



Année Universitaire : 2013-2014



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

**MODELISATION DES CRUES DU TRONCON
URBAIN DE L'OUED TIZGUIT, VILLE D'IFRANE**
Utilisation couplée de HEC-GEORAS ET ARC-GIS
Présenté par :

Fatima ezzahraa BOUAYAD

Encadré par :

- Mr. Abderrahim LAHRACH, FST, Fès
- Mr. Abdellah BOURAK, ABHS

Soutenu Le **20 Juin 2014** devant le jury composé de :

- **Mr. Abderrahim LAHRACH**
- **Mr. Abdellah BOURAK**
- **Mr. Abdel ali CHAOUNI**
- **Mr. Mohammed BENABDELHADI**
- **Mr. Hassan TABYAOUI**

Stage effectué à : FST, FES



Résumé

La ville d'Ifrane est caractérisée par un climat de type méditerranéen, hiver rigoureux et été frais, avec une température maximale de 37°C et minimale -24°C, La différence d'altitude entraîne des nuances importantes entre la montagne et la plaine avec un étagement bioclimatique humide et semi-aride.. Le bassin versant d'oued Tizguit est considéré comme bien drainé car son indice de compacité est de 1,93. ce qui concerne la géologie de la zone du projet sont essentiellement représentées par des formations calcaires et dolomitiques d'âge liasique. L'oued Tizguit qui traverse la ville d'Ifrane du sud vers le nord, présente une morphologie avec de nombreuses ramifications. Il draine un bassin versant à l'entrée de la ville de 75 km² environ.

la modélisation hydraulique unidimensionnelle par le logiciel HEC-RAS nous a permis d'évaluer et intégrer tous les paramètres fondamentaux, tels que la géométrie, le débit, et les conditions aux limites dans le but de réaliser un modèle hydraulique de restituer les résultats sous différentes formes pour calculer la hauteur d'eau, le profil en long qui permet de visualiser le profil d'eau calculé. En outre, il y a la possibilité d'afficher les résultats pour chaque profil en travers qu'on choisit, ou encore de visualiser une vue tridimensionnelle du tronçon. D'une part, et d'autre part pour déterminer les zones de débordement.

L'exploitation de ce genre de résultats issus de la simulation hydraulique et de systèmes d'information géographique, peut contribuer considérablement à établir des modes d'intervention pour lutter contre les débordements qui peuvent persister malgré l'existence des trois barrages , à cause des pluies et des crues exceptionnelles enregistrées au cours des dernières années.

Le présent projet de fin d'étude s'attache à élaborer un rappel du diagnostic de la situation actuelle de la zone d'étude, notamment en ce qui concerne la délimitation des zones inondées, l'origine des inondations, leur historique et les dégâts qu'elles causent.

Mots clés : bassin versant, oued tizguit, inondation, simulation hydraulique unidimensionnelle,



Table des matières

Introduction générale.....	
<u>Chapitre I: CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE</u>	
1.SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA PROVINCE D'IFRANE	
2.CONTEXTE GEOLOGIQUE :	
3.LA GEOLOGIE STRUCTURALE	
4.POPULATION ET DEMOGRAPHIE	
5.CLIMATOLOGIE	
6.DONNEES GENERALES SUR LA ZONE D'ETUDE, BASSIN VERSANT D'OUED TIZGUIT :	13
6.1.Situation géographique	13
6.2.Paramètres physiographique du bassin versant d'oued tizguit.....	14
6.2.1.Introduction.....	14
6.2.2.Surface	15
6.2.3.Périmètre	15
6.2.4.Indice de compacité de Gravelius	15
6.3.Caractéristiques topographiques du bassin versant d'oued tizguit.....	16
6.3.1.L'altitude.....	16
6.3.2.La pente.....	17
6.3.3.Réseau hydrographique.....	19
CONCLUSION.....	
<u>CHAPITRE II: HITORIQUE DES CRUES</u>	
Introduction.....	
I.Définition	
1.DEFINITIONS DU RISQUE.....	
2.LE RISQUE D'INONDATION	
3.LES TYPES D'INONDATION	
4.LES CAUSES D'INONDATION.....	
4.1.La pluie et la neige	25
4.2.Les lits de la rivière : Les crues.....	25
II.L'historique des crues dans la zone d'étude	
INTRODUCTION	
II.1. LES DEGATS DES INONDATIONS	
III.Les résultats de l'étude hydrologique.....	
3.1. Caractéristiques de la zone d'étude	29

CHAPITRE III:MODELISATION HYDRAULIQUE D'OUED TIZGUIT



Introduction.....	
I.Etudes hydrauliques	
I.1. CONSIDERATIONS GENERALES.....	
I.2 . Modélisation.....	31
I.3. Outils de modélisation.....	31
I.3.1. Données d'entrée :.....	32
I.3.2. Les résultats des calculs :	32
I.4. Principes du calcul hydraulique par Hec-Ras.....	32
I.4.1. Modélisation en régime permanent	32
I.4.2. Modélisation en régime transitoire.....	33
<u>I.5.</u> Conditions aux limites.....	33
<u>I.6.</u> Coefficients de rugosité.....	33
II. Etapes de la Modélisation hydraulique et présentation des résultats	34
1.DISPOSITIF ET OUTILS INFORMATIQUES UTILISEES	
2.ETAPE DE LA MODELISATION	
3.RESULTATS	
3.1.Visualisation en trois Dimension du tronçon modélisé.....	39
3.2.Restitution de la courbe de tarage :	41
3.3. Variation de la vitesse du cours d'eau	41
3.4. Les profils en long	43
3.5. Les profils en travers	43
3.6. Tableau récapitulatif	44
4.L'EXPORTATION DES DONNEES VERS ARC GIS :	
4.1.Détermination de la vitesse d'eau	45
4.2 Délimitation de la zone inondable.....	46
CONCLUSION.....	
Références bibliographiques	



Liste des figures

Figure 1 : Découpage administratif de la province d'Ifrane	9
Figure 2: Cadre géologique, extrait de la carte géologique du Maroc, Feuille de Rabat au 1/500.000ème	9
Figure 3 : Carte structurale schématique de la région étudiée, d'après la carte géologique de sefrou Maroc au 1/1000,000	11
Figure 4 : Carte de situation géographique de la zone d'étude	14
Figure 5 : Carte des altitudes du bassin versant d'oued tizguit.....	17
Figure 6 : Carte des pentes du bassin versant d'oued tizguite.....	18
Figure 7: Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'oued tizguit.....	19
Figure 8 : Définitions du risque	22
Figure 9 : Risque = aléa * vulnérabilité.....	22
Figure 10 : le lit mineur	24
Figure 11 le lit moyen.....	24
Figure 12 : le lit majeur	25
Figure 13 : carte des barrages tizguit-amont , aval et bousraf (ABHS,2009)	26
Figure 14 : Représentation des termes de l'équation de l'énergie (E.Tate 1999).....	33
Figure 15: Extention de liaison entre Arcgis et HEC-RAS	34
Figure 17 : Figure illustrant la barre Hec_Georas dans l'ArcGis.....	36
Figure 16 : L'extension Hec-GeoRas sur l'interface ArcMap	35
Figure 18 : La topographie importer dans Arcgis	36
Figure 19: MNT de la zone d'étude sur Arcgis	37
Figure 20 : MNT transformé en TIN	37
Figure 21 : Les 3 couches River, Banks et Flowpaths avec leurs attributs.....	38
Figure 22 : Les différents profils en travers et leurs attributs	38
Figure 23 : Tronçon simulé représenté par des profils en travers (lignes en vert) et des points berges (points en rouge).....	39
Figure 24 : visualisation du tronçon en 3D(Q10)	40
Figure 25 : Vue du tronçon en 3D (O100)	40
Figure 26 : Courbes de tarage obtenu à partir de HEC-RAS	41
Figure 27 : Variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance.....	42
Figure 28 : Profil en long de la ligne d'eau pour (Q10-Q100).....	43
Figure 29 : profil en travers du tronçon modélisé	44
Figure 30: Carte de vitesse d'eau dans la zone inondée (Q100).....	45
Figure 31: Les zones débordées par le débit centennal	46
Figure 32: Les zones débordées par le débit décennal	47
Figure 33: Les zones inondées avant et après l'aménagement	48



Liste des tableaux

Tableau 1 : les caractéristiques du bassin versant.....	29
Tableau 2 : les caractéristiques du bassin versant.....	29
Tableau 3 : Principaux paramètres hydrauliques pour un ensemble de station	44

Liste des photos

Photo 1:illustration des dégats sur les infrastructures.....	28
--	----

Liste des abréviations

PPR : Plan de Prévention des Risques

PLU: Plan Local d'Urbanisme

HEC-RAS: Hydrologic Engineering Center, River Analysis System

RAS : River Analysis System

TIN : Triangulated Irregular Network

Introduction générale

Au cours des dernières années, les aléas hydrologiques ne cessent de s'amplifier à cause des changements climatiques qui touchent le globe tout entier.

Les crues font partie du fonctionnement naturel d'un cours d'eau. Elles peuvent être différentes d'une année à l'autre et n'entraînent pas forcément des inondations, ou du moins de grandes catastrophes. En effet les inondations arrive de façon périodique et dépend des conditions météorologiques. Les crues se produisent en général suite à une forte pluie de longue durée ou



d'une fonte de neige après sa saturation durant la pluie. Qu'un pays au climat semi-aride comme le Maroc subit de temps à autre les méfaits des inondations, ce n'est guère un paradoxe. On est presque tenté d'affirmer que l'aridité favorise l'apparition des crues violentes, car l'absence de couverture végétale et le type du sol soutient le ruissellement aux dépens de l'infiltration.

Au Maroc après une longue période de sécheresse sévère qui a ravagé le pays depuis les années quatre-vingt, on a enregistré au cours de ces dernières années des chiffres records en matière de précipitations, de crues et d'inondation qui ont touché beaucoup d'endroits sur le territoire national. La ville d'Ifrane souffre de ce problème à cause des débordements d'oued Tizguite pendant les périodes pluvieuses.

Les décideurs ont mis en place un projet d'aménagement de l'Oued tizguite, qui a pour objectif principal de mettre au point un modèle hydraulique pour la prévention des crues et l'adaptation des interventions contre les effets des crues dans les zones inondables

La modélisation mathématique est un outil scientifique parmi d'autres, qui est de plus en plus adopté pour simuler et comprendre les phénomènes hydrologiques et hydrauliques. En outre, les systèmes d'information géographique sont désormais indispensables à la bonne gestion dans ce domaine comme dans d'autres.(conclusion)



Chapitre I

Cadre général de la zone d'étude

1. Situation géographique de la province D'IFRANE

La province d'Ifrane est située au centre du Royaume, dans la région de Meknès Tafilalt. Elle s'étend sur une superficie de 3 573 km², elle est constituée de deux municipalités, Ifrane et Azrou et de huit Communes rurales, à savoir : Ain Leuh, Ben Smin, Oued Ifrane, Sidi Makhfi, Tigrigra, Timahdite, Dayet Aoua, Tizguite.

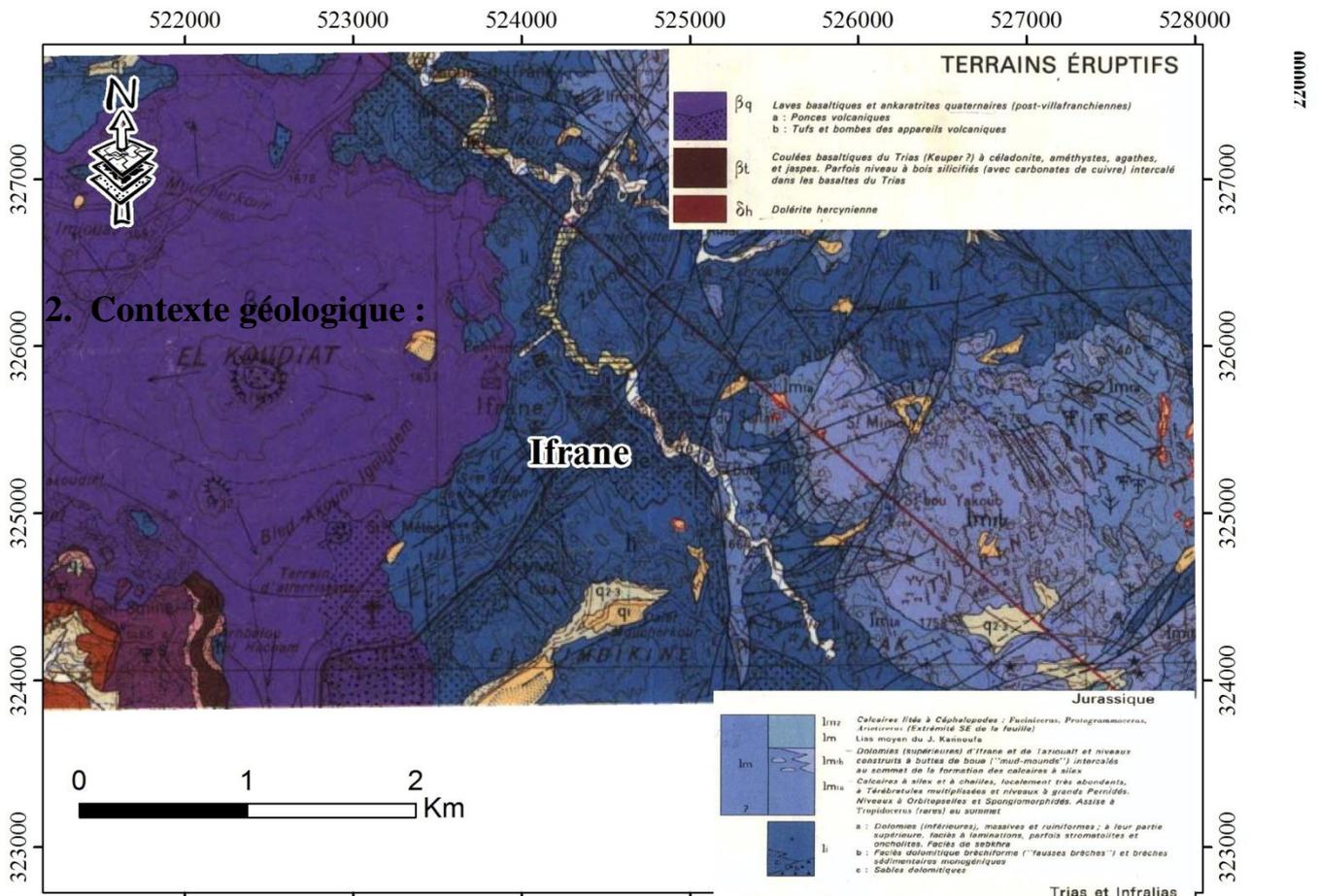
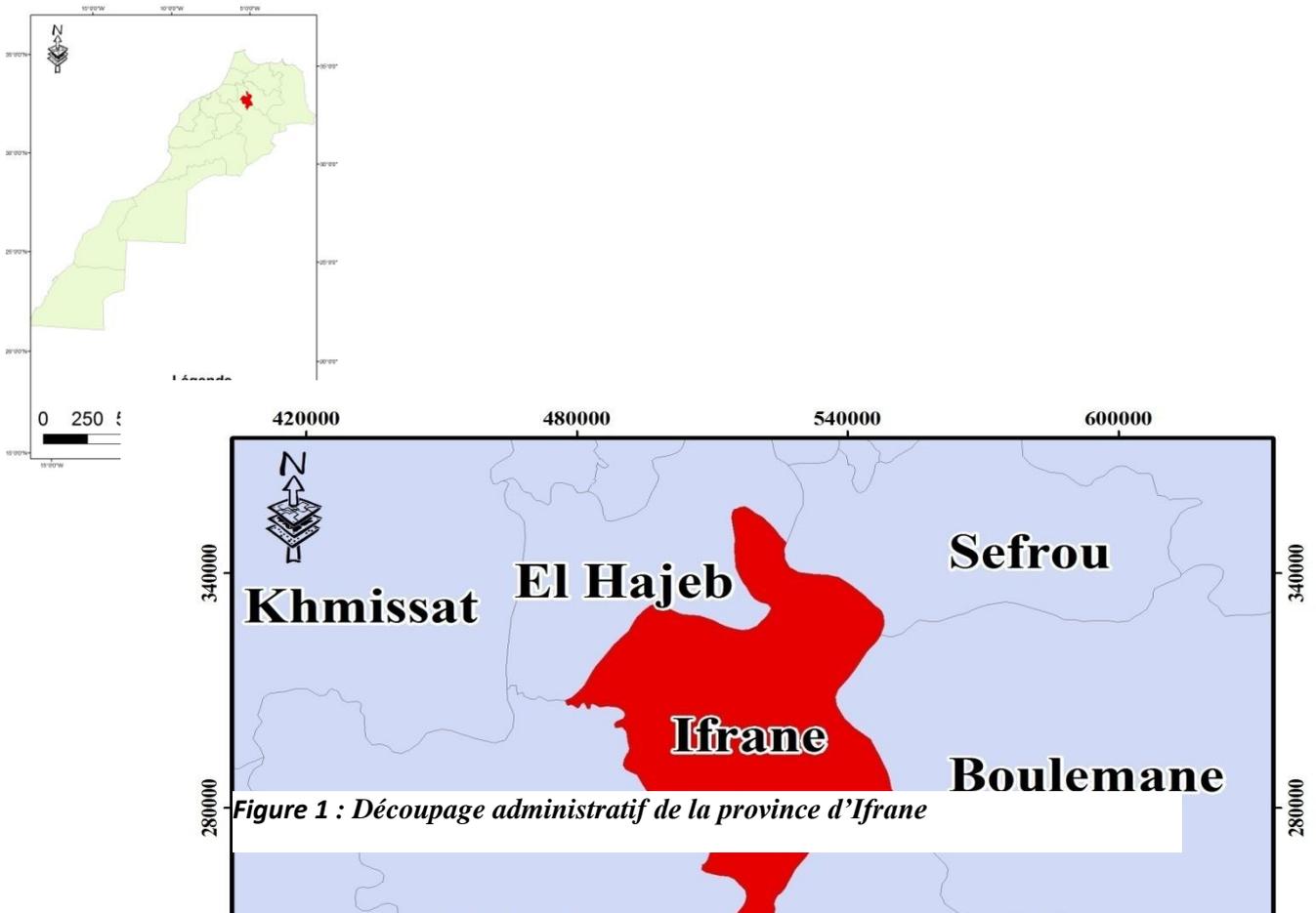


Figure 2: Cadre géologique, extrait de la carte géologique du Maroc, Feuille de Rabat au 1/500.000ème



Les formations géologiques de la zone du projet sont essentiellement représentées par des formations calcaires et dolomitiques d'âge liasique.

En effet, c'est avec le Lias inférieur que débute la formation des dolomies et calcaires qui constituent le principal matériau du causse. Dans ce tronçon septentrional, la sédimentation liasique débiterait à l'Hettangien, étage représenté par des niveaux de marnes et calcaires marneux ou dolomitiques de faible importance (1 à 5 m), affleurant en divers points au pied de la bordure occidentale entre El Hajeb et Ben Smime.

Au dessus de ces niveaux, le Lias inférieur est représenté par une série dolomitique d'environ 150 m d'épaisseur où l'on peut distinguer trois grands ensembles qui sont de bas en haut :

- Des dolomies sableuses
- Des dolomies marneuses
- Des dolomies litées

Cette succession, définie dans la région d'Ifrane, n'est cependant pas générale et le Lias inférieur peut débiter par des dolomies compactes.

3. La géologie structurale

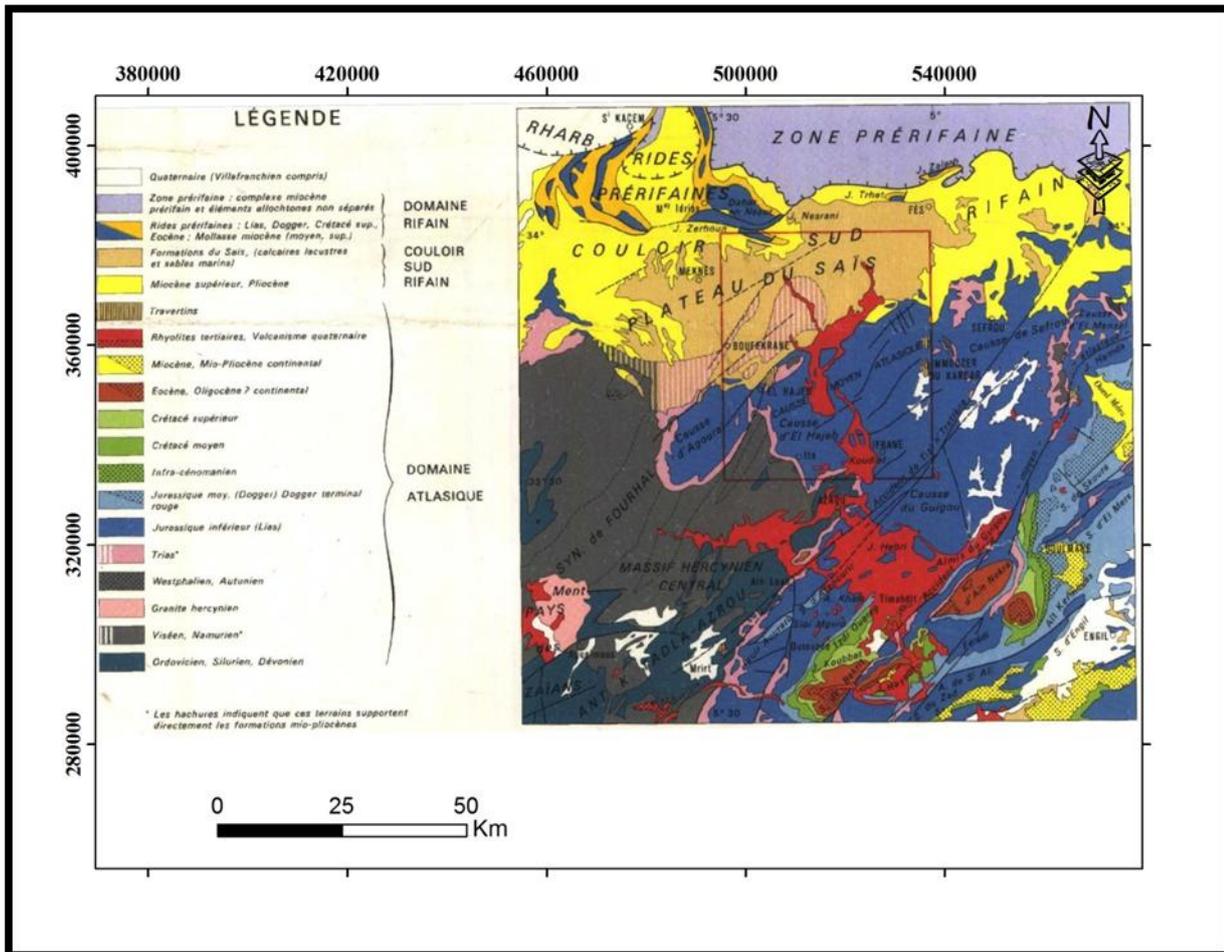


Figure 3 : Carte structurale schématique de la région étudiée, d'après la carte géologique de sefrou Maroc au 1/1000,000

La zone de l'étude se trouve dans le Causse moyen atlasique. Il s'agit des régions tabulaires situées directement au Nord et au Nord-Ouest de l'accident Nord moyen Atlasique qui les sépare du moyen atlas plissé situé à l'Est.

Du point de vue structurale, la ville d'Ifrane appartient au bassin d'El-Hajeb-Ifrane, ce bassin s'inscrit dans la synclinale d'Ifrane dont l'axe est orienté NW – SE. La limite W est la bordure du causse entre El Hajeb et Azrou.

A El Hajeb, une faille d'orientation SW-NE, surélève le substratum imperméable et isole totalement le Causse d'Agourai du bassin d'Ifrane. Un réseau de failles WSW-ENE hache la bordure du causse entre El Hajeb et Bou Rhanale, surélevant le primaire et le permo-Trias



empêchant ainsi tout abouchement entre le causse d'El Hajeb et la plaine de Mèknes-Fès vers le Nord.

Vers l'Est, après Bou Rhaname, la bordure est du bassin d'Ifrane, masquée par les épanchements basaltiques de l'Outgui, s'ennoe sous les sédiments tertiaires du bassin de Meknès-Fès. En cet endroit, la bordure est masquée par la flexure de Bou-Lejrrouf, au pied de laquelle sortent les grosses sources de Ribaa, Bittit, Aguemguam situées approximativement dans l'axe du synclinale d'Ifrane.

La limite Est du bassin d'El Hajeb Ifrane suit une longue faille orientée SSE-NNW qui s'incurve en direction atlasique SW-NE à partir du Jbel Ain Ouslaf. Cette faille suit un axe anticlinal important qui surélève le substratum permo-triasique, constituant ainsi une ligne de séparation des eaux souterraines entre des bassins d'El Hajeb-Ifrane et d'Imouzzet du Kander. Cette faille est jalonnée de nombreux bassins fermés et semi fermés.

La limite sud est constituée par la faille SW-NE qui marque la bordure nord du bassin de Rass El Ma et par le Hors de Michlifène.

4. Population et démographie

La population de la province d'Ifrane est estimée d'après le recensement général de 2004 à 143 380 habitants répartis comme suit :

Population urbaine : 73 782 (51,45%).

Population rurale : 69 598 (48,55%).

Avec une densité moyenne de 40.12 habitants /km²,

Le taux d'accroissement moyen annuel est de l'ordre de 1.2% (1.9% en milieu urbain et 0.4% en milieu rural) contre 2.03% en 1994.

5. Climatologie

La ville d'Ifrane est caractérisée par un climat de type méditerranéen, hiver rigoureux et été frais. La différence d'altitude entraîne des nuances importantes entre la montagne et la plaine avec un étagement bioclimatique humide et semi-aride.

Le caractère méditerranéen du climat induit un taux de variation important. Ainsi, les températures extrêmes annuelles enregistrées durant les 10 dernières années varient entre :

- La température maximale est de : 37 °C



- La température minimale est de : -24°C

La moyenne du nombre de jours des précipitations peut atteindre 100 jours par an. Sur ces 100 jours, il y a 70 à 85 jours de précipitations pluvieuses, la neige tombe pendant 15 à 30 jours et l'enneigement persiste pendant 30 à 50 jours.

Au moment des précipitations, la température de l'air est plus élevée que par beau temps et la neige qui tombe, humide et lourde, ne subsiste pas longtemps sur le sol. Après quelques jours, elle fond sous l'effet des températures maximales de janvier et février qui avoisine 9°C en moyenne.

L'évolution interannuelle des pluies de la ville d'Ifrane montre des années pluvieuses (Atteignant 1868 mm en 1969) et des années sèches où la pluviométrie annuelle ne dépasse pas 278 mm, la pluviométrie moyenne annuelle varie entre 350 mm (au sud –ouest) et 1100 mm (au Nord – Est). Les chutes de neige ont lieu sporadiquement de décembre à avril avec des hauteurs variables allant de 20 à 60 cm.

6. Données générales sur la zone d'étude, Bassin versant d'Oued Tiziguit :

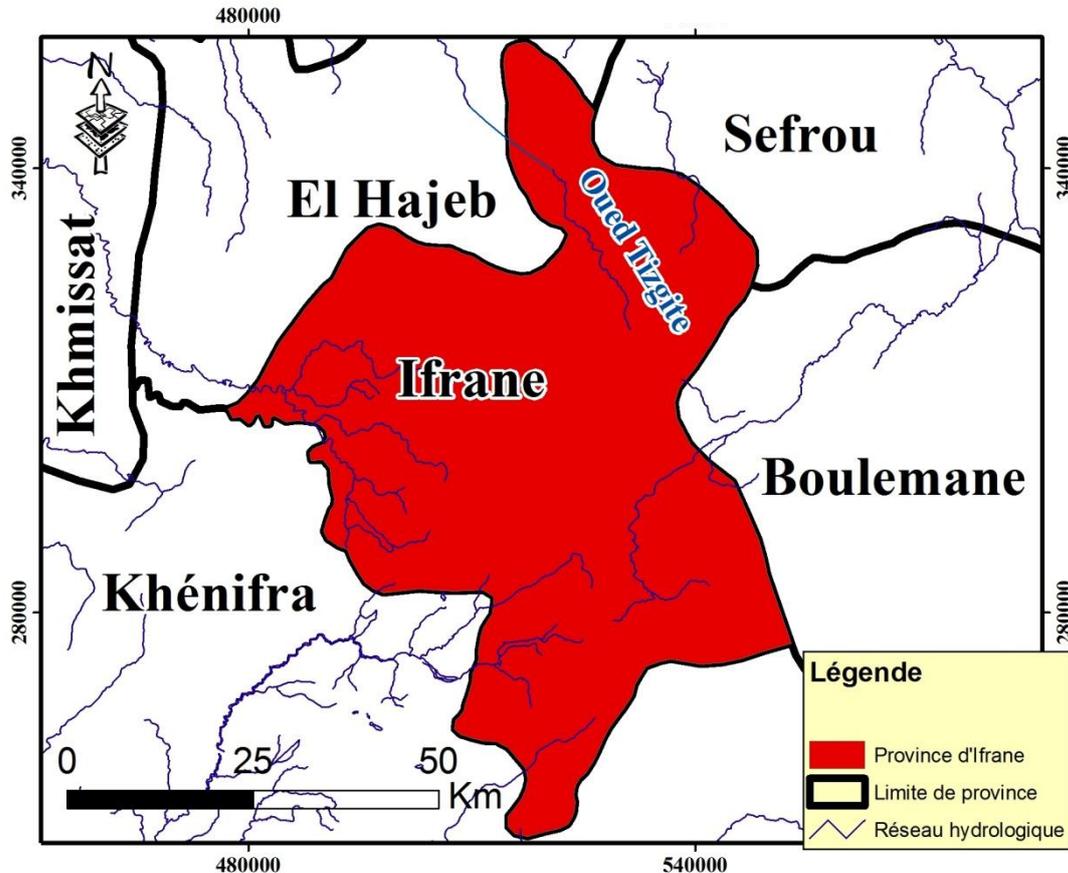
6.1. Situation géographique :

La zone de l'étude est située à l'intérieur du périmètre urbain de la province d'Ifrane, qui s'étend sur une superficie de 3573 km². Elle fait partie de la région Meknès-Tafilalet. Elle est limitée :

- ✓ Au Nord par les Provinces de Sefrou et d'El Hajeb.
- ✓ Au Sud et à l'Ouest par la Province de Khénifra.

✓ A l'Est par la Province de Boulemane.

Figure 4 : Carte de situation géographique de la zone d'étude



L'Oued Tizguit, objet de la présente étude, traverse du Sud vers le Nord, la province d'Ifrane et plus précisément :

- La commune rurale de Ben Smin.
- La commune rurale de Tizguit
- La municipalité **d'Ifrane**.

6.2. Paramètres physiographique du bassin versant d'oued tizguit

6.2.1. Introduction

Les caractéristiques physiographique d'un bassin versant influencent sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le temps de concentration t_c , caractérise en partie la vitesse. L'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des



précipitations, est influencée par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes topographiques de 1/50 000 ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques.

6.2.2. Surface

L'influence de la superficie d'un bassin versant se fait sentir surtout sur la forme d'un Hydrogramme, c'est-à-dire, dans la nature de la relation entre le débit et le temps (Vitesse d'écoulement par unité de temps à l'exutoire). La surface « A » d'un bassin s'exprime généralement en km² :

- Un petit bassin versant réagit très vite à une averse, les eaux se rassemblent rapidement
- Un grand bassin versant réagit très lentement à une averse (effet ressenti très lent à l'exutoire).

La surface du bassin versant d'oued tizguit est :

$$A=1914 \text{ km}^2$$

6.2.3. Périmètre

Le périmètre est la longueur, de la ligne de contour du bassin, généralement exprimée en km; sa mesure est faite à l'aide d'un curvimètre ou mieux automatiquement par le logiciel Arc Map.

$$\text{Périmètre}=301.80 \text{ km}$$

6.2.4. Indice de compacité de Gravelius

Un bassin versant est défini en premier lieu par son contour qui a une certaine forme et renferme une certaine superficie « A ». Il est évident que cette forme va avoir une influence sur l'écoulement global.

Un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassé. Cette forme est déterminée par l'Indice de Compacité dit aussi l'Indice de Gravelius. Ce dernier est obtenu en comparant le périmètre d'un bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface (Roche, 1963):

$$Kc = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad Kc=1.93$$



Avec :

Kc: indice de compacité de Gravelius ;

P : périmètre du bassin versant (Km) ;

A : surface du bassin versant (Km²)

Le bassin est considéré comme bien drainé si son indice de compacité tend vers 1.

6.3. Caractéristiques topographiques du bassin versant d'oued tizguit

6.3.1. L'altitude

Le territoire de la Province d'Ifrane est entièrement situé dans le moyen Atlas central, il se distingue par un relief montagneux, avec un gradient d'altitude allant des basses collines du Nord-Ouest aux hauts sommets du Sud-Est dont le point culminant atteint 2 409 m à Jbel Hyan.

Du point de vue relief, trois grands reliefs géomorphologiques prédominent dans la Province :

- Le plateau central au Nord-Ouest ;
- Le causse moyen Atlasique au centre ;
- Le moyen Atlas au Sud.

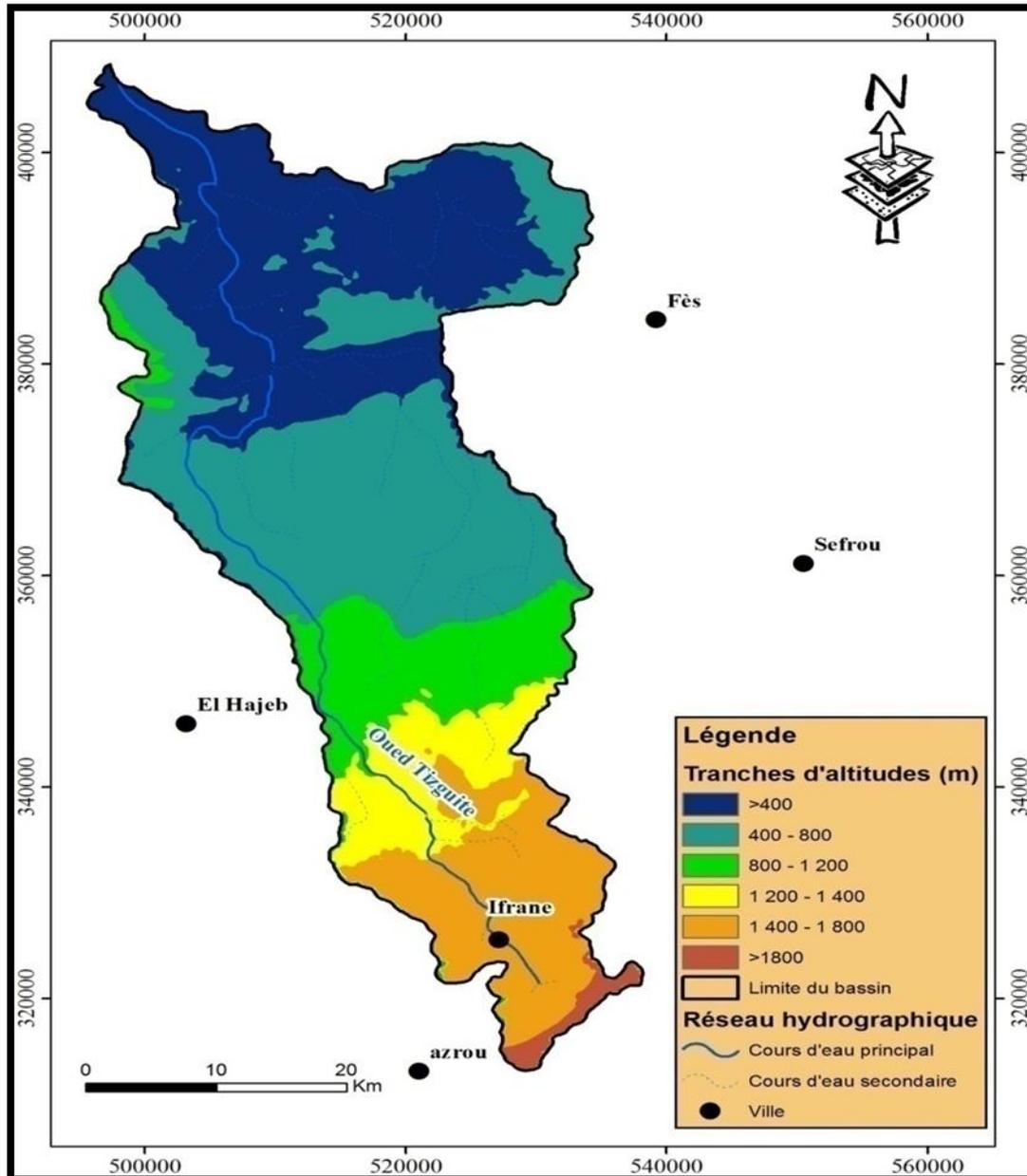


Figure 5 : Carte des altitudes du bassin versant d'oued tizguit

D'après cette carte d'altitude on constate que l'altitude du bassin versant d'oued tizguit est variée entre 400 m et 1800 m

Les altitudes les plus élevées sont situées au sud alors que les altitudes faibles sont au Nord.

6.3.2. La pente

Elle renseigne sur la topographie du bassin, donc elle influence sur l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. En effet, 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 Cadre général du bassin averses.

Les pentes fortes à très fortes peuvent produire des écoulements de nature torrentielle qui sont à l'origine des crues dévastatrices

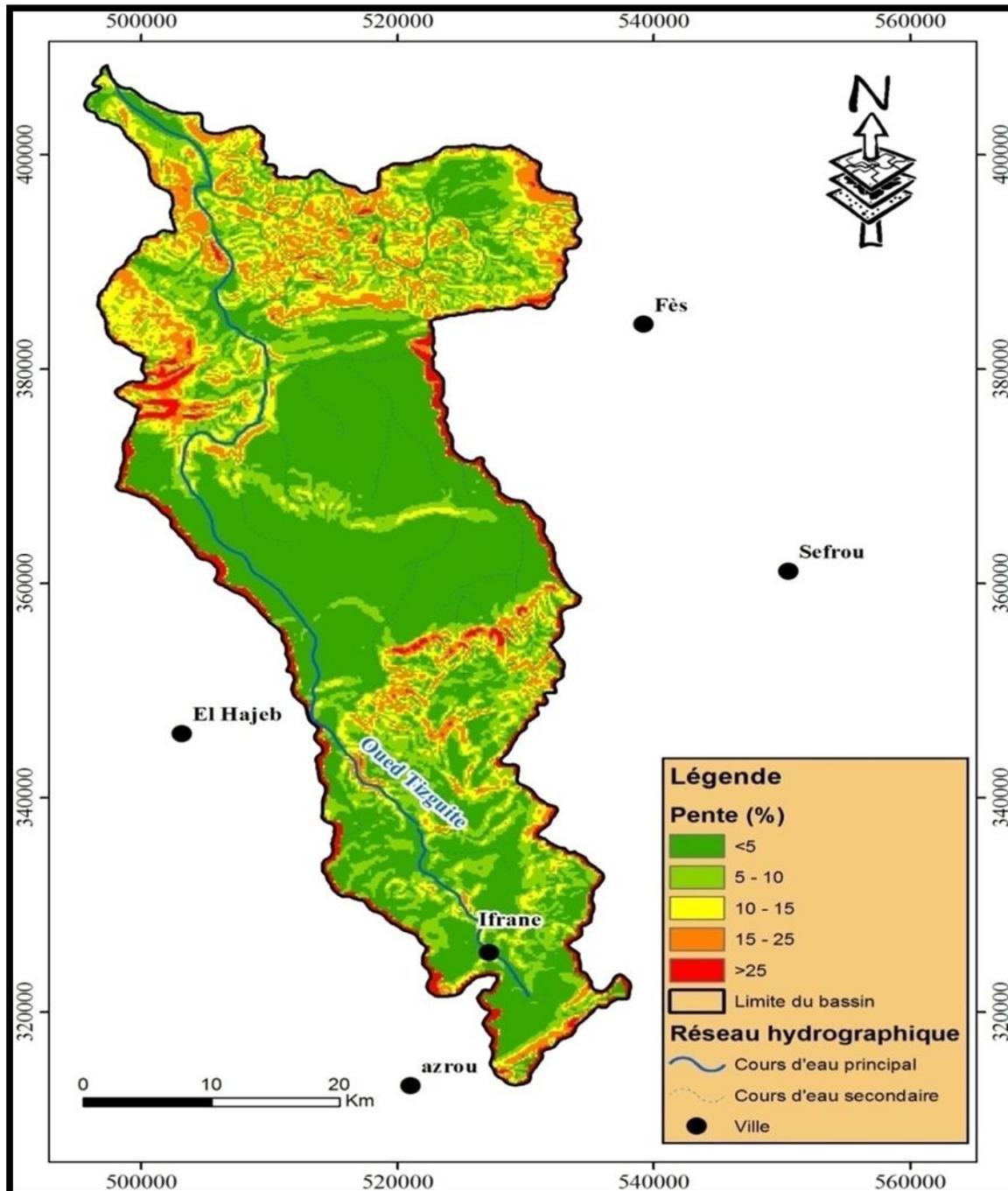
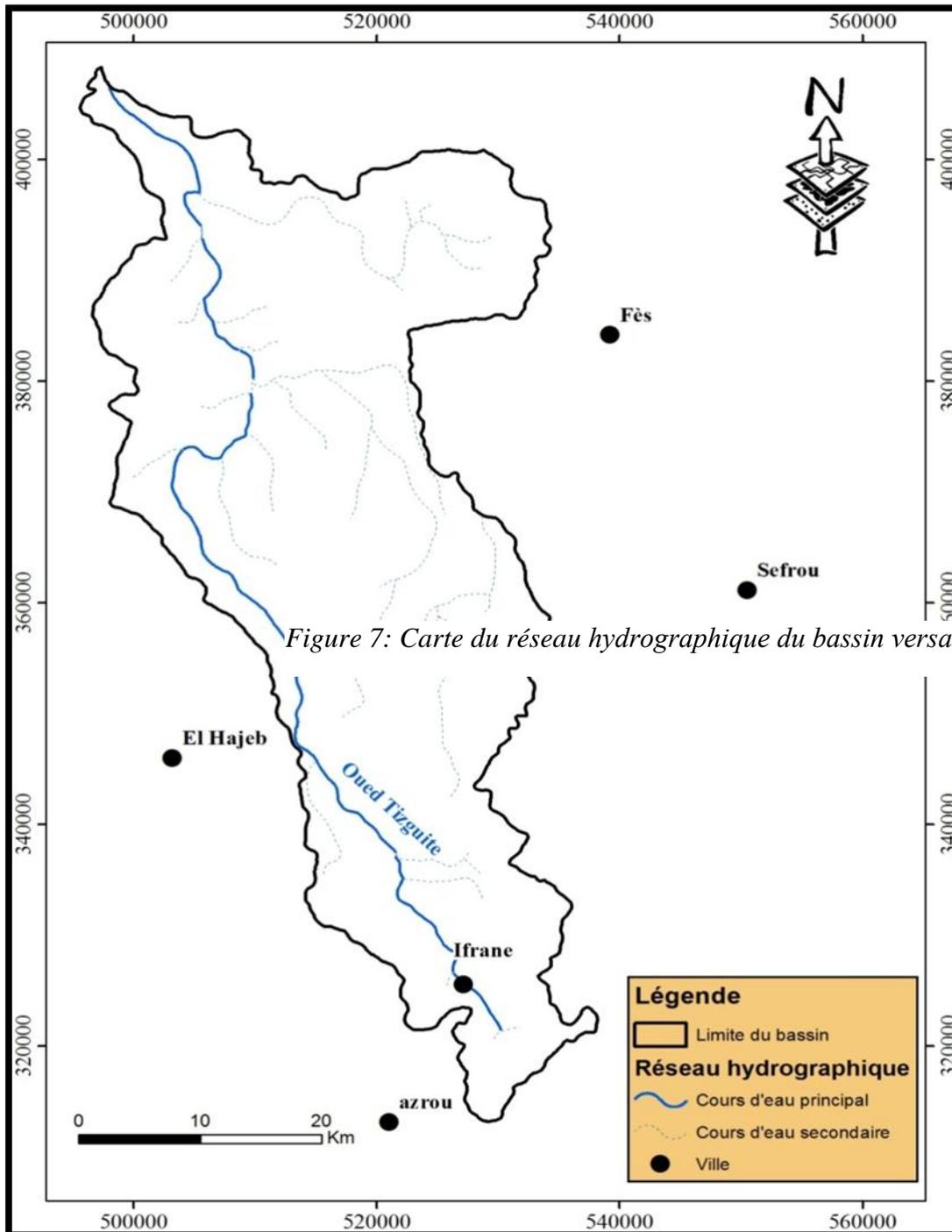


Figure 6 : Carte des pentes du bassin versant d'Oued Tizguite

D'après cette carte on constate que les pentes du bassin versant est généralement inférieur à 5 % et pouvant atteindre 15 à 25% par endroits.

6.3.3. Réseau hydrographique



Le
réseau



hydrographique de la ville d'Ifrane est constitué de oued Tizguit, ce dernier présente une morphologie très originale avec souvent de nombreuses ramifications, des chutes, des sources latérales, des replats où l'écoulement est très lent, Le fond du cours d'eau est constitué de matériaux fins, meubles ou consolidés travertineux, mais des galets subsistent par endroit, La Ripisylve, dense et haute, occupant toute la vallée, assure un ombrage et une certaine fraîcheur aux eaux la végétation aquatique et subaquatique couvre plus de 50% du lit de l'oued. auxquels s'ajoutent actuellement de nombreux plans d'eau à savoir :

- Plan d'eau Zerrouka situé à 1 km d'Ifrane ;
- Plan d'eau d'Ain Mersa situé à 7 km d'Ifrane ;
- Plan d'eau de Sidi Mimoun situé à 22 km d'Ifrane ;
- Plan d'eau d'Amghass situé à 26 km d'Azrou.

Conclusion

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen, hiver rigoureux et été frais. La différence d'altitude entraîne des nuances importantes entre la montagne et la plaine avec un étagement bioclimatique humide et semi-aride.

L'oued Tizguit qui traverse la ville d'Ifrane du sud vers le nord, présente une morphologie avec de nombreuses ramifications, La principale source de l'oued Tizguit a fait l'objet d'un captage pour l'alimentation d'Ifrane en eau, ce qui a fortement réduit son débit superficiel, au point où elle s'est tarit pendant certaines années sèches. leur bassin versant est caractérisé par des pentes généralement inférieur a 5 % avec des altitudes varie entre 400 m et 1800 m.



Chapitre II

Historique des crues

Introduction

Les risques naturels sont définis comme la conséquence sur les biens et les personnes des phénomènes d'origine naturelle. Il s'agit des avalanches, inondations, mouvements de terrain, désordres torrentiels et feux de forêt.

Le principal outil de gestion des risques naturels est la maîtrise de l'urbanisme par le biais de documents cartographiques. De nombreuses cartographies se sont succédées jusqu'au Plan de Prévention des Risques (PPR) aujourd'hui valant document d'urbanisme ou des documents plus simples intégrés au Plan Local d'Urbanisme (PLU). D'un département à l'autre, la méthodologie, la forme et le contenu de ces documents divergent. La multiplicité des interlocuteurs et parfois la

dualité de leurs compétences accentuent l'hétérogénéité de la cartographie et de la prise en compte des risques naturels. Dans cette partie je vais donner un aperçu sur les risques affectant le plus le périmètre urbain de la ville de Taza. Je mettrai l'accent sur le risque d'inondation en déterminant la typologie des inondations au niveau de la ville de Taza et les principaux facteurs causaux et aggravant ces inondations.

I. Définition

1. Définitions du risque



Figure 8 : Définitions du risque

Le phénomène naturel est défini comme la manifestation d'un agent naturel. L'aléa représente l'occurrence potentielle d'un phénomène décrit par sa fréquence et ses caractéristiques physiques.

Les enjeux sont les personnes, biens et activités susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

La vulnérabilité exprime le niveau de conséquences prévisibles, dues à l'aléa, sur les biens, les milieux et les personnes.

Le risque est défini comme le croisement de l'aléa et de la vulnérabilité :

$$\text{Risque} = \text{aléa} * \text{vulnérabilité}$$

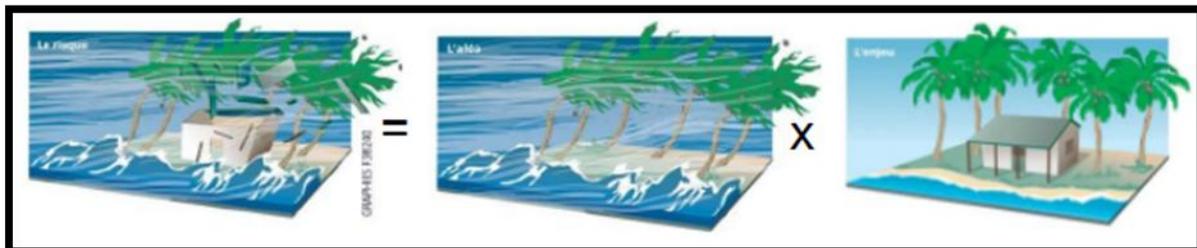


Figure 9 : Risque = aléa * vulnérabilité



2. Le risque d'inondation

Une **inondation** désigne un recouvrement d'eau qui déborde du lit mineur ou qui afflue dans les talwegs ou les dépressions lorsque le débit et le volume d'eau d'une crue sont importants.

3. Les types d'inondation

Il existe trois principaux types d'inondations :

- **Par débordement direct** : Une inondation peut avoir lieu quand une rivière déborde donc le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur alors il envahit des vallées entières.
- **Par accumulation d'eau ruisselée** : Lorsqu'il y a une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau de drainage lors de pluies anormales. Ces inondations peuvent se produire en zone urbanisée, en dehors du lit des cours d'eau. proprement dit, quand font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses, l'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement (orages, en particulier de type cévenol).
- **Par débordement indirecte** : Les eaux remontent dans à travers les nappes alluviales, dans les réseaux d'assainissement dans des points bas localisés... par effet de siphon.

Mais une inondation peut se traduire par d'autres phénomènes plus ou moins courant :

- ✓ lors d'une tempête, d'un cyclone ou d'un raz de marée il y a souvent une submersion des zones littorales ;
- ✓ lors de la destruction d'un ouvrage (barrages) ;
- ✓ lors des crues soudaines

Un cours d'eau présente :

- ❖ le lit mineur où les eaux y sont en permanence ;



Figure 10 : le lit mineur

- ❖ le lit moyen qui est l'espace fluvial, ordinairement occupé par la ripisylve (végétation abondante et variée qui borde les rivières), sur lequel s'écoulent les crues aux périodes de retour de 1 à 10 ans en moyenne. Le lit moyen est donc soumis à un risque fréquent d'inondation. La vitesse de l'eau

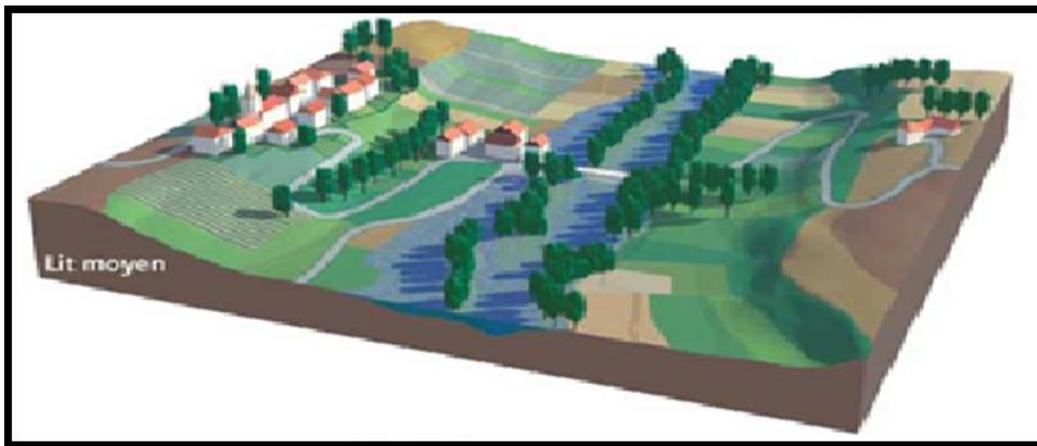


Figure 11 le lit moyen

est forte et cet espace est soumis à de fortes érosions et transports solides lors des crues ;

- ❖ le lit majeur qui est l'espace occupé par un cours d'eau lors d'une inondation. Hors du lit majeur, le risque d'inondation fluviale est nul (ce qui n'exclut pas le risque d'inondation par ruissellement pluvial, en zone urbanisée notamment)





Figure 12 : le lit majeur

4. Les Causes d'inondation

Les causes des inondations sont surtout dues aux précipitations (pluie, neige, grêle). Nous incluons aussi l'influence des changements de température : le dégel provoque une hausse de la quantité d'eau dans les sols et les rivières.

4.1. La pluie et la neige

Une partie de l'eau de pluie ou de la neige est retenue par le sol, absorbée par la végétation ou évaporée; le reste, l'eau de ruissellement, atteint le lit des cours d'eau. Les crues se produisent lorsque le sol et la végétation ne peuvent pas assimiler toute l'eau de ruissellement et provoquent une élévation du lit du cours d'eau. Le plus souvent, celui-ci ne déborde pas, mais l'eau ruisselle parfois dans les quantités qui ne peuvent être transportées dans les lits des rivières, ni retenues dans les bassins naturels et les réservoirs artificiels situés derrière les barrages. Le cours d'eau déborde et il se produit alors une inondation.

Environ 30% des précipitations ruissellent et à cette quantité peuvent encore s'ajouter des masses de neige fondue. Beaucoup de rivières connaissent des crues périodiques au printemps et débordent de leur lit pour atteindre leur plaine d'inondation. Ces plaines d'inondation sont, ou devraient être, exemptes de toute construction. Les inondations subites, qui peuvent survenir en automne dans les régions méditerranéennes, sont généralement dues à des précipitations intenses sur une zone relativement réduite. Les pratiques agricoles intensives diminuent la capacité du terrain à retenir l'eau et augmentent le ruissellement. La maîtrise des inondations passent par le reboisement et par la mise en œuvre de méthodes efficace de traitements des sols, de conservation et de reboisement.

4.2. Les lits de la rivière : Les crues

Un cours d'eau présente trois éléments morphologiques différents, le lit mineur occupé en permanence par les eaux ; le lit majeur saisonnier, inondé à peu près tous les ans, en période de crue ; le lit majeur exceptionnel, où l'écoulement ne s'effectue que lors de grandes crues.

Ces trois zones sont susceptibles d'être modifiées par des changements climatiques ou par des transformations consécutives à l'activité humaine. Ainsi les multiplications de surfaces revêtues (routes et pistes d'aérodrome) diminuent la perméabilité d'ensemble du bassin et rend alors les crues beaucoup plus brutales.

II. L'historique des crues dans la zone d'étude

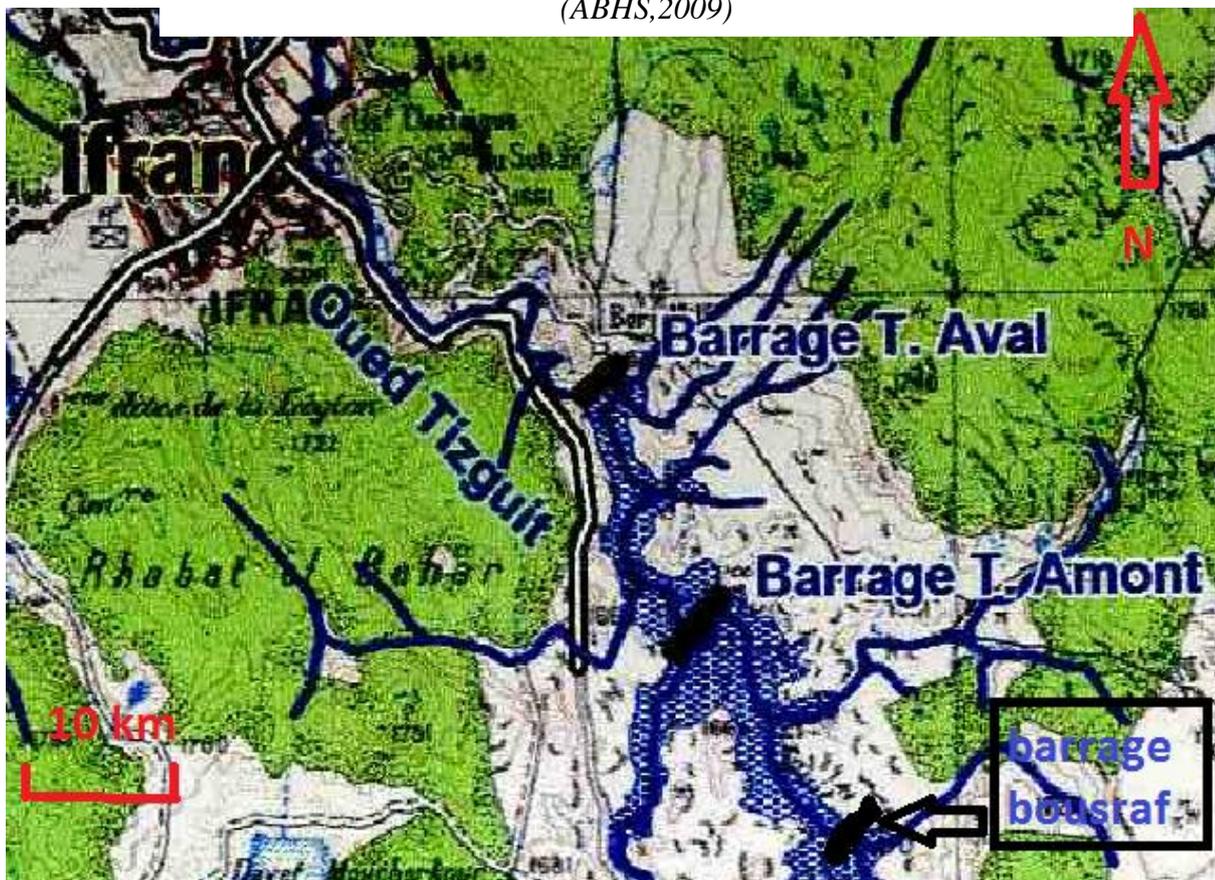
Introduction

Ifrane est développée essentiellement sur la rive gauche de l'oued, exploitant son lit majeur comme principale zone de promenade. A hauteur de la ville d'Ifrane, la rive droite est occupée principalement par le palais royal. L'oued Tizguit s'écoule du Sud vers le nord. Il est longé au sud et en amont de la ville d'Ifrane par la route de Boulemane. A l'aval de la ville, il est longé par la route de la source "Vittel" qui rejoint la route de "Meknes".

A l'amont de la ville d'Ifrane, l'oued est équipé par deux barrages appelés Tizguit Aval et Amont, construits respectivement en 1986 et 1991 dont le but est essentiellement la protection de la ville contre les inondations, l'alimentation de la nappe, l'irrigation et l'abreuvement du cheptel.

Plus en amont de ces deux ouvrages, un troisième barrage dénommé Bousraf. Ce dernier participera également à la protection de la ville contre les inondations de l'oued Tizguit.

Figure 13 : carte des barrages tizguit-amont , aval et bousraf
(ABHS,2009)





Même si ces aménagements ont été réalisés pour la protection de la ville d'Ifrane contre les inondations Lors des averses, l'oued est sorti de son lit mineur et s'est écoulé en nappe sur toute la largeur de son lit majeur.

Au niveau du lac artificiel qui situe Au pied de l'hôtel Michlifen, et au croisement de la route qui mène vers Azrou et celle qui longe l'oued Tizguit, connu des débordements et des dégâts importants touchant les aménagements touristiques associés au lac et les infrastructures urbaines.

II.1. Les dégâts des inondations

Les dégâts sont beaucoup plus importants : l'ouvrage de restitution aval n'a pas permis de transiter toute la crue et le volume du lac n'a pas non plus, suffit à la stocker. Les eaux ont donc débordées au niveau du point bas situé au croisement de la route d'Azrou et de la route qui mène vers la source Vittel engendrant des dégâts considérables sur les infrastructures du lac et la circulation routière interrompue sur plus d'une route coupées devant leurs utilisateurs

Ces dégâts peuvent être récapitulés comme suit

- ❖ Les gardes corps qui ornaient le lac ont cédés (photo A)
- ❖ Les pavées qui constituaient les passages de promenade autour du lac ont été emportés ou affaissés.(photo E)
- ❖ Les murs en maçonnerie qui bordaient, à l'aval du lac, la route et le lit de l'oued ont cédé. photo C)
- ❖ La chaussée et le trottoir de la route au croisement ont été affaissés et/ou emportés (photo D)
- ❖ Les réseaux enterrés ont localement été mis à nus.(photo B)
- ❖ Les bancs ont été soit emportés soit détériorés



Photo 1: illustration des dégâts sur les infrastructures

III. Les résultats de l'étude hydrologique

Le but de l'étude hydrologique est de déterminer les débits des crues pour différentes fréquences, pour le cours d'eau objet de la présente étude. Il s'agit notamment de l'oued Tizguit, identifié et décrit précédemment et que la phase de diagnostic ressort comme principale cours d'eau susceptible de causer des inondations à la zone touristique de la ville d'Ifrane.



3.1. Caractéristiques de la zone d'étude

Au vu des résultats du diagnostic des inondations de l'oued Tizguit, le bassin versant concerné par l'étude sont ce contrôlé par barrage Tizguit aval à l'entrée de la ville

De ce fait, la présente étude concernera le bassin versant suivant :

- Bv : Bassin versant global contrôlé par le barrage Tizguit aval.

L'examen de la topographie du bassin versant à partir des cartes topographiques au 1/50 000, a permis de délimiter les lignes de partage des eaux, identifier les plus longs cours d'eau, les côtes extrêmes ainsi que les autres caractéristiques morphologiques récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : les caractéristiques du bassin versant

BV	Surface [Km ²]	Longueur [Km]	Pente [%]	Dénivelée[m]	Indice de compacité
Bassin versant : Barrage Tizguit Aval	76.60	19.04	2.13	405	1556.82

Afin de déterminer les débits des crues pour le bassin de la zone d'étude, et pour différentes fréquences de retours et en absence de jaugeage de l'oued Tizguit et donc des données sur les débits maximums annuels de l'oued, une approche basée sur les 3 méthodes suivantes a été suivie :

- ✓ Approche par les formules empiriques pour le calcul des crues de fréquences rares et notamment de fréquence de retour 1/10 nécessaires pour la méthode du gradex.
- ✓ Transposition directe des débits de pointe par la méthode de Francou-Rodier à partir des bassins versants similaires et avoisinants des sites des barrages existant ou en projet vers les bassins versants de la zone de l'étude.
- ✓ Utilisation du Gradex des pluies à partir du débit de pointe décennal estimé.

Les caractéristiques du bassin versant, le temps de concentration calculé ainsi que les débits des crues retenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : les caractéristiques du bassin versant

Bassin versant barrage tizguit aval	
Surface (km ²)	76.60
Tc (h)	3.06



Débit (m ³ /s)	T10	66
	T50	93
	T100	106

Chapitre III

Modélisation hydraulique d'oued tizguit

Introduction

L'étude hydraulique consiste à évaluer et intégrer tous les paramètres fondamentaux, tels que la géométrie, le débit, et les conditions aux limites dans le but de réaliser un modèle hydraulique pour calculer la hauteur d'eau, d'une part, et d'autre part pour déterminer les zones de débordement. La séquence d'opérations commence par la construction d'un modèle d'un tronçon d'oued Tizguit . Cette partie sera consacrée à détailler le dispositif informatique utilisé : logiciels, outils, documents numériques... ainsi qu'à décrire la méthodologie de travail suivie.



Etudes hydrauliques

I.1. Considérations générales

Le comportement hydraulique du cours d'eau traversant La ville d'Ifrane au passage des crues de différentes périodes de retour est déterminé par les principaux facteurs suivants :

- Les débits des crues ;
- La morphologie du lit de l'Oued dans la zone du projet.

Sur la base de ces paramètres, des simulations hydrauliques sont effectuées et permettent de définir les zones inondées au passage des différentes crues.

I.2. Modélisation

Pour un événement hydrologique donné, le modèle numérique calcule en chaque point de calcul préalablement défini, le niveau, le débit et la vitesse de l'écoulement.

Comme dans toute démarche de calcul numérique, il y a trois phases qu'il a fallu respecter :

- Construction du modèle ;
- Ajustement des paramètres variables afin de faire correspondre au mieux les résultats du calcul avec les observations du terrain.

I.3. Outils de modélisation

Pour les besoins des simulations hydrauliques de cette étude, on utilisera un modèle mathématique nommé "HEC-RAS 4" version Novembre 2006 (Hydrologic Engineering Center, River Analysis System) élaboré par le centre d'Ingénierie hydraulique des corps des ingénieurs de l'armée Américaine, pour la modélisation d'un réseau fluvial. HEC-RAS est un logiciel d'analyses hydrauliques désigné à modéliser les écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels avec la prise en compte des ouvrages de franchissement.

Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime transitoire et d'effectuer les calculs de lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles le long du cours d'eau.

La modélisation des oueds et chaâbas se base sur les profils en travers, tient compte de tous les ouvrages de franchissement existant, et permet de définir différents coefficients de rugosité pour chaque section.

Chaque ouvrage de franchissement est matérialisé par un profil à l'amont et un autre à l'aval, intégrant les dimensions des ouvertures ainsi que leurs différentes cotes.

Une simulation avec le logiciel se déroule de la manière suivante.



1.3.1. Données d'entrée :

- La topographie des profils en travers du cours d'eau ;
- Les distances entre les profils ;
- Le coefficient de Manning par zone homogène ;
- Une description hydraulique des ouvrages (Ponts, dalots, etc.) ;
- Les conditions limites (amont et aval) ;
- Les hydrogrammes de calcul.

1.3.2. Les résultats des calculs :

- Les niveaux d'eau et d'énergie dans chaque profil en travers ;
- Les vitesses d'écoulement dans chaque section ;
- Le profil en long dans le temps des lignes d'eau ;

1.4. Principes du calcul hydraulique par Hec-Ras

C'est un système de modélisation mathématique hydraulique unidimensionnel ayant quatre fonctions principales :

- La modélisation de l'écoulement en régime permanent,
- La modélisation de l'écoulement en régime transitoire,
- Le calcul du transport solide,
- L'analyse des processus de pollution et de la qualité de l'eau.

Pour le moment, en ce qui concerne notre étude, nous avons nous limiter à s'intéresser des deux premières fonctionnalités.

1.4.1. Modélisation en régime permanent

Cette option permet de calculer le profil de la surface de l'eau en régime permanent que ce soit en écoulement torrentiel, fluvial ou mixte. Ce calcul est basé sur la solution de l'équation de conservation de l'énergie.

La variation de la surface de l'eau entre deux sections transversales (entre deux points 1 et 2 du chenal), est donnée par l'équation suivante :

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_c$$

Où Z_1 et Z_2 sont la cote du chenal

Y_1 et Y_2 : profondeur de l'eau

a_1 et a_2 : coefficient de pondération de vitesse

V_1 et V_2 : vitesses

H_c : Pertes de charges

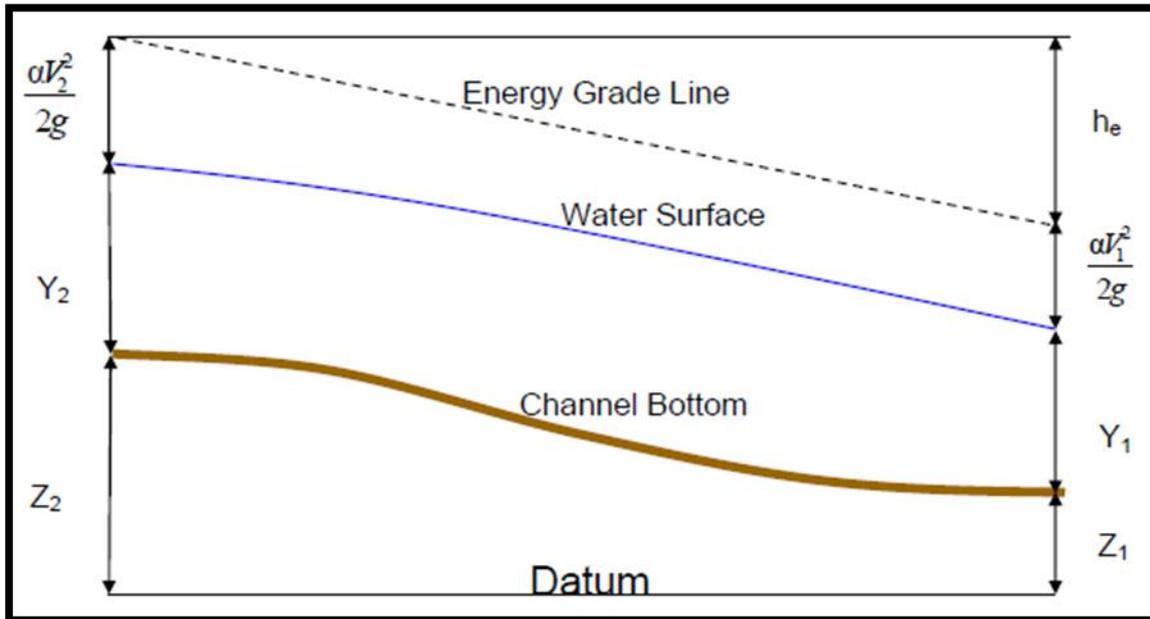


Figure 14 : Représentation des termes de l'équation de l'énergie (E.Tate 1999)

1.4.2. Modélisation en régime transitoire
➤ **Ouvrages de franchissement**

Les ouvrages de franchissement sont les principaux points singuliers à considérer dans les calculs et les simulations hydrauliques.

Chaque ouvrage hydraulique a été encadré par deux profils amont et aval de manière à modéliser au mieux le comportement de la ligne d'eau à sa proximité.

Toutes les composantes de ces ouvrages de franchissement ont été introduites au modèle à savoir les tabliers, les piles, les culées et également les digues de raccordement dont les côtes supérieures ont été également levées sur le terrain.

1.5. Conditions aux limites

Les modèles sont encadrés par deux conditions aux limites amont et aval. Leur condition limite consiste à introduire une pente de l'oued qui conditionne la nature de l'écoulement : fluviale ou torrentielle.

1.6. Coefficients de rugosité

Un des paramètres à définir représente la rugosité du lit. Ce coefficient n , appelé coefficient de Manning, contribue à avoir une modélisation la plus proche de la réalité en prenant en compte la vitesse d'écoulement de l'eau sur le fond de la rivière et sur les berges. Il faut signaler en outre, que Hec-Ras permet à l'aide d'une fonctionnalité très avancée, de prendre en considération l'atténuation

de la rugosité à mesure que la profondeur de l'eau augmente, ce qui rend le modèle encore plus réaliste.

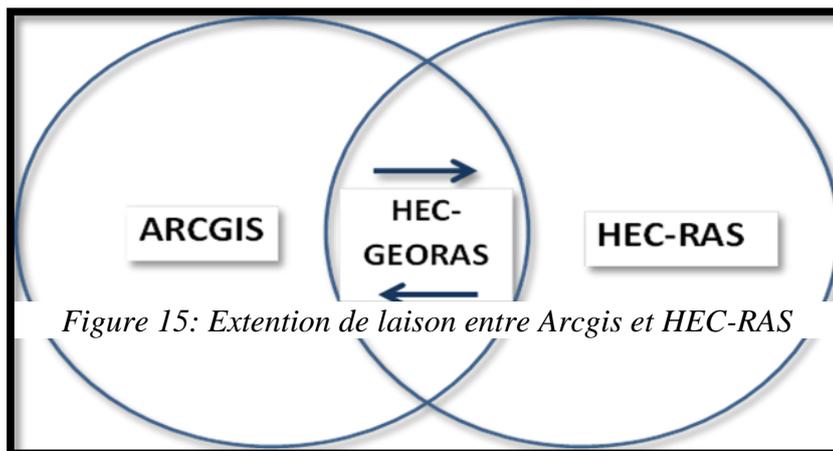
Les valeurs des coefficients de rugosité ont été déterminées sur la base des observations de terrain, en se reportant aux tableaux de références données dans la littérature, et également en se basant sur l'expérience de l'Ingénieur Conseil dans ce domaine et sur sa bonne connaissance des conditions géologiques et géotechniques pour avoir réalisé plusieurs études de modélisations de cours d'eau.

Etapes de la Modélisation hydraulique et présentation des résultats

1. Dispositif et outils informatiques utilisés

La construction du modèle hydraulique a suivi naturellement les règles, les normes et les principes du fonctionnement du RAS (River Analysis System).

L'outil HEC-GeoRas joue le rôle de pont entre Arcgis et HEC-Ras, permettant ainsi d'exporter et d'importer les données géométriques.



HEC-GeoRAS est un ensemble de procédures, d'outils et d'utilitaires pour le traitement des données géo-spatiales dans ArcGIS en utilisant une interface utilisateur graphique. Il permet d'une part, la préparation des données géométriques à exporter vers HEC-RAS, et la récupération des résultats de simulation effectuée par HEC-RAS. L'élaboration du fichier de la géométrie à exporter, est basée sur un modèle numérique de terrain qui doit être de préférence sous forme de TIN.

Les données résultantes de la simulation par HEC-RAS, peuvent être exploitées par HEC-GeoRAS sous ArcGIS pour analyser et cartographier les zones inondables, en plus d'autres possibilités.

Pour assurer toutes ces fonctionnalités, la barre de HEC-GEORAS est dotée de deux menus déroulants essentiels, le premier s'appelle RAS Geometry : il permet de faire toutes les opérations nécessaires à l'établissement du fichier de la géométrie (preprocessing) ; le deuxième s'appelle RAS Mapping : chargée d'effectuer les opérations en relation avec l'exploitation des résultats de la simulation par HEC-RAS

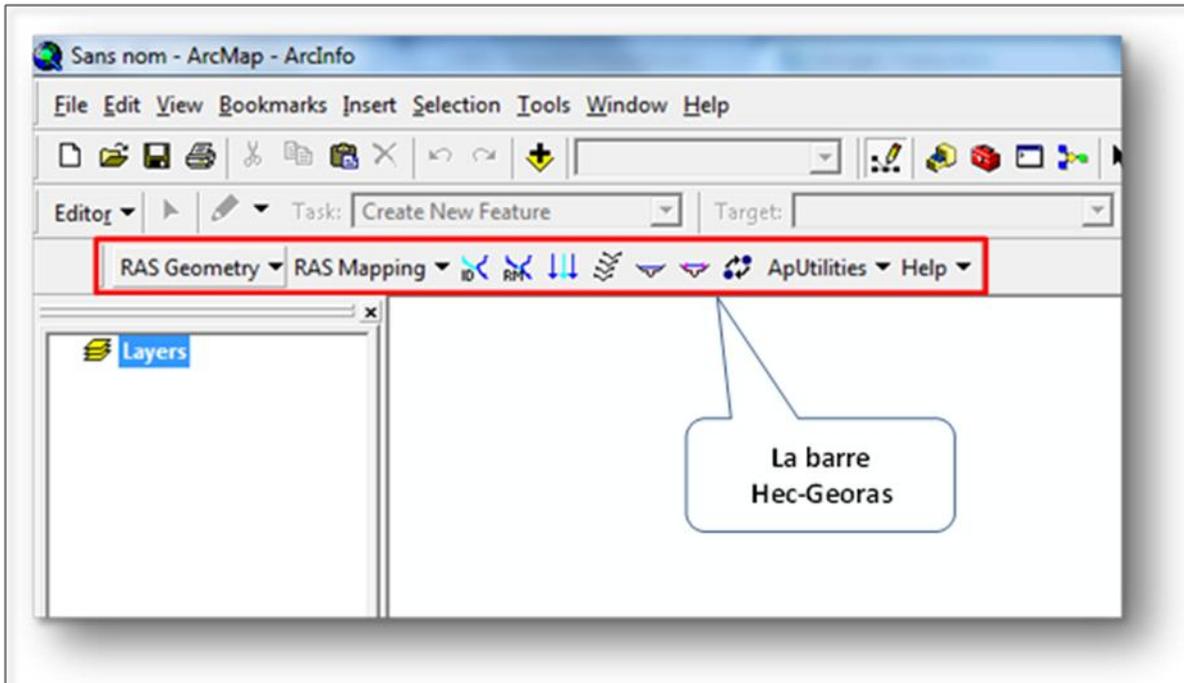


Figure 16 : L'extension Hec-GeoRas sur l'interface ArcMap

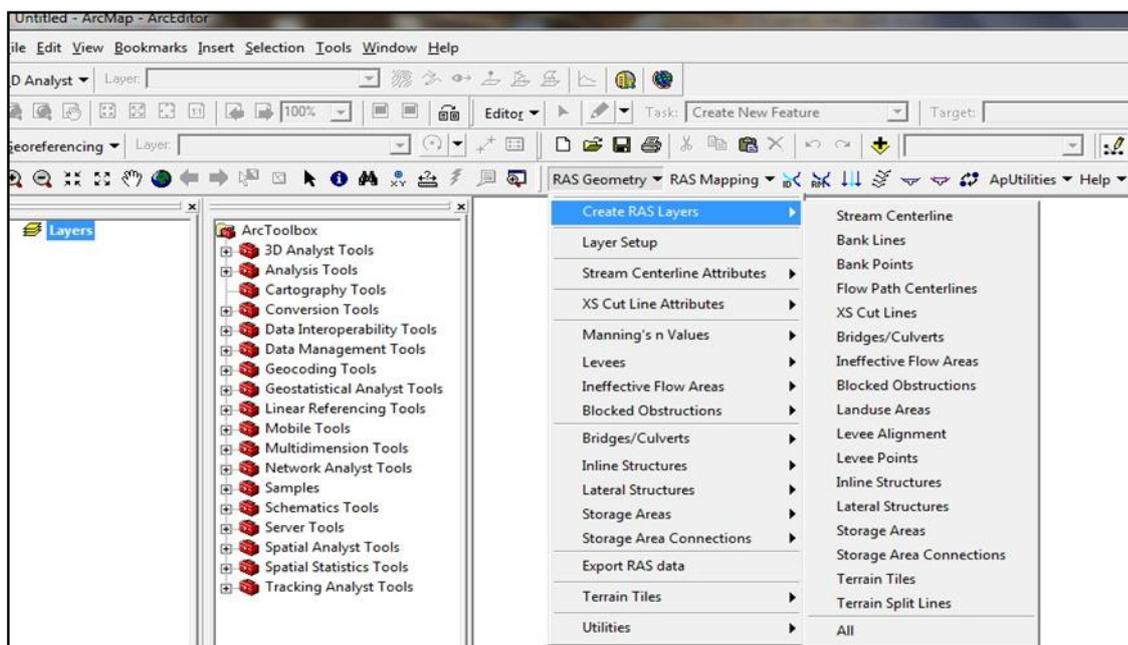


Figure 17 : Figure illustrant la barre Hec_Georas dans l'ArcGis

*Stream Centerline (le réseau hydrographique) : utiliser pour déterminer la situation de cours d'eaux analysé à partir de MNT.

*Bank lines (les lignes berges) : utiliser pour identifier les berges de rivière analysée.

low Path Centerline (les lignes d'écoulement) : ils enveloppent le chenal d'écoulement et lignes de berges par la détermination de centre, la droite et la gauche de réseau hydraulique.

*Cross section Cut Line (les lignes de profil en travers) : sert à identifier le profil le long de réseau, ils doivent être localisé perpendiculaire au réseau et de la gauche vert la droit, c'est l'entité la plus importante à la quelle il faut accorder le maximum d'attention car à partir de ce profil on peut déterminer :

- L'altitude de la surface d'écoulement ;
- La variation de sa pente ;
- La topographie de la plaine d'inondation.

2. Etape de la modélisation

Dans un premier temps, il faut élaborer le fichier de la géométrie au niveau d'ArcMap à l'aide de l'extension Hec-GeoRas, ensuite l'exporter vers Hec-Ras et le compléter, puis élaborer le fichier d'écoulement tout en introduisant les conditions initiales des conditions limites, sans oublier enfin de lancer des tests afin de pouvoir corriger les dysfonctionnements et ajuster le modèle.

- Nous commençons par importer la topographie, prises de la restitution Autocad, dans l'Arcgis pour créer un MNT, comme illustré dans les captures d'écran suivantes :

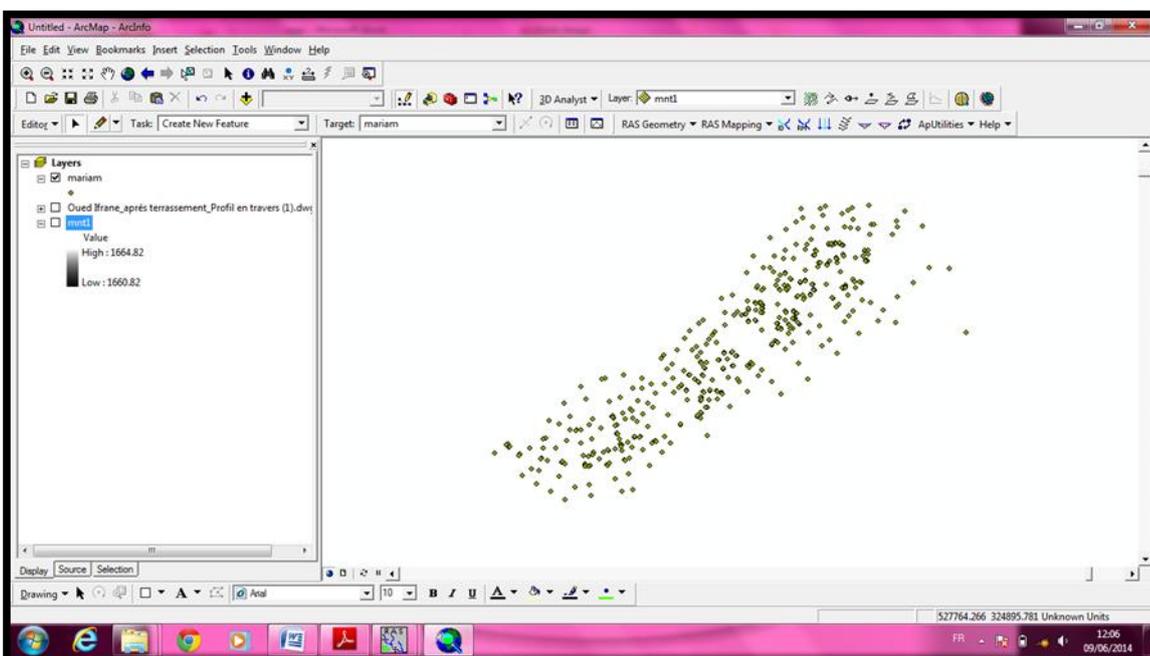


Figure 18 : La topographie importer dans Arcgis

A partir de ces élévations on peut construire un modèle numérique de notre zone d'étude et nous avons procédé à le convertir en TIN (Triangulated Irregular Network) ou réseau de triangles irréguliers. Il s'agit d'un format développé par ESRI beaucoup plus adaptée à la modélisation hydraulique par Hec-Ras.

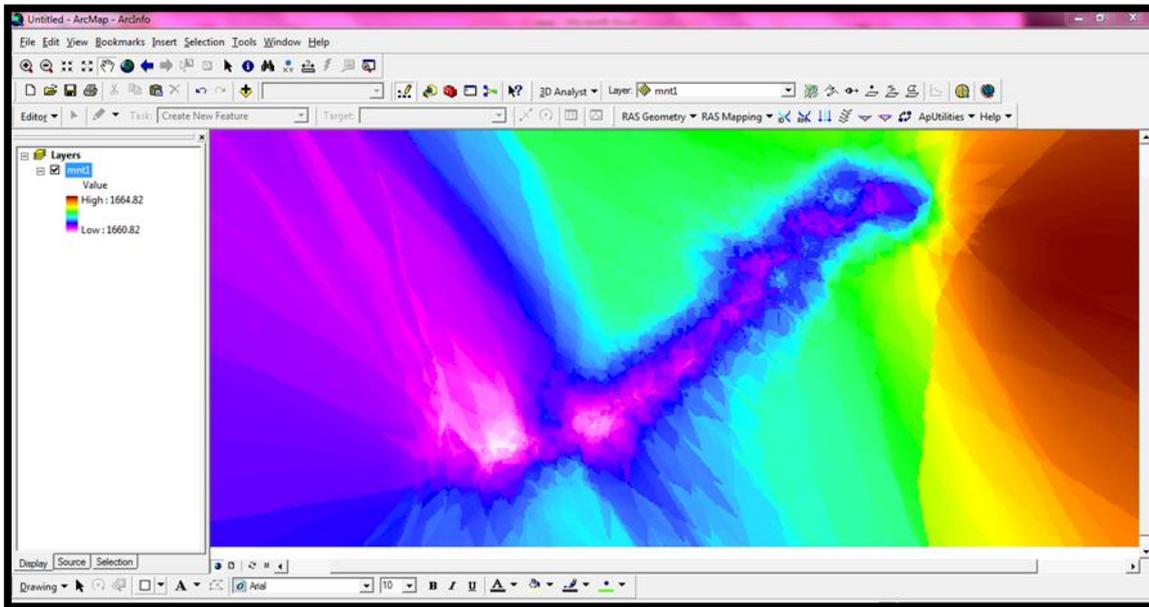


Figure 19: MNT de la zone d'étude sur Arcgis

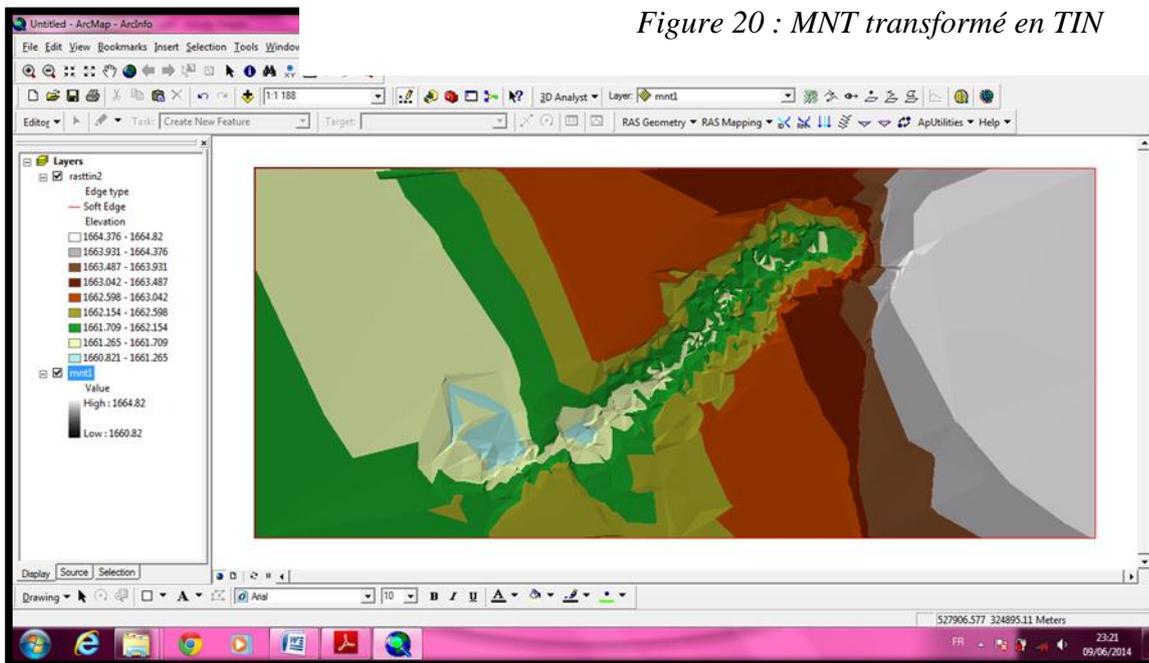


Figure 20 : MNT transformé en TIN

Via HEC-GeoRas nous créerons les différentes couches (Layers) nécessaires à la modélisation que nous peuplerons par la suite.

- Création des couches ‘river’, ‘banks’ et ‘Flowpaths’ tout en les peuplant :

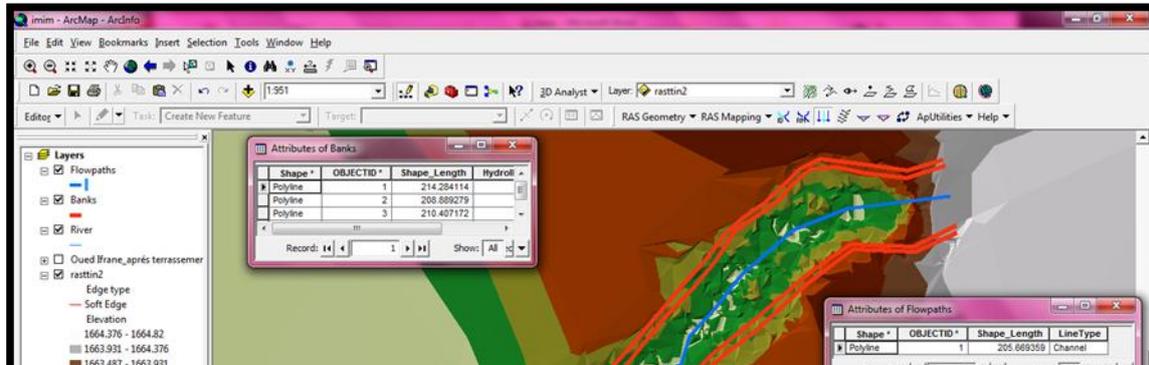


Figure 21 : Les 3 couches River, Banks et Flowpaths avec leurs attributs

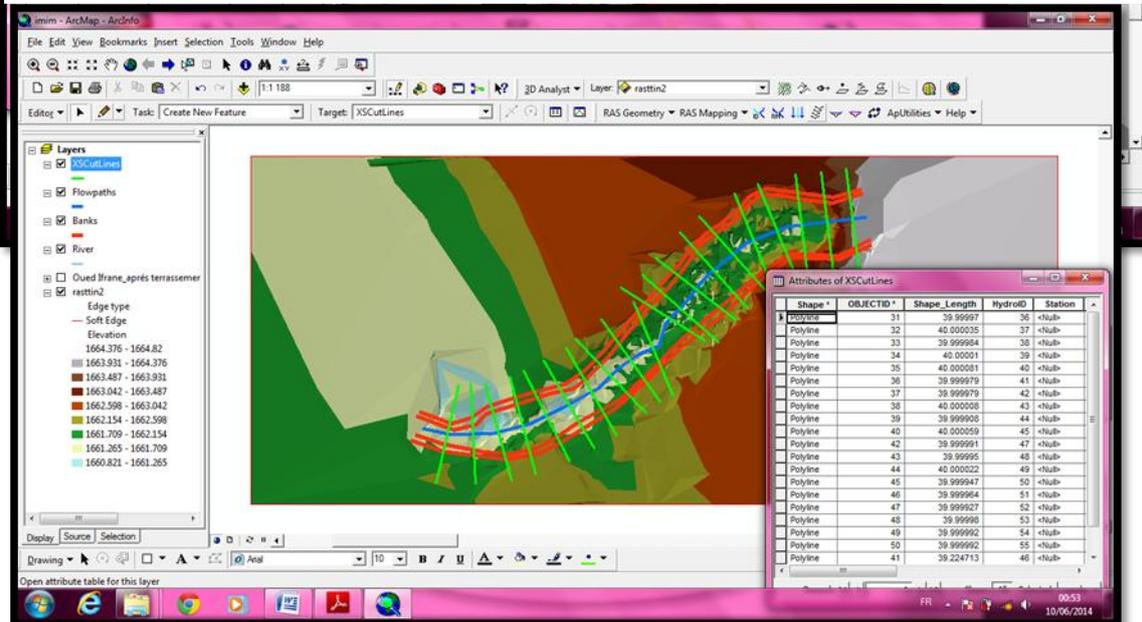


Figure 22 : Les différents profils en travers et leurs attributs

Mises en place des différents profils en travers nécessaires au calcul effectué par HEC-Ras comme expliqué précédemment :

3. Résultats

Une fois les couches peuplées, on exporte les données via HEC-GeoRas vers HEC-Ras. Les données géométriques apparaissent comme suit

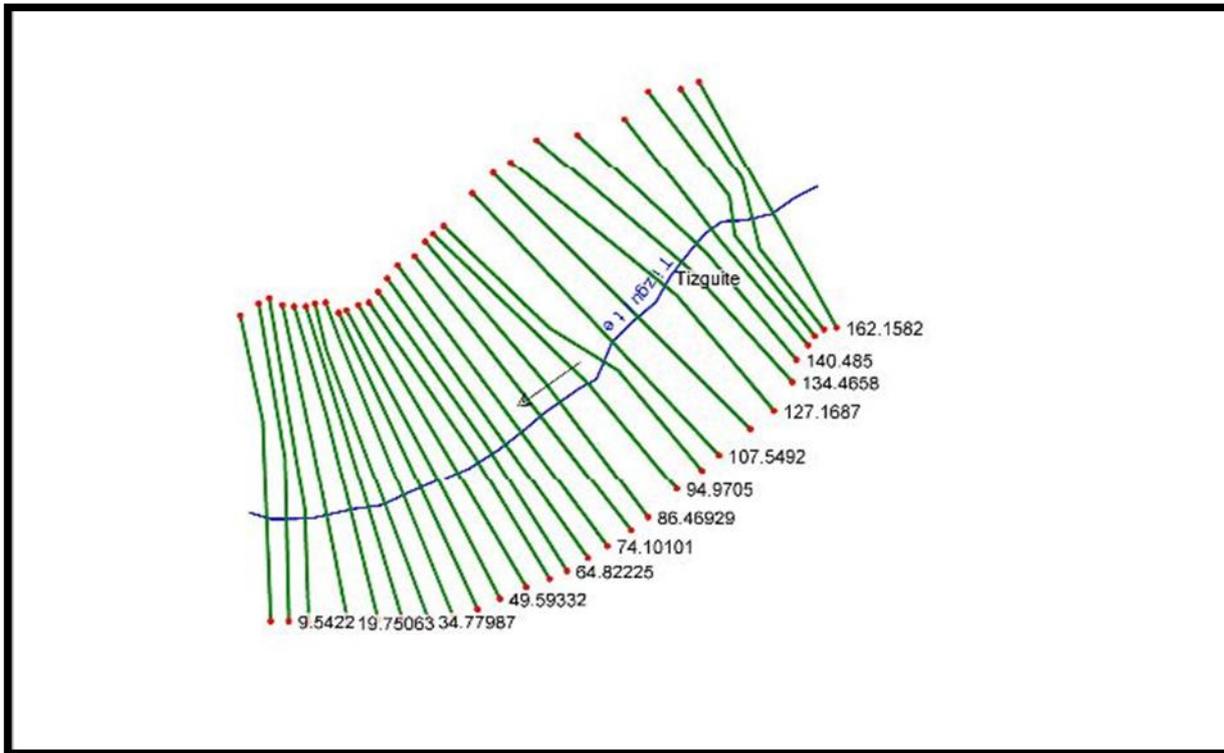


Figure 23 : Tronçon simulé représenté par des profils en travers (lignes en vert) et des points berges (points en rouge)

La partie de la rivière qui sera étudiée est représentée d'un trait bleu fin sur cette figure ainsi que les points berges sont représentés en points rouges et les profils en travers en ligne vert.

Une fois les données géométriques enregistrées, on introduit les données liées au débit et les conditions aux limites (conditions primordiales pour le calcul)

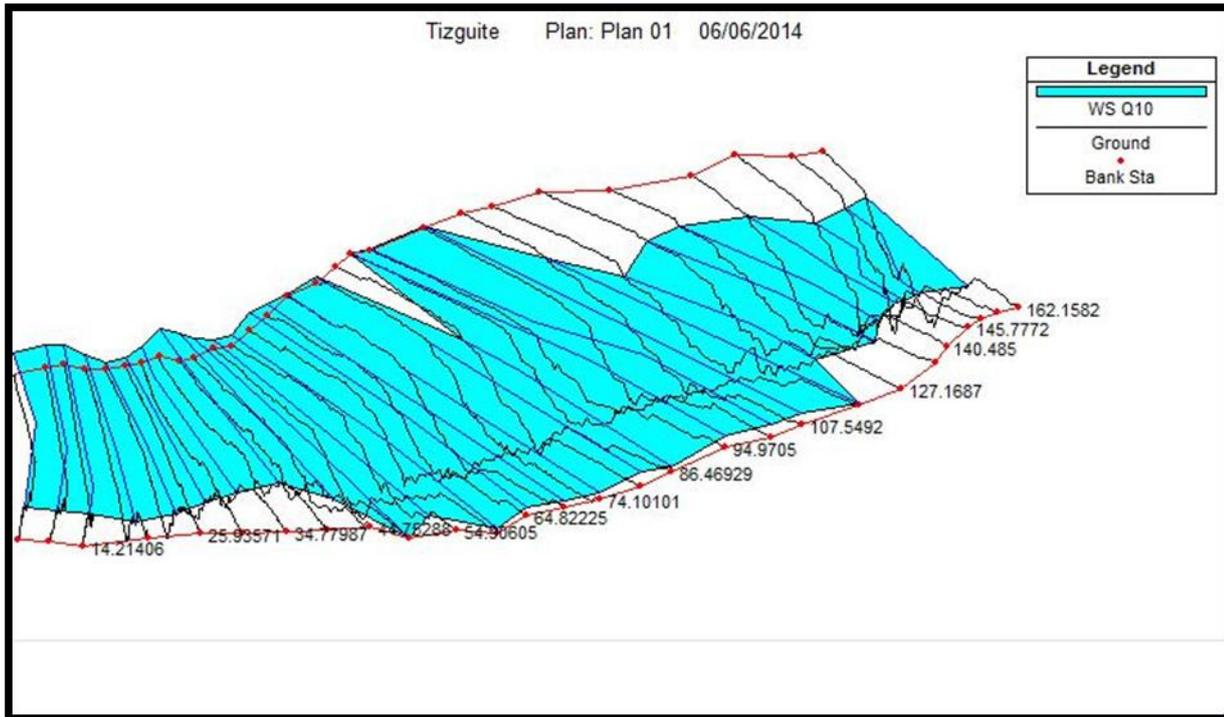
Après vérification de tous les paramètres de rentrées, on lance les calculs.

HEC-RAS nous propose différentes manières de visualiser nos résultats (lignes d'eau, lignes d'énergies)

3.1. Visualisation en trois Dimension du tronçon modélisé

HEC-RAS fournit une vue en trois dimensions qui facilite le suivi du comportement des eaux de crue des périodes de retour, utilisant les profil en travers, ainsi que les côtes d'eau calculées.

Figure 24 : visualisation du tronçon en 3D(Q10)



Cette figure montre que dans la partie amont il n'y a pas un débordement de la crue décennale mais dans l'aval on constate un débordement et surtout dans la partie gauche, la concentration des eaux s'est effectuée au centre de la vallée. Donc le risque d'inondation de la crue décennale est faible.

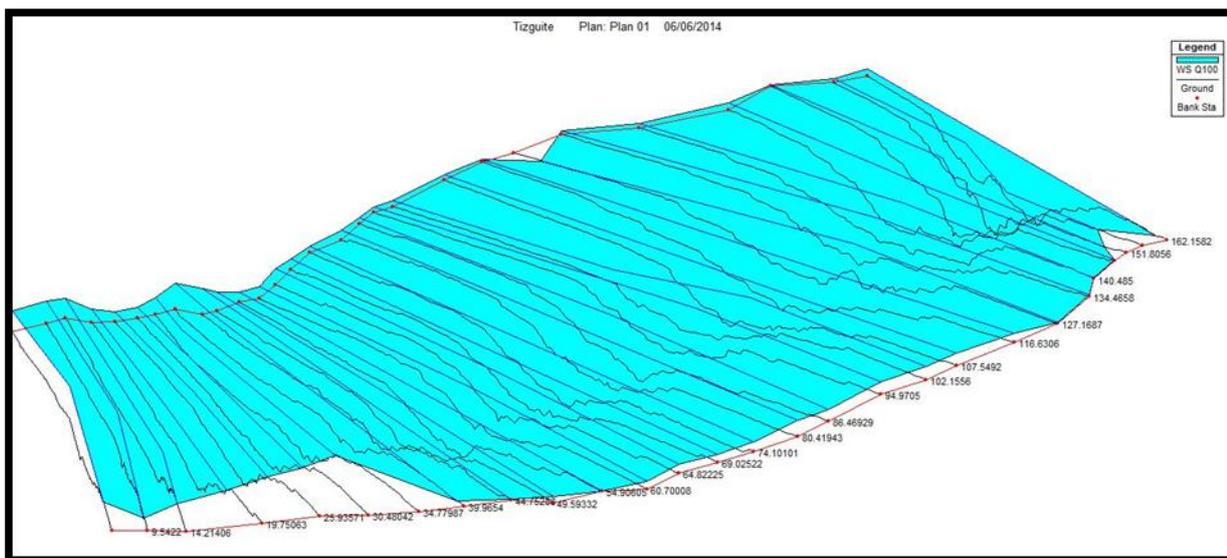


Figure 25 : Vue du tronçon en 3D (Q100)

Cette figure montre des débordements de la crue centennale a peut près sur tout le tronçon étudié.

3.2. 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 m³/s

Le graphique ce dessous représente la courbe de tarage décrivant la relation expérimentale entre les hauteurs d'eau et les débits correspondants d'un cours d'eau. La courbe reliant les points expérimentaux apparaît généralement linéaire pour les hauteurs fortes et moyennes ; en absence d'équation mathématique la représentant fidèlement, la relation est utilisée sous sa forme graphique.

Les causes d'instabilité de la relation hauteur-débit sont multiples : évolution du fond meuble, développement de la végétation aquatique, couche de glace en amont ou en aval de la section de mesure, accumulation de débris...c'est pourquoi on préfère souvent une section de contrôle artificiel (seuil en béton) à une section naturelle pour établir cette relation.

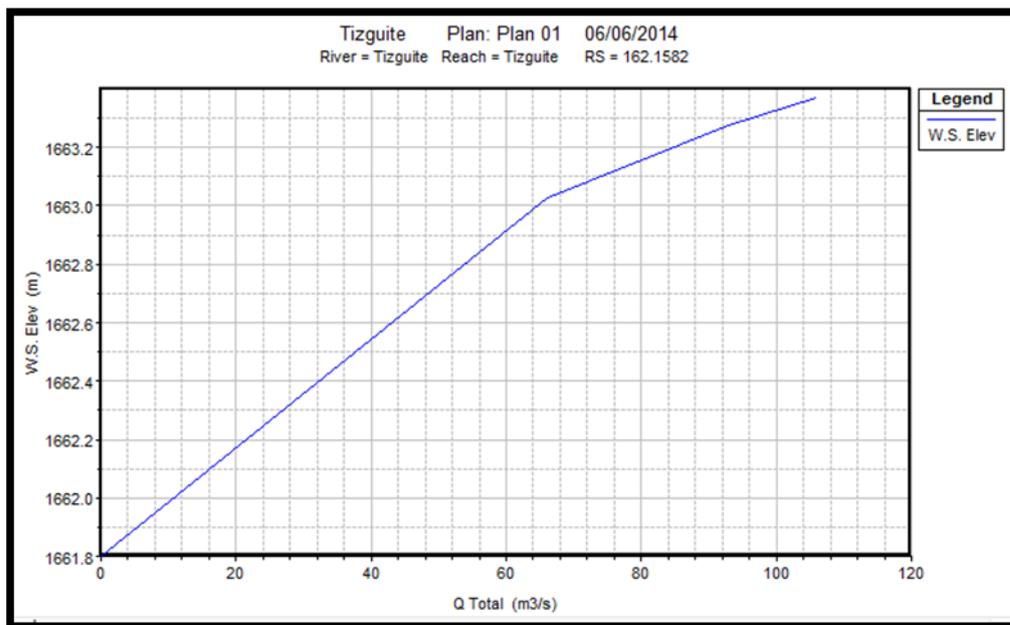


Figure 26 : Courbes de tarage obtenu à partir de HEC-RAS

3.3. Variation de la vitesse du cours d'eau

L'analyse de la variation longitudinale de la puissance du cours d'eau montre des pics d'augmentation de cette dernière à des endroits différents du cours d'eau. Cette variation est liée à la morphologie du lit fluvial qui varie le long du cours d'eau. Les zones où la puissance augmente

atteint (3.65 m/s pour Q100 et 3.25 m/s pour Q10) correspondent soit à la rive concave des méandres ou à des parties où la vallée se rétrécit, ou bien à des endroits où la pente du cours d'eau devient plus raide, ou lorsque le débit d'écoulement augmente.

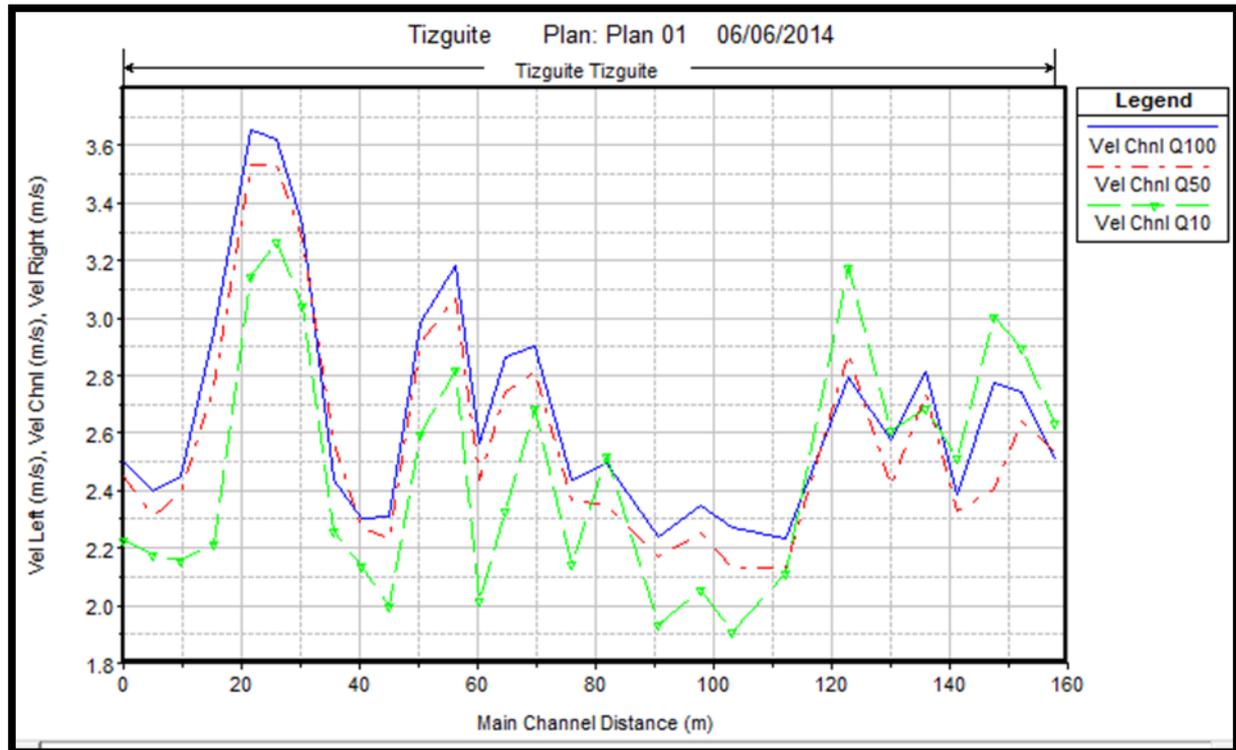


Figure 27 : Variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance

3.4. Les profils en long

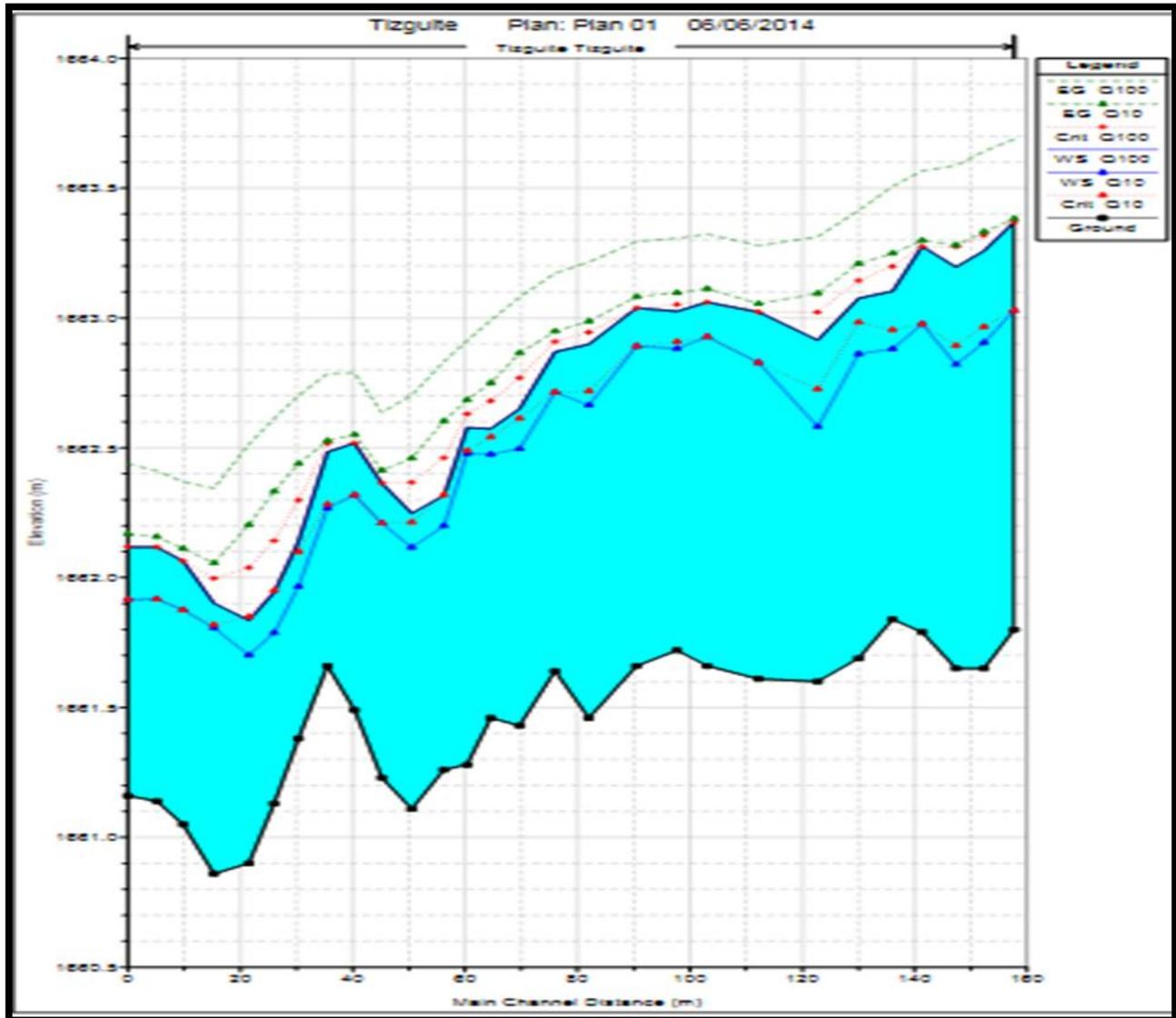


Figure 28 : Profil en long de la ligne d'eau pour (Q10-Q100)

Afin de faciliter la comparaison, nous avons décidé de représenter les profils des deux débits sur un même graphique.

L'analyse de ce graphique permet de décrire la variation de la hauteur du plan d'eau tout au long du cours d'eau pour chaque débit.

3.5. Les profils en travers

Cette option d'affichage des résultats par profil transversal, permet d'acquérir le maximum de détail à chaque point choisi du tracé du cours d'eau.

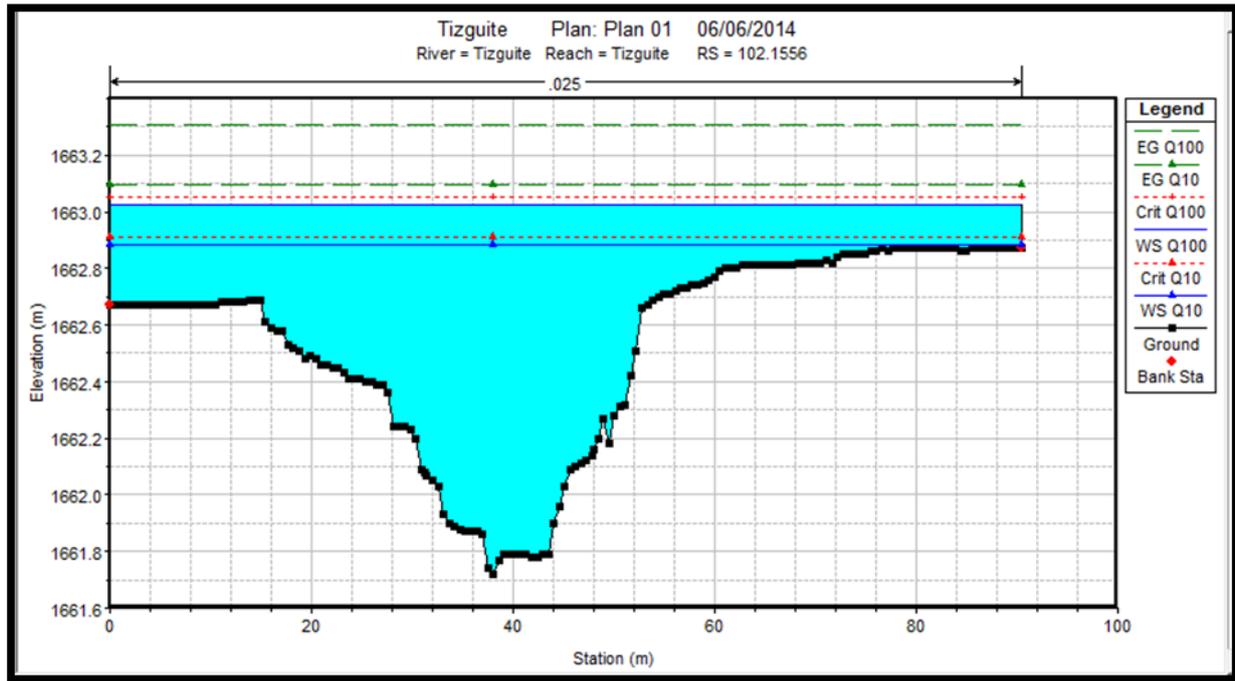


Figure 29 : profil en travers du tronçon modélisé

3.6. Tableau récapitulatif

Le logiciel permet aussi de créer des tableaux récapitulatifs de l'ensemble des paramètres hydrauliques pour chaque station (profil en travers), ou pour l'ensemble des stations à la fois

Tableau 3 : Principaux paramètres hydrauliques pour un ensemble de station

Profile Output Table - Standard Table 1													
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Tizguite Reach: Tizguite Profile: Q10													
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /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 (m ²)	Top Width (m)	Froude #	Chl
Tizguite	162.1582	Q10	66.00	1661.80	1663.03	1663.03	1663.38	0.007473	2.64	25.05	37.36	1.03	
Tizguite	156.7862	Q10	66.00	1661.65	1662.91	1662.97	1663.33	0.009148	2.89	22.82	34.36	1.13	
Tizguite	151.8056	Q10	66.00	1661.65	1662.82	1662.89	1663.28	0.010003	3.00	21.96	33.50	1.18	
Tizguite	145.7772	Q10	66.00	1661.79	1662.98	1662.98	1663.30	0.006865	2.51	26.27	39.57	0.98	
Tizguite	140.485	Q10	66.00	1661.84	1662.88	1662.95	1663.25	0.010736	2.69	24.56	46.89	1.19	
Tizguite	134.4658	Q10	66.00	1661.69	1662.86	1662.98	1663.21	0.011165	2.61	25.27	51.84	1.19	
Tizguite	127.1687	Q10	66.00	1661.60	1662.58	1662.73	1663.10	0.016455	3.17	20.80	42.50	1.45	
Tizguite	116.6306	Q10	66.00	1661.61	1662.83	1662.83	1663.06	0.008479	2.11	31.29	72.03	1.02	
Tizguite	107.5492	Q10	66.00	1661.66	1662.93	1662.93	1663.11	0.008267	1.91	34.62	90.78	0.99	
Tizguite	102.1556	Q10	66.00	1661.72	1662.88	1662.91	1663.10	0.010571	2.06	32.11	90.50	1.10	
Tizguite	94.9705	Q10	66.00	1661.66	1662.89	1662.89	1663.08	0.008514	1.93	34.11	89.50	1.00	
Tizguite	86.46929	Q10	66.00	1661.46	1662.66	1662.72	1662.99	0.011423	2.52	26.18	57.57	1.19	
Tizguite	80.41943	Q10	66.00	1661.64	1662.71	1662.71	1662.95	0.007507	2.14	30.79	62.75	0.98	
Tizguite	74.10101	Q10	66.00	1661.43	1662.50	1662.61	1662.87	0.018115	2.69	24.55	69.31	1.44	
Tizguite	69.02522	Q10	66.00	1661.46	1662.48	1662.54	1662.75	0.015251	2.33	28.36	87.27	1.30	
Tizguite	64.82225	Q10	66.00	1661.28	1662.48	1662.49	1662.68	0.009260	2.02	32.72	85.61	1.04	
Tizguite	60.70008	Q10	66.00	1661.26	1662.20	1662.32	1662.60	0.027397	2.82	23.42	83.97	1.70	
Tizguite	54.90605	Q10	66.00	1661.11	1662.12	1662.21	1662.46	0.017691	2.60	25.40	74.16	1.42	
Tizguite	49.59332	Q10	66.00	1661.23	1662.21	1662.21	1662.41	0.008563	2.00	33.06	83.00	1.01	
Tizguite	44.75288	Q10	66.00	1661.49	1662.32	1662.32	1662.55	0.008210	2.14	30.89	67.61	1.01	
Tizguite	39.9654	Q10	66.00	1661.66	1662.27	1662.28	1662.53	0.008742	2.26	29.20	61.56	1.05	
Tizguite	34.77987	Q10	66.00	1661.38	1661.97	1662.10	1662.44	0.021587	3.04	21.68	57.76	1.59	
Tizguite	30.48042	Q10	66.00	1661.13	1661.79	1661.95	1662.33	0.026409	3.27	20.21	56.54	1.74	
Tizguite	25.93571	Q10	66.00	1660.90	1661.70	1661.85	1662.20	0.024737	3.14	21.01	59.34	1.69	
Tizguite	19.75063	Q10	66.00	1660.86	1661.81	1661.82	1662.06	0.008621	2.21	29.82	64.43	1.04	
Tizguite	14.21406	Q10	66.00	1661.05	1661.88	1661.88	1662.11	0.007970	2.16	30.61	64.82	1.00	
Tizguite	9.5422	Q10	66.00	1661.14	1661.92	1661.92	1662.16	0.007905	2.17	30.37	63.14	1.00	
Tizguite	4.457643	Q10	66.00	1661.16	1661.92	1661.92	1662.17	0.007934	2.22	29.67	59.73	1.01	

4. L'exportation des données vers Arc gis :

Après l'exportation de fichier préparé par Hec Ras dans Arc Gis afin de délimiter les zones touchées lors des crues, l'extension de Hec_Georas on peut déterminer des débordements des eaux des inondations le long d'Oued tizguit à la proximité de la ville d'frane, et la superposition de ces résultats sur les images satellitaires ou des cartes topographique va améliorer la qualité des résultats pour une comparaison de la zone inondable avant et après les aménagements réalisés.

L'extension Hec-GeoRas ne permet pas seulement de cartographier les zones inondées lors d'un événement hydrologique extrême, il permet aussi d'élaborer des cartes de répartition de valeur de certains paramètres hydrauliques calculés et importés depuis Hec-Ras.

Détermination de la vitesse d'eau

L'extension de Hec_Georas permet de déterminer les vitesses des eaux durant les inondations :

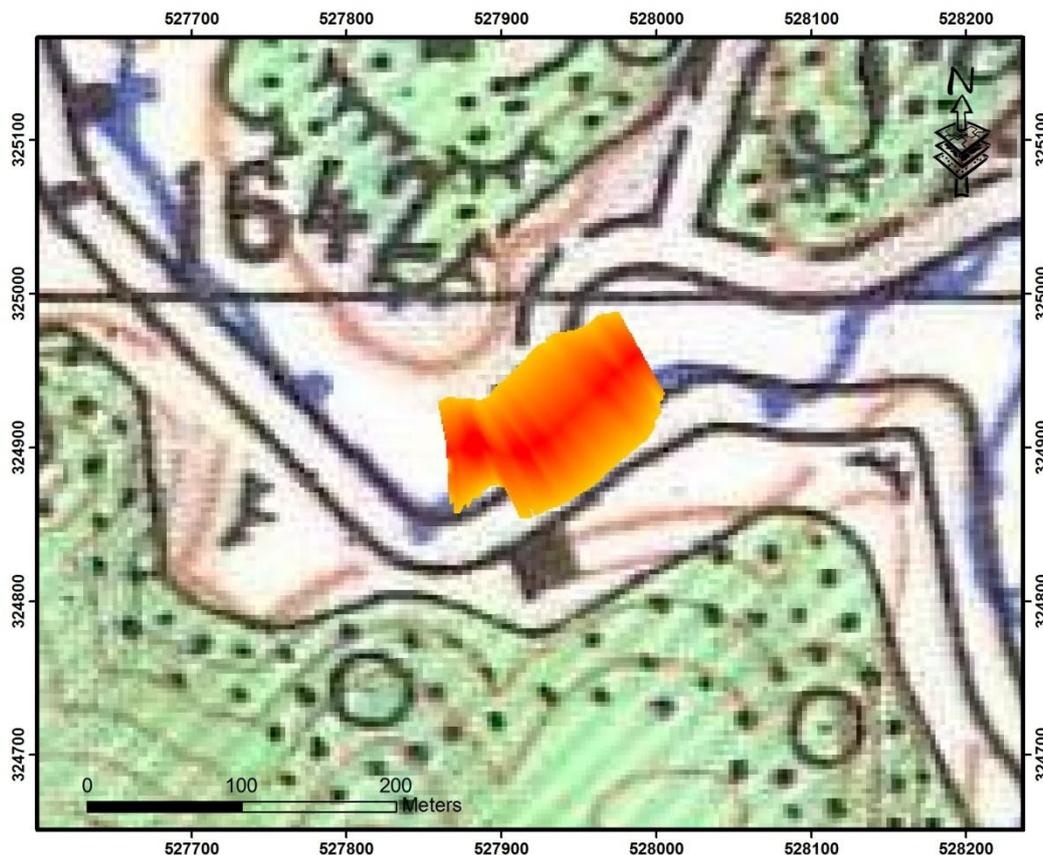


Figure 30: Carte de vitesse d'eau dans la zone inondée (Q100)

Dans la zone inondée on constate

une différence de couleur qui signifie que :

- La partie foncée au centre : la vitesse de l'eau est très élevée, et l'altitude faible

- La partie claire aux bordures : la vitesse de l'eau est très faible, et l'attitude élevée

Délimitation de la zone inondable



Figure

e 31: Les zones débordées par le débit centennal

La rive droite de l'oued est beaucoup plus inondée que la rive gauche Ceci est dû à l'aplatissement des terrains à droite de l'oued



Figure 32: Les zones débordées par le débit décennal



Figure 33: Les zones inondées avant et après l'aménagement

Après la superposition de la zone inondée avant l'aménagement sur la zone inondée après la réalisation des aménagements. On conclure que les travaux sont réalisés sur la rive gauche, les débordements de la crue centennial sont du a la rive droite qui n'a pas encore connu d'intervention et qui sera l'objet des travaux prochainement par l'ABHS.



Conclusion

La ville d'Ifrane est caractérisée par un climat de type méditerranéen, hiver rigoureux et été frais, avec une température maximale de 37°C et minimale -24°C. Le bassin versant d'oued Tizguit est considéré comme bien drainé car son indice de compacité est de 1,93. ce qui concerne la géologie de la zone du projet sont essentiellement représentées par des formations calcaires et dolomitiques d'âge liasique.

Notre projet de fin d'étude s'articule autour d'une étude hydraulique qui consiste à évaluer et intégrer tous les paramètres fondamentaux. Nous avons eu l'occasion de manipuler des outils informatiques très importants en matière de SIG (ARCGIS) et la modélisation hydraulique unidimensionnelle (HEC-RAS), qui nous ont permis de construire un modèle permettant la simulation des phénomènes hydrologiques qui se produisent à la ville d'Ifrane.

La modélisation nous a permis de calculer les profils d'eau correspondants aux trois débits de pointe enregistrés lors des crues. L'exploitation des résultats de la simulation par ARCGIS a conduit à établir des cartes d'extension des inondations pour chaque profil calculé.

L'exploitation de ce genre de résultats issus de la simulation hydraulique et de systèmes d'information géographique, peut contribuer considérablement à établir des modes d'intervention pour lutter contre les débordements qui peuvent persister malgré l'existence de 3 barrages en amont, à cause des pluies et des crues enregistrées au cours des dernières années.

Il y a lieu de signaler que la protection contre les inondations ne passera pas que par les travaux d'aménagement, mais aussi par des mesures de prévision et de prévention, souvent moins coûteuses. Ces dernières concernent la cartographie des zones à risques d'inondations, la réglementation de l'occupation des sols, l'entretien des cours d'eau et surtout l'aménagement des bassins versants.

Quelques soient les efforts curatifs déployés pour la protection contre les inondations, on ne sera jamais à l'abri des risques et que les actions menées ne permettent que

La réduction de la vulnérabilité des zones à ces risques. La sensibilisation et l'information des acteurs et des citoyens sur ces risques demeurent une question essentielle pour limiter les dégâts.



Références bibliographiques

Agence du Bassin Hydraulique du Sebou : Etude de protection de la ville d'Ifrane contre les inondations(2009)

John C. Warner, Gary W. Brunner, Brent C. Wolfe, and Steven S. Piper. 2010. HEC-RAS, River Analysis System Applications Guide. US ARMY CORPS OF ENGINEERS HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER (HEC), 351 p.

MIDAOUI ABDELBASET (2011) - Mémoire de diplôme de Master : Modélisation des zones inondables de l'Ouergha en aval du barrage Al Wahda, faculté de lettre et de sciences humain-sais-fès.

CHEIKH SIDI EL KHAIR Fatima(2013)- Mémoire de diplôme de Master : Délimitation des zones inondables par l'utilisation combiné du logiciel HEC-RAS et HEC GEORAS cas de centre Ain Jemaa.

MERIAM LAHSAINI(2011) : - Mémoire de diplôme de Master : etude et modelisation des crues du troncon urbain de l'oued aggay, ville de sefrou

Webographie

<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>

<http://www.hec.usace.army.mil/software/>