



Année Universitaire : 2015-2016



Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et
Techniques

Délimitation des zones inondables dans le centre de Zerarda
Présenté par:

Rhita BENMOUSSA
Hicham BENNANI
Encadré par:

Pr. Abdel-Ali Chaouni, FST Fès
Ingénieur.Mehdi SQUALLI, ABHS, Fès

Soutenu Le 13 Juin 2016, devant le jury composé de:

Pr. A. CHAOUNI, FST Fès
Pr. A. LAHRACH, FSTFès
Pr. L. BENAABIDATE, FSTFès
Pr. F.BENJELLOUNE, FST Fès
Dr.Farah EL HASSANI,Inspection Régionale de l'Urbanisme et de
l'Aménagement de Territoire Fès Meknès

Stage effectué à :ABHS, Fès.





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

Rhita BENMOUSSA
Hicham BENNANI

Année Universitaire : 2015/2016

Titre: Délimitation de la région de Zerarda et étude d'inondations.

Résumé

Le bassin versant de Zerarda fait partie du SE du bassin versant d'Inaouène et couvre la feuille de Ribat Al Khayr. Il est d'une superficie de 4 km², et d'un périmètre de 10 km.

Ce bassin reçoit en moyenne 640 mm de pluie annuelle et est doté d'un climat méditerranéen semi arride. En général, le village de Zerarda s'étant sur des calcaires de nature récifale, qui est donc fissuré ou contient des sites interconnectés. Néanmoins, au dessus de cette couche de calcaires, se trouvent des marnes et argiles. Etant donné la population qui vit à proximité de ce bassin, une étude des risques d'inondations s'impose.

L'objectif du travail est d'effectuer la délimitation du bassin versant de l'oued Abbou Khaled afin de préciser les débits de pointe ainsi que les temps de concentration. Ceci nécessite, en plus d'un équipement expérimental consistant, des outils informatiques adaptés pour l'analyse et le traitement des données.

On a réalisé un profil simulé à partir des profils topographiques et des coordonnées du bassin, à l'aide de HEC-RAS dans le but de faire la modélisation et déterminer les zones inondables. Ceci nous permet de prévoir en général toutes sortes d'inondations susceptibles de causer des dégâts humains et matériels.

Mots clés: Bassin versant, Zerarda, délimitation, modélisation, HEC_RAS, inondations.



Remerciements et dédicaces

On dédie ce travail à toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidés lors de notre parcours universitaire, et plus précisément à nos chers parents qui sont le pilier de nos vies.

*Tout d'abord, on adresse nos remerciements à nos professeurs, **Mr Lahrach et Mr Chaouni de la FST**, qui nous ont beaucoup aidés dans notre recherche de stage et nous ont permis de postuler dans cette agence. Leur écoute et leurs conseils nous ont permis de cibler nos candidatures, et de trouver ce stage qui était en totale adéquation avec nos attentes.*

*On tient à remercier vivement nos maîtres de stage, **Mr Bourak, responsable de la division de gestion durable des ressources en eau, et Mr Squalli responsable du Service des travaux et équipements hydrauliques**, pour leur accueil, le temps passé ensemble et le partage de leur expertise au quotidien.*

*Merci également toute l'équipe de l'agence pour leur esprit d'équipe et en particulier **Mme Nahid et Mme Meriem**, qui nous ont beaucoup aidés à comprendre les problématiques de SIG.*

On n'oublie certainement pas l'aide apportée par tous nos professeurs, depuis le SI jusqu'à aujourd'hui, qui fut d'une importance primordiale dans notre vie, et pour cela on vous remercie.

*Enfin, on tient à remercier toutes les personnes qui nous ont conseillé et relu lors de la rédaction de ce rapport de stage : nos familles, notre amie **Zineb El Moumen lauréate du Master Géographie ressources et Environnement de la FST**, et aussi le jury qui a pris la peine de se déplacer pour assister à notre soutenance.*



Liste Des Figures :

Fig.1: Situation géographique du secteur d'étude

Fig.2 : Coupe transversale à travers le couloir Fès Taza

Fig.3 : Cartographie détaillée au 1/50 000 de l'affleurement de Ribat Al Khayr.

Fig.4 :Hauteurs des précipitations saisonnières de la station de Zrarda (1998-2011)

Fig. 5°: Le diagramme climatique de la région de Zerarda

Fig. 6° : Délimitation des deux bassins versants

Fig 7 :Bassin versant allongé et hydrogramme de crue

Fig.8 :Le Modèle numérique du terrain (MNT) du bassin versant de Zerarda

Fig.9°: Carte hypsométrique du bassin versant de Zerarda

Fig.10 : Courbe hypsométrique

Fig.11°: Carte du reseau hydrographique.

Fig.12°: Carte des pentes

Fig.13°: Ajustement par la loi de Gumbel des Pjmax du poste Zerarda

Fig.14 :Le logiciel de Hec ras

Fig.15 : Carte du tronçon simulé

Fig16:Vue en profil du tronçon simulé

Fig17 :Vue transversale d'un exemple d'un tronçon

Fig18 : La courbe de tarage du cours d'eau simulé.

Fig19 : Vue en 3D de la zone débordée

Fig. 20 : Courbe de zone d'écoulement

Fig.21 :Courbe du volume d'eau

Fig.22 : Courbe de la profondeur du tronçon.

Fig.23 : Vue transversal de la zone inondée.

Fig.24 : Image d'un Topmix



Liste Des Tableaux :

Tableau 1°: Récapitulatif de la dotation en infrastructures pour le centre Zerarda

Tableau 2°: Pluies saisonnières et leurs contributions dans les pluies moyennes annuelles

Tableau 3 : Superficie et périmètre des BVS de Zerarda.

Tableau 4°: La longueur de Talweg des bassins versant de Zerarda.

Tableau 5 : Longueur, largeur et indice de GRAVELLIUS des bassins versant de Zerarda.

Tableau 6 : Pourcentage cumulé de la surface du bassin de Zerarda

Tableau 7°: Fiche morpho métrique en km

Tableau 8 : Formules et légendes des différentes manières de calcul de Tc

Tableau 9 : Formules et légendes des différents débits de pointes.

Tableau 10 : Temps de concentration des deux BV en min.

Tableau 11 : Temps de concentration en heure.

Tableau 12 : Calcul de débits de pointe.

Tableau 13 : Moyenne des débits

Tableau 14 : Données de Mallet Gautier

Tableau 15 : Données de Mac Math

Tableau 16 : Répartition du coefficient de ruissellement en différent milieu

Tableau 17 : Données de la formule rationnelle

Tableau 18 : Intervalles de coefficient de ruissellement selon la topographie , la végétation et la texture du sol.

Tableau 19°: Les pluies maximales journalières pour différentes périodes de retour

Tableau 20°: Valeurs de coefficient de Manning selon la nature du lit

Tableau 21°: Valeurs du coefficient de Manning



Sommaire

Résumé	1
Remerciements et dédicaces	2
Liste Des Figures :	3
Liste Des Tableaux :	4
Introduction générale.....	8
Chapitre I: Cadre générale de la zone d'étude.....	9
Introduction :.....	9
1-Contexte géographique.....	9
2-Contexte géologique	9
2-1-Paléozoïque.....	12
2.2.-Permo-Trias.....	12
2.3-Jurassique moyen et supérieur	12
2.4-Plio-Quaternaire	12
3-Contexte hydrogéologique et végétation	12
3.1-Lithologie	12
3.2-Végétation	13
4- Contexte socio-économique	13
4.1- Démographie	13
4.2-Activités économiques.....	13
4.3-Urbanisation et infrastructures	13
5-Précipitations et climatologie	14
5.1- Précipitations.....	14
5.2-Climatologie.....	15
Conclusion.....	15
Chapitre II: Caractéristiques physiographiques du bassin versant de Zerarda.....	17



Introduction :	17
1-Caractéristiques morpho métriques	17
1.1-Périmètre et surface	17
1.2-Longueur	18
1.3- Indice de compacité de GRAVELIUS et rectangle équivalent	18
2-Caractéristiques des altitudes (Hypsométrie)	20
2.1-La carte hypsométrique de Zerarda	20
2.2-Caractéristiques du réseau hydrographique	22
2.3-Caractéristiques de la carte des pentes	23
Conclusion	24
Chapitre III- Etude hydrologique	25
Introduction	25
1-Méthodologie de calcul	25
1.1-Temps de concentration	25
1.2-Débits de pointe	26
1.3-Ajustement de Gumbel :	26
2-Résultats	27
2.1-Temps de concentration	27
2.2-Débits de pointe	28
2.2.1-La formule rationnelle	30
2.3-Ajustement de Gumbel	31
Conclusion	32
Chapitre V: Modélisation hydraulique	32
Introduction	32
1-Présentation du logiciel HEC-RAS	32
1.1- Utilisation	32



1.2-Le coefficient de Manning	33
2. Méthodologie de la réalisation du modèle hydraulique d'un tronçon de la rivière de zerarda.....	34
2.1- La méthodologie du travail	34
2.2- Les données d'entrée	34
2.3-Résultats:	35
2.4- Détermination des zones inondables dans le tronçon modélisé	38
2.5-Solution	38
Conclusion.....	38
CONCLUSION GENERALE	40



Introduction générale

Une inondation est une submersion temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace avec de l'eau liquide.

Elles peuvent avoir de nombreuses causes cumulables : causes naturelles (liées aux aléas climatiques et phénomènes météorologiques attendus ou à un événement naturel qui empêche l'écoulement habituel de l'eau) ; causes anthropiques directes (le drainage, l'irrigation, l'imperméabilisation et la dégradation des sols, certaines pratiques agricoles intensives peuvent accélérer le ruissellement de l'eau et en limiter l'infiltration) ; causes humaines directes (établissements d'écluses, de barrages permettant certes la navigation et le transport fluvial, mais diminuant la pente naturelle du cours d'eau, absence de gestion et de coordination des barrages à l'approche des crues, et pour la même raison avec les mêmes effets, retenue importante du dernier bief avant évacuation vers la mer)

Ces catastrophes naturelles ont un impact important sur notre société. En 2011, elles représentaient un désastre naturel sur deux et ont causé 57,1% du total de victimes de catastrophes naturelles dans le monde. Il est donc primordial d'analyser leurs impacts sur la vie et la santé, sur l'économie, mais aussi sur l'environnement et l'écologie.

Le Maroc est confronté à cette menace qui le guêtte, et qui cause des dégâts matériels et parfois même humains, à titre d'exemple les dernières inondations à Marrakech, Tinghir, Fnidq, Casablanca, Tanger.....

Le but du projet est de délimiter les zones inondables dans le centre de Zerarda pour prévoir toute catastrophe pouvant menacer les habitants de ce village. Pour ce faire, on a réalisé une modélisation du bassin versant par le biais d'HEC-RAS, en passant par ARCGIS afin de déterminer toutes les caractéristiques y compris les temps de concentrations et les débits de pointe

.Notre plan de travail se divisera en deux grandes parties :

- Cadre général de la région ;
- Modélisation des bassins.

Chapitre I: Cadre générale de la zone d'étude

Introduction :

Ribate El Khayr, plus connu sous le nom de Ahermoumou, est une ville du Maroc. Elle est située dans la région de Fès-Meknès, perchée en haut d'un relief qui domine la vallée de Zloul, avec vue directe sur le djebel Bouiblane.

1-Contexte géographique



Fig.1: Situation géographique du secteur d'étude

Le terrain étudié se situe dans le Moyen-Atlas septentrional, à 30 km au Sud de Taza et à 20 km au Nord de Boulmane. Il couvre la feuille de Ribat El Khayr au 1/100 000, ainsi que quelques portions des feuilles au 1/50 000 de Tahala, Taza, Berkine et Imouzzar Marmoucha. C'est une région entièrement montagneuse, dont l'accès est difficile. (Sebaoui A., 1998). Notre bassin versant fait partie du bassin versant de l'Oued Sebou.

2-Contexte géologique

Le couloir Fès-Taza appartient au sillon sud-rifain qui s'étend de l'Atlantique à la Méditerranée entre la chaîne rifaine au Nord et les môles hercyniens de la Méséta et du Moyen Atlas au Sud.

Le Causse moyen-atlasique au Sud s'enfonce progressivement au Nord sous les formations miocènes transgressives sur le Paléozoïque et le Jurassique. Au Tortonien (Miocène supérieur), après les phases tectoniques majeures qui ont déformé la chaîne rifaine mais qui n'ont pas affecté son avant-pays le Moyen Atlas, s'est formé une zone de sédimentation qui est le domaine pré rifain.

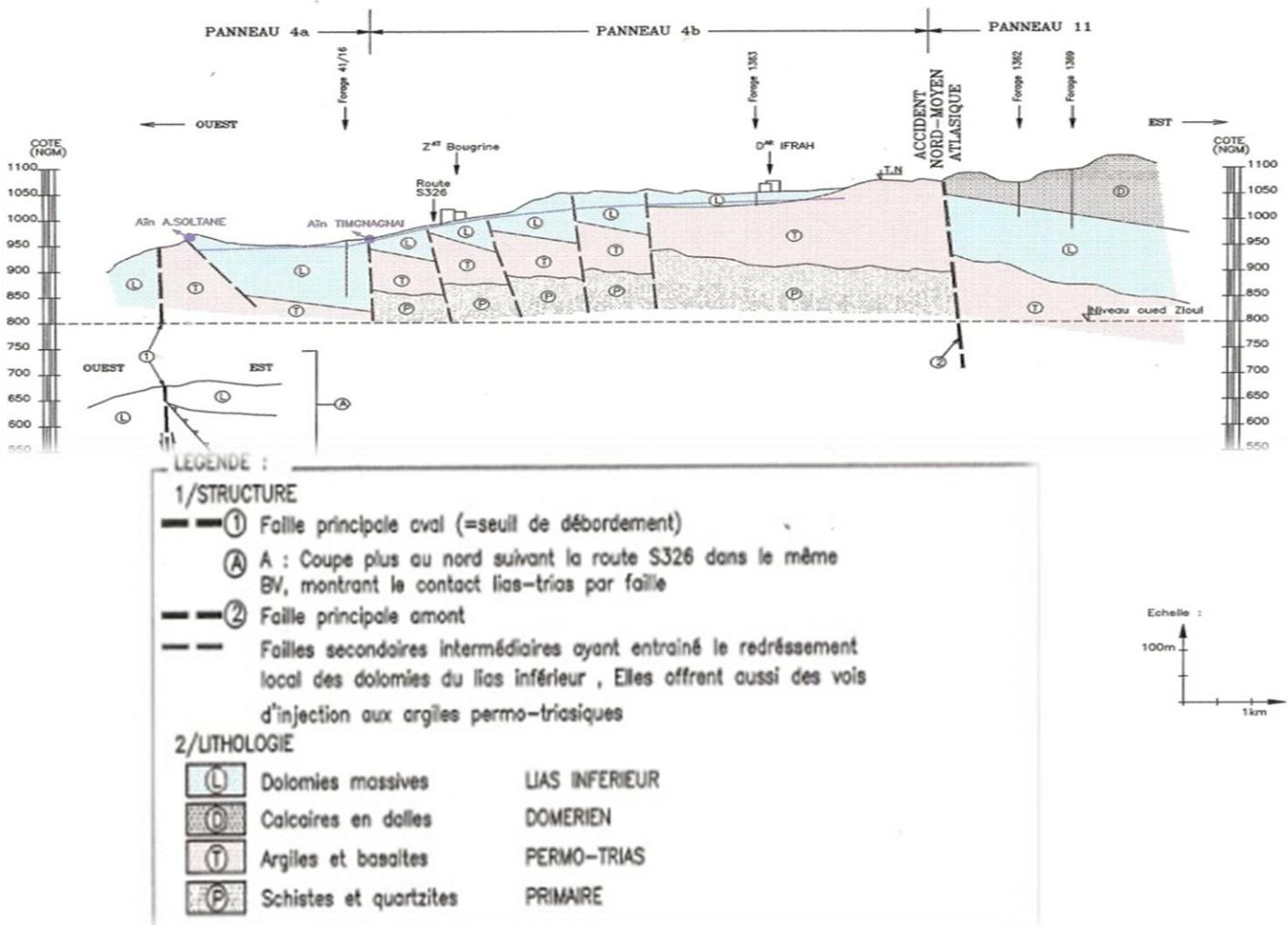
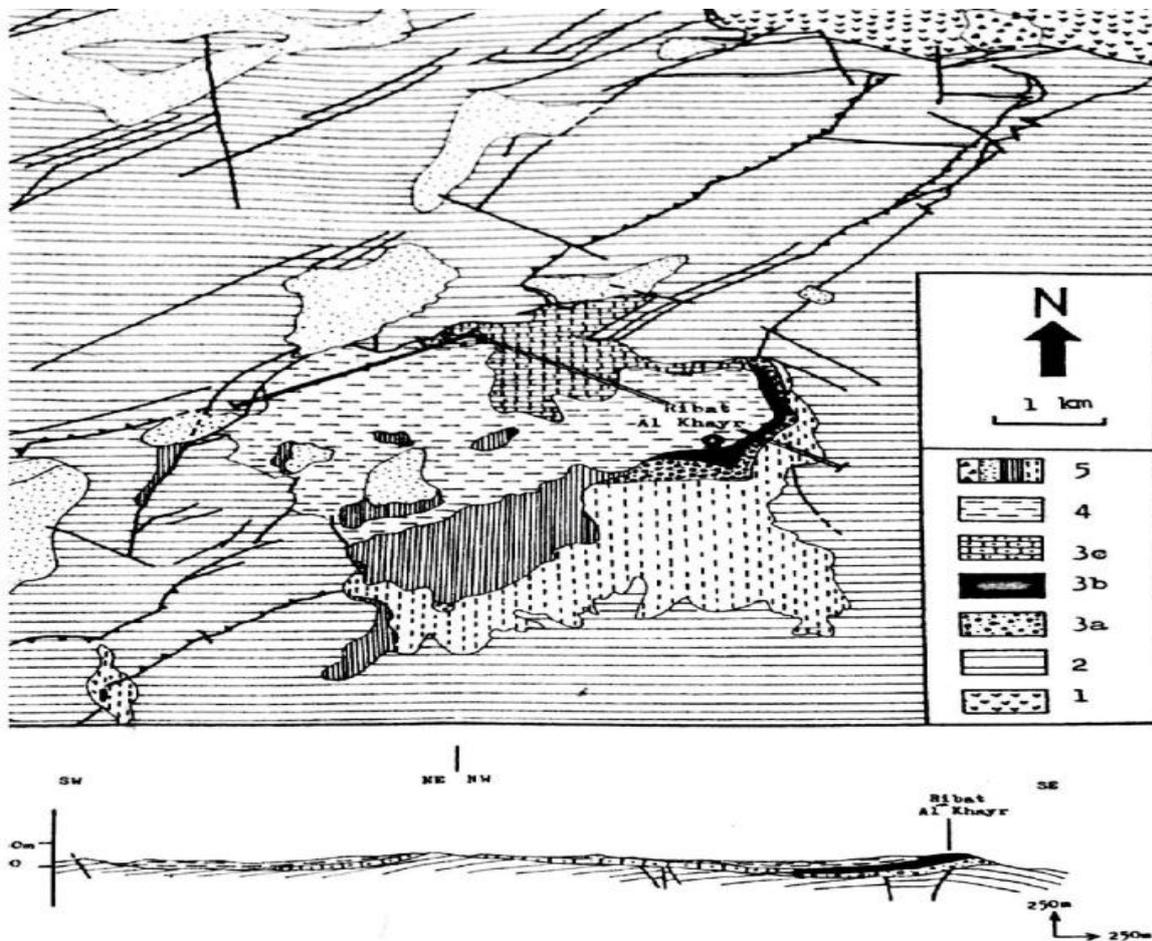


Fig2 : Coupe transversale à travers le couloir Fès Taza(référence inconnue)

La zone d'étude se situe dans la partie NW du Moyen-Atlas septentrional. Elle correspond à une transversale qui intéresse les principaux domaines structuraux de la chaîne (Fig2). Les différentes principales unités qui se distinguent sont , du NW au SE :

- a- Le Causse Moyen-Atlasique
- b- La zone de passage de l'A.N.M.A
- c- Le Moyen Atlas plissé

Le Miocène supérieur de Ribat Al Khayr est connu par la nature récifale des calcaires sur lesquels est construit le village.



1-Paléozoïque/ 2-Trias et Jurassique/ 3a-Conglomérats et Grès/ 3b- Calcaires récifaux/ 3c- Calcarénites et Calcaires gréseux/ 4- Argiles et Marnes/ 5- Quaternaire

Fig. 3 : Cartographie détaillée au 1/50 000 de l'affleurement de Ribat Al Khayr.(Sebaoui. A 1998)



2-1-Paléozoïque

Il constitue le substratum de la région et affleure sur la bordure Occidentale du Causse et dans le Moyen Atlas septentrional. Le Primaire est constitué par des schistes et grès, parfois métamorphiques, bien représentés dans plusieurs boutonnières dont la plus importante est celle de JbelTazzeke au NE.

2.2.-Permo-Trias

Il est constitué par une série d'argiles et de marnes rouges continentales et lagunaires, discordantes sur le Primaire. Des coulées de basalte doléritique, de 100 à 200 m de puissance, divisent cette série en une série inférieure de 50 à 100 m d'épaisseur et une série supérieure de plus faible épaisseur (inférieure à 20 m).

2.3-Jurassique moyen et supérieur

Il s'agit de faciès à prédominance marneuse. Malgré leur épaisseur importante, ils ne sont signalés que dans la zone synclinale septentrionale qui limite le couloir Fès-Taza.

2.4-Plio-Quaternaire

D'importance et d'extension inégales, les dépôts plio-quaternaires se présentent sous forme de :

- Conglomérats au pied des reliefs,
- Dépôts de calcaires lacustres dans les dépressions résiduelles,
- Travertins aux débouchés des lacs (cascades) et au niveau des sources,
- Terrasses alluvionnaires le long des principaux oueds.

3-Contexte hydrogéologique et végétation

3.1-Lithologie

Le principal aquifère de la région est celui qui circule dans un ensemble épais de dolomies et calcaires connu sous le nom d'aquifère liasique. Le Lias inférieur affleure



largement dans tous les plateaux lapiazés qui forment le causse moyen atlasique. Tous les Oueds de la région sont des Chaâbat de Oued Innaouène.

3.2-Végétation

La richesse du couvert végétal de la Région en flore mellifère et en plantes aromatiques et médicinales favorise le développement de l'apiculture et de l'exploitation des plantes telles que le cactus , les câpres et l'alfa.

4- Contexte socio-économique

4.1-Démographie

La population a augmenté de 20.36% depuis 1994 jusqu'à 2004 en passant de 8373 à 12654

4.2-Activités économiques

L'agriculture et l'élevage constituent les activités principales, les autres secteurs participent à taux très réduit à l'activité et aux revenus de la population. En effet, le commerce n'occupe que 1%, et l'industrie est absente.

4.3-Urbanisation et infrastructures

Les infrastructures sociales et économiques restent insuffisantes au niveau du centre Zerarda.

Sa dotation en infrastructures est détaillée dans ce qui suit :

- Le secteur de l'enseignement: Existence d'une école primaire, et un collège.
- Les voies routières : la desserte du centre est assurée par la route provinciale menant vers la nationale N° 6 et par des pistes non carrossables praticables, ces pistes sont inaccessibles et isolées lors des périodes pluvieuses.
- Autres infrastructures de base :
- Le taux d'accès à l'eau potable au niveau de la commune est de 6 %,

- Pour l'assainissement liquide, les rejets des eaux usées se font dans des fosses septiques, des puits perdus ou se déversent directement dans la nature. Ces rejets des eaux usées constituent un risque pour les ressources superficielles et souterraines.
- Le taux d'électrification au niveau de la commune est de 95 %.

Tableau 2: Récapitulatif de la dotation en infrastructures pour le centre Zerarda

Commune	Dotation en infrastructures					
	Enseignement	Santé	Voies routières	Eau potable	Assainissement liquide	Électrification
Zerarda	- écoles primaires - collège,	Non disponible	RP 5403	6 %	fosses septiques ou nature	95 %

5-Précipitations et climatologie

5.1- Précipitations

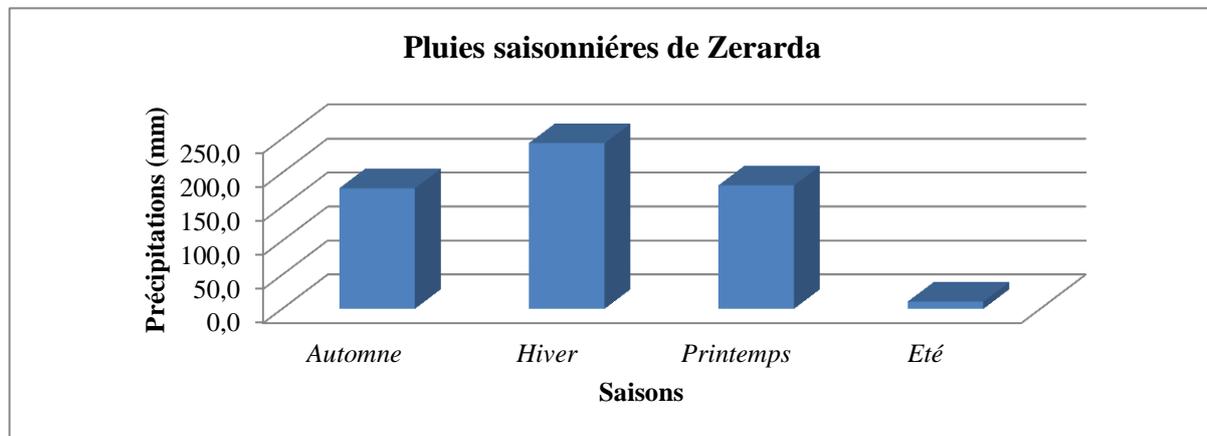


Fig4 :Hauteurs des précipitations saisonnières de la station de Zrarda (1998-2011)

Le mois le plus pluvieux à Zerarda est le mois de Novembre avec une pluie maximale de 89.4 mm, tandis que le mois le plus sec est le mois de Juillet avec une pluie minimale de 0.5 mm. L'année de forte pluviométrie est marquée par une pluviométrie très importante notamment dans la station Zerarda où la moyenne est de 1098 mm.

Tableau 2: Pluies saisonnières et leurs contributions dans les pluies moyennes annuelles

	Station	Les saisons			
		Automne	Hiver	Printemps	Eté
Somme des précipitations moyennes (mm)	Zerarda	177.1	243.4	181.4	10.6
Contribution (%)	Zerarda	28.91	39.74	29.62	1.73

5.2-Climatologie

Les cartes climatiques de la région affichent une température annuelle moyenne de 18 °C et des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 640 mm.

La variation des précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 90 mm. Entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 16 °C.

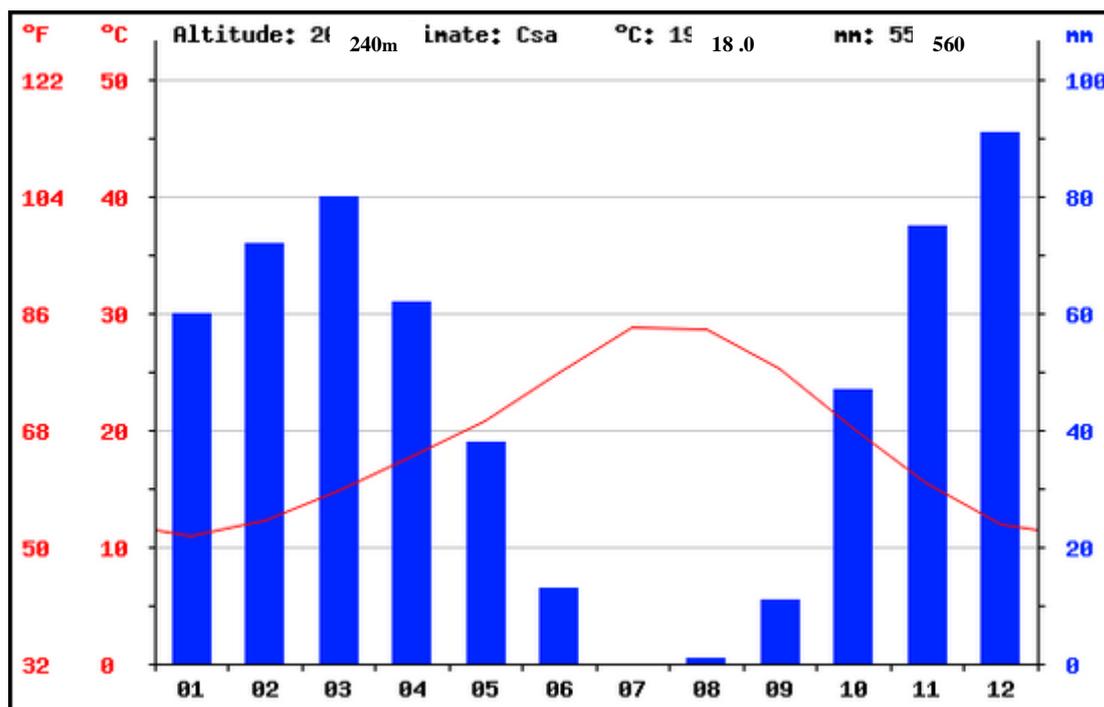


Fig. °5: Le diagramme climatique de la région de Zerarda

Conclusion

L'analyse de tous les paramètres du bassin versant de Zerarda nous a permis de tirer les conclusions suivantes:



-La dominance des formations calcaires , marneuses et argileuses dans le bassin, produit une faible perméabilité au secteur d'étude et empêche l'infiltration des eaux , par conséquent une diminution du temps de concentration et l'augmentation des débits de pointes.

-La végétation développée de la zone d'étude provoque un retardement du ruissellement, donnant ainsi le temps à l'eau de s'infiltrer, et donc le débit de pointe sera moins important.

- Les précipitations à Zerarda ne sont pas toujours importantes étant donné le climat qui est semi-aride, d'ailleurs elles sont très abondantes en moins de Novembre et beaucoup moins voire absente en mois de Juillet.

Chapitre II: Caractéristiques physiographiques du bassin versant de Zerarda

Introduction :

La détermination des caractéristiques du bassin consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à la mise en œuvre de la méthode proposée.

Certains paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante. D'autres, au contraire, ne pourront faire l'objet que d'estimations essentiellement qualitatives qui demandent une bonne connaissance du milieu à étudier et une certaine expérience. La reconnaissance de terrain, déjà mentionnée, sera d'une grande utilité pour apprécier certaines caractéristiques, notamment la géomorphologie, la dégradation hydrographique, la couverture végétale, y compris les cultures.

Le projeteur doit au préalable rassembler toute la documentation cartographique et photographique disponible sur la zone étudiée. Elle renseigne sur la géométrie du bassin versant, sur la forme du réseau hydrographique, la nature et l'occupation des sols et la présence d'ouvrages de génie civil qui pourraient influencer l'écoulement des crues.

On a délimité la région de Zerarda, ainsi que ses deux bassins versants.

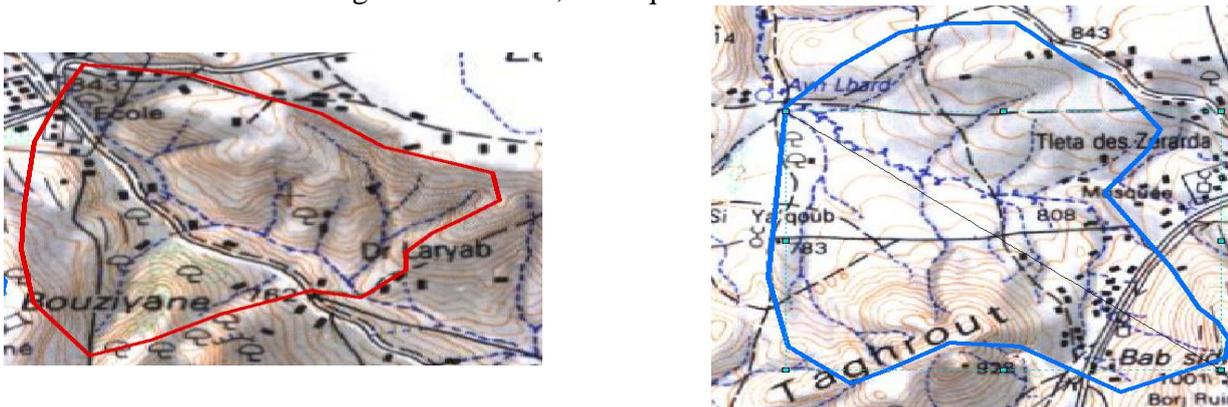


Fig. 6° : Délimitation des deux bassins versants

1-Caractéristiques morpho métriques

1.1-Périmètre et surface

La superficie et le périmètre du bassin versant étudié sont calculés par le logiciel Sig.



Tableau 3 : Superficie et périmètre des BVS de Zerarda.

Bassin Versant	Superficie (km ²)	Périmètre (km)
Zerarda BV1	2,51	6,59
Zerarda BV2	1,22	4,43

1.2-Longueur

Les caractéristiques de longueur du bassin versant sont la longueur de plus long talweg, la distance entre l'exutoire et le centre de gravité, la plus grande longueur et largeur perpendiculaire.

Tableau 4: La longueur de Talweg des bassins versant de Zerarda.

Bassin Versant	Longueur de plus long de Talweg (km)
Zerarda BV1	2.182
Zerarda BV2	1.397

1.3- Indice de compacité de GRAVELIUS et rectangle équivalent

Cet indice de forme ou coefficient de compacité de GRAVELIUS (1914) K_G est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. K_G donne une idée sur la forme du bassin versant et il est défini par la formule suivante:

$$K_G = \frac{P}{2 \times \sqrt{\pi \times S}} = 0.282 \times \frac{P}{\sqrt{(S)}}$$

K_G : Indice de compacité de Gravelius.

S : Superficie du bassin versant en km².

P : Périmètre du bassin versant en km.

Tableau 5 : Longueur , largeur et indice de GRAVELLIUS des bassins versant de Zerarda.

	Kc	L	L
BV1	1,17	1,76	1,3
BV2	1,13	1,11	0,96

Etant donné que Kc dans les deux cas s'avère être supérieure à 1 , donc les deux bassins versants auront une forme allongée.

La forme du bassin versant va ainsi influencer l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire. Sa forme allongée va induire de faibles débits de pointe de crue.

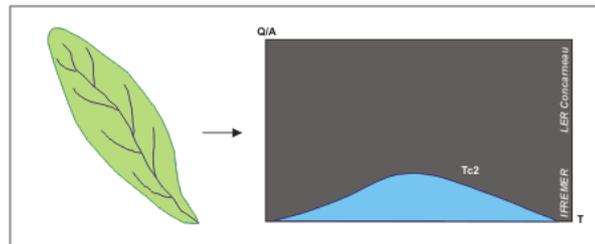


Fig. °7 :Bassin versant allongé et hydrogramme de crue

2- Caractéristiques des altitudes (Hypsométrie)

2.1- La carte hypsométrique de Zerarda

La carte hypsométrique est obtenue en délimitant des tranches d'altitude du bassin par des courbes de niveau d'équidistances choisies.

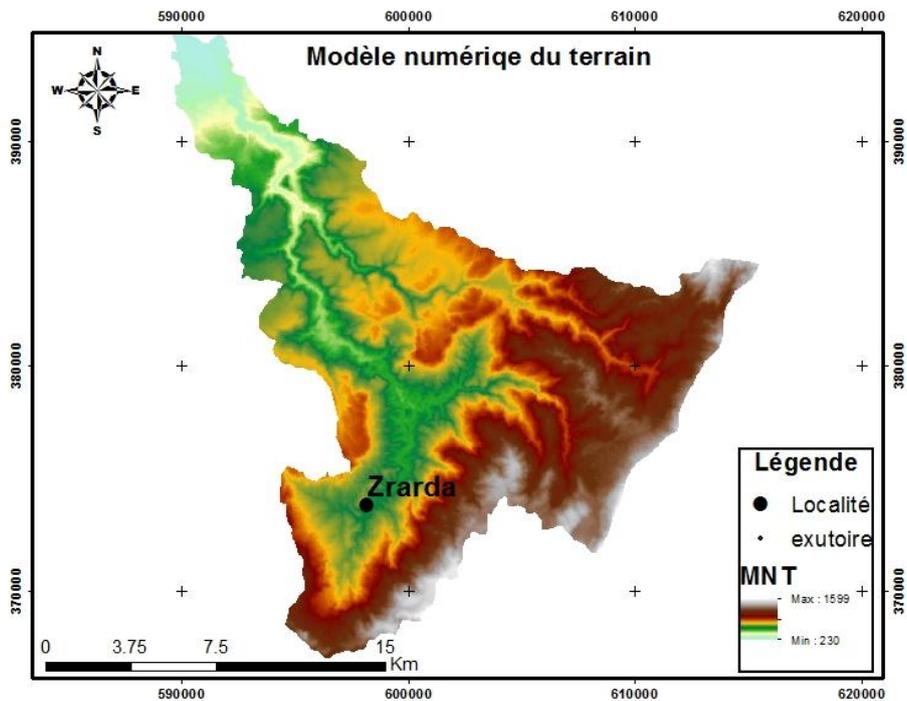


Fig.8 :Le Modèle numérique du terrain (MNT) du bassin versant de Zerarda

Ce modèle numérique de terrain est prélevé à partir de l'MNT de Sebou que l'on s'est procuré à partir de l'agence du bassin hydraulique. Ceci va nous servir comme base afin de pouvoir effectuer la carte des pentes, la carte du réseau hydraulique et enfin la carte hypsométrique.

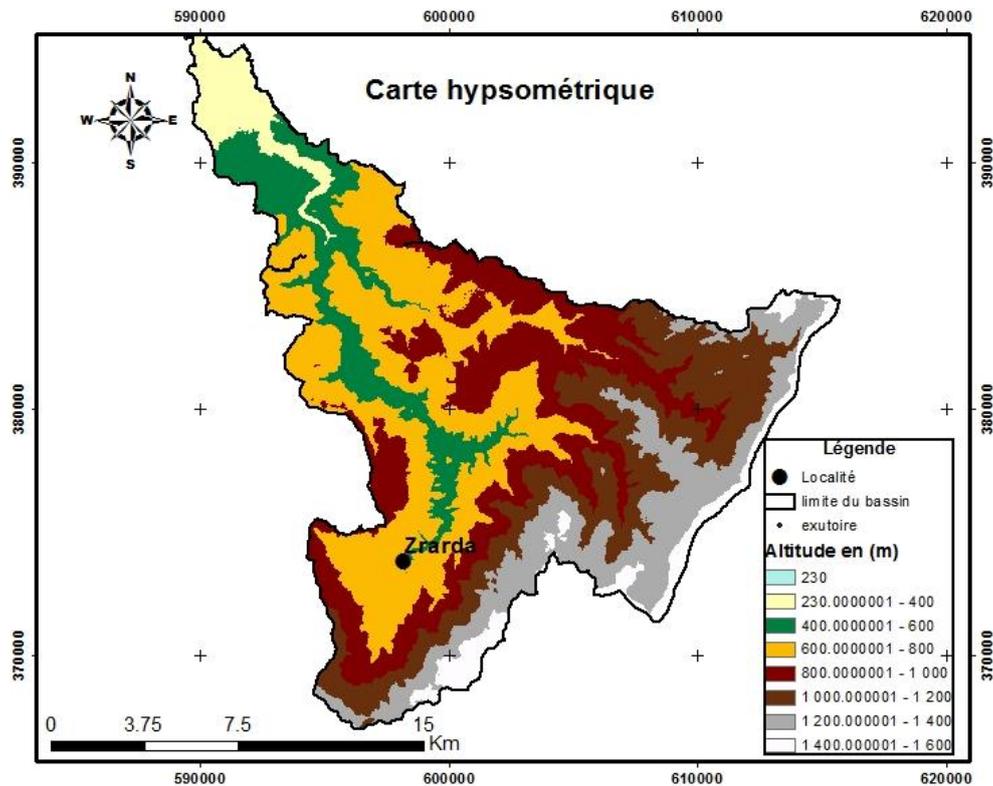


Fig.9°: Carte hypsométrique du bassin versant de Zerarda

La carte hypsométrique nous montre qu'il y'a une variation d'altitude en partant du NE au SW. Elle est plus forte au SW, ceci va donc influencer la pente aussi.

***Calcul des paramètres de la courbes hypsométrique**

Tableau 6 : Pourcentage cumulé de la surface du bassin de Zerarda

classe d'altitude [m]	pourcentage de la surface du bassin [%]
< 226	0,0
226 - 400	9,0
400 - 600	12,5
600 - 800	27,0
800 - 1000	16,0
1000 - 1200	20,7
1200 - 1400	11,5
1400 - 1611	3,3

pourcentage cumulé de la surface du bassin [%]	altitude [m]
100,0	226
91,0	400
78,5	600
51,5	800
35,5	1000
14,8	1200
3,3	1400
0	1611

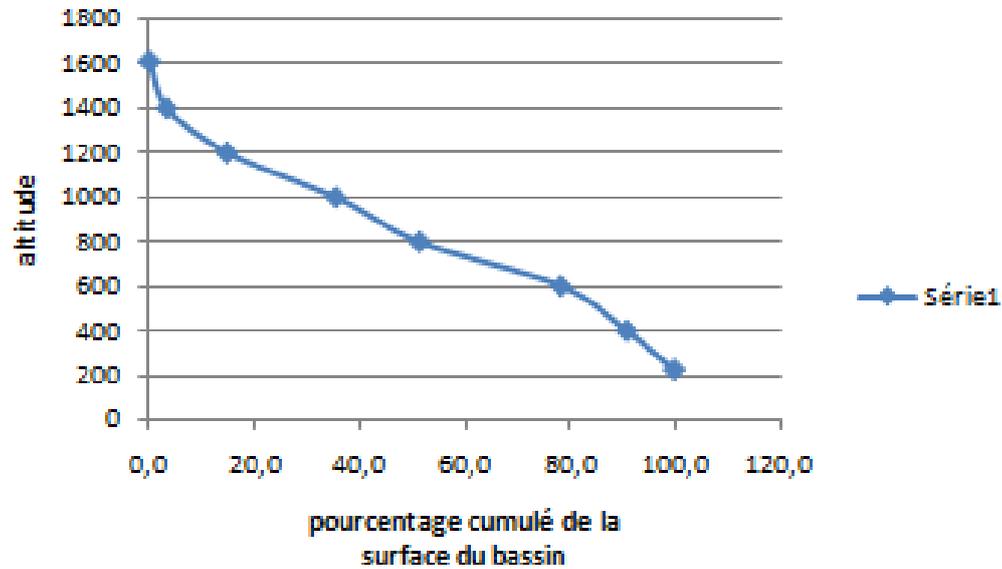


Fig.°10 : Courbe hypsométrique

2.2- Caractéristiques du réseau hydrographique

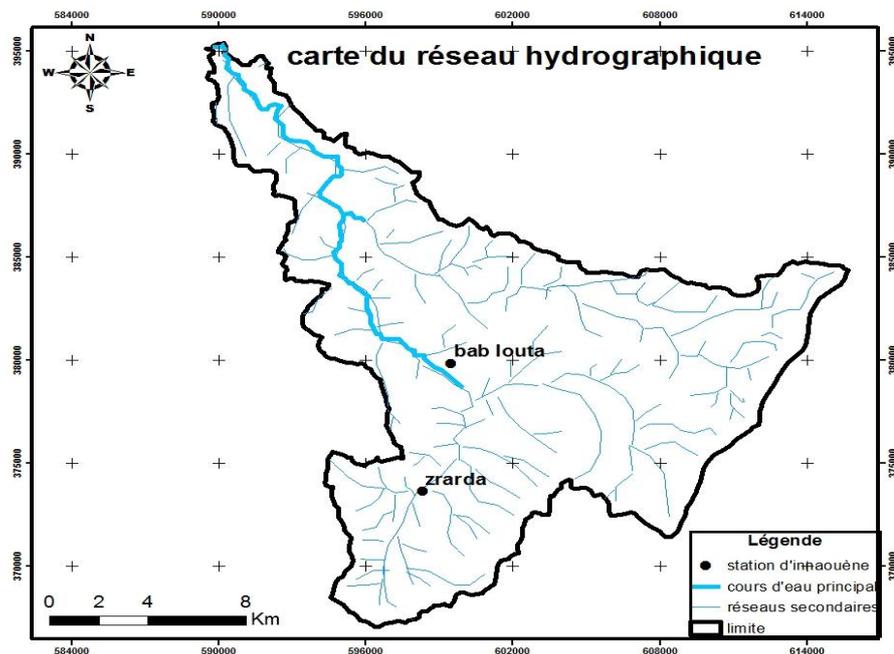


Fig.°11: Carte du reseau hydrographique.

Cette carte montre que le réseau est hiérarchisé en plusieurs chenaux qui assurent le drainage superficiel, temporaire ou permanent de ce bassin. Ceci dit, il y'a un cours d'eau principal qui est celui d'Innaouène, et d'autres cours d'eau secondaire comme ceux qui passent par le village de Zerarda vers le SE de la carte

2.3-Caractéristiques de la carte des pentes

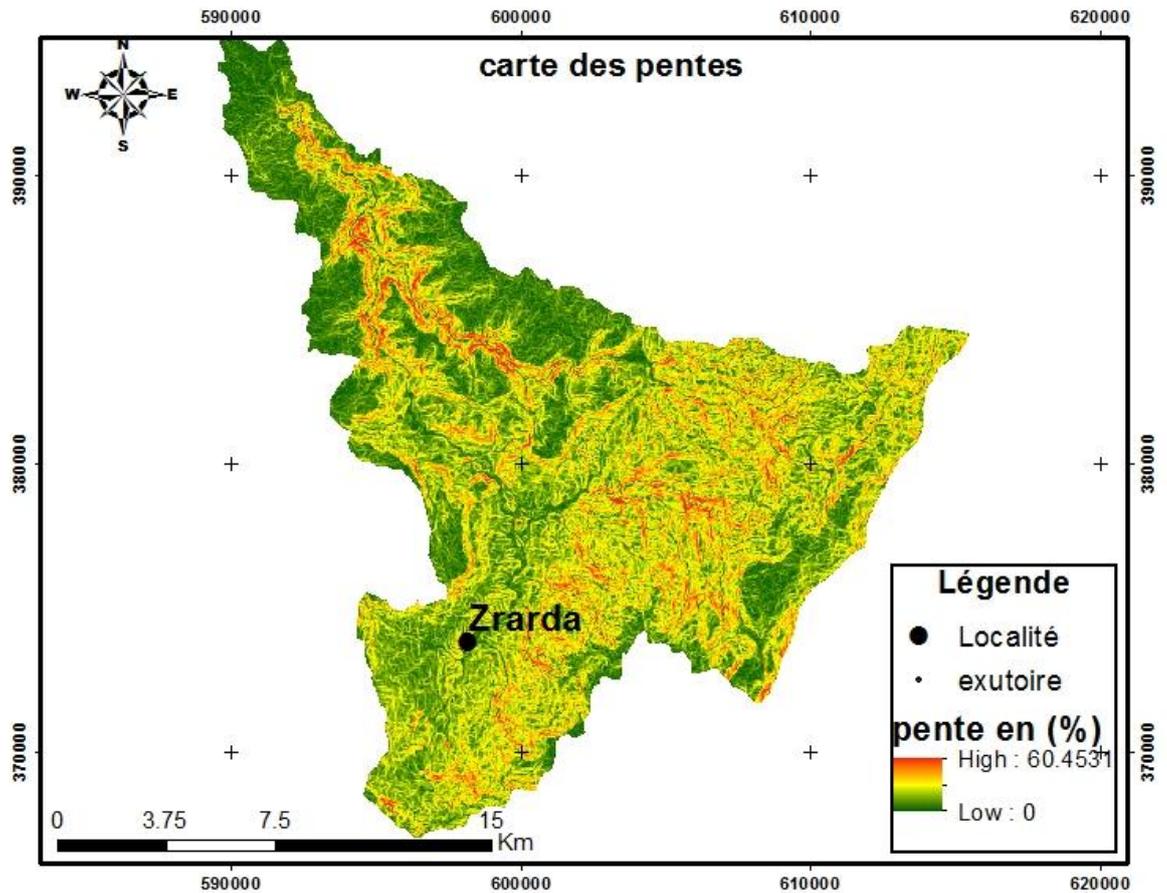


Fig.°12: Carte des pentes

La carte des pentes démontre à son tour une pente beaucoup plus forte au SW et beaucoup moins vers le NE. On reconnaît ça grâce aux couleurs décrites dans la légende

Le résultat est le suivant :

$$\text{Pente (\%)} = \frac{\text{Dénivelé (m)} \times 100}{\text{Longueur parcourue (m)}}$$

$$\text{Pente(\%)} = ((1150 - 250) / 30000) * 100 = 3\%$$



Conclusion

L'étude des paramètres physiques des bassins versants de Zerarda a permis de dégager leurs principales caractéristiques. Ces paramètres morphologiques ont été obtenus par ARC GIS sur une carte au 1/ 50000 ainsi que par calcul.

Tableau 7°: Fiche morphométrique en km

Caractéristiques	BV1	BV2
Périmètre (km)	6,59	4,43
Superficie (km ²)	2,51	1,22
Indice de compacité	1,17	1,13
Longueur du rectangle équivalent (Km)	1,76	1.11
Largeur du rectangle équivalent (km)	1,3	0,96
Altitude maximale (m)	1000	850
Altitude minimale (m)	760	700
Pente moyenne	0,1100	0,11
Longueur du réseau hydrographique (km)	2.182	1.397



Chapitre III- Etude hydrologique

Introduction

Le but de cette étude est de déterminer les temps de concentration et les débits de pointes. On se basera sur plusieurs méthodes notamment la méthode rationnelle en passant par l'ajustement de Gumbel.

1-Méthodologie de calcul

1.1-Temps de concentration

Tableau8 : Formules et légendes des différentes manières de calcul de Tc

Temps de concentration	Formule	Légende
Kirpich	$T_C = \frac{L^{0.77} * I^{-0.385}}{52}$	Tc : en minute L : en m I: en m/m
Espagnole	$T_C = 18 * L^{0.77} * I^{-0.1925}$	Tc : en minute L : en m I : en m/m
Turraza/Passini	$T_C = 60 * 0.108 * (L * A)^{1/3} * I^{-0.5}$	Tc : en minute S : en Km ² L : en Km I: en m/m
Ventura	$T_C = 76.3 * \left(\frac{A}{I}\right)^{0.5}$	Tc : en minute S : en Km ² I: en %
Giandotti	$T_C = 60 * \frac{4 * A^{1/2} + 1.5 * L}{0.8 * H^{1/2}}$	Tc : en minute S : en Km ² L : en Km H : dénivelée en m
Californienne	$T_C = 60 * 0.1452 * (L * I^{-0.5})^{0.77}$	Tc : en minute L : en m I: en m/m
Us corps	$T_C = 16.682 * (L * I^{-0.25})^{0.77}$	Tc : en minute L : en m I: en m/m
Van te Chow	$T_C = 60 * 0.123 * (L * I^{-0.5})^{0.64}$	Tc : en minute L : en m I: en m/m



1.2-Débits de pointe

Tableau 9 : Formules et légendes des différents débits de pointes.

Débits	Formule	Légende
Mallet Gautier	$Q_T = 2 \times k \times \log(1 + a \times H) \times S \times \frac{\sqrt{(1 + 4 \log T - \log S)}}{\sqrt{L}}$	<p>Q_T : Débit maximal (m³/s) pour la période de retour T. S : Surface du BV en Km². a : Coefficient de 20 à 30 (au Maroc, $a = 20$). k : Coefficient de 0.5 à 6 (au Maroc, $k = 2$) H : Hauteur moyenne annuelle des pluies (m) L : Longueur du BV en Km.</p>
Mac Math	$Q = K \times H \times (S^{0.58} \times I^{0.42})$	<p>S : Surface du BV en Km². I : Pente moyenne du BV. H : Précipitation maximale en 24 h en mm. K : Coefficient dépendant du couvert et de la topographie.</p>
Formule Rationnelle	$Q_T = \frac{C \times I(T, t_c) \times A}{3.6}$	<p>Q_T : Débit de pointe en m³/s pour la période de retour T. I : Intensité de la pluie en mm/h. T : Période de retour (ans) t_c : Temps de concentration en min A : Superficie du bassin versant en Km². C : Coefficient de Ruissellement</p>

1.3-Ajustement de Gumbel :

Elle est dite aussi loi doublement exponentielle ou loi des "valeurs extrêmes". En considérant des échantillons de taille n de variable aléatoire indépendante, et une valeur U de la variante dont la probabilité du non dépassement est $F(u)$, la probabilité pour que toutes les valeurs d'un échantillon soient inférieures à u est $[1 - (1 - F(u))^n]$.

Le modèle utilisé est le modèle fréquentiel qui est très souvent utilisé pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes est la distribution statistique de Gumbel (loi



double exponentielle ou loi de Gumbel). La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante:

$$F(x) = \exp(-\exp(-(x-a)/b))$$

Avec; la variable réduite suivante:

$$U = (x-a)/b$$

Où **a** et **b** sont les paramètres du modèle de Gumbel.

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire:

$$Y = a U + b$$

En conséquence, dès lors que les points de la série à ajuster peuvent être reportés dans un système d'axes $Y - U$, il est possible d'ajuster une droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres a et b de la loi.

2-Résultats

2.1-Temps de concentration

Tableau 10 : Temps de concentration des deux BV en min.

	Kirpich	Espagnole	Turraza	Ventura	Giandotti	Californienne	US Corps	Van te Chow
BV1	0,00025	50,202	34,439	36,447	19,127	6,79160165	46,5262639	24,6421014
BV2	0,00018	35,613	23,338	25,410	12,964	4,81787228	33,0051156	18,5240695
				Tc Moyenne				
				(mn)				
				27,272				
				19,209				



Tableau 11 : Temps de concentration en heure.

	Kirpich	Espagnole	Turraza	Ventura	Giandotti	Californienne	US Corps	Van te Chow
BV1	4,1644E-06	0,8	0,6	0,6	0,3	0,1	0,8	0,4
BV2	2,9541E-06	0,6	0,4	0,4	0,2	0,1	0,6	0,3

Tc Moyenne (h)
1
1

Vue la topographie du terrain (relief), on peut conclure que la formule d'Espagnole est la plus convenable. On remarque aussi que la formule de Kirpich et la Californienne ont une valeur très basse, cela est du aux critères de terrain avec lesquels ils sont adaptés : la formule de kirpich est utilisée dans des plaines, la formule de californienne préfère des terrain saharien.

2.2-Débits de pointe

Tableau 12 : Calcul de débits de pointe.

	Mallet Gautier				Mac Math				Formule Rationnelle			
	Q(10)	Q(20)	Q(50)	Q(100)	Q(10)	Q(20)	Q(50)	Q(100)	Q(10)	Q(20)	Q(50)	Q(100)
BV1	5,93	6,37	6,90	7,26	2,74	3,24	3,89	4,38	3,72	4,41	5,29	5,96
BV2	4,57	4,83	5,14	5,36	1,80	2,13	2,56	2,88	1,81	2,14	2,57	2,90

Tableau 13 : Moyenne des débits

	Moyenne Q(t)			
	Q(10)	Q(20)	Q(50)	Q(100)
BV1	4,13	4,67	5,36	5,87
BV2	2,72	3,03	3,43	3,71



Les données utilisées pour calculer le débit :

***Mallet Gautier**

Tableau 14 : Données de Mallet Gautier

Surface	Long
Km ²	Km
2,51	2,18
a	20
H (m)	0,64
K	1

***Mac Math**

Tableau 15 : données de Mac Math

P24h(10)	P24h(20)	P24h(50)	P24h(100)	k
115,8	137,18	164,86	185,6	0,35

Tableau 16 : répartition du coefficient de ruissellement en différent milieu

Nature de la surface	Valeur de K
Bassin versant de grandes dimensions et recouvert de végétation.	0,11
Superficies cultivées et terrains vagues des zones suburbaines.	0,22
Terrains non aménagés, non rocheux de pente moyenne, zones peu densément peuplées et faubourgs non pavés	0,35
Petites cités, terrains non aménagés, rocheux à forte pente	0,43

K sera pris égal à 0,35.

Les valeurs de P ont été prises de l'ajustement statistique des pluies maximales journalières du poste pluviométrique à Zerarda.

Pour calculer la Précipitation maximale en 24 h, on utilise l'ajustement de Gumbel ou on a attribué la relation suivante

$$P(24h)=P.MAX*1,15$$



2.2.1-La formule rationnelle

Tableau 17 :données de la formule rationnelle

P(Tc,T)(10)	P(Tc,T)(20)	P(Tc,T)(50)	P(Tc,T)(100)	c
17,77	21,06	25,31	28,49	0,3

A défaut de courbes IDF représentatives de la zone de l'étude, les paramètres a et b de Montana sont extraits de l'étude du Schéma Directeur National d'Assainissement Liquide de la ville de Taounate et sont pris égale à:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{a} &= \mathbf{6.886} \\
 \mathbf{b} &= \mathbf{0.5897}
 \end{aligned}$$

Le coefficient de ruissellement C s'obtient d'après la formule d'homogénéisation des coefficients de surfaces élémentaires relatifs aux différentes zones de chaque bassin versant :

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Où : $A_1, A_2 \dots A_n$ sont les surfaces élémentaires classifiées d'après la texture du sol et la topographie.

$C_1, C_2 \dots C_n$ sont les coefficients de ruissellement correspondants aux surfaces élémentaires. Leurs valeurs sont tirées à partir du tableau suivant :

Tableau 18 : Intervalles de coefficient de ruissellement selon la topographie , la végétation et la texture du sol.

Coefficients de ruissellement C					
		Topographie et Végétation	Texture du sol		
			Sablonneux	Argile et Silt	Argile Compacte
BOISE	Plat	Pente 0- 5%	0,10	0,30	0,40
	Valonneux	Pente 5- 10%	0,25	0,35	0,50
	Montagneux	Pente 10- 30%	0,30	0,50	0,60
SE ET FRICH	Plat	Pente 0- 5%	0,10	0,30	0,40
	Valonneux	Pente 5- 10%	0,16	0,36	0,55
	Montagneux	Pente 10- 30%	0,22	0,42	0,60
RES DRAINE	Plat	Pente 0- 5%	0,30	0,50	0,60
	Valonneux	Pente 5- 10%	0,40	0,60	0,70
	Montagneux	Pente 10- 30%	0,52	0,72	0,82

Ce coefficient a été pris égal à 0.3



Pour calculer l'intensité de pluie, on fait appel à l'ajustement de Gumbel avec la relation suivante :

$$P(Tc, T) = P(24h) * (1/24)^{0,589}$$

2.3-Ajustement de Gumbel

Tableau 19°: Les pluies maximales journalières pour différentes périodes de retour

T	F	U	P. MAX
2	0,50	0,37	52,04
5	0,80	1,50	81,31
10	0,90	2,25	100,70
20	0,95	2,97	119,29
50	0,98	3,90	143,36
100	0,99	4,60	161,39
1000	0,999	6,91	220,98
5000	0,9998	8,52	262,57
10000	0,9999	9,21	280,47

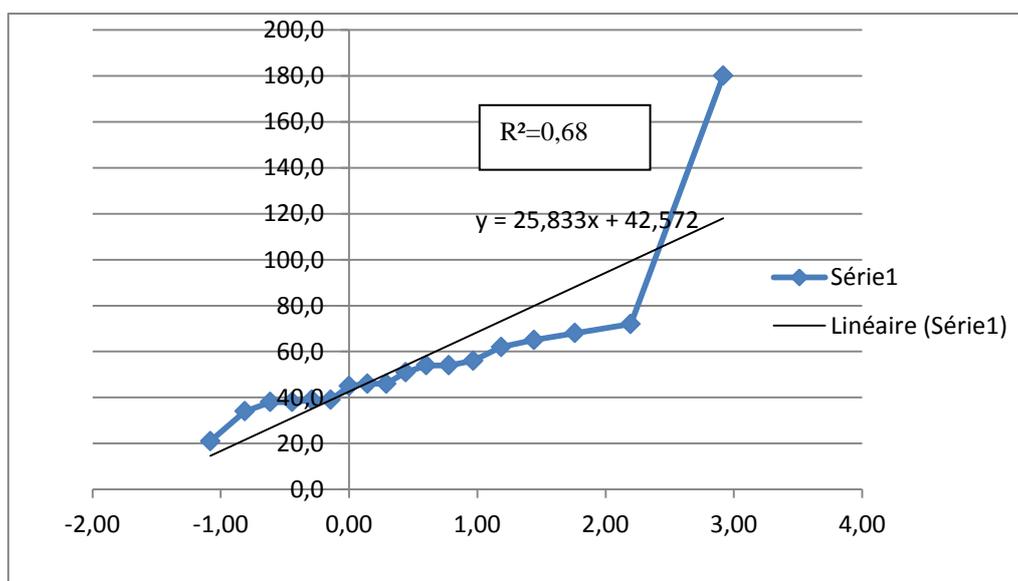


Fig.°13: Ajustement par la loi de Gumbel des Pjmax du poste Zerarda

*Coefficient de corrélation : $R^2=0,68$
 $R=0,82$



Conclusion

Le calcul effectué dans cette section va nous permettre d'avoir d'abord une idée sur les précipitations de Zerarda , mais plus important encore , de rentrer ces données dans l'HEC-RAS afin de pouvoir faire la modélisation de l'Oued et déterminer les inondations qui s'y trouvent.



Chapitre IV: Modélisation hydraulique

Introduction

L'étude hydraulique a été une partie importante du projet. Comme son nom l'indique elle a consisté à calculer les débits et les hauteurs d'eau dans la rivière. Nous avons principalement utilisé le logiciel HEC-RAS

L'étude hydraulique est destinée à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux, elle consiste à calculer les hauteurs d'eau et déterminer les zones de débordement, elle permet d'évaluer les débits et sur l'ensemble des sections d'une rivière. Elle utilise des équations d'hydraulique à surface et des modèles pour les seuils, le frottement etc Pour modéliser la zone de Zerarda, nous allons utiliser le logiciel HEC-RAS4 .1 .0.

1-Présentation du logiciel HEC-RAS

1.1- Utilisation

HEC-RAS, *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System* (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux.

Le programme a été élaboré par le ministère américain de la Défense (corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis) dans le but de gérer les rivières, les ports et autres travaux publics relevant de leur compétence, il a été largement diffusé de par le monde depuis sa publication en 1995.

Développé par l'*Hydrologic Engineering Center (HEC)* en Californie, ce système permet aux ingénieurs en hydraulique d'analyser les débits dans le lit des rivières et de déterminer les zones inondables. Il intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composants d'analyse hydraulique, de stockage de données, d'édition de rapports sous forme de tables et de graphiques.

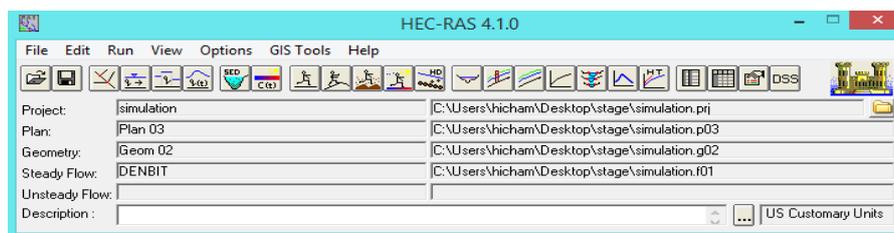


Fig.14 : Le logiciel HEC-RAS

HEC-RAS est un logiciel libre qui est dans le domaine public et est disponible en téléchargement gratuit sur le site de Hydrologic Engineering Center



1.2-Le coefficient de Manning

La formule de Manning est une formule empirique c'est l'estimation de la vitesse moyenne d'un liquide circulant dans un conduit qui ne renferme pas complètement le liquide, il permet d'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. Le coefficient de Manning (n) est défini par la formule :

$$Vitesse = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} * S^{1/2}$$

R_h : Rayon hydraulique et S : Surface

Tableau 20°: Valeurs de coefficient de Manning selon la nature du lit

Nature du lit	n
Lits naturels propres à fond lisse	0.020
Lits naturels propres à fond rugueux	0.030
Lits naturels avec végétation	0.050 à 0.100

Tableau 21°: Valeurs du coefficient de Manning

Matière	n : coefficient de manning	Matière	n : coefficient de manning
<i>Ruisseaux Naturels</i>		<i>Canaux Excavés de Terre</i>	
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
<i>Métaux</i>		<i>Plaines inondables</i>	
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
<i>Non-métaux</i>			
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			0.009-0.011



Coeff de Manning pris :0.055.

2. Méthodologie de la réalisation du modèle hydraulique d'un tronçon de la rivière de zerarda

2.1- La méthodologie du travail

En temps normal, la modélisation se fait tout principalement par un levé topographique ou on peut déterminer les coordonnées exactes de la zone .

Pour notre cas la modélisation a été faite manuellement en entrant les coordonnées X et Y de la rivière et en identifiant les côtés extrêmes de nos cross sections, et en relevant l'élévation de chaque point de ce dernier

Avant d'entamer HEC RaAS il faut tout d'abord créer les cross sections par ARC GIS , HECGEO RAS.

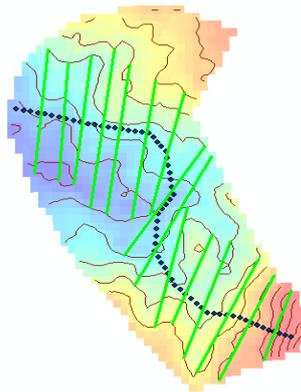


Fig.15 :carte du troncon

simulé

2.2- Les données d'entrée

Etapas :

Données géographique

Saisir les données

rivière

Cross sections

Placer le banks

Débits de pointe pour une période de retour
allant de 10 à 100 ans

Définir le sens découlement, et le coefficient de manning

Simulation
numérique

Résultats

2.3-Résultats:

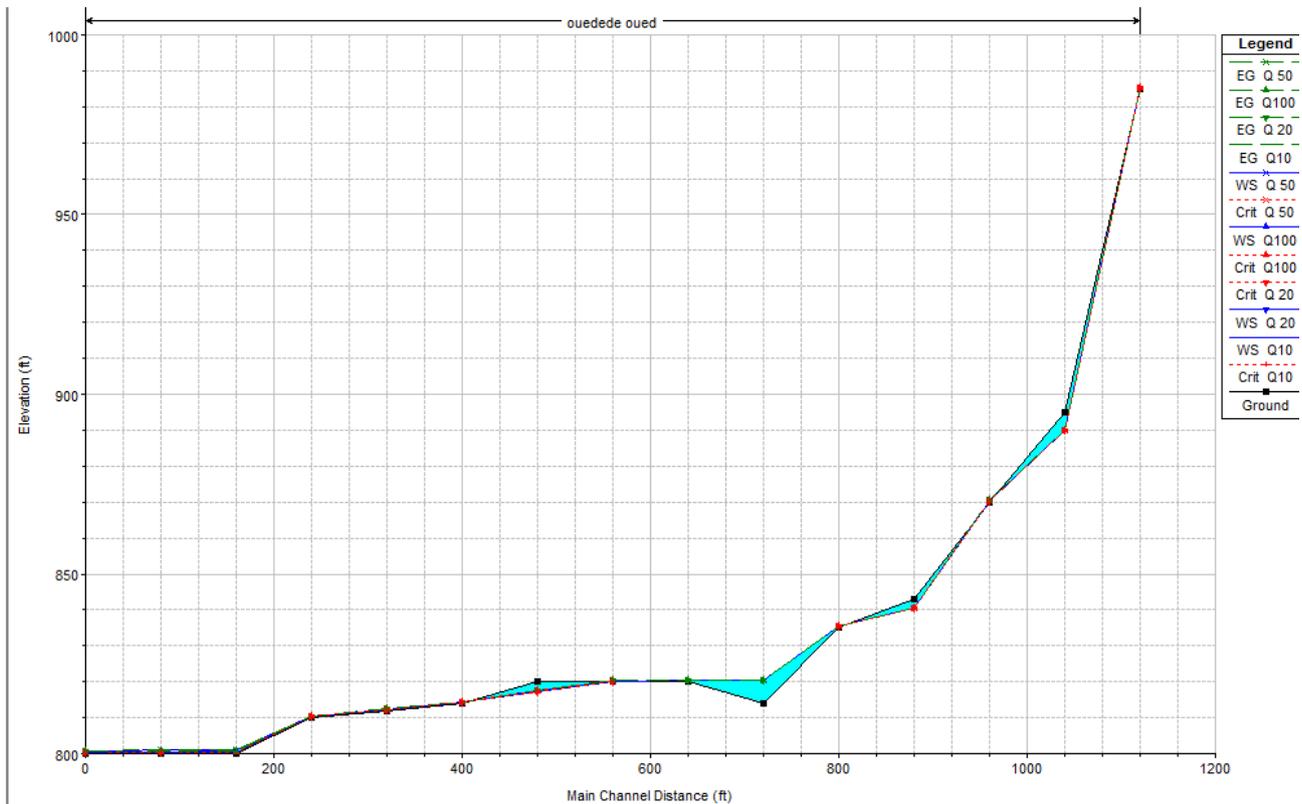


Fig16 :Vue en profil du tronçon simulé

simulation Plan: Plan 03 04/06/2016

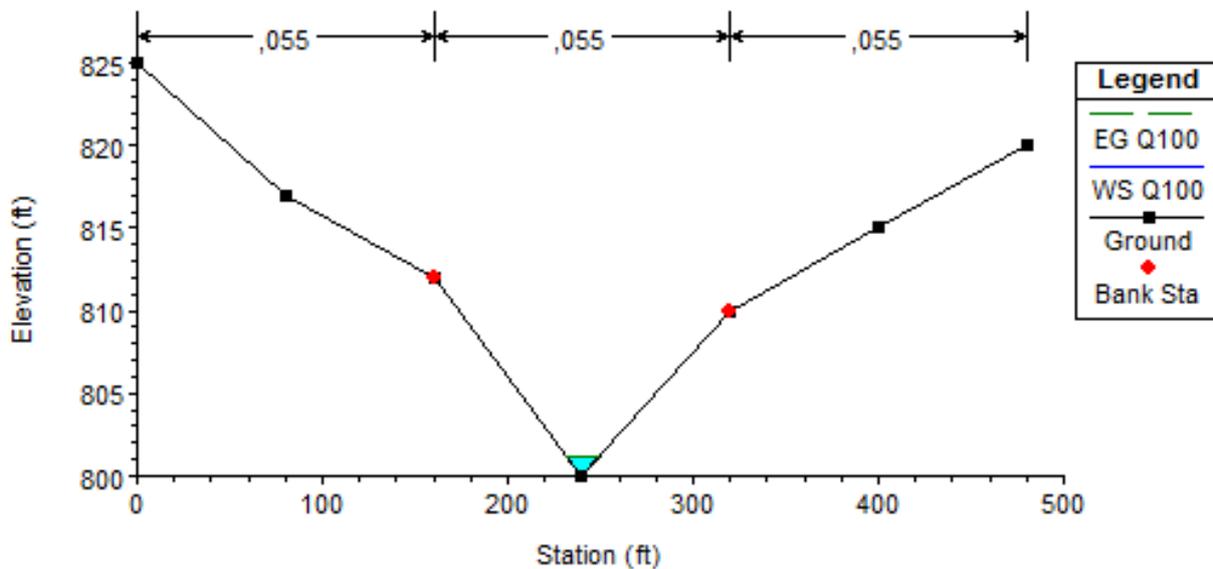


Fig17 :Vue transversale d'un exemple d'un tronçon

HEC-RAS a permis de fournir une représentation de la variance de la hauteur d'eau en (m) en fonction de débit en m^3/s .



simulation Plan: Plan U3 04/06/2016

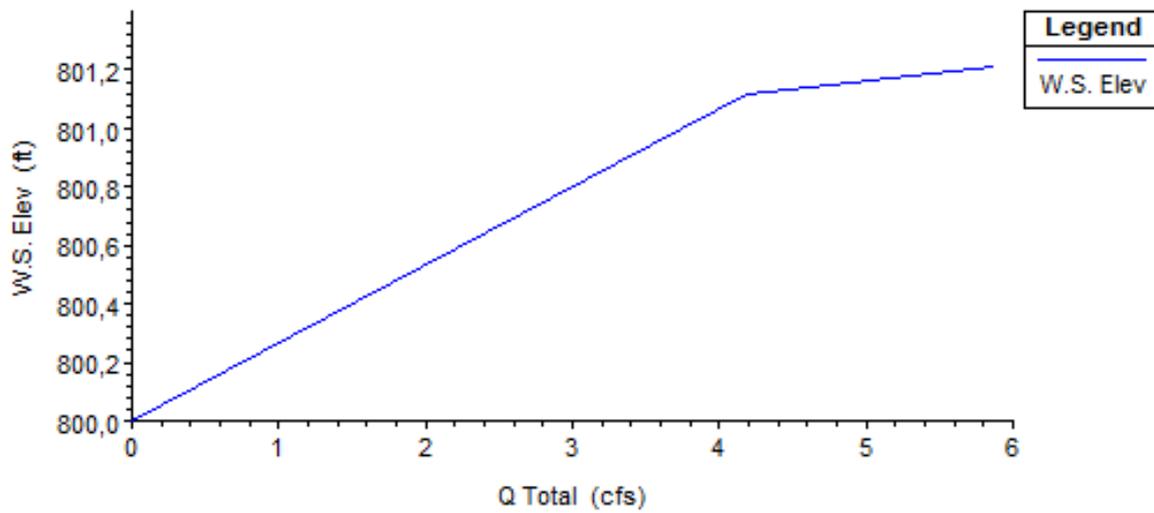


Fig18 : La courbe de tarage du cours d'eau simulé.

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

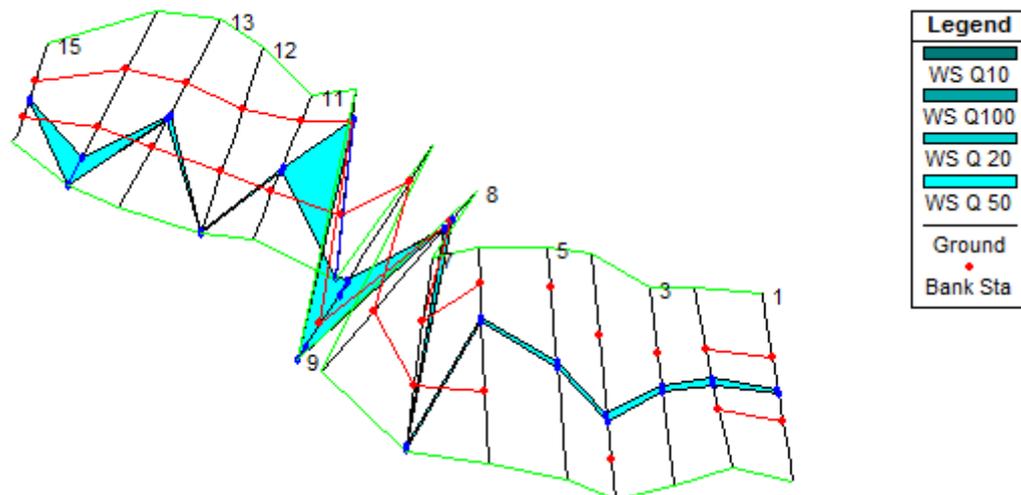


Fig19 : Vue en 3D de la zone débordée

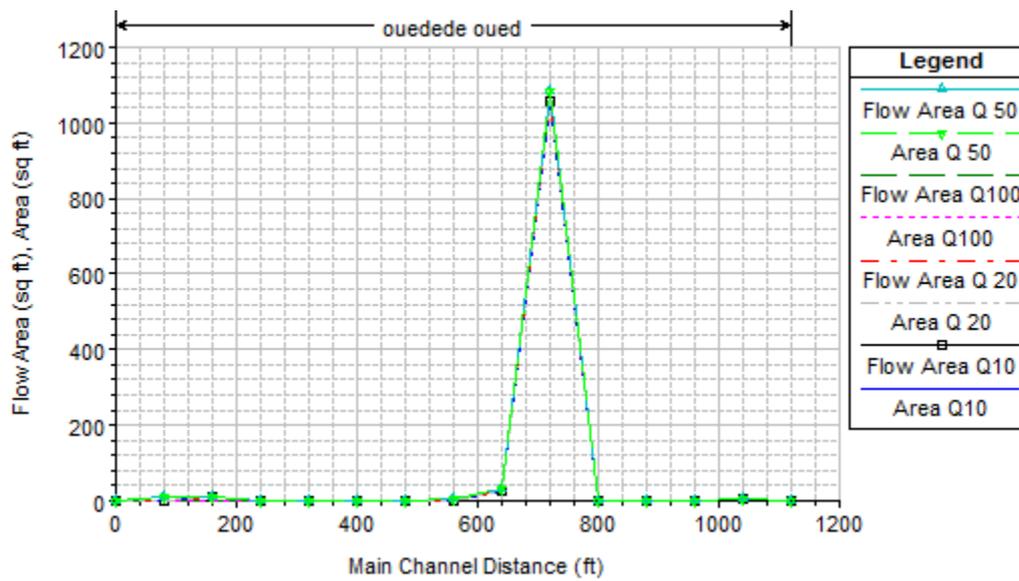


Fig.20 : Courbe de zone d'écoulement

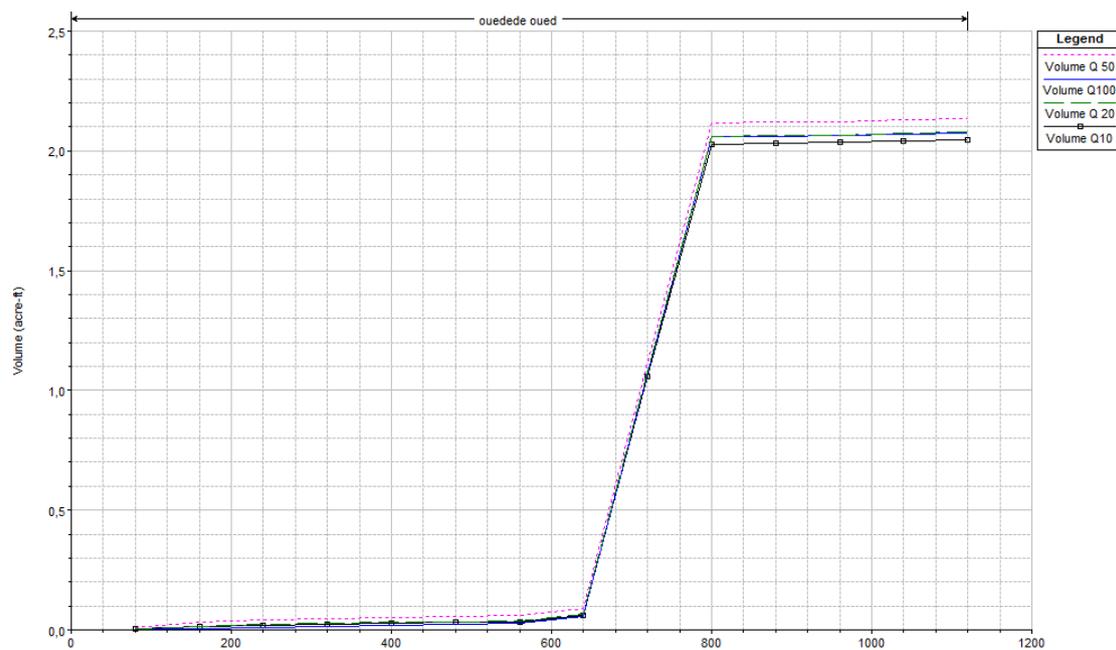


Fig.21 : courbe du volume d'eau

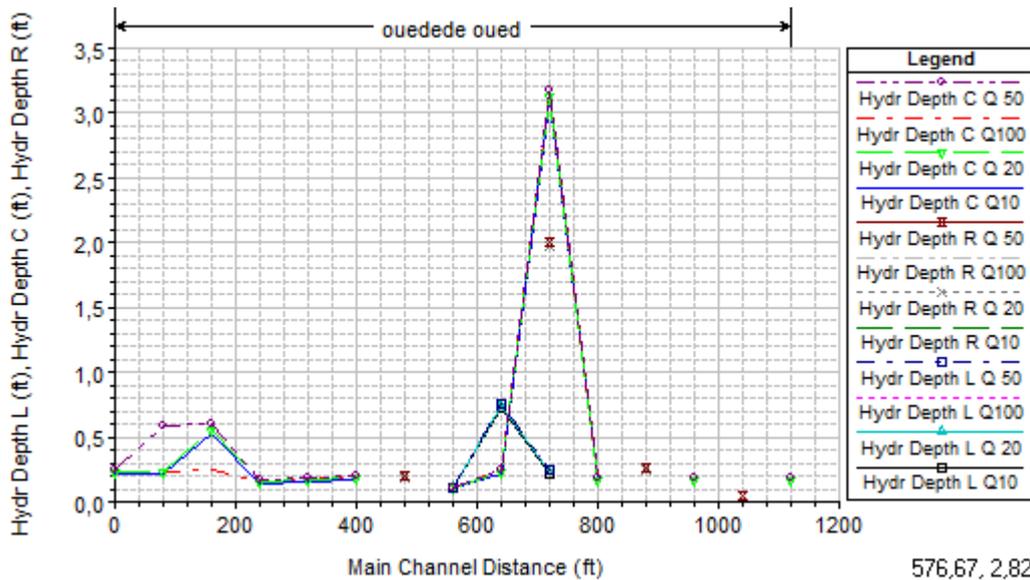


Fig.22 : Courbe de la profondeur du tronçon.

2.4- Détermination des zones inondables dans le tronçon modélisé

Notre profil est divisé en 15 cross sections, et après avoir diagnostiqué la courbe du profil du Oued, on remarque au niveau de l'amont, que le taux d'eau est inférieur au niveau de l'aval, et cela est dû à l'augmentation d'altitude en arrivant au point 800m, ce qui fait que tout le ruissellement d'eau se concentre sur la dixième cross section, et cela est représenté sur la figure ci-dessous :

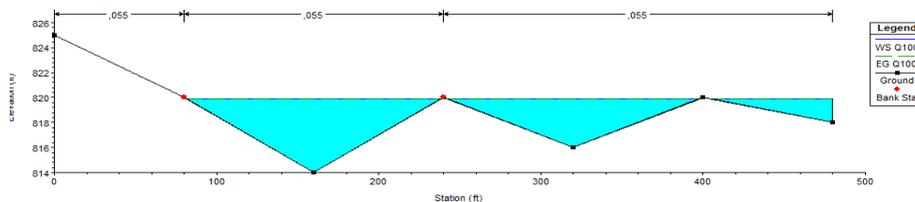


Fig.23 : Vue transversal de la zone inondée.

2.5-Solution

Après avoir diagnostiqué l'état du tronçon, on déduit que cette partie de la rivière est inondable.

La solution est d'installer des matériaux relativement récents qui laissent filtrer l'eau dans le sol.

Des ingénieurs ont mis au point un nouveau bitume révolutionnaire, capable d'absorber de grandes quantités d'eau et qui pourrait permettre d'éviter des inondations. Une innovation surprenante que SooCurious vous présente. Le concept de béton imperméable n'est pas nouveau. Il existait déjà depuis environ 60 ans, mais restait peu efficace en comparaison du Topmix, ce nouveau matériau révolutionnaire. Jusqu'alors, ce type de revêtement était posé sous un dallage classique et laissait passer l'eau, permettant une plus grande absorption.

Mais le nouveau bitume, développé par l'entreprise **Lafarge**, est plus compact que son ancêtre. Il peut à ce titre être utilisé comme surface supérieure, grâce à sa résistance, qui lui permet

de supporter une utilisation automobile. Les usages possibles sont dès lors multiples et le nouveau béton devrait être adopté dans les parkings ou les allées, lieux régulièrement soumis à d'importantes quantités d'eau qui doivent être évacuées.

Précisément, le **Topmix** fonctionne avec une couche supérieure de béton perméable qui évacue l'eau à travers une matrice de cailloux, eux-mêmes posés sur une base de gravats. Grâce à sa composition, le dispositif peut ainsi drainer jusqu'à 4000 litres d'eau en un temps record d'une minute.

Le Topmix est fait de trois strates superposées :



Fig.24 : Image d'un Topmix

Mais autant que sa faculté à drainer l'eau et à éviter les inondations, l'intérêt du **Topmix** est aussi de pouvoir réduire la température des routes. En période de fortes chaleurs, l'eau stockée sous la surface permet ainsi de refroidir l'asphalte.

Conclusion

On a réalisé la modélisation hydraulique du tronçon de Zerarda, ou on a pu ressortir les hauteurs d'eau et déterminer les zones de débordement en utilisant le Système d'Information géographique « SIG » et le logiciel de modélisation de rivières HEC-RAS .



CONCLUSION GENERALE

Le bassin de Zerarda est un bassin de type endoreique c'est-à-dire retenant les eaux (superficielles ou non) dans une dépression fermée. Tout apport hydrique (pluie ou autre forme de précipitations) ne peut quitter ce bassin que par évaporation ou infiltration.

Faisant partie de Ribat Al Khayr , ce bassin est d'une superficie de 4km² et reçoit environ 640mm de pluie annuelle. Dotée d'un climat semi aride méditerranéen , l'évapotranspiration dépend des mois de l'année : forte en Juillet et faible en Novembre.

Zerarda s'étend sur des calcaires, argiles et marnes , ce qui fait que le substratum de notre bassin a une faible perméabilité.

Par le biais des calculs de débits de pointe , temps de concentration , ainsi que l'application de la loi de Gumbel, nous avons pu déterminer à l'aide d'HEC-Ras tous les endroits susceptibles de se faire inonder en cas de crue et ce en passant par la simulation et la modélisation d'un tronçon de l'Oued.

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



Références bibliographiques

AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DE SEBOU (2005): Etude de protection de Taza, Diagnostic de la situation actuelle, Mars 2005,

AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DE SEBOU (2005): Etude de protection du centre Bou'arous.

THESE DE SEBAAOUI A.(1998) : Structure et évolution alpine du moyen atlas septentrional sur les transversales tleta du Zerarda Merhaoua, thèse de Doctorat d'état , Université Med V , Rabat.

WEBOGRAPHIE.