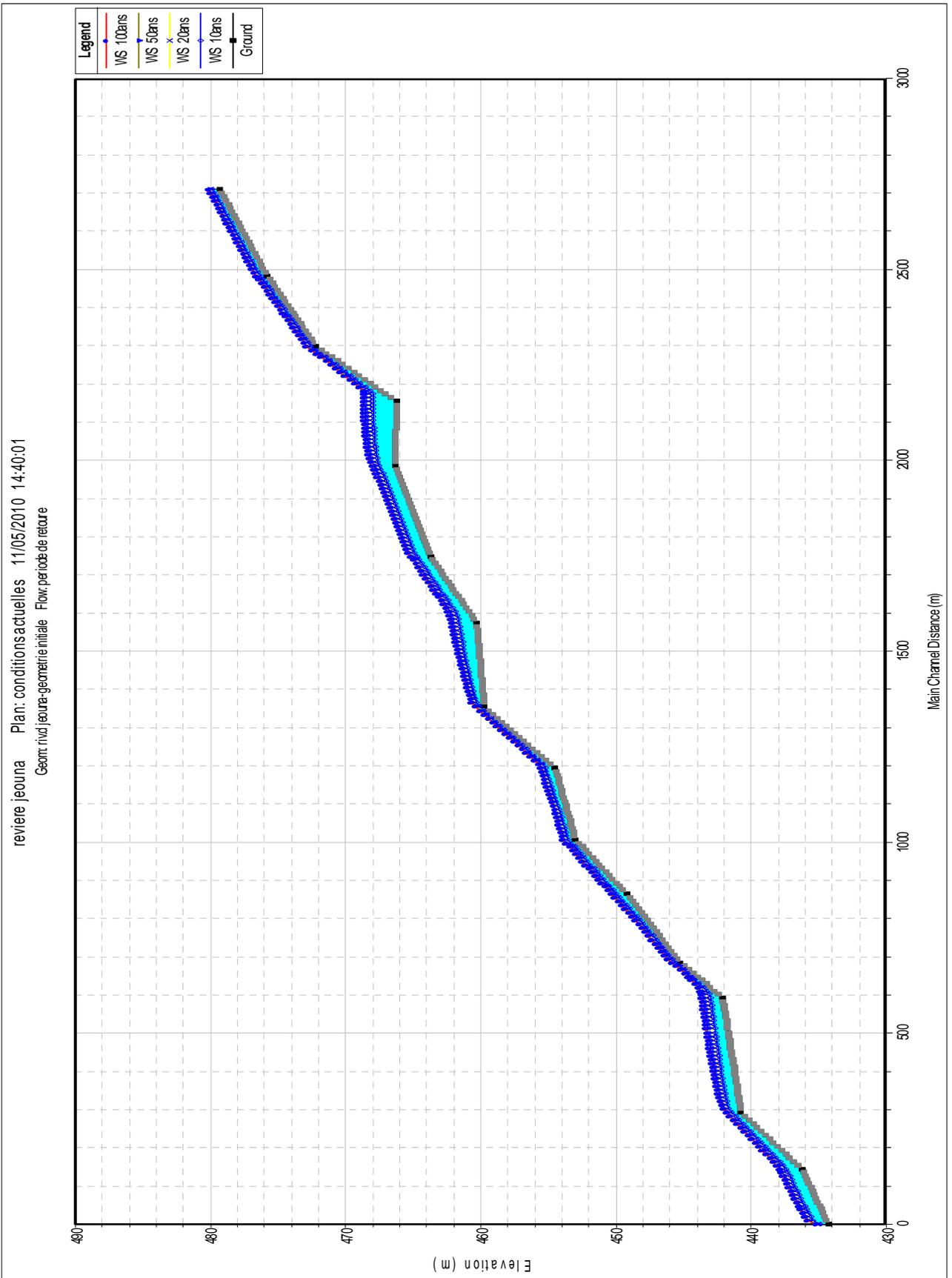


Figure 45 : Ligne d'eau du tronçon modélisé de l'Oued Jeouna

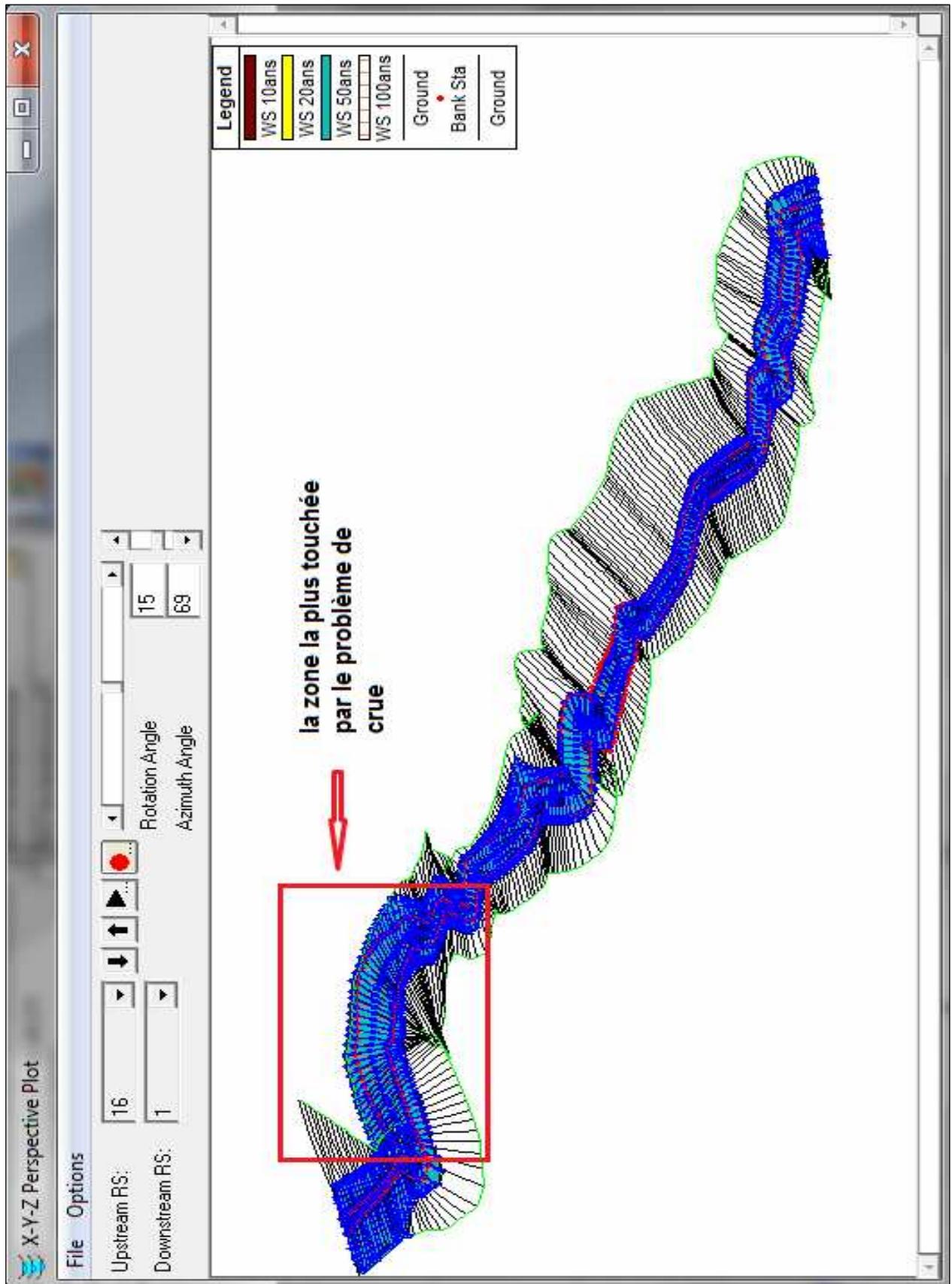


Figure 46 : Vue du tronçon modélisé

### **VI.3 - Vitesse d'écoulement**

La figure 47 représente la variation de vitesse d'écoulement des eaux pour chaque période de retour en fonction de la distance à partir de l'exutoire sur la bordure gauche, au centre et la bordure droite de la rivière.

On observe presque la même allure pour tous les niveaux d'eau. La vitesse augmente, cependant, avec le niveau d'eau. La variation de vitesse est fonction de la topographie de terrain : en aval (à 600 m à partir de l'exutoire) la vitesse moyennement variable et de faible valeur, devient importante surtout le long des tronçons situées à des distances entre 600-1400 m, 1600–2000m et 2200–2500 m de l'exutoire. Ces endroits sont caractérisés par une pente assez importante. Finalement, on distingue presque une même vitesse à gauche et à droite de la rivière et qui est plus faible que la vitesse au centre.

La vitesse d'écoulement influence directement sur l'importance de l'érosion et la quantité de volume transporté par les eaux de crue ainsi que la force de pénétration des eaux dans les domaines urbains et leur destruction.

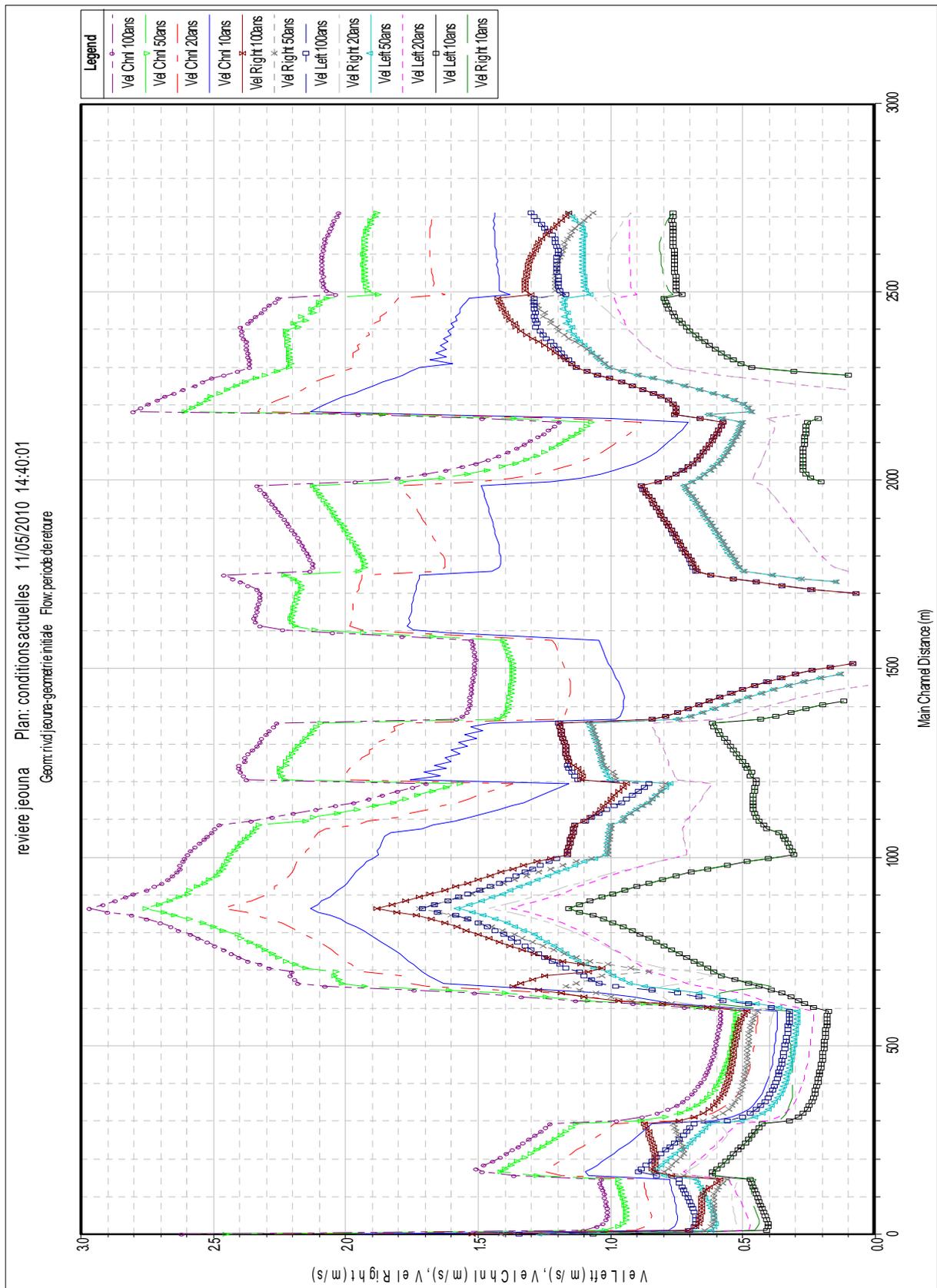


Figure 47 : Variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire

#### VI. 4 - Restitution de la courbe de tarage

Le logiciel HEC-RAS a permis de fournir une représentation de la variation de la hauteur d'eau en (m) en fonction de débit m<sup>3</sup>/s (figure 48).

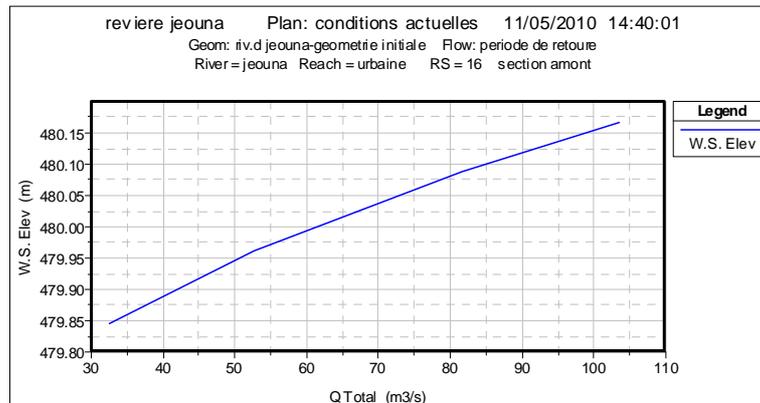


Figure 48 : Courbe de tarage obtenue à partir du logiciel HEC-RAS

Ces résultats ont été exportés vers le logiciel de traitement de données Ms-Excel. Ceci a permis de déterminer la courbe de tarage de Oued Jeouna et l'équation qui lie la hauteur de l'eau avec le débit. Ces données sont importantes en absence d'une station de jaugeage. La figure suivante (figure 49) montre la courbe déduite et son équation.

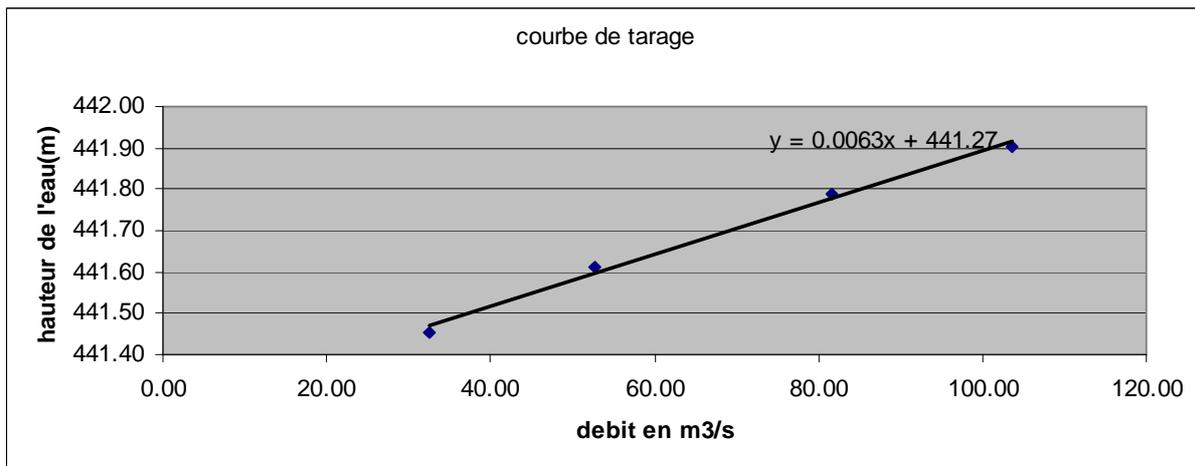


Figure 49 : Courbe de tarage résultante

#### VII- Conclusion

Ces résultats peuvent nous guider à suivre les bonnes interventions pour aménager la vallée de l'Oued Jeouna et réduire le degré de danger de problème de crue. Les tables concernant le coefficient de Manning et les différentes caractéristiques des profils figurent en Annexe. Un album de 18 photos montre les caractéristiques vues sur le terrain.

## Conclusion Générale

Le bassin versant de Oued Jeouna évolue à l'Est de la ville de Taza selon une orientation sud-nord, dans un climat semi-aride. Ce bassin est de type endoréique avec un écoulement des eaux vers le cours principale de Oued Larbaâ. Du point de vue géologique, ce bassin est marqué par la prédominance de formations tendres essentiellement marneuses d'âge Tertiaire. Ces formations sont très vulnérables et imperméables. Elles favorisent en périodes pluvieuses, des ruissellements importants, qui peuvent engendrer des crues plus rapides et plus violentes que dans un bassin à substratum perméable avec une même quantité de pluie. L'impact des gouttes de pluies est fort sur les sols et la formation superficielle. Les premières pluies peuvent facilement provoquer le colmatage complet du vide du sol, diminuant l'infiltration interne et provoquant des ruissellements en surface du sol presque aussitôt que la pluie commence à tomber

Le bassin versant de Oued Jeouna a une forme allongée sur une superficie totale de 32 km<sup>2</sup>. Les eaux rejoignent le cours d'eau principal dans une courte durée. La pente, très importante en aval (distance entre 12000 m et 13500 m de l'exutoire) réduit aussi le temps de concentration. La courbe hypsométrique montre que le bassin est moyennement érodé surtout dans la partie aval. Le transport des particules érodées augmente la densité des eaux et par conséquent les dégâts de crue.

Sur ce bassin, nous avons réalisé une modélisation hydraulique de la partie urbaine du bassin dont la superficie est de 4.6 km<sup>2</sup>. Cette étude a permis de détecter, à partir d'une enquête de terrain, des conséquences très intenses des problèmes de crue sur les constructions et les équipements installés sur presque 1 km de l'embouchure dans Oued Larbaâ.

Le débordement d'Oued Jeouna cause des dégâts énormes sur les constructions urbaines au Quartier Al Qods. L'eau de crue affecte les bordures de la mosquée Al Qods ainsi que les espaces de commerce. Les témoignages recueillis attestent que lors de la crue, la hauteur de l'eau arrive jusqu'à 1 m. Ceci cause des pertes de matériels et de produits. Parmi les constructions affectées, on trouve un établissement administratif qui par chance a été remplacé par une autre construction dans un endroit éloigné un peu de lit majeur de l'Oued.

L'étude d'aménagement d'Oued Jeouna est programmée par le bassin hydraulique de Sebou. Les résultats obtenus de la modélisation hydraulique peuvent servir les décideurs au choix des types d'interventions pour l'aménagement de l'Oued en offrant une vision générale sur le comportement de la vallée lors du dépassement de débits de pointe des périodes de retour.

## Références bibliographiques

- Agence du bassin hydraulique de Sebou (2005) - Etude de protection de la ville de Boulmane contre les inondations. 15 pages.
- Ancey C. (2009) - Risques hydrologiques et aménagement du territoire. Note de cours Risques hydrologiques et aménagement du territoire, 276 p.
- Benaabidate L. (2009) - Support de cours d'hydrologie quantitative. USMBA. FST-Fès, p 10-45.
- Benabdessalam T. et Hammar Y. (2009)- Estimation de la réponse hydrologique d'un bassin versant urbanisé. 15 p.
- Bernier J. (1956) - Sur l'application des diverses lois limites des valeurs extrêmes aux problèmes du débit de crue. la houille blanche, n°5, p. 718-725.
- Chaponnière A. (2005) - Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride. Cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain). Thèse Doct. Institut National Agronomique, Paris- Grignon, 268 p.
- EL Hammouch Y. et Samri Y. (2008)- La climatologie de la province de Taza. Mémoire de projet de fin d'étude de licence. USMBA. Faculté Polydisciplinaire de Taza, 43 pages.
- Er-Rguiouag M.A. (2009)- Modélisation Hydraulique de l'Oued Inaouene (Maroc septentrional). Mémoire de projet de fin d'étude de master – Climatologie. USMBA. Faculté sciences et techniques Fès, 161 pages.
- Guide HEC-RAS (2005) - Gestion des ressources hydriques. Université du Québec, École de technologie supérieure. Département de Génie de la construction. 19 p.
- Gumbel E.J. (1935) – les valeurs extrêmes des distributions statistiques. Annales de l'I.H.P., tome 5, n°2 p. 115-158.
- Guillevic P., Rodriguez F., Cohard J-M, Rosant J-M. et Dejeu R. (2005) – Hydroville, étude du fonctionnement des hydrosystèmes urbains aux échelles de la parcelle et du bassin versant, 27 p. <http://www.insu.cnrs.fr/f594pdf/>
- Kouamé K. F., Bernier M., Goné D. L., Saley M.B., LeFèbvre R., Soro N. et Koudou A. (2007) - Intégration de données géospatiales dans un modèle hydrologique distribué pour la simulation des écoulements des eaux en milieu tropical humide de côte d'ivoire (Afrique de l'ouest), 19 p.
- Laglaine V., Berod D., Devred D. et Amusy (1993) - Modélisation déterministe de la crue extrême d'un bassin versant de montagne avec application de la description géomorphologique du réseau hydrographique, 24 p.
- Layan B. (2008) - Modélisation Hydraulique et Aménagement de la vallée de l'Oued Larbaâ. Mémoire de projet de fin d'étude de Master- Hydrologie. USMBA. Fès, Maroc. 88 p.
- Makhlouf, Z. (1994). Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse Doctorat. Université de Paris XI Orsay / Cemagref (Antony), 228 pp.
- Miquel J., 1984, Guide pratique d'estimation des probabilités de crues, Collection de la direction des Etudes et Recherches d'EDF, n°53, Eyrolles Ed., Paris.

- Musy A. (2005) - Cours "Hydrologie générale". Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suisse.
- Radeeta (2000) - Rapports portant sur les inondations survenues à Taza le 27 Septembre 2000. 6 p.
- Rhaouti S. (1994)- Type de canevas suivi lors des études hydrologiques. p 1-60.
- Riad S. (2003)- Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc- Thèse de doctorat, Laboratoire de Mécanique de Lille, 154 pages.
- Tassin B. (2005)- Calcul des débits d'eaux pluviales. Méthodes non-dynamiques. 10 p.
- Zemzami M. (2008) - Climatologie, Hydrologie, Modélisation Hydraulique et Aménagement de la Vallée de l'Oued Taza. Mémoire de projet de fin d'étude de Master. USMBA. Fac Sciences Dhar Mahraz, Fès, Maroc, 98 p.

## Liste des Figures

Figure 1 : Schéma géologique simplifié du Rif.....	13
Figure 2 : Bassin versant de oued Jeouna.....	14
Figure 3 : Modèle numérique de terrain du bassin versant de Oued Jeouna.....	15
Figure 4 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Jeouna.....	17
Figure 5 : Rectangle équivalent du bassin versant de Oued Jeouna.....	18
Figure 6 : Profil en long du cours d'eau principal.....	20
Figure 7 : Position des stations climatologiques prises en compte dans cette étude .....	22
Figure 8 : Courbe cumulative de la station de Taza.....	28
Figure 9 : Double cumul Taza/Bab Boudir.....	28
Figure 10 : Double cumul Taza/Bab Marzouka.....	29
Figure 11 : Double cumul Taza/Tadderte.....	29
Figure 12 : Double cumul Taza/El Kifane.....	30
Figure 13 : Pluies annuelles de la station de bab marzoka.....	31
Figure 14 : Pluies annuelles de la station de Bab Boudir.....	31
Figure 15 : Pluies annuelles de la station de Tadderte.....	32
Figure 16 : Pluies annuelles de la station d'El Kifane.....	32
Figure 17 : Pluies annuelles de la station de Taza.....	32
Figure 18 : Variation mensuelle des précipitations de la station de Bab Marzoka.....	33
Figure 19 : Variation mensuelle des précipitations de la station de bab boudir.....	34
Figure 20 : Variation mensuelle des précipitations de la station de Tdderte.....	34
Figure 21 : Variation mensuelle des précipitations de la station d'El Kifane.....	34
Figure 22 : Variation mensuelle des précipitations de la station de Taza.....	35
Figure 23 : Précipitations saisonnières de la station de Bab Marzoka.....	35
Figure 24 : Précipitations saisonnières de la station de Bab Boudir.....	35
Figure 25 : Précipitations saisonnières de la station d'El Kifane.....	36
Figure 26 : Précipitations saisonnières de la station de Taza.....	36
Figure 27 : Précipitations saisonnières de la station de Tadderte.....	36
Figure 28 : Variation des précipitations en fonction de l'altitude.....	37
Figure 29 : Variation de la température mensuelle minimale, moyenne et maximale de la station de Taza.....	38
Figure 30 : Variation des températures moyennes mensuelles durant 4 années (2001-2005) de la station de Taza.....	38
Figure 31 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la station de Taza.....	39
Figure 32 : Variation de l'ETP, de la température et des précipitations.....	40
Figure 33 ; Variation mensuelle des différents termes du bilan hydrique de la zone d'étude.....	42
Figure 34 : Ajustement des pluies max journalières de la station de Taza par la loi de Gumbel.....	45
Figure 35 : Diagramme de crue décennale.....	48
Figure 36 : Logiciel HEC-RAS.....	50

Figure 37 : Définition d'une section de cours d'eau dans HEC-RAS .....	52
Figure 38 : Représentation des différents termes de l'équation d'énergie.....	53
Figure 39 : Méthode de la subdivision du transport.....	54
Figure 40 : Volume de contrôle élémentaire pour la dérivation des équations de continuité et de vitesse (ou de moment) .....	54
Figure 41 : Cellule typique de calcul par la méthode des différences finies.....	56
Figure 42 : Exemple d'un profil établi par HEC-RAS.....	58
Figure 43 : Résultat d'interpolation entre les profils.....	61
Figure 44 : Exemple d'un profil de la section amont de l'Oued Jeouna.....	62
Figure 45 : Ligne d'eau du tronçon modélisé de l'Oued Jeouna.....	64
Figure 46 : Vue du tronçon modélisé.....	65
Figure 47 : Variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire.....	67
Figure 48 : Courbe de tarage obtenue à partir du logiciel HEC-RAS.....	68
Figure 49 : Courbe de tarage résultante.....	68

### Liste des Tableaux

Tableau 1- Valeurs de la courbe hypsométrique du bassin versant de Oued Jeouna.....	17
Tableau 2. Valeurs de calcul de la distance des courbes.....	18
Tableau 3- Valeurs de calcul du profil en eau du cours d'eau principal.....	20
Tableau 4 : Corrélations entre les stations avec R (calculé), ddl et R (lu).....	26
Tableau 5 : Paramètres caractéristiques des stations étudiées.....	30
Tableau 6 : Calcul de l'ETR par la méthode de comparaison de Thornthwaite.....	42
Tableau 7: P <sub>jmax</sub> de chaque période de retour avec le Gradex.....	46
Tableau 8 : P <sub>24</sub> de chaque période de retour avec le Gradex.....	46
Tableau 9 : Q <sub>p</sub> et V et L <sub>r</sub> de période de retour de 10 ans.....	47
Tableau 10 : Lamme d'eau précipitée, volume et débit de pointe de chaque fréquence.....	49
Tableau 11 : Quelques valeurs indicatives du coefficient de rugosité.....	59
Tableau 12 : Coefficient de Manning des sections transversales .....	59
Tableau 13 : Débits des périodes de retour nécessaires à la modélisation.....	60

# **Annexes**

**ANNEXE I : TABLE DE BRAVAIS - PEARSON**

ddl	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	ddl	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
1	0.997	1.0000	52	0.268	0.348
2	0.950	0.990	54	0.263	0.341
3	0.878	0.959	56	0.259	0.336
4	0.811	0.917	58	0.254	0.330
5	0.755	0.875	60	0.250	0.325
6	0.707	0.834	62	0.246	0.320
7	0.666	0.798	64	0.242	0.315
8	0.632	0.765	66	0.239	0.310
9	0.602	0.735	68	0.235	0.306
10	0.576	0.708	70	0.232	0.302
11	0.553	0.684	72	0.229	0.298
12	0.532	0.661	74	0.226	0.294
13	0.514	0.641	76	0.223	0.290
14	0.497	0.623	78	0.220	0.286
15	0.482	0.606	80	0.217	0.283
16	0.468	0.590	82	0.215	0.280
17	0.456	0.575	84	0.212	0.276
18	0.444	0.561	86	0.210	0.273
19	0.433	0.549	88	0.207	0.270
20	0.423	0.537	90	0.205	0.267
21	0.413	0.526	92	0.203	0.264
22	0.404	0.515	94	0.201	0.262
23	0.396	0.506	96	0.199	0.259
24	0.388	0.496	98	0.197	0.256
25	0.381	0.487	100	0.195	0.254
26	0.374	0.479	105	0.190	0.248
27	0.367	0.471	110	0.186	0.242
28	0.361	0.463	115	0.182	0.237
29	0.355	0.456	120	0.178	0.232
30	0.349	0.449	125	0.174	0.228
31	0.344	0.442	130	0.171	0.223
32	0.339	0.436	135	0.168	0.219
33	0.334	0.430	140	0.165	0.215
34	0.329	0.424	145	0.162	0.212
35	0.325	0.418	150	0.159	0.208
36	0.320	0.413	160	0.154	0.202
37	0.316	0.408	170	0.150	0.196
38	0.312	0.403	180	0.145	0.190
39	0.308	0.398	190	0.142	0.185
40	0.304	0.393	200	0.138	0.181
41	0.301	0.389	250	0.124	0.162
42	0.297	0.384	300	0.113	0.148
43	0.294	0.380	350	0.105	0.137
44	0.291	0.376	400	0.098	0.128
45	0.288	0.372	450	0.092	0.121
46	0.285	0.368	500	0.088	0.115
47	0.282	0.365	600	0.080	0.105
48	0.279	0.361	700	0.074	0.097
49	0.276	0.358	800	0.069	0.091
50	0.273	0.354	900	0.065	0.086
			1000	0.062	0.081

**ANNEXE II : VARIABLE DE GUMBEL DE CHAQUE ANNEE ET SA PROBABILITE  
CORRESPONDANTE**

<b>An. hydrologique</b>	<b>max Annuelle</b>	<b>n</b>	<b>i</b>	<b>U</b>	<b>Probabilité</b>
1979 - 1980	56	27	1	-1.39	0.019
1980 - 1981	33,5	27	2	-1.09	0.056
1981 - 1982	25,5	27	3	-0.87	0.093
1982 - 1983	33,7	27	4	-0.75	0.130
1983 - 1984	33,7	27	5	-0.6	0.167
1984 - 1985	46,7	27	6	-0.47	0.204
1985 - 1986	50,3	27	7	-0.35	0.241
1986 - 1987	87,2	27	8	-0.26	0.278
1987 - 1988	45	27	9	-0.15	0.315
1988 - 1989	53	27	10	-0.04	0.352
1989 - 1990	49	27	11	0.032	0.389
1990 - 1991	42,3	27	12	0.142	0.426
1991 - 1992	46	27	13	0.25	0.463
1992 - 1993	32	27	14	0.36	0.500
1993 - 1994	48,7	27	15	0.45	0.537
1994 - 1995	36	27	16	0.57	0.574
1995 - 1996	46	27	17	0.7	0.611
1996 - 1997	66	27	18	0.8	0.648
1997 - 1998	68	27	19	0.95	0.685
1998 - 1999	26	27	20	1.11	0.722
1999 - 2000	30	27	21	1.24	0.759
2000 - 2001	85	27	22	1.44	0.796
2001 - 2002	50	27	23	1.68	0.833
2002 - 2003	40	27	24	1.97	0.870
2003 - 2004	113	27	25	2.25	0.907
2004 - 2005	38	27	26	2.78	0.944
2005 - 2006	35	27	27	3.9	0.981

**ANNEXE 3 : TABLE DE COEFFICIENT DE MANING**

<b>Matière</b>	<b>n : coefficient de manning</b>	<b>Matière</b>	<b>n : coefficient de manning</b>
<b><i>Ruisseaux Naturels</i></b>		<b><i>Canaux Excavés de Terre</i></b>	
Propre et Droit	0.030	Propre	0.022
Fleuves Importants	0.035	Caillouteux	0.025
Lent avec les Piscines Profondes	0.040	Malingre	0.030
		Rocailleux, Pavés	0.035
<b><i>Métaux</i></b>		<b><i>Plaines inondables</i></b>	
Cuivre jaune	0.011	Pacage, Terres cultivables	0.035
Fonte	0.013	Brosse Claire	0.050
Acier Lisse	0.012	Lourde Brosse	0.075
Métal Ridé	0.022	Arbres	0.15
<b><i>Non-métaux</i></b>			
Verre	0.010	Béton Fini	0.012
Tuile de Glaise	0.014	Béton Inachevé	0.014
Maçonnerie de briques	0.015	Gravier	0.029
Asphalte	0.016	Terre	0.025
Maçonnerie	0.025	Bois de Planed	0.012
		Bois d'Unplaned	0.013
Le Polyéthylène Ridé (PE) avec les murs intérieurs lisses a, b			0.009-0.015
Le Polyéthylène Ridé (PE) avec les murs intérieurs ridés c			0.018-0.025
Le Chlorure Polyen vinyle (de POLYCHLORURE DE VINYLE) avec les murs intérieurs lisses d, e			0.009-0.011

**References**

Footnotes refer to Manning n table above. All other Manning n values were obtained from the references listed in our [Discussion and References page](#).

<sup>a</sup> Barfuss, Steven and J. Paul Tullis. Friction factor test on high density polyethylene pipe. Hydraulics Report No. 208. Utah Water Research Laboratory, Utah State University. Logan, Utah. 1988.

<sup>c</sup> Barfuss, Steven and J. Paul Tullis. Friction factor test on high density polyethylene pipe. Hydraulics Report No. 208. Utah Water Research Laboratory, Utah State University. Logan, Utah. 1994.

<sup>e</sup> Bishop, R.R. and R.W. Jeppson. Hydraulic characteristics of PVC sewer pipe in sanitary sewers. Utah State University. Logan, Utah. September 1975.

<sup>d</sup> Neale, L.C. and R.E. Price. Flow characteristics of PVC sewer pipe. Journal of the Sanitary Engineering Division, Div. Proc 90SA3, ASCE. pp. 109-129. 1964.

<sup>b</sup> Tullis, J. Paul, R.K. Watkins, and S. L. Barfuss. Innovative new drainage pipe. Proceedings of the International Conference on Pipeline Design and Installation, ASCE. March 25-27, 1990.

**ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES GENERALES DES 16 PROFILS**

Reach	Riv. st	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude. Chl
urbaine	16	32.56	479.3	479.84		479.93	0.015282	1.44	26.89	93.01	0.69
urbaine	16	52.7	479.3	479.96		480.08	0.015034	1.67	38.91	111.14	0.71
urbaine	16	81.71	479.3	480.09		480.23	0.014694	1.89	53.91	123.73	0.73
urbaine	16	103.54	479.3	480.17		480.32	0.014591	2.02	63.84	129.69	0.74
urbaine	15	32.56	475.8	476.31		476.42	0.019381	1.53	23.79	79.63	0.77
urbaine	15	52.7	475.8	476.42		476.57	0.019172	1.8	33.44	87.89	0.79
urbaine	15	81.71	475.8	476.56		476.74	0.018814	2.07	45.79	97.43	0.82
urbaine	15	103.54	475.8	476.64		476.85	0.018969	2.25	53.96	103.27	0.84
urbaine	14	32.56	472.2	472.59	472.59	472.74	0.022389	1.72	19.11	67.22	0.98
urbaine	14	52.7	472.2	472.71	472.71	472.9	0.018806	1.97	27.89	77.17	0.95
urbaine	14	81.71	472.2	472.85	472.85	473.09	0.016405	2.22	39.62	88.74	0.93
urbaine	14	103.54	472.2	472.94	472.94	473.21	0.015298	2.36	48.03	96.18	0.92
urbaine	13	32.56	466.25	467.99		468.02	0.001084	0.71	48.16	53.95	0.21
urbaine	13	52.7	466.25	468.27		468.31	0.00126	0.89	64.34	61.85	0.24
urbaine	13	81.71	466.25	468.58		468.63	0.001427	1.08	84.73	70.56	0.26
urbaine	13	103.54	466.25	468.77		468.84	0.001518	1.19	98.7	75.96	0.28
urbaine	12	32.56	466.3	467.48		467.59	0.011302	1.49	21.86	37.21	0.62
urbaine	12	52.7	466.3	467.67		467.83	0.011349	1.79	29.75	42.88	0.65
urbaine	12	81.71	466.3	467.89		468.12	0.011489	2.13	39.83	49.11	0.68
urbaine	12	103.54	466.3	468.03		468.3	0.011566	2.33	46.91	53.04	0.7
urbaine	11	32.56	463.75	464.72		464.87	0.019445	1.72	18.91	38.89	0.79
urbaine	11	52.7	463.75	464.92		465.11	0.019325	1.94	27.19	46.64	0.81
urbaine	11	81.71	463.75	465.11	465.02	465.36	0.019008	2.23	36.77	54.37	0.83
urbaine	11	103.54	463.75	465.21	465.14	465.52	0.019159	2.46	42.84	58.8	0.86
urbaine	10	32.56	460.3	461.61		461.66	0.004813	1.04	31.16	47.61	0.41
urbaine	10	52.7	460.3	461.84		461.92	0.005261	1.22	43.25	56.09	0.44
urbaine	10	81.71	460.3	462.09		462.19	0.005761	1.41	58.08	65	0.48
urbaine	10	103.54	460.3	462.23		462.35	0.006101	1.52	67.9	70.28	0.5
urbaine	9	32.56	459.75	460.15	460.13	460.26	0.029423	1.46	22.64	86.58	0.88
urbaine	9	52.7	459.75	460.24	460.23	460.4	0.030701	1.78	30.22	90.29	0.94
urbaine	9	81.71	459.75	460.34	460.34	460.56	0.030255	2.1	40.14	94.93	0.98
urbaine	9	103.54	459.75	460.42	460.42	460.67	0.028388	2.26	47.71	98.33	0.97
urbaine	8	32.56	454.5	455.24		455.3	0.00869	1.16	30.3	84.13	0.53
urbaine	8	52.7	454.5	455.38		455.47	0.008685	1.37	43.37	101.39	0.55
urbaine	8	81.71	454.5	455.53		455.64	0.008574	1.57	60.59	117.76	0.57

urbaine	8	103.54	454.5	455.63		455.75	0.008558	1.7	71.76	121.86	0.58
urbaine	7	32.56	453	453.55	453.55	453.73	0.002688	1.88	17.39	50.14	1
urbaine	7	52.7	453	453.69	453.69	453.93	0.002282	2.16	24.96	56.39	0.97
urbaine	7	81.71	453	453.86	453.86	454.15	0.001981	2.44	35.15	63.86	0.95
urbaine	7	103.54	453	453.97	453.97	454.3	0.001829	2.6	42.56	68.77	0.94
urbaine	6	32.56	449.25	450	450	450.17	0.00167	2.13	20.22	58.34	0.86
urbaine	6	52.7	449.25	450.13	450.13	450.35	0.001719	2.46	28.57	66.06	0.9
urbaine	6	81.71	449.25	450.29	450.29	450.55	0.001671	2.76	39.87	75.24	0.92
urbaine	6	103.54	449.25	450.39	450.39	450.68	0.001698	2.97	47.18	80.63	0.94
urbaine	5	32.56	445.25	445.63	445.63	445.77	0.002602	1.69	19.84	73.77	0.96
urbaine	5	52.7	445.25	445.77	445.77	445.92	0.001792	1.79	33.03	115.28	0.85
urbaine	5	81.71	445.25	445.88	445.88	446.07	0.001761	2.05	46.03	121.55	0.87
urbaine	5	103.54	445.25	445.95	445.95	446.16	0.001759	2.21	54.44	125.44	0.89
urbaine	4	32.56	442.1	443.01		443.02	0.004429	0.37	90.44	127.5	0.14
urbaine	4	52.7	442.1	443.26		443.27	0.004419	0.44	122.56	133.05	0.14
urbaine	4	81.71	442.1	443.55		443.56	0.00445	0.53	161.73	139.52	0.15
urbaine	4	103.54	442.1	443.73		443.75	0.004493	0.58	187.8	143.66	0.15
urbaine	3	32.56	440.75	441.45		441.49	0.029888	0.85	45.21	110.33	0.34
urbaine	3	52.7	440.75	441.61		441.65	0.029913	0.98	63.82	120.51	0.35
urbaine	3	81.71	440.75	441.79		441.84	0.030324	1.13	85.61	126.96	0.37
urbaine	3	103.54	440.75	441.9		441.96	0.030549	1.22	100.15	131.09	0.38
urbaine	2	32.56	436.25	437.43		437.45	0.012736	0.78	62.45	119.1	0.24
urbaine	2	52.7	436.25	437.64		437.66	0.012751	0.88	89.43	135.6	0.25
urbaine	2	81.71	436.25	437.86		437.88	0.012671	0.97	119.92	144.3	0.26
urbaine	2	103.54	436.25	438		438.03	0.012604	1.03	140.61	149.93	0.26
urbaine	1	32.56	434.3	434.89	434.89	435.06	0.222184	1.96	20.14	64.44	0.89
urbaine	1	52.7	434.3	435.02	435.02	435.23	0.217199	2.27	29.38	78.68	0.92
urbaine	1	81.71	434.3	435.19	435.19	435.41	0.186447	2.46	44.5	103.56	0.88
urbaine	1	103.54	434.3	435.28	435.28	435.52	0.182876	2.62	54.26	116.85	0.89

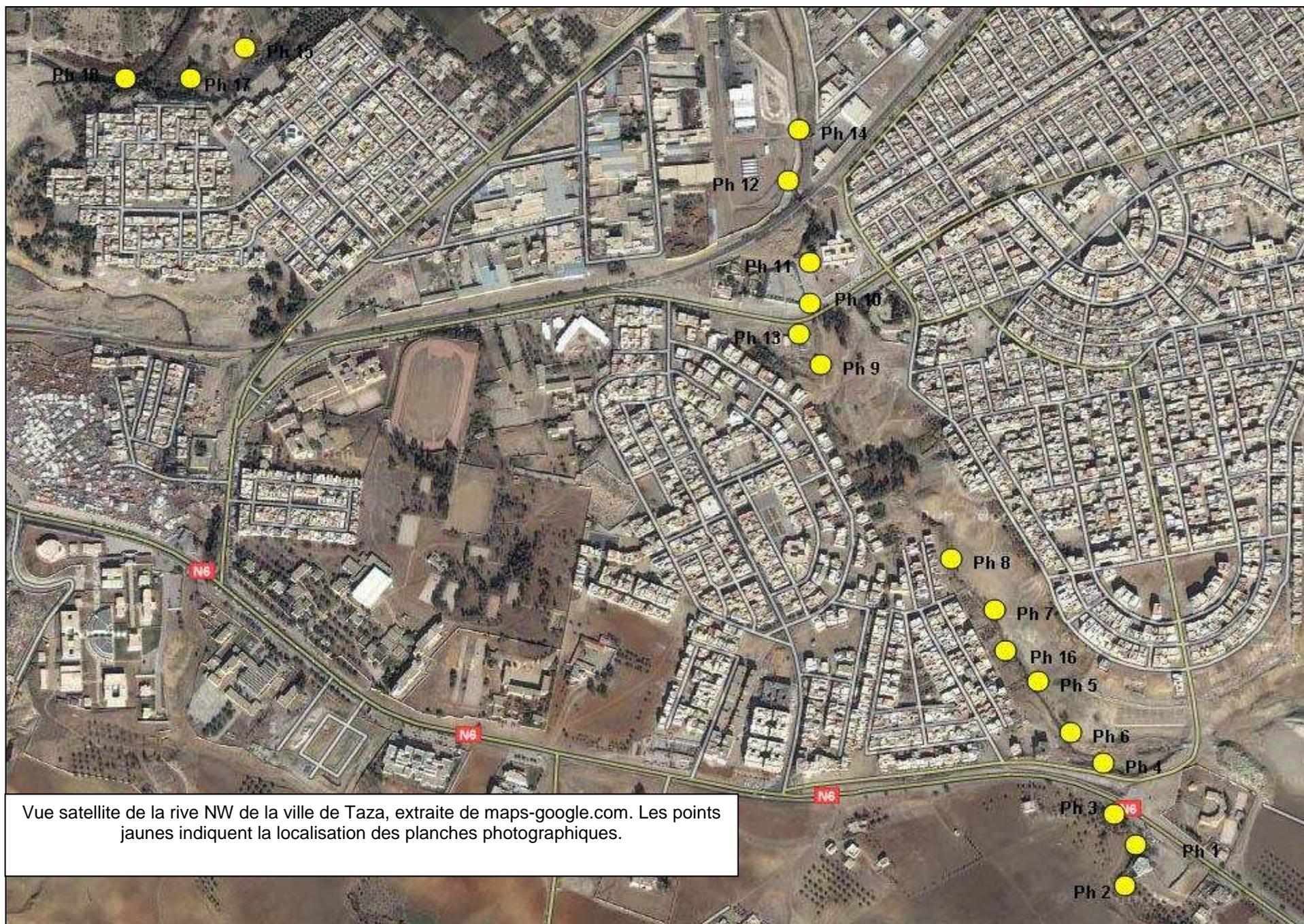
**ANNEXE 5 : CARACTERISTIQUES GENERALES LIEES A CHAQUE PERIODE DE  
RETOUR(10.20.50.100)**

<b>Plan: actuel Jeouna urbaine RS: 16 Profile: 10 ans</b>					
			Left		
			OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	479.93	Element			
Vel Head (m)	0.09	Wt. n-Val.	0.05	0.05	0.05
W.S. Elev (m)	479.84	Reach Len. (m)	9.04	9.83	12.17
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	5.92	17.77	3.2
E.G. Slope (m/m)	0.015282	Area (m2)	5.92	17.77	3.2
Q Total (m3/s)	32.56	Flow (m3/s)	4.53	25.58	2.45
Top Width (m)	93.01	Top Width (m)	34.42	40	18.59
Vel Total (m/s)	1.21	Avg. Vel. (m/s)	0.76	1.44	0.76
Max Chl Dpth (m)	0.54	Hydr. Depth (m)	0.17	0.44	0.17
Conv. Total (m3/s)	263.4	Conv. (m3/s)	36.7	206.9	19.8
Length Wtd. (m)	9.9	Wetted Per. (m)	34.43	40	18.59
Min Ch El (m)	479.3	Shear (N/m2)	25.79	66.58	25.78
Alpha	1.2	Stream Power (N/m s)	19.72	95.84	19.72
Frctn Loss (m)	0.15	Cum Volume (1000 m3)	10.01	73	9.1
C & E Loss (m)	0	Cum SA (1000 m2)	33.33	133.59	34.72
<b>Plan: actuel Jeouna urbaine RS: 16 Profile: 20 ans</b>					
			Left		
			OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	480.08	Element			
Vel Head (m)	0.11	Wt. n-Val.	0.05	0.05	0.05
W.S. Elev (m)	479.96	Reach Len. (m)	9.04	9.83	12.17
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	10.67	22.48	5.76
E.G. Slope (m/m)	0.015034	Area (m2)	10.67	22.48	5.76
Q Total (m3/s)	52.7	Flow (m3/s)	9.85	37.54	5.32
Top Width (m)	111.14	Top Width (m)	46.2	40	24.95
Vel Total (m/s)	1.35	Avg. Vel. (m/s)	0.92	1.67	0.92
Max Chl Dpth (m)	0.66	Hydr. Depth (m)	0.23	0.56	0.23
Conv. Total (m3/s)	429.8	Conv. (m3/s)	80.3	306.2	43.4
Length Wtd. (m)	9.92	Wetted Per. (m)	46.2	40	24.95
Min Ch El (m)	479.3	Shear (N/m2)	34.04	82.85	34.04
Alpha	1.22	Stream Power (N/m s)	31.42	138.34	31.41
Frctn Loss (m)	0.15	Cum Volume (1000 m3)	17.27	96.14	15.6
C & E Loss (m)	0	Cum SA (1000 m2)	45.74	137.85	46.94

<b>Plan: actuel Jeouna urbaine RS: 16 Profile: 50 ans</b>					
			Left		
			OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	480.23	Element			
Vel Head (m)	0.14	Wt. n-Val.	0.05	0.05	0.05
W.S. Elev (m)	480.09	Reach Len. (m)	9.04	9.83	12.17
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	17.01	27.55	9.36
E.G. Slope (m/m)	0.014694	Area (m2)	17.01	27.55	9.36
Q Total (m3/s)	81.71	Flow (m3/s)	19.63	52.07	10.01
Top Width (m)	123.73	Top Width (m)	51.77	40	31.96
Vel Total (m/s)	1.52	Avg. Vel. (m/s)	1.15	1.89	1.07
Max Chl Dpth (m)	0.79	Hydr. Depth (m)	0.33	0.69	0.29
Conv. Total (m3/s)	674.1	Conv. (m3/s)	161.9	429.6	82.6
Length Wtd. (m)	9.94	Wetted Per. (m)	51.78	40	31.97
Min Ch El (m)	479.3	Shear (N/m2)	47.33	99.23	42.2
Alpha	1.19	Stream Power (N/m s)	54.62	187.59	45.11
Frctn Loss (m)	0.15	Cum Volume (1000 m3)	27.38	122.69	24.61
C & E Loss (m)	0	Cum SA (1000 m2)	58.32	140.36	58.04

<b>Plan: actuel Jeouna urbaine RS: 16 Profile: 100 ans</b>					
			Left		
			OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	480.32	Element			
Vel Head (m)	0.16	Wt. n-Val.	0.05	0.05	0.05
W.S. Elev (m)	480.17	Reach Len. (m)	9.04	9.83	12.17
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	21.12	30.68	12.04
E.G. Slope (m/m)	0.014591	Area (m2)	21.12	30.68	12.04
Q Total (m3/s)	103.54	Flow (m3/s)	27.52	62.1	13.92
Top Width (m)	129.69	Top Width (m)	53.34	40	36.35
Vel Total (m/s)	1.62	Avg. Vel. (m/s)	1.3	2.02	1.16
Max Chl Dpth (m)	0.87	Hydr. Depth (m)	0.4	0.77	0.33
Conv. Total (m3/s)	857.2	Conv. (m3/s)	227.8	514.1	115.2
Length Wtd. (m)	9.94	Wetted Per. (m)	53.35	40	36.35
Min Ch El (m)	479.3	Shear (N/m2)	56.66	109.74	47.38
Alpha	1.17	Stream Power (N/m s)	73.82	222.14	54.78
Frctn Loss (m)	0.14	Cum Volume (1000 m3)	34.99	139.65	31.21
C & E Loss (m)	0	Cum SA (1000 m2)	66.27	141.42	64.43

## Planches photographiques



Vue satellite de la rive NW de la ville de Taza, extraite de maps-google.com. Les points jaunes indiquent la localisation des planches photographiques.



Ph.1 : Cours d'eau de Oued Jeouna



Ph.2 : Abondance des arbres influençant sur le coefficient de Manning



Ph.3 : construction d'un mur séparant le lit mineur de l'oued d'un nouveau lotissement d'habitation



Ph.4 : Destruction d'une partie de la route dans un bord de l'oued



Ph.5 : Forme d'érosion due à la force d'écoulement de l'oued



Ph.6 : Capacité de l'oued à transporter des gros matériaux



Ph.7 : Sapement de berge de l'oued Jeouna



Ph.8 : Rejet de matériaux de construction dans l'oued



Ph.9 : Ecoulement de l'oued loin de canal d'aménagement



Ph.10 : Laisse de crue après l'abaissement de niveau de l'eau



Ph.11 : Partie aménagée de l'oued entre la mosquée d'Al Qods1 et l'espace Al Qods de commerce



Ph.12 : Installation des usines dans aux bord de l'Oued



Ph.13 : Patrie urbaine la plus touchée par le débordement de l'oued



Ph.14 : Aménagement d'une portion de l'oued à proximité des usines



Ph.15 : Plaine de la partie aval de l'oued



Ph16 : Dépôt des sédiments et des matériaux transportés par la crue



Ph.17 : Apparition et abondance de végétaux dans la plaine d'inondation



Ph18 : Contact Oued Jeouna et Oued Larbaâ



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom: Mourjane Mohammed**

**Année Universitaire : 2009/2010**

**Titre: Modélisation hydraulique de la vallée du tronçon urbain de Oued Jeouna  
(Taza, Maroc)**

### Résumé

Le bassin versant de Oued Jeouna évolue à l'Est de la ville de Taza selon une orientation sud-nord, dans un climat semi-aride. Du point de vue géologique, ce bassin est marqué par la prédominance de formations tendres essentiellement marneuses d'âge Tertiaire. Ces formations sont très vulnérables et imperméables. Elles favorisent en périodes pluvieuses, des ruissellements importants, qui peuvent engendrer des crues plus rapides et plus violentes que dans un bassin à substratum perméable avec une même quantité de pluie. L'impact des gouttes de pluies est fort sur les sols et la formation superficielle. Les premières pluies peuvent facilement provoquer le colmatage complet du vide du sol, diminuant l'infiltration interne et provoquant des ruissellements en surface du sol presque aussitôt que la pluie commence à tomber

Le bassin versant de Oued Jeouna a une forme allongée sur une superficie totale de 32 km<sup>2</sup>. Les eaux rejoignent le cours d'eau principal dans une courte durée. La pente, très importante en aval (distance entre 12000 m et 13500 m de l'exutoire) réduit aussi le temps de concentration. La courbe hypsométrique montre que le bassin est moyennement érodé surtout dans la partie aval. Le transport des particules érodées augmente la densité des eaux et par conséquent les dégâts de crue.

Sur ce bassin, nous avons réalisé une modélisation hydraulique de la partie urbaine du bassin dont la superficie est de 4.6 km<sup>2</sup>. Cette étude a permis de détecter, à partir d'une enquête de terrain, des conséquences très intenses des problèmes de crue sur les constructions et les équipements installés sur presque 1 km de l'embouchure dans Oued Larbaâ.

Le débordement d'Oued Jeouna cause des dégâts énormes sur les constructions urbaines au Quartier Al Qods. L'eau de crue affecte les bordures de la mosquée Al Qods ainsi que les espaces de commerce. Les témoignages recueillis attestent que lors de la crue, la hauteur de l'eau arrive jusqu'à 1 m. Ceci cause des pertes de matériels et de produits. Parmi les constructions affectées, on trouve des habitations et un établissement administratif.

L'étude d'aménagement d'Oued Jeouna est programmée par le bassin hydraulique de Sebou. Les résultats obtenus de la modélisation hydraulique peuvent servir les décideurs au choix des types d'interventions pour l'aménagement de l'Oued en offrant une vision générale sur le comportement de la vallée lors du dépassement de débits de pointe des périodes de retour.

**Mots clés :** *Modélisation hydraulique, logiciel HEC-RAS, bassin versant de Oued Jeouna, Taza, Maroc*