



Licence Sciences et Techniques : Eau et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

ETUDE ET MODELISATION DES CRUES DU CENTRE BOUADEL, PROVINCE TAOUNATE.

Présenté par:

BENNANI Nada et CHELLOUH Houda.

Encadré par:

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

Soutenu Le 13 Juin 2014 devant le jury composé de:

- Mr. LAHRACH Abderrahim.
- Mr. BENABDELHADI Mohamed.
- Mr.MIDAOUI Abdelbasset.
- Mr BOURAK Abdellah.
- Mr CHAOUNI Abdel Ali.



Stage effectué à : ABHS.

Faculté des Sciences et Techniques - Fès

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ 212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14

Résumé

Le bassin versant d'Oued Bouadel s'écoule à travers le centre rural Bouadel qui se situe au sud de la commune Bouadel et au Sud-est de Tounat. Il en occupe 11,034 km² avec des sous bassins de superficie 1,13 km², 1,5 Km² et 2,21 km². La totalité de ces surfaces ont une altitude de 551,26 m.

Ce bassin reçoit en moyenne 761,9 mm de pluie par an.

La géologie de ce bassin est assez diversifiée on trouve des structures massives pré-rifain caractérisé par la présence des marnes avec de bancs de grès et de calcaire blanc, les marnes détritiques avec des microconglomérats marneux, les marnes avec des bancs calcaires et marno-calcaires.

La formation pédologique est aussi variée que la morphologie et la géologie du terrain; on peut trouver de grands types de sols dont les vertisols riche en argile du type 2/1 c'est-à-dire contenant une couche d'oxyde d'aluminium enserrée par deux couches de tétraèdres de silice ayant une meilleure valeur agricole.

Outre ces paramètres climatiques, géologiques, pédologiques et géomorphologiques, les caractéristiques physiographiques du bassin versant de Bouadel conditionnent l'écoulement de la rivière.

La maîtrise et l'atténuation des conséquences des inondations provoquées par cet Oued nécessitent un suivi hydrologique continu .Ceci devra obligatoirement passer par la mesure et l'analyse des variables hydro-pluviométriques qui gouverne tout le processus de genèse des crues. Cela nécessite, en plus d'un équipement expérimental consistant, des outils informatiques adaptés pour l'analyse, le traitement des données et l'élaboration de consignes d'aide à la prévision hydrologique et la gestion de risque d'inondation.

En se basant sur les fonctionnalités de modélisation qu'offre le logiciel HEC-RAS nous avons réalisé une modélisation de l'écoulement du grand Bassin Bouadel. Cette modélisation permis d'observer et délimiter les zones inondables et prévoir des aménagements pour minimiser les dégâts causés par ces crues.

Remerciements :

Au terme de ce sujet de fin d'études réalisé à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur Mr. Abderrahim LAHRACH , professeur à la faculté des Science et Technique de Fès et Mr Abdellah BOURAK le chef du service de Suivi des Ressources en Eau au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou, qui , grâce à leur disponibilité , aide et rigoureux conseils, nous avons pu mener à bien ce projet.

Nous remercions également aux membres de jury pour avoir accepté de juger ce travail.

Nous remercions également notre famille qui nous a soutenu tout au long de mon cursus, et à tous ceux qui nous aidait , de près ou de loin, à accomplir ce projet, et plus précisément Mr El Aroussi Omar, doctorant à la faculté des Sciences et Technique de Fès, Mlle. Lahsaini Meriam , doctorante à la faculté des Sciences et Techniques de Fès .

Sommaire :

Résumé	2
Remerciements	3
Liste des figures... ..	4
Liste des tableaux	5
Introduction générale.....	6
Présentation de l'organisme d'accueil	7
1)Création.....	11
2) Missions.....	11
3)Organisme structurel de l'ABHS.....	12
Chapitre I : Présentation général de la commune.....	13
1)Cadre naturel.....	14
2)Climat.....	15
3)Températures	15
4)REGIME DES VENTS.	15
5)EVAPORATION.....	15
6)Géologie.....	16
7) Présentation générale du centre	20
Chapitre II: Caractéristiques physiographique du bassin versant Bouadel:.....	21
1. Caractéristiques morpho-métriques.	24
2. Surface, périmètre et Talweg principal.....	25
3. Caractéristiques des altitudes (Hypsométrie).	27
4. Les indices de pentes.....	32
5.Caractéristiques du réseau hydrographique.	33
6. Conclusion.....	34
Chapitre 3 : Etude hydrologique	35
1) Introduction	36
2) Caractérisation du bassin versant	38

3) Calcul de temps de concentration.....	39
4) Calcul de débit de pointe.....	48
Chapitre IV : Modélisation hydraulique du tronçon d'oued Bouadel.	49
1) Géométrie de profils en travers :.....	49
2) L'interpolation entre les profils transversaux :.....	50
2) Visualisation en trois dimensions du tronçon modélisé	50
3) Vitesse d'écoulement	52
4) Restitution de la courbe de tarage	53
Conclusion générale.....	54
Reference bibliographique.....	55
Webographie.....	55

Liste des figures

Fig1 : Carte de situation géographique de la commune.....	14
Fig 2 : Répartition mensuelle de la pluie annuelle moyenne à la station d'Ain Aicha...	15
Fig3 : Projection de la population de la commune de Bouadel.....	17
Fig 4 : Mode d'évacuation des eaux usées dans la commune de Bouadel.....	17
Fig5 : carte du potentiel hydrographique de la commune.....	18
Fig6 : Potentiel hydrographique de la commune.....	19
Fig7 : le centre Bouadel étudiés.....	20
Fig8 : Carte d'orientation des bassins versant de Bouadel.....	21
Fig9 : Plan de restitution du centre Bouadel.....	22
Fig 13 :Le rectangle équivalent du petit bassin versant 4.....	25
Fig14 : Le Modèle numérique du terrain (MNT) du bassin versant Bouadel.....	27
Fig17 : La courbe hypsométrique de petit bassin versant 1.....	29
Fig16 : La courbe hypsométrique du grand bassin versant de Bouadel.....	29
Fig18 : La courbe hypsométrique du petit bassin versant 2.....	30
Fig19 : La courbe hypsométrique du petit bassin versant 3.....	31
Fig20 : Carte de pente des bassins versants de Bouadel.....	33
Fig21 : Carte du réseau hydrographique des bassins versants de Bouadel.....	34
Fig22 : Résultat d'interpolation entre les profils.....	50
Fig23 : Variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire.....	51
Fig24 : Courbe de tarage obtenu à partir de HEC-RAS.....	52
Fig. 25 : Vue du tronçon modélisé en 3D.....	53
Fig26 : Profil en travers d'une section du bassin versant Bouadel (partie aval).....	54
Fig27 : Profil en travers d'une section du bassin versant Bouadel (partie intermédiaire).....	54
Fig28 : Profil en travers d'une section du bassin versant Bouadel (partie amont).....	54

Liste des tableaux

Tab.1 : statistiques de la population (RGPH, 2004)	16
Tab2 : Surface des bassins versants de Bouadel	23
Tab3 : L'indice de compacité des bassins versants de bouadel.....	24
Tab4 : la Longueur et la largeur du rectangle équivalent des bassins versants de Bouadel..	25.
Tab5 : La surface cumulée en fonction de l'altitude du grand bassin versant.....	25
Tab6 : La surface cumulée en fonction de l'altitude du petit bassin versant 1.....	29
Tab7 : La surface cumulée en fonction de l'altitude du petit bassin versant 2.....	30
Tab8 : La surface cumulée en fonction de l'altitude du petit bassin versant 3.....	30
Tab9 : Les altitudes maximales et minimales des bassins versants de Bouadel.....	31
Ta10:Les altitudes moyennes des bassins versants de Bouadel.....	32
Tab11 : Pente moyenne des Bassins versants Bouadel.....	32
Tab12 : Indice de pente global du bassin versant Bouadel.....	32
Tab13 : Densité de drainage pour les bassins versants.....	34
Tab14 : fiche mopho-métrique des bassins versants de bouadel.....	35
Tab15 : Caractéristique des bassins versants de Bouadel.....	36
Tab16 :Temps de concentration des bassins de Bouadel.....	38
Tab17 : Temps de concentration des bassins de Bouadel.....	39
Tab18 : Temps de concentration des bassins de Bouadel.....	40
Tab19 : Temps de concentration des bassins de Bouadel.....	40
Tab20 : Temps de concentration des bassins de Bouadel.....	41
Tab21 :Temps de concentration des bassins Bouadel.....	41
Tab22 : Temps de concentration des bassins Bouadel.....	42

Tab23 : Le temps de concentration des bassins versant de Bouadel en minutes.....	42
Tab24 : Les indices de montana de Taounat.....	44
Tab25 : Débit de pointe décennal en m3/s.....	44
Tab26 : Débit de pointe cinquantenier en m3/s.....	44
Tab27 : Débit de pointe centennal en m3/s.....	45
Tab28 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 10ans.....	45
Tab29 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 50ans.....	46
Tab30 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 50ans.....	46
Tab31 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 10ans.....	46
Tab32 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 50ans.....	47
Tab33: Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 100ans.....	49
Tab34 : Les coefficients de Montanna de Tounat.....	51

Introduction générale

Les inondations représentent un risque naturel qui peut causer des pertes en vies humaines, des dégâts matériels et la dégradation de l'environnement. A l'échelle du bassin méditerranéen, ce risque vient en deuxième rang derrière le risque sismique, mais il occupe en revanche le premier rang sur le plan de fréquences d'occurrences.

La modélisation mathématique est un outil scientifique parmi d'autres, qui est de 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.

Notre étude, vise à observer les zones inondables du centre Bouadel qui se situe dans la province de Taounat et qui est exposé à des inondations provoqués par l'oued Bouadel, par l'utilisation combine du logiciel HEC-RAS et l'outil HEC-GEORAS ce qui permettra de proposer des aménagements de protection contre ce risque le long des cours d'eau qui traversent ce centre.

Le document est réparti en 5 chapitres. Il commence par des diagnostics de la région, suivi de 2 chapitres qui traitent les caractéristiques géographiques, agro-pédo-géologiques et climatiques de la commune de Bouadel et les paramètres géologiques, physiographiques et climatiques du bassin versant d'Oued Bouadel.

Problématique :

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéresserons aux Risques d'inondations dans les bassins versants du centre Bouadel.

Ce centre est exposé au risque d'inondations provoquées par les crues générées par un ensemble de châabats.

L'objectif de cette étude est d'identifier les zones à risque d'inondations dues aux crues des cours traversant le centre BOUADEL, par l'utilisation combinée du logiciel HEC-RAS et l'outil HEC-GEORAS ce qui permettra de proposer des schémas d'aménagement nécessaires pour la protection de ces zones, en prenant en ligne de compte l'état d'urbanisation actuel et futur des localités de protection contre ce risque le long des cours d'eau qui traversent ce centre.

Le présent rapport passe par plusieurs étapes :

- Elaboration d'un diagnostic de la zone d'étude Bouadel.
- Détermination des caractéristiques physiographiques des bassins versant du centre.
- Etablir une étude hydrologique en vue d'estimer les débits des crues générées par les cours d'eau qui convergent vers la zone du projet
- Etablir une étude hydraulique pour l'identification des zones à risques d'inondations dues aux crues des cours d'eau traversant le centre

Présentation de l'organisme d'accueil :

I- L'Agence du bassin Hydraulique de Sebou: Création et Missions:

1-1) Création:

Instaurée par le décret 2.00.477 du 14 Novembre 2000, pris en application de l'article 20 de la loi 10-95 sur l'eau, l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou est un établissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière.

L'Agence de Bassin gère les ressources en eau d'un bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau en veillant à la protection du domaine public hydraulique dans le but d'un développement durable. L'Agence est administrée par un Conseil d'Administration présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau et dans lequel sont représentés tous les acteurs intervenant dans le domaine de l'eau au niveau du bassin hydraulique.

L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou veille à assurer un service de l'eau dans les conditions de qualité et de proximité requises par l'utilisateur notamment à travers :

- La recherche et le dégagement de nouvelles ressources ;
- La garantie de l'allocation des ressources en eau ;
- La prévention contre la pénurie et l'atténuation des effets de la sécheresse ;
- Le contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques et leur maintenance;
- L'assistance technique et l'aide financière aux usagers ;
- La participation à la protection de la population et des biens contre les inondations
- L'information continue des usagers et des acteurs de l'eau

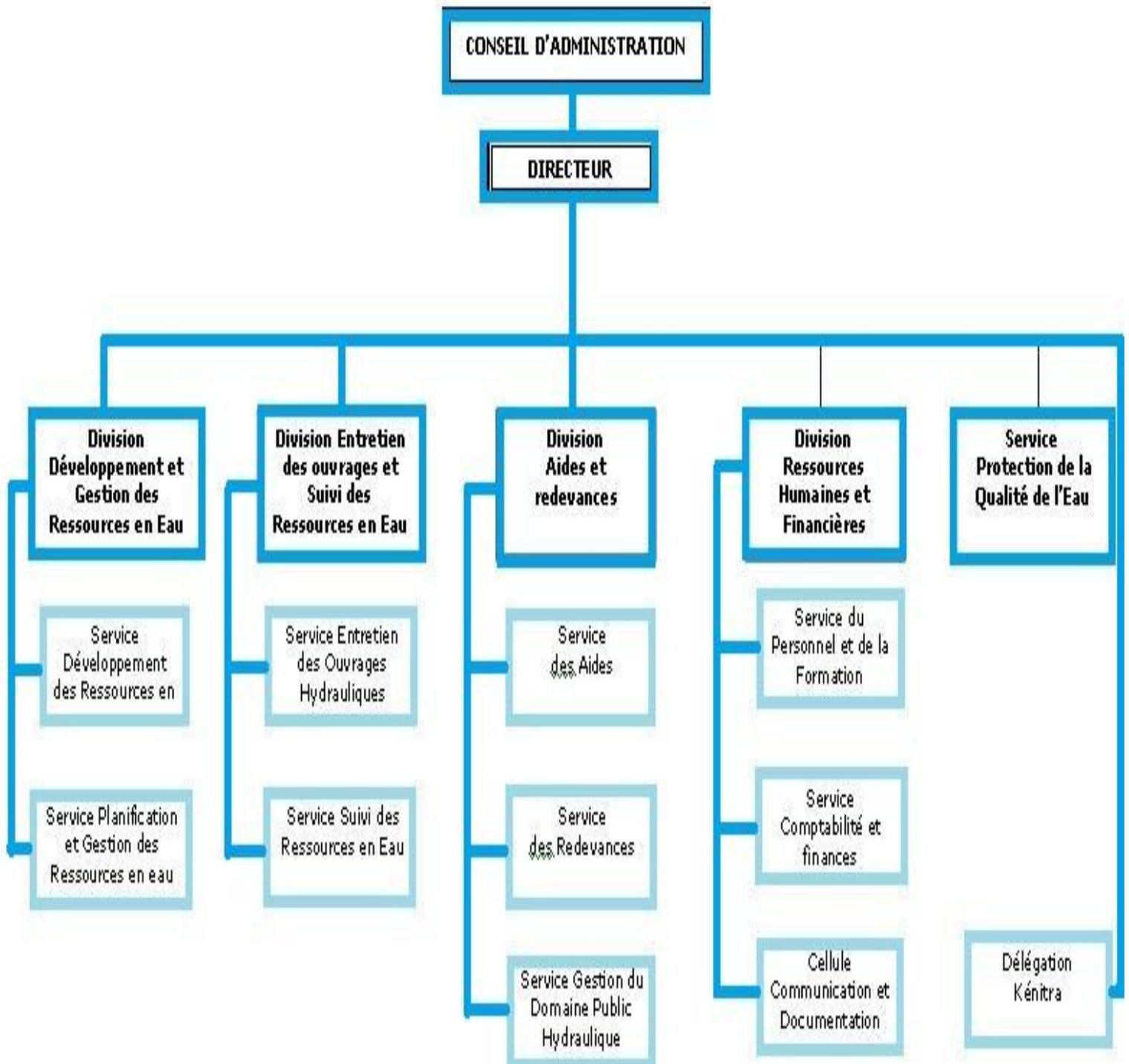
1-2) Missions:

- Organise le développement des Ressources en Eau.
- Veille à la sécurité de la ressource et du patrimoine à travers
- Est au service des tiers avec notamment

1-3) Organisme structurel de l'ABHS:

L'organigramme de l'Agence du Bassin hydraulique du Sebou se compose de quatre divisions.

AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU SEBOU



Chapitre I : Présentation général de la commune:

Province	Taounate	
Cercle	Taounate	
Commune	Bouadel	
Population (habitants)	21453	
Taux d'accroissement (en %)	0.2	
Superficie (en km²)	46	
Précipitations Moyennes Annuelles (mm)	700	
Ressources en eau	Oueds	Ouergha
	Nappes	-
	Sources	1
	Barrages	-
	Lacs	-
Agriculture	SAU (ha)	1867
	SA Irriguée (ha)	400

Fiche signalétique de la commune

Cadre naturel :

Commune : Bouadel

Cercle : Taounate

Province : Taounate

Bassin : Sebou.

Superficie : 46 Km².

1-1) Limites géographiques :

- La commune rurale de Bouhouda au Nord.
- La commune rurale de Rghioua à l'Ouest.
- La commune rurale de Ain Maatouf au Sud.
- La commune rurale de Ain Mediouna à l'Est.

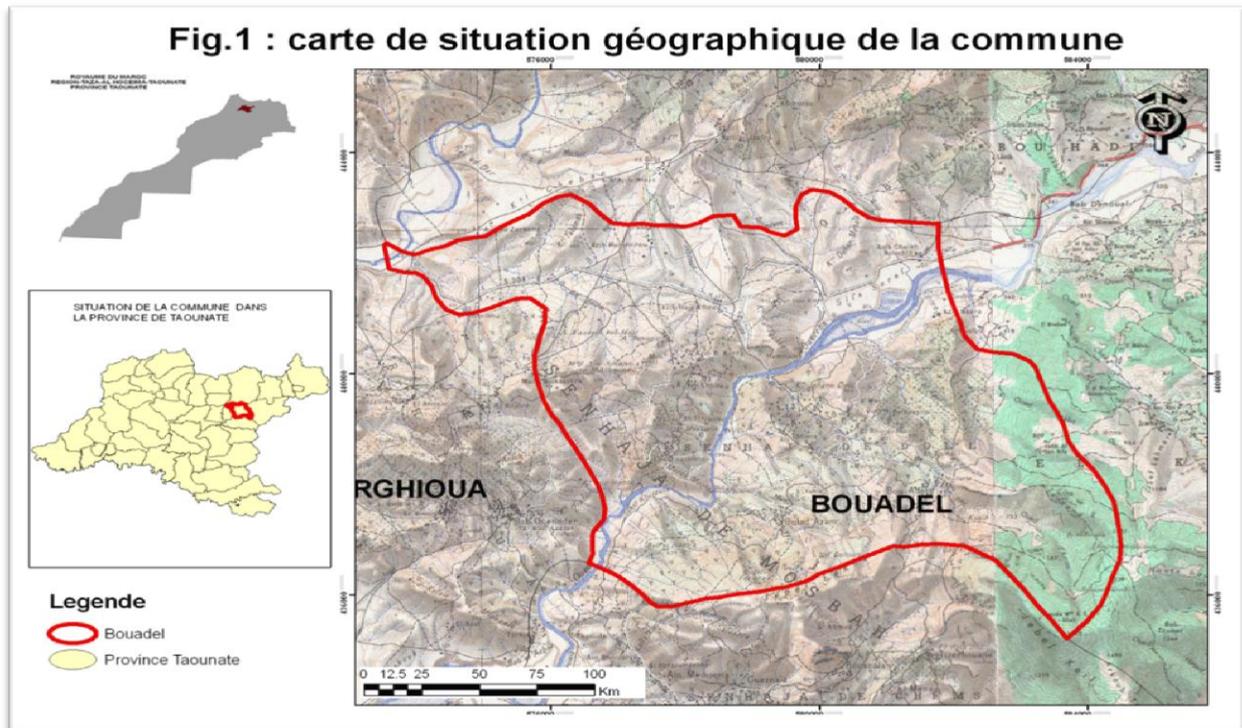


Fig1 : Carte de situation géographique de la commune.

1-2) Climat :

PRECIPITATIONS :

La distribution saisonnière des précipitations dans la station de Tissaest marquée par un maximum très accentué en novembre-décembre-janvier; les mois février et mars marquent un palier un peu moins abondant ; les mois juin-juillet-août et septembre sont des mois très secs, le minimum se plaçant d'une manière générale en juillet.

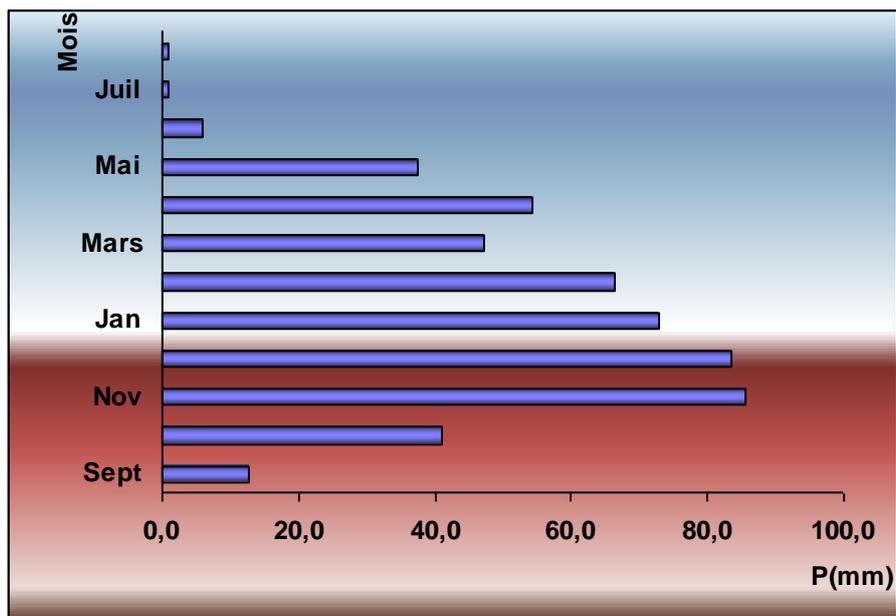


Fig 2 : Répartition mensuelle de la pluie annuelle moyenne à la station d'Ain Aicha

TEMPERATURES :

L'amplitude thermique extrême moyenne se situe dans toute la zone pré-rifaine entre 30 et 32°5 ce qui correspond à un climat semi-continentale.

REGIME DES VENTS :

Les vents dominants tout au long de l'année sont des vents d'Est.

EVAPORATION :

Quant à l'évaporation annuelle, elle vaut en moyenne 990 mm, avec des extrêmes mensuels de 24 mm en Décembre et 180 mm en Août.

1-3) Géologie

La commune comprend des zones à structure morphologique instable du domaine pré-Rifain, Ce domaine de formation marneuse est très exposé à l'érosion.

La géologie de la commune est assez diversifiée, on trouve :

- Les structures massives marneuses du domaine pré-rifain : les marnes avec de bancs de grès et de calcaire blanc; les grés conglomératiques avec des calcaires blancs; les marnes détritiques avec des microconglomérats marneux, les marnes avec des bancs calcaires et marno-calcaires.
- les formations épaisses du quaternaire dans les vallées, plateaux et plaines.

La formation pédologique est aussi variée que la morphologie et la géologie du terrain; on peut trouver de grands types de sols dont les vertisols et sols vertiques (tirs) ayant une meilleure valeur agricole.

2) Population :

la population de la commune compte 13 691 habitants selon (RGPH, 2004).

Le tableau suivant illustre les résultats du recensement de 2004.

	1994		2004		TA
	Total	Ménages	Total	Ménages	
Population	13393	2116	13691	2377	0.2

TA : taux d'accroissement interannuel

Tab.1 : statistiques de la population (RGPH, 2004)

- Nombre de foyers : 2377 foyers.
- La densité est de l'ordre d'habitants au 85.91 Km².
- Le taux de croissance de la population est de 0.2%.
- Le taux d'activité de la population :
- Les prévisions de la population de la commune :

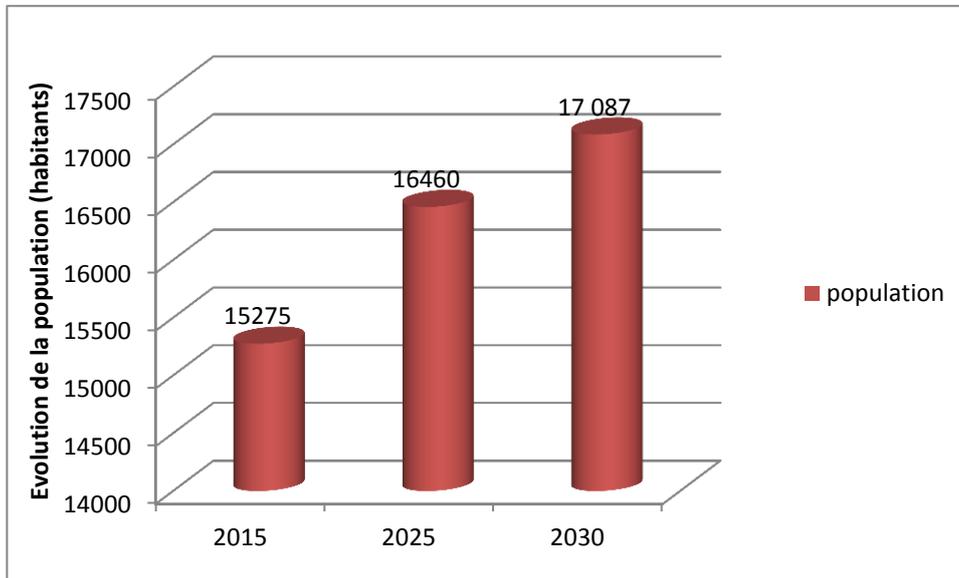


Fig3 : Projection de la population de la commune de Bouadel

1) Infrastructures de base

3-1) Assainissement

Le mode d'évacuation des eaux usées dans la commune est comme suit:

- 1,3 % de la population est lié au réseau public.
- 49,8 % de la population utilise les fosses septiques ;
- 46,5 % de la population utilise les autres modes (puits perdus, jetée extérieur).

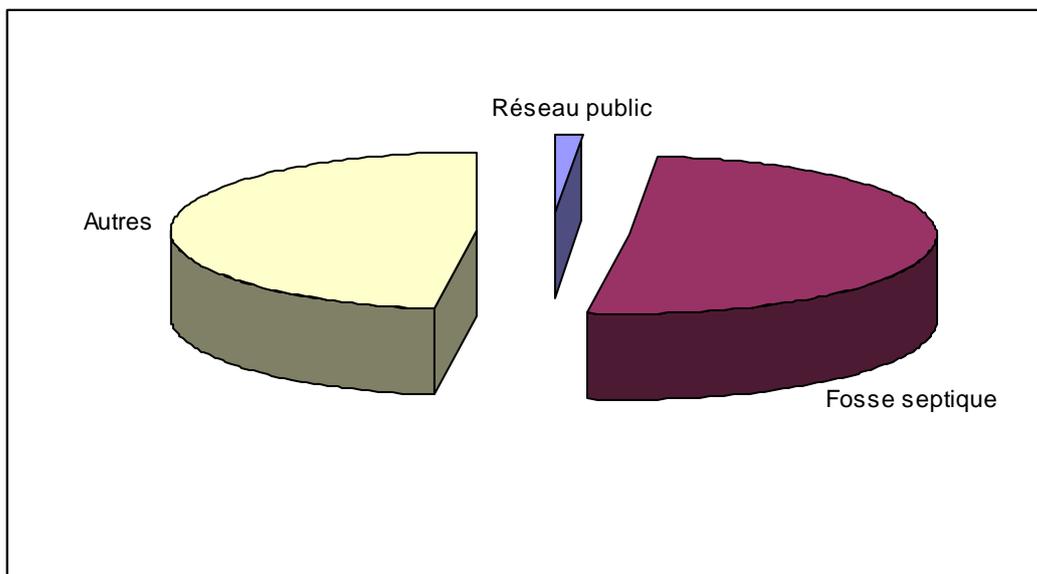


Fig 4 : Mode d'évacuation des eaux usées dans la commune de Bouadel

2) Potentialités en ressources en eau :

5-1) Ressources en eau de surface :

➤ *Oueds :*

- *Oued Ouergha*

<i>Oued</i>	<i>Station de référence</i>	<i>Apports (Mm3/an)</i>
<i>Ouergha</i>	<i>Ourtzagh</i>	<i>1258</i>

Fig.8 : carte du potentiel hydrographique de la commune

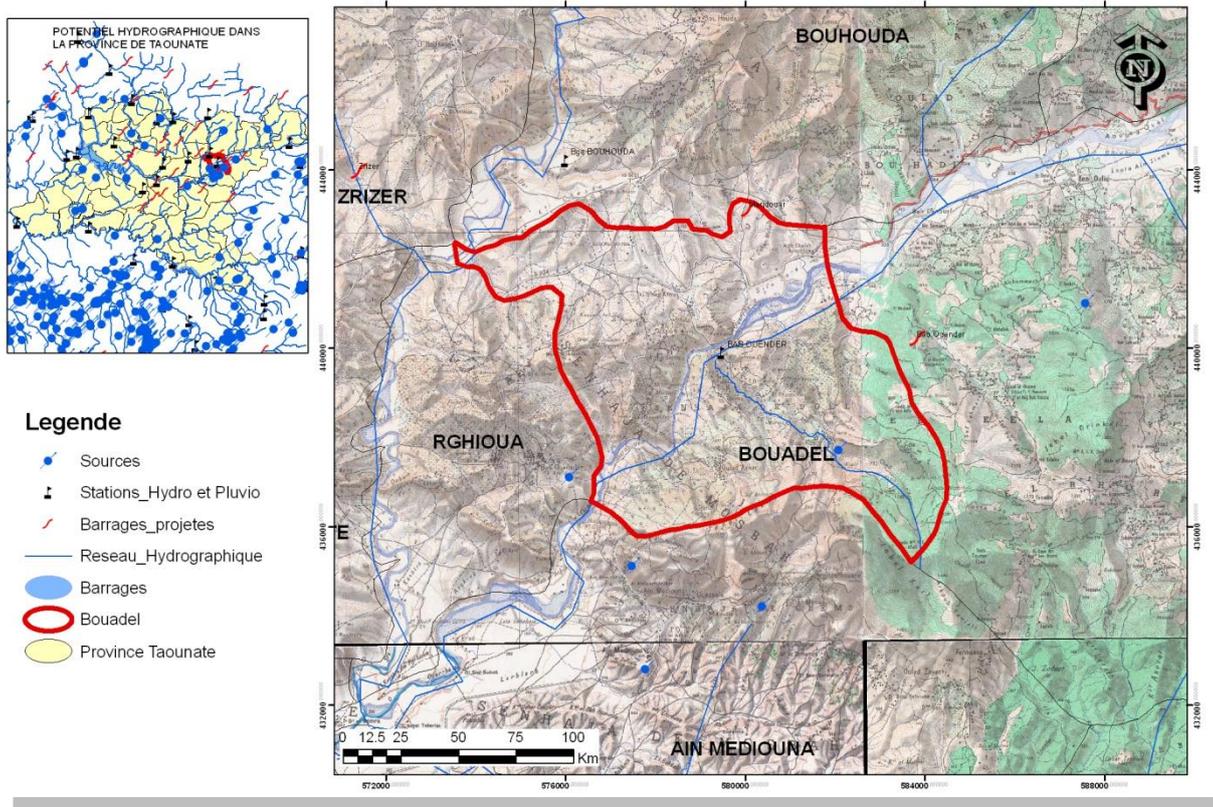


Fig5 : carte du potentiel hydrographique de la commune.

➤ *Sources :*

<i>Nom</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Debit (l/s)</i>
<i>Bouadel</i>	<i>581 960</i>	<i>437 800</i>	<i>266</i>

5-2) Eaux souterraines :

Les formations géologiques post-nappes du miocène, possèdent une certaine perméabilité leur permettant d'absorber les eaux d'écoulements superficiels pour constituer des nappes phréatiques très

souvent isolées. Ces formations sont généralement de faibles épaisseurs et de fortes pentes du relief favorisent ainsi le drainage rapide des eaux souterraines sous forme de 8 sources.

Fig.9 :Potentiel Hydrogeologique de la commune

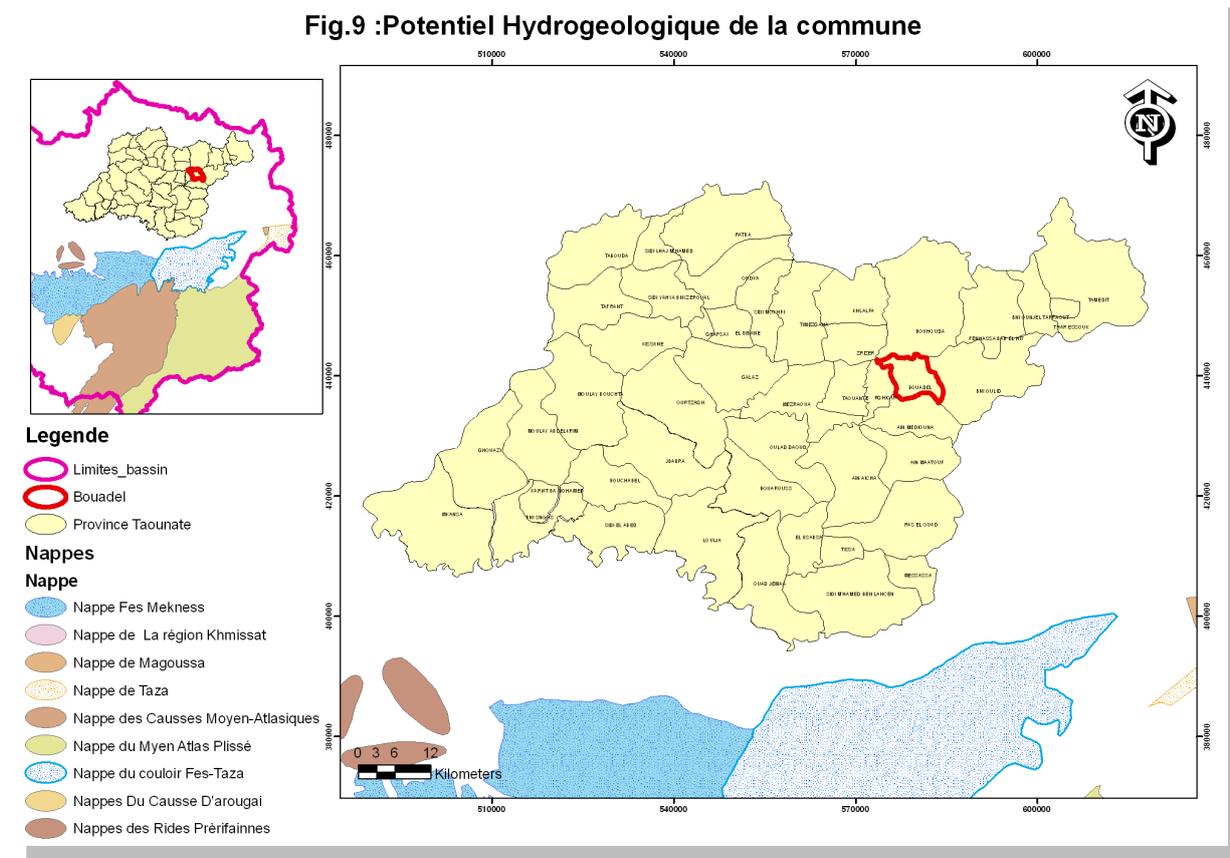


Fig6 : Potentiel hydrographique de la commune.

5.3) Qualité des ressources en eau :

- Etat de la qualité des ressources en eau de surface :

Les ressources en eau de la commune, essentiellement des oueds à priori sont aptes qualitativement à assurer l’approvisionnement en eau et l’irrigation des surfaces agricoles. La qualité des eaux est excellente.

- Etat de la qualité des ressources en eau souterraines :

Les ressources en eau de la commune, essentiellement des sources et des puits, à priori sont aptes qualitativement à assurer l’approvisionnement en eau potable des douars de la commune. Les eaux sont de bonne qualité.

❖ **Présentation générale du centre :**

Selon les coordonnées du plan d'aménagement on va définir le centre étudiés :

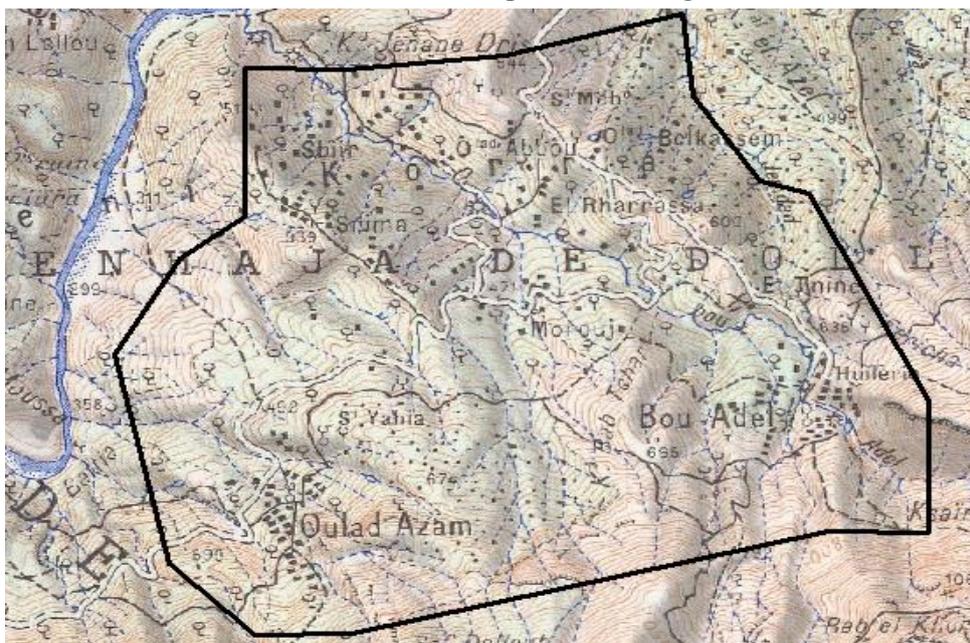


Fig7 : le centre Bouadel étudiés selon les coordonnées du plan d'aménagement sur la carte

Le centre est constituée de grand bassin versant Bouadel et ses sous bassins tout s'affluent dans le grand bassin Ouargha.

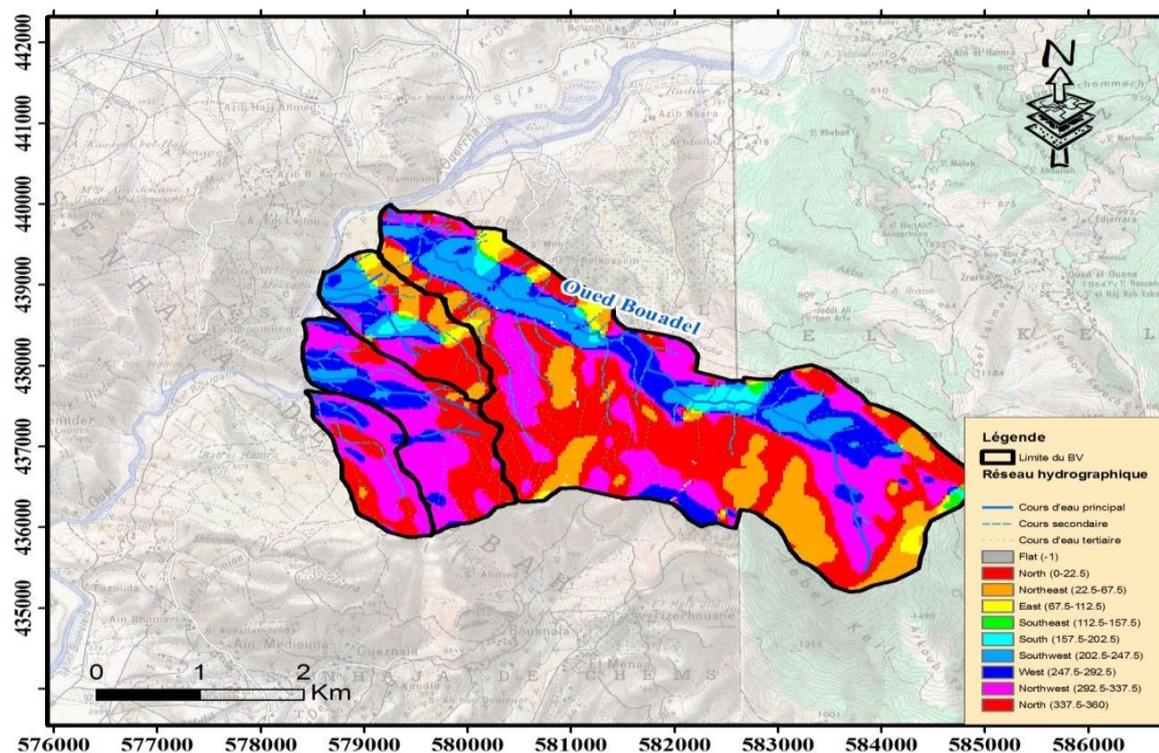


Fig8 : Carte d'orientation des bassins versant de Bouadel.

Les terrains qui se situent dans la partie Nord et Nord-Est sont exposés au soleil alors les précipitations sont faibles donc le couvert végétal est restreint , par contre pour les terrains qui se situent au Sud , Sud-Ouest et l'ouest se caractérisent par des fortes précipitations donc un couvert végétal important.



Fig9 : Plan de restitution du centre Bouadel.

On observe que les cours d'eau traversent les habitations qui sont dispersées, alors cela nécessite une étude des crues profonde pour la protection de ces gens contre les inondations.

⇒ Remarque : les habitations sont présentées en carreaux rose.

Chapitre III : Caractéristiques physiographique du bassin versant Bouadel:

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le temps de concentration qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu, la taille du bassin (sa surface et son périmètre), sa forme, son élévation, sa pente moyenne et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, la géologie, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographiques.

Ces facteurs d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir des cartes adéquats ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques.

I. Caractéristiques morpho-métriques :

1) Surface, périmètre et Talweg principal :

Les caractéristiques morpho-métriques du bassin versant ont des conséquences directes sur le comportement hydrologique de celui-ci. Ces caractéristiques peuvent être calculées automatiquement à l'aide de logiciel Arcgis.

nom du bassin	Surface (km^2)
BV: Oued Bouadel	11.034302
BV 2	1.126085304
BV3	1.492147734
BV4	2.206053715

Tab 2 : Surface des bassins versants de Bouadel .

2) Indice de compacité de CRAVELIUS :

L'indice de compacité de Gravelius (1914) K_G , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K_G est l'indice de compacité de Gravelius.

A : surface du bassin versant [km^2].

P : périmètre du bassin [km].

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

nom du bassin	Indice de compacité
BV: Oued Bouadel	1,51
BV 2	1,31
BV3	1,14
BV4	1,50

Tab3 : L'indice de compacité des bassins versants de bouadel.

D'après ces résultats, on a les indices de forme des bassins versants sont supérieur à 1 alors ils ont une forme allongée, ceci favorise les faibles débits de pointe de crue à cause du retard de l'acheminement de l'eau à l'exutoire.

3) Le rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est une représentation graphique du bassin versant résultant d'une transformation géométrique du bassin réel et conservant son périmètre, sa superficie et sa répartition altimétrique. Ses dimensions sont respectivement :

- longueur :
$$L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right],$$

- largeur :
$$l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right],$$

Avec S : surface du bassin versant (Km^2),

K_c : indice de compacité, $K_c \geq 1.12$

Nom du bassin	Longueur du rectangle équivalent (km)	largeur du rectangle équivalent (km)
BV: Oued Bouadel	7,535736813	1,464263187
BV 2	1,910616906	0,589383094
BV3	1,515240016	0,984759984
BV4	3,3393828	0,6606172

Tab4 : la Longueur et la largeur du rectangle équivalent des bassins versants de Bouadel.

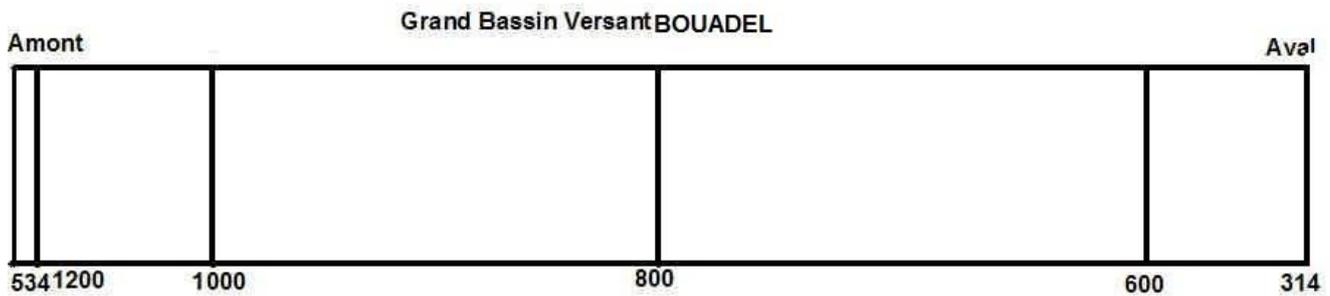


Fig10 : Le rectangle équivalent du grand bassin versant Bouadel.

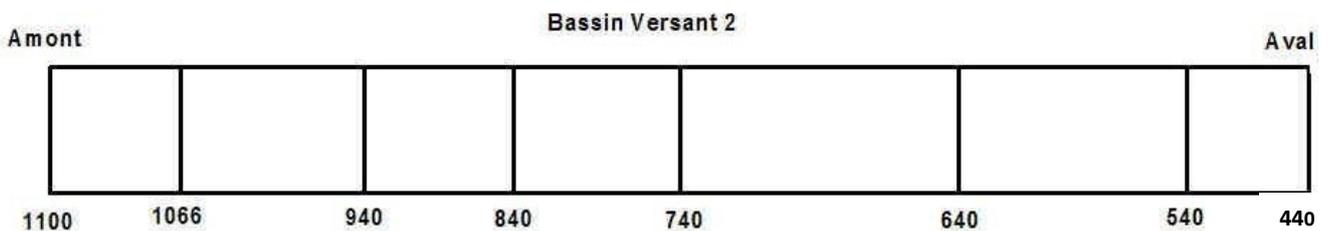


Fig11 : Le rectangle équivalent du petit bassin versant 2.



Fig12 : Le rectangle équivalent du petit bassin versant 3.

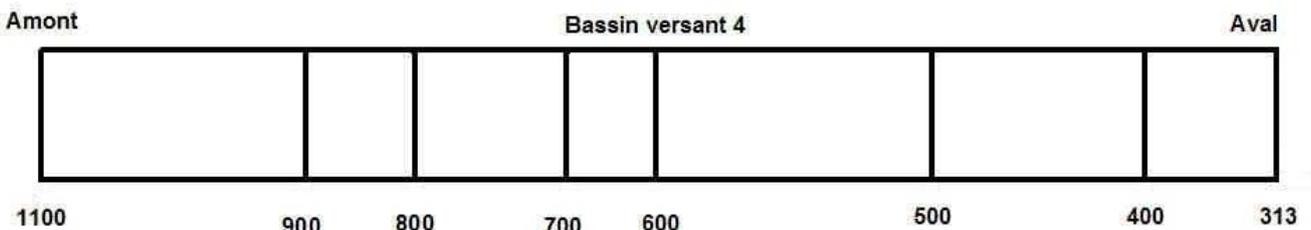


Fig 13 :Le rectangle équivalent du petit bassin versant 4.

II. Caractéristiques des altitudes (Hypsométrie) :

1) La carte hypsométrique du bassin versant Bouadel :

La carte hypsométrique est obtenue en délimitant les tranches d'altitude du bassin par les courbes de niveaux d'équidistances choisies. Dans cette carte hypsométrique, les tranches d'altitude sont équidistantes de 10m. Une carte hypsométrique est basée sur le modèle numérique du terrain(MNT).

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse l'altitude (m) du bassin et en ordonnée la superficie cumulée (%).

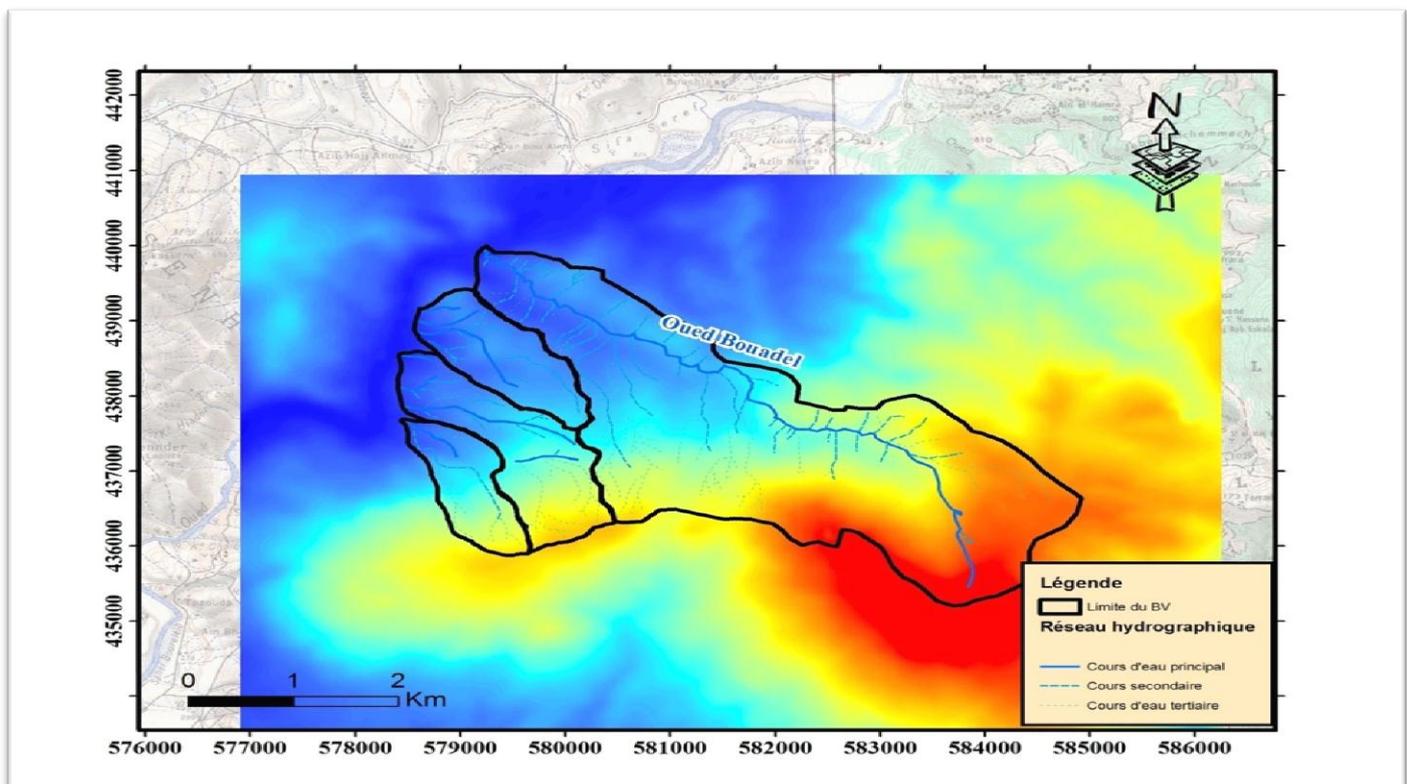


Fig14 : Le Modèle numérique du terrain (MNT) du bassin versant Bouadel.

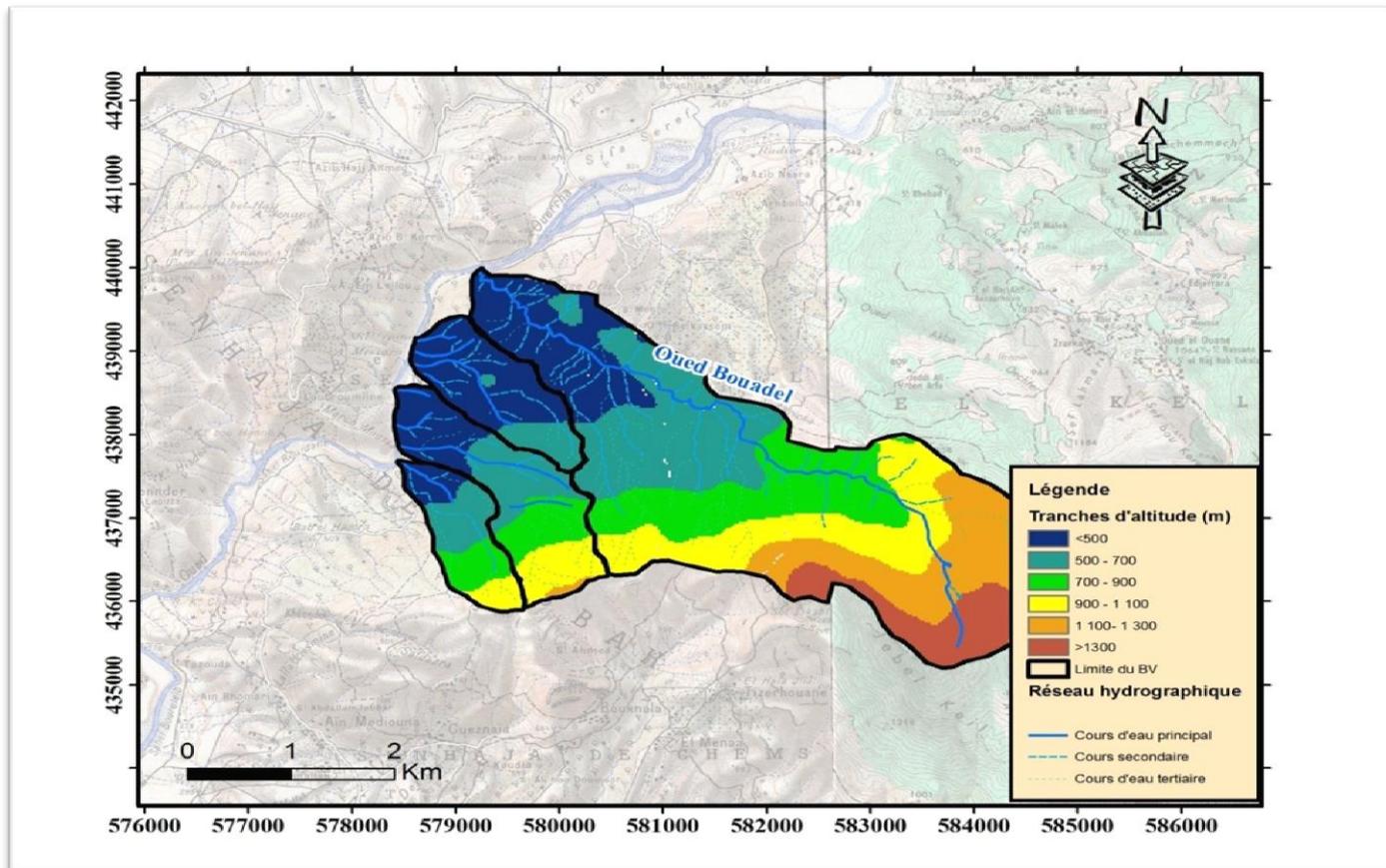


Fig15 : La carte hypsométrique du bassin versant de Bouadel.

Les tableaux suivants résument une analyse statistique entre les tranches d'altitude qui constituent la carte hypsométriques du bassin versant :

Altitude (m)	Superficie en %	surface cumulée en %
314	14,734	100
500	22,252	85,265
700	18,247	63,0129
900	16,708	44,765
1100	18,808	28,057
1300	9,248	9,248
1534	0	0

Tab5 : La surface cumulée en fonction de l'altitude du grand bassin versant.

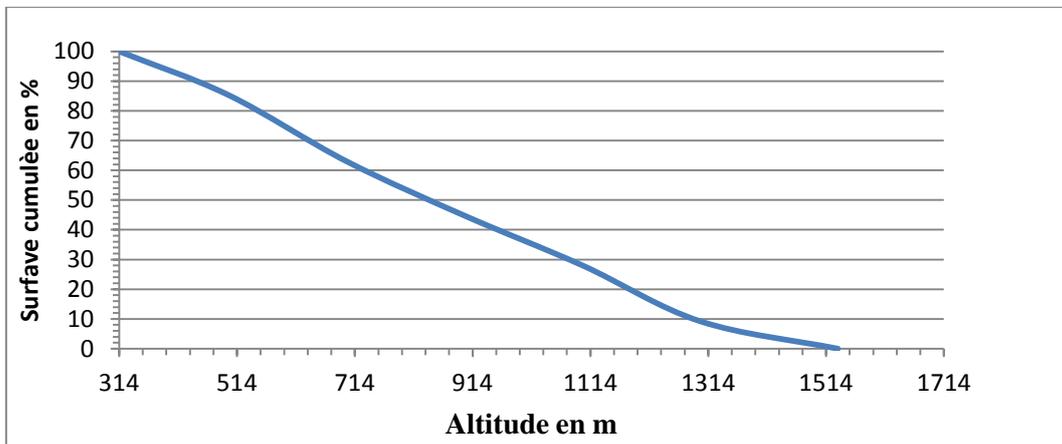


Fig16 : La courbe hypsométrique du grand bassin versant de Bouadel.

ALTITUDE	superficie en %	surface cumulée
440	10,878	100
540	17,223	89,121
640	21,359	71,898
740	13,541	50,538
840	12,067	36,997
940	14,504	24,929
1066	10,424	10,424
>1066	0	0

Tab6 : La surface cumulée en fonction de l'altitude du petit bassin versant 1

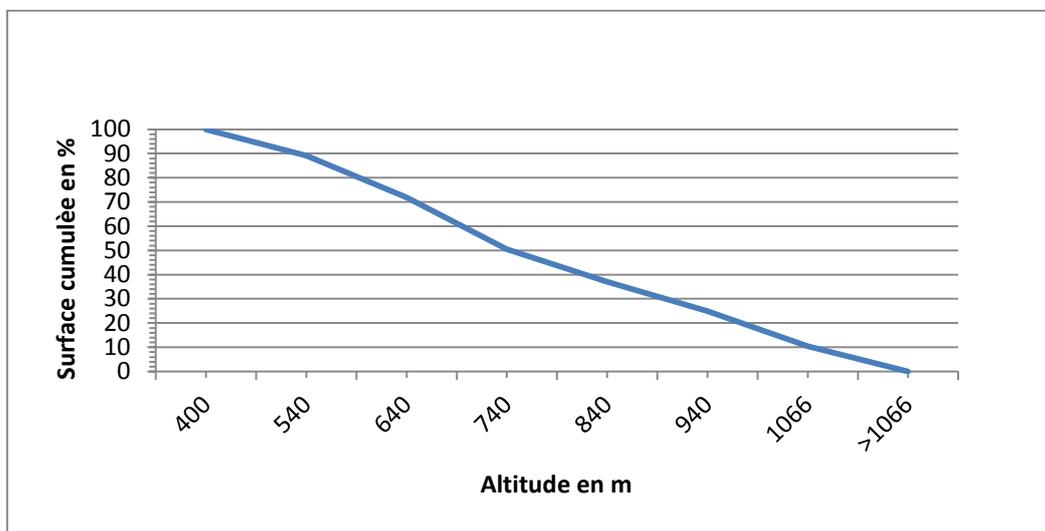


Fig17 : La courbe hypsométrique de petit bassin versant 1.

Altitude	surface cumulée en %
230	100
350	97,819
400	91,620
450	69,516
500	21,932
550	8,251
>550	0

Tab7 : La surface cumulée en fonction de l'altitude du petit bassin versant 2.

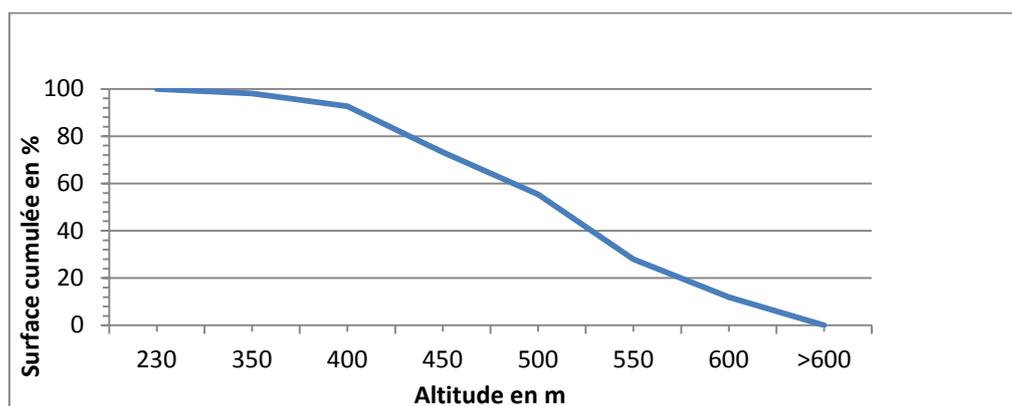


Fig18 : La courbe hypsométrique du petit bassin versant 2.

Altitude	S en %	Surface cumulée%
313	10,494	100
400	17,519	89,50
500	11,448	71,986
600	17,721	60,537
700	13,067	42,815
800	8,123	29,748
900	8,875	21,624
1000	12,749	12,749
1100	0	0

Tab8 : La surface cumulée en fonction de l'altitude du petit bassin versant 3.

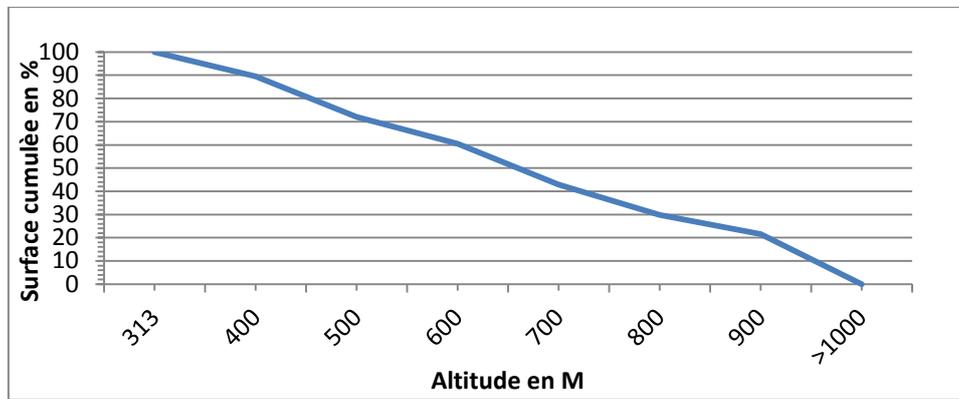


Fig19 : La courbe hypsométrique du petit bassin versant 3.

III. Les altitudes caractéristiques :

1) Les altitudes maximales et minimales :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique ou encore à partir du modèle numérique du terrain. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas généralement à l'exutoire. Ces deux données sont très importantes car elles interviennent dans le calcul de la pente.

Nom du bassin	H max (m)	H min (m)
BV: Oued Bouadel	1628	361
BV 2	1115	329
BV3	642	301
BV4	1050	299

Tab9 : Les altitudes maximales et minimales des bassins versants de Bouadel.

2) L'altitude moyenne :

On peut définir l'altitude moyenne par la relation :

$$H \text{ moy} = (H \text{ max} + H \text{ min}) / 2$$

Hmax : altitude maximal en m.

Hmin : altitude mnimal en m.

nom du bassin	H moyennes (m)
BV: Oued Bouadel	1178,10
BV 2	305,24
BV3	319,34
BV4	402,33

Tab10 : Les altitudes moyennes des bassins versants de Bouadel.

3) L'altitude de fréquence ½ (la médiane) :

Les bassins versants :	L'altitude Médiane en m
BV: Oued Bouadel.	821
BV 2.	740
BV3.	503
BV4.	650

Tab11 : l'altitude médiane des bassins versants de bouadel.

4) Les indices de pentes :

4.1) Pente moyenne du bassin:

La pente moyenne est égale au quotient de la différence entre les hauteurs extrêmes par la longueur du rectangle équivalent. Il nous renseigne sur la topographie du bassin. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct donc sur le temps de concentration t_c .

$$P_{moyenne} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

P_{moy} : pente moyenne du bassin(m).

H_{max} : l'altitude maximale du bassin versant (m).

L : longueur du rectangle équivalent (m).

Nom du bassin	Pente moyenne (m/m)	Pente moyenne (%)
BV: Oued Bouadel.	0,168132199.	16,81.
BV 2.	0,411385452.	41,14.
BV3.	0,225046855.	22,50.
BV4.	0,224891857.	22,49.

Tab12 : Pente moyenne des Bassins versants Bouadel.

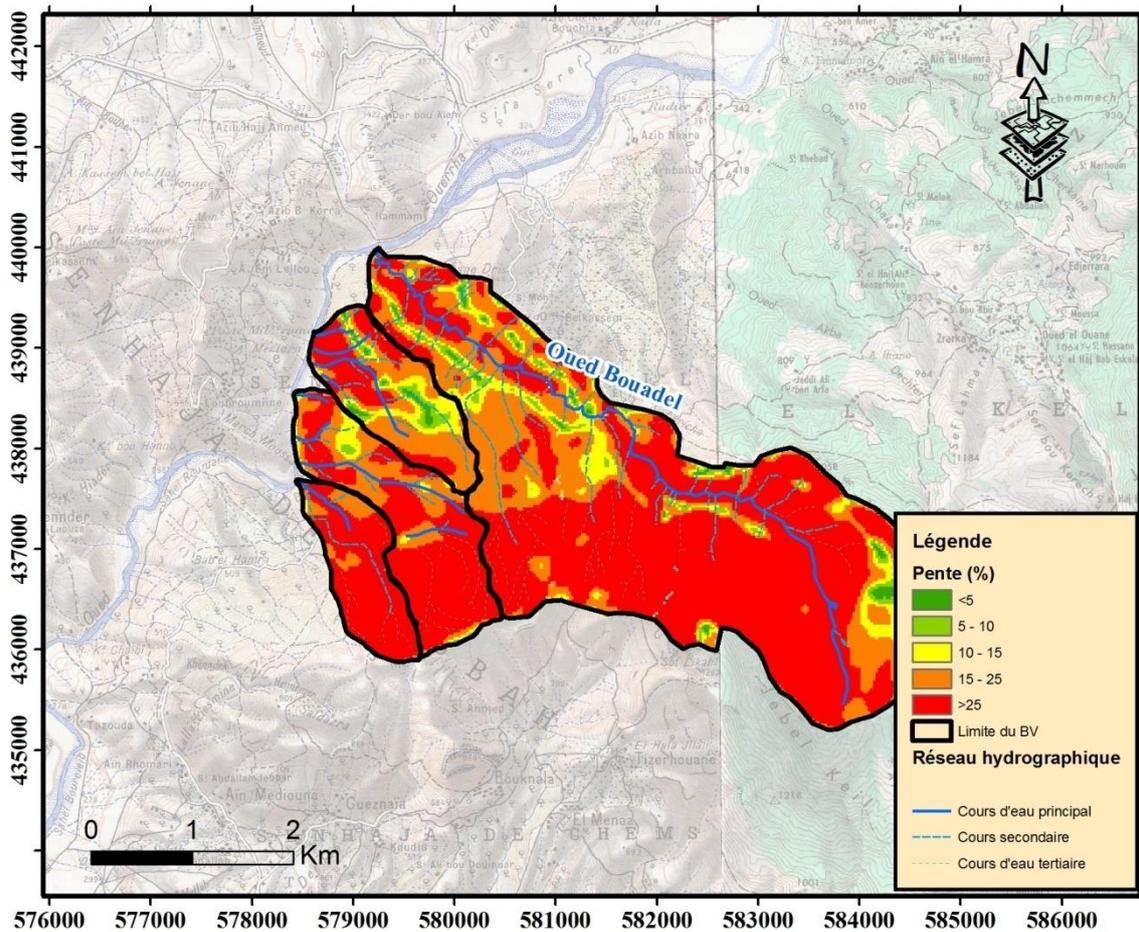


Fig20 : Carte de pente des bassins versants de Bouadel.

4.2) Indice de pente globale :

L'indice de pente global est calculé après construction de la courbe hypsométrique du bassin qui donne le pourcentage de la superficie S du bassin versant situé au-dessus d'une altitude donnée H en fonction de cette même altitude. Puisque dans une région de géomorphologie homogène, la pente diminue de l'amont vers l'aval, l'indice I_g diminue lorsque la surface augmente.

$$I_g = \frac{Du}{L}$$

$$Du = H_{5\%} - H_{95\%}$$

Du : la dénivelé utile est l'altitude entre laquelle s'inscrit 90% de la surface du bassin.

$H_{5\%}$: altitude correspond 5% de la surface du bassin au-dessus de $H_{5\%}$.

$H_{95\%}$: altitude correspondant à 95% de la surface total du bassin versant.

Ig : Indice de pente globale.

Leq : Longueur de rectangle équivalent.

bassin versant	Altitude en 5%	Altitude en 95%	Indice de pente global (m/m)
Grand bassin versant Bouadel	1434	374	0.14
Petit bassin 2.	1340	440	0.47
Petit bassin 3	650	400	0.16
Petit bassin 4.	995	350	0.19

Tab13 : Indice de pente global du bassin versant Bouadel.

IV. Caractéristiques du réseau hydrographiques :

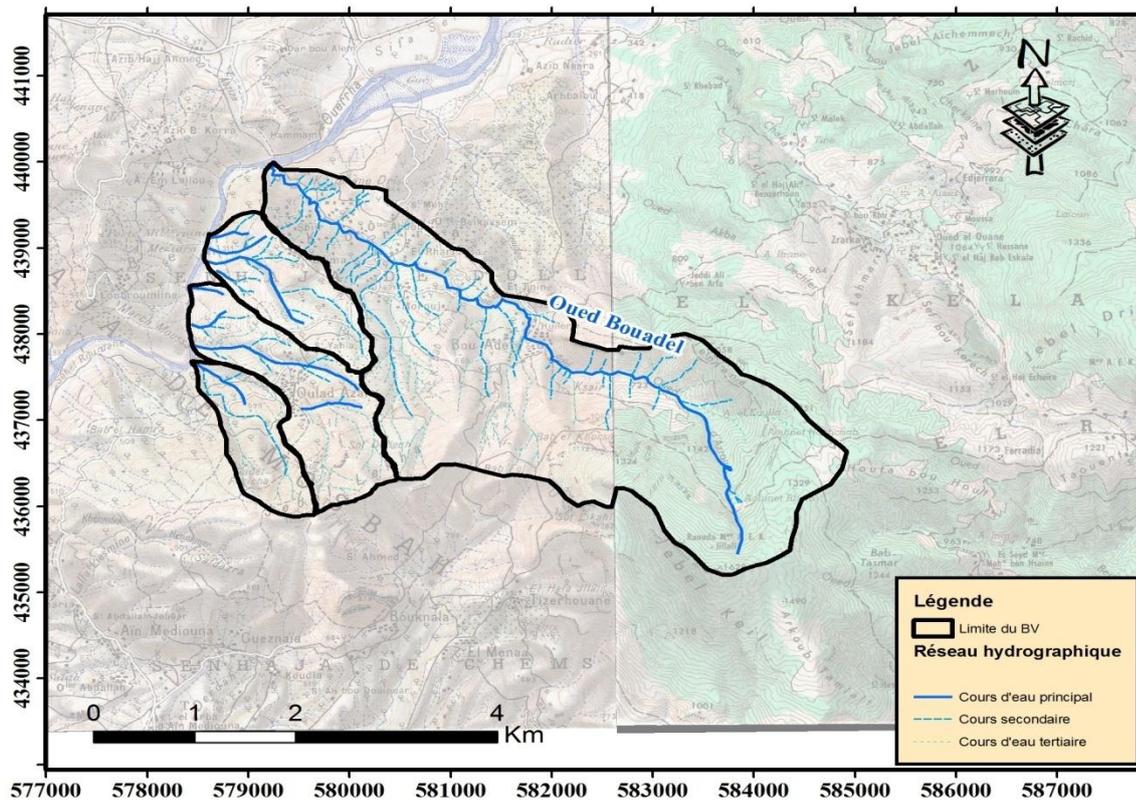


Fig21 : Carte du réseau hydrographique des bassins versants de Bouadel

4.1) Densité de drainage :

Le réseau hydrographique est caractérisé par sa densité de drainage. Celle-ci est définie comme la longueur moyenne du réseau hydrographique par Km².

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

D_d : densité de drainage [km/km²] ;

L_i : longueur de cours d'eau [km] ;

A : surface du bassin versant [km²].

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatiques et anthropiques. En pratique, les valeurs de densité de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé ; elles dépassent 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration.

Les longueurs de Talweg sont extraites à partir du logiciel « Arcgis » en m.

Bassins versants	D d en (km/km2)
Grand bassin	0,010875178
petit Bassin 1	4,968676029
petit bassin 2	1,88390674
petit bassin 3	4,085837215

Tab14 : Densité de drainage pour les bassins versants.

Conclusion :

L'étude des paramètres physiques des bassins versants du centre Bouadel a permis de dégager les principales caractéristiques de ces bassins .Ces paramètres morphologiques ont été obtenues par planimétrie sur une carte au 1/50000 , par calcul ou à partir de la courbe hypsométrique.

Caractéristiques physiographiques	Grand bassin versant de Bouadel	Bassin versant 2	Bassin Versant 3	Bassin versant 4
Surface (km ²)	11.03	1.13	1.5	2.21
Périmètre (km)	18	5	5	8
Indice de compacité	1.5	1,31	1,14	1,5
Longueur du rectangle équivalent (km)	7,5	2	1,5	3,3
largeur du rectangle équivalent (km)	1,5	0,6	1	0,66
Altitude maximal (m)	1628	1115	642	1050
Altitude minimal (m)	361	329	301	299
Altitude médiane (m)	821	740	503	650
Pente Moyenne En %	16.81	41.14	22.50	22.49
Indice de pente global en %	14	47	16	19
Longueur de réseau hydrographique en m	7007	742	1419	1789
Densité de drainage	0,011	4,97	1,88	4,09

Tab15 : fiche morpho-métrique des bassins versants de bouadel.

Chapitre 3 : Etude hydrologique

Introduction :

L'objectif de cette étude est de déterminer les débits de pointe (Q_p) des crues de fréquences caractéristiques du centre Bouadel. Nous utiliserons les formules empiriques.

I. Données d'entrées :

Pour les besoins de l'étude, on dispose des pluies journalières maximales annuelles au niveau du poste Bab -Ouender situés à quelques kilomètres du centre Bouadel.

Les données nous ont été fournies par l'ABHS.les coordonnées Lambert de cette station :

X: 57950 **Y:** 44010 **Z:** 312

II. Méthodologie adoptée pour l'étude des crues.

Pour l'étude des crues on a procédé aux étapes suivantes :

1) Caractérisation du bassin versant :

La caractérisation du bassin versant se fait par délimitation du bassin versant sur la carte topographique et la détermination des caractéristiques géométriques de cette dernière cité dans le chapitre précédent.

Nom des bassins	Surface (km ²)	longueur (m)	Périmètre (km)	Dénivelée (m)	Indice de compacité	pente moyenne (m/m)
BV: Oued Boadel	11,03	7007	18	1267	1,51	0,17
BV 2	1,12	742	5	786	1,31	0,41
BV3	1,49	1419	5	341	1,14	0,22
BV4	2,20	1789	8	751	1,50	0,22

Tab16 : Caractéristiques des bassins versants de Bouadel.

2) Calcul de temps de concentration :

Le temps de concentration (T_c) ou temps de pointe, est le temps nécessaire pour qu'une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée du bassin pour parvenir à l'exutoire. Son calcul se fait en utilisant les formules empiriques suivantes :

✓ La formule de Giordotti est:

$$T_C = (4 * S^{0.5} + 1.5 * L) / (0.8 * H^{0.5})$$

T_C : temps de concentration en h.

L: Longueur de Talweg en km

S: Surface du BV en km^2

H: Dénivelée en m

nom du BV	T_c en min
BV:Oued Bouadel	50.14
(aval)	
BV 2	14.33
BV3	28.48
BV4	23.60

Tab17 : Temps de concentration des bassins de Bouadel.

✓ La formule de Turazza est :

$$T_c = 0,108 * (S * L)^{0,333} * I^{0.5}$$

T_C : temps de concentration en h

L: Longueur de Talweg en km

S: Surface du BV en km^2

I: Pente moyenne en m/m

Nom des BV	Tc en min
BV : Oued Bouade (aval)	67.22
BV 2	9.51
BV3	17.53
BV4	21.58

Tab18 : Temps de concentration des bassins de Bouadel.

✓ **La formule Ventura est:**

$$T_c = 76,3 * (S/I)^{0.5}$$

T_C: temps de concentration en minute.

S: Surface du BV en km²

I: Pente moyenne en m/m.

nom des bassins	Tc en min
BV : Oued Bouade (aval)	64.08827712
BV 2	12.62498377
BV3	19.64894291
BV4	28.65591003

Tab19 : Temps de concentration des bassins de Bouadel.

✓ **La formule de Kirpich est :**

$$T_C = (1/52) * (L^{0,77} * I^{0,385})$$

T_C: temps de concentration en minute.

L: Surface du BV en m.

I: Pente moyenne en m/m.

Nom des BV	Tc en min
BV : Oued Bouade (aval)	34.92856899
BV 2	4.392601701
BV3	9.128470489
BV4	10.91432124

Tab20 : Temps de concentration des bassins de Bouadel.

✓ La formule Espagnol est :

$$T_c = 18 * (L^{0,77}) * (I^{0,1925})$$

T_C: temps de concentration en minute.

L: Longueur de Talweg en km.

I: Pente moyenne en m/m.

Nom des BV	Tc en min
BV : Oued Bouade (aval)	113.604213
BV 2	16.9722958
BV3	31.404104
BV4	37.5428747

Tab21 : Temps de concentration des bassins de Bouadel.

✓ La formule Van Te Chow est :

$$TC = 60 * 0,123 * (L * I^{0,5})^{0,64}$$

T_C: temps de concentration en minute.

L: Longueur de Talweg en km.

I: Pente moyenne en m/m

Nom des BV	Tc en min
BV : Oued Bouade (aval)	45.3929734
BV 2	8.10130912
BV3	14.8798225
BV4	17.2621699

Tab22 : Temps de concentration des bassins Bouadel.

✓ **La formule Californienne est :**

$$T_C = 60 * 0,1452 * (L * I^{0,5})^{0,77}$$

T_C: temps de concentration en minute.

L: Longueur de Talweg en km.

I: Pente moyenne en m/m.

Nom des BV	Tc en min
BV : Oued Bouade (aval)	19.63600757
BV 2	4.918296558
BV3	6.423465505
BV4	7.676048595

Tab23 : Temps de concentration des bassins Bouadel.

Nom de bassin	Giandotti:	Turazza & Passini	Kirpic h	Formule Californie nne	Van Te Chow	Formule Espagno l	Formu le de Us Corps	ventura	Valeur Du projet
BV : Oued Bouadel	50.14	67.22	34.92	19.63	45.39	113.60	55.11	22.63	52.62
BV 2	14.33	9.51	4.39	4.91	8.10	16.97	8.23	12.62	8.16
BV3	28.48	17.53	9.12	6.42	14.87	31.40	15.23	19.64	15.05
BV4	23.60	21.58	10.91	7.67	17.26	37.54	18.2	28.65	17.73

Tab24 : Le temps de concentration des bassins versant de Bouadel en minutes.

La valeur du projet est obtenue par le calcul de la moyenne des valeurs proches de temps de concentration.

3) Calcul des débits de pointe par les formules usuelles :

Les méthodes de calcul recensées en utilisant différentes formules empiriques tiennent compte de deux facteurs essentiels :

- La taille du bassin versant, par le biais de sa surface et /ou de sa longueur.
- Le gradient topographique du bassin versant par le biais de sa pente ou de sa dénivelée.
- Les débits retenus sont ceux calculées par ces formules dont les limites de validité dépendent essentiellement de la taille des bassins. Suivant ce critère, on distingue deux classes de bassin a chacune on applique les formules appropriées.

❖ Petits bassins versants (<100 ha)

- ✓ Mac Math.
- ✓ Rationnelle.

❖ Grands bassins versants (>100ha)

- ✓ Rationnelle.

✓ Maillet Gauthier.

✓ Hazan Lazarevic.

On a la surface des bassins versants entre 1km² et 11 km² alors on va utiliser les formules : Rationnelle, Maillet Gauthier, et Fuller II.

La méthode rationnelle :

La méthode rationnelle est basée sur l'hypothèse qu'une pluie constante et uniforme sur l'ensemble d'un bassin versant produit un débit de pointe lorsque toutes les sections du bassin versant contribuent à l'écoulement, soit après un temps égal au temps de concentration. Par simplification, la méthode rationnelle suppose aussi que la durée de la pluie est égale au temps de concentration. Elle ne tient pas compte de l'hétérogénéité de la pluviométrie et a tendance à surévaluer

Le débit de pointe.

$$Q_p = \frac{C \cdot i(T, T_c) \cdot A}{3,6}$$

Où

Q_p : Débit de pointe du bassin versant (en m³/s)

C : Coefficient de ruissellement (pas d'unités). Ce facteur représente la proportion de l'eau totale précipitée qui ruisselle (Tableau 2, page précédente). Afin d'assurer un dimensionnement suffisant des structures, il est préférable de choisir une valeur du coefficient C qui représente les pires conditions de ruissellement du bassin versant.

A : Superficie du bassin versant (en ha)

I_p : Intensité de la précipitation pour une durée de précipitation égale au temps de concentration (en mm/h).

$$I(T_c, T) = a * (60 * T)^{-b}$$

a et b : coefficients de Montana de Taounat.

Période de retour T(ans)	a (mm/min)	b
10	5,917	-0,5972
50	6,886	-0,5723
100	11,085	-0,647

Tab25 : Les indices de montana de Taounat.

Pour T=10 ans :

BV	S	P (Tc,T)	I (Tc,T) (mm/h)	Qp(T)(m3/s)
BV: Oued Boadel	11.03	44.57	6.39	7.84
BV 2	1.12	25.70	19.46	2.43
BV3	1.49	29.15	13.51	2.23
BV4	2.20	30.15	12.25	3

Tab26 : Débit de pointe décennal en m3/s.

Pour T= 50ans :

BV	S	P(Tc,T)	I(Tc,t)	Qp(T)
BV: Oued Boadel	11.03	53.01	9.78	14.
BV 2	1.12	25.70	1.12	0.14
BV3	1.492	29.15	1.60	0.26
BV4	2.20	30.15	1.759	0.43

Tab27 : Débit de pointe cinquantenier en m3/s.

Pour T=100 ans :

BV	S	P(Tc,T)	I(Tc,t)	Qp(T)
BV: Oued Boadel	11.03	37.72	12.10	25.98
BV 2	1.12	25.70	42.50	9.30
BV3	1.49	29.15	28.14	8.16
BV4	2.20	30.15	25.20	10.81

Tab28 : Débit de pointe centennal en m3/s.

✓ **Formule de Mallet Gautier :**

$$Q(T)=2*K*Log(1+a*H)*(S/Racine(L))*Racine((1+4*Log(T))-Log(S))$$

Q: Débit de pointe m³/s pour une période de retour donnée.

S: Superficie du bassin versant en km².

T: Période de retour égale (10, 20, 50, 100).

a : coefficient égale à 20 au Maroc.

L: Longueur du drain principal en km.

H : hauteur moyenne annuelle de pluie en m.

K : coefficient égale à 2 au Maroc.

BV	S	L(km)	Qp (m3/s)
BV: Oued Boadel	11.034	7.007	8.094
BV 2	1.126	0.742	8.402
BV3	1.492	1.419	6.950
BV4	2.206	1.789	7.460

Tab29 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 10ans

BV	S	L(km)	Qp (m3/s)
BV: Oued Bouadel	11.034	7.007	271.87
BV 2	1.126	0.742	91.30
BV3	1.492	1.419	86.79
BV4	2.206	1.789	113

Tab30 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 50ans.

BV	S	L(km)	Qp (m3/s)
BV: Oued Boadel	11.034	7.007	393.490
BV 2	1.126	0.742	130.862
BV3	1.492	1.419	124.531
BV4	2.206	1.789	162.387

Tab31 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 50ans.

✓ **Formule de Fuller II :**

$$Q(T) = (1 + a * \log(T)) * (S^{0,8} + \frac{8}{3} * S^{0,5}) * 4/3 * N/100$$

Q(T) : débit de pointe.

T : période de retour.

a : coefficient régional fonction du climat,, dans notre cas a=0,8 région aride.

S : superficie du bassin en Km2.

N coefficient régional fonction de relief.

Dans notre cas N=80 région accidentée.

BV	S	Qp en m3/s
BV: Oued Boadel	11.034	15.220
BV 2	1.126	4.562
BV3	1.492	5.202
BV4	2.206	6.298

Tab32 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 10ans.

BV	S	Qp en m3/s
BV: Oued Boadel	11.034	25.160
BV 2	1.126	7.052
BV3	1.492	8.139
BV4	2.206	10

Tab33 : Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 50ans.

BV	S	Qp en m3/s
BV: Oued Boadel	11.034	29.441
BV 2	1.126	8.125
BV3	1.492	9.404
BV4	2.206	11.596

Tab34: Débit de pointe des bassins versants Bouadel en m3/s pour 100ans.

Conclusion

Le calcul de débits de pointe des différentes périodes de retour nécessite un ensemble d'étapes enchainées qu'il faut suivre, en utilisant différentes méthodes empiriques.

Ces débits seront introduits en amont du tronçon choisi d'oued Bouadel pour la modélisation hydraulique

Chapitre IV : Modélisation hydraulique du tronçon d'oued Bouadel :

Une modélisation de la propagation des crues dans l'oued Bouadel a été effectuée dans le but de déterminer les niveaux des plus hautes eaux atteints de manière à observer les zones inondables.

Présentation du modèle :

Pour les besoins de cette étude , nous avons choisi d'utiliser le modèle mathématique (HEC-RAS 4.0) (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 libres dans les canaux naturels et artificiels avec la prises 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 de l'oued se base sur les profils en travers et sur les coefficients de rugosité pour chaque section. Une simulation avec le logiciel se déroule de la manière suivante :

- ✓ Données d'entrée :
 - La topographie des profils en travers du cours d'eau.
 - Les distances entre les profils.
 - Le coefficient de Manning.
 - Une description hydraulique des ouvrages (ponts, dalots..)
 - Les conditions limites (amont et aval)
 - Les débits des crues.
- ✓ Les résultats des calculs concernent :
 - Les niveaux d'eau et d'énergie dans chaque profil en travers.
 - Les vitesses d'écoulement dans chaque section.

I) Géométrie de profils en travers :

1) Profils en travers :

Les données topographiques constituent le socle sur lequel se construisent toutes les modélisations hydrauliques de rivières. Les principaux éléments topographiques sont les profils en travers perpendiculaire au sens d'écoulement, il est extrait d'un MNT représentant le tronçon d'oued Bouadel.

Les profils sont réalisés dans l'extension Géo-ras du logiciel Arcgis, on peut convertir le MNT (format raster) en Tin (format vectoriel) pour faire les profils.

Le profil en travers doit respecter cinq règles :

- Etre perpendiculaire à la direction d'écoulement des eaux.
- Ils ne doivent pas se croiser.
- Ils doivent recouper toute la plaine d'inondation.
- Ils doivent décrire le profil en long cours d'eau (ce n'est pas toujours facile à réaliser dans le cas d'un cours méandriforme)
- Ils doivent prendre en compte les modifications avec une large plaine d'inondation.

2) Coefficient de Manning :

La nature de lit intervient dans le processus d'écoulement par la rugosité du lit et par la mobilité des matériaux. Il varie avec la nature physique du matériau et granulométrie, la présence d'ondulations dans les fonds sableux.

Les valeurs de ce coefficient ont été déterminées sur la base des observations de terrain.

Les Rives	0.33
Lits bétonnés	0.015
Lits naturels propres à fond lisse	0.02
Lits propre à fond rugueux	0.03
Lits naturels avec végétation	0.1

Tab35 : Les coefficients de Montanna de Tounat.

⇒ Rq : Dans notre cas la coefficient est égale à 0,1 qu'on va l'insérer sur Hec-Ras pour faire les profils.

3) L'interpolation entre les profils transversaux :

Pour augmenter la stabilité des calculs de niveau par le modèle, il est recommandé d'avoir une distance raisonnable entre deux sections transversales. En assurant que la pente et les propriétés des sections varient de façon linéaire entre deux sections consécutives, la fonction **XS Interpolation** dans le menu **Tools** permet d'ajouter par interpolation de nouvelles sections entre deux sections existantes.

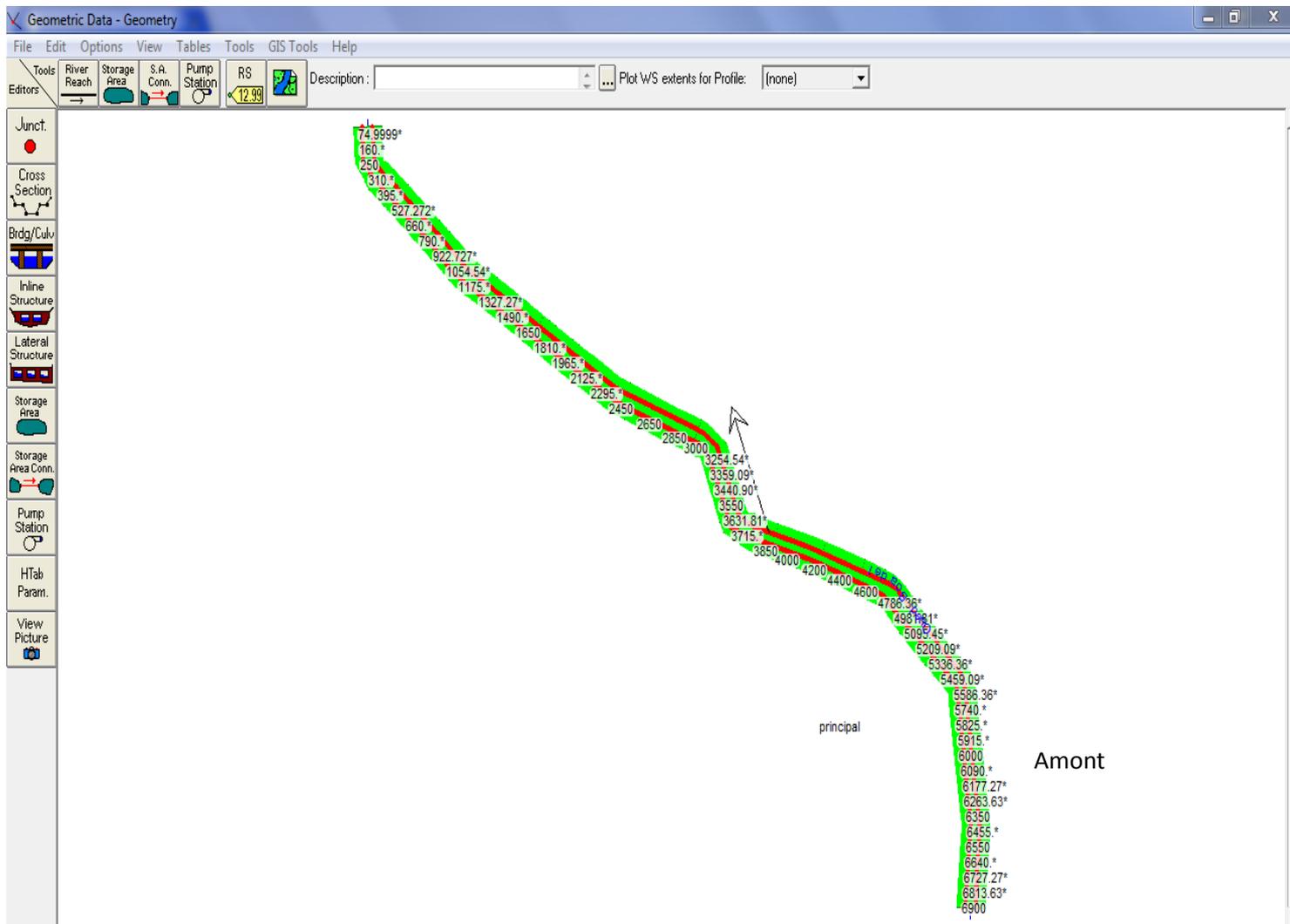


Fig22 : Résultat d'interpolation entre les profils.

4) Débits et conditions limites :

L'étape suivante de la modélisation hydraulique est de spécifier les débits utilisés pour calculer les profils d'écoulements. Les résultats d'une analyse de fréquence des débits maximums sont utilisés pour calculer les profils d'écoulements correspondants. Les débits utilisés ont été obtenus à partir de l'étude hydrologique réalisés et réaffichés dans le tableau suivant :

T(ans)	T=10ans	T=50ans	T=100ans
Q(m3/s)	145.094342217	271.873028	393.490073

Tab36 : Débits des périodes de retour nécessaires à la modélisation.

5) Visualisation et discussion des résultats :

La saisie des données géométriques concernant les profils des sections transversales et des débits de pointe de différentes période de retour, ainsi que les conditions limites dans le logiciel Hec-Ras ont permis d'effectuer les calculs et d'extraire des résultats comme :

- La vue en profil du tronçon simulée,
- Le niveau d'eau de chaque période de sur les profils.
- Une vue de trois dimensions du niveau d'eau dans le tronçon d'étude des tables descriptives
- La courbe de tarage.

6) Vitesse d'écoulement :

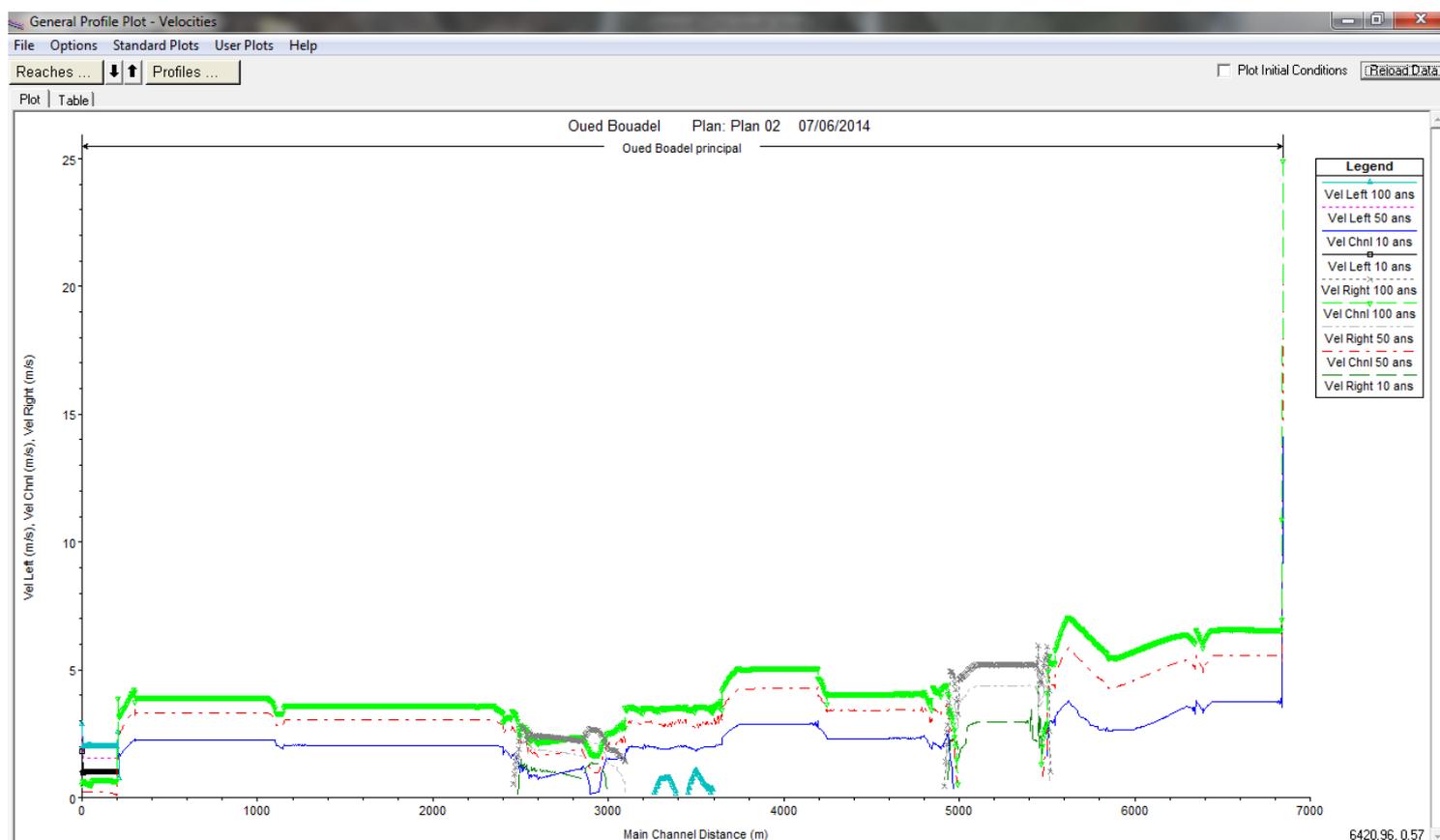


Fig23 : Variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire.

On observe variation d'allure pour tous les niveaux d'eau. La variation de vitesse est fonction de la topographie de terrain : en aval (à 6125 m à partir de l'exutoire), la vitesse plus au moins variable et très faible, devient importante (6 m/s) surtout le long des tronçons situées à des distances entre 5000m, et 7000m de l'exutoire.

La vitesse d'écoulement influence sur l'importance de l'érosion.

7) 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

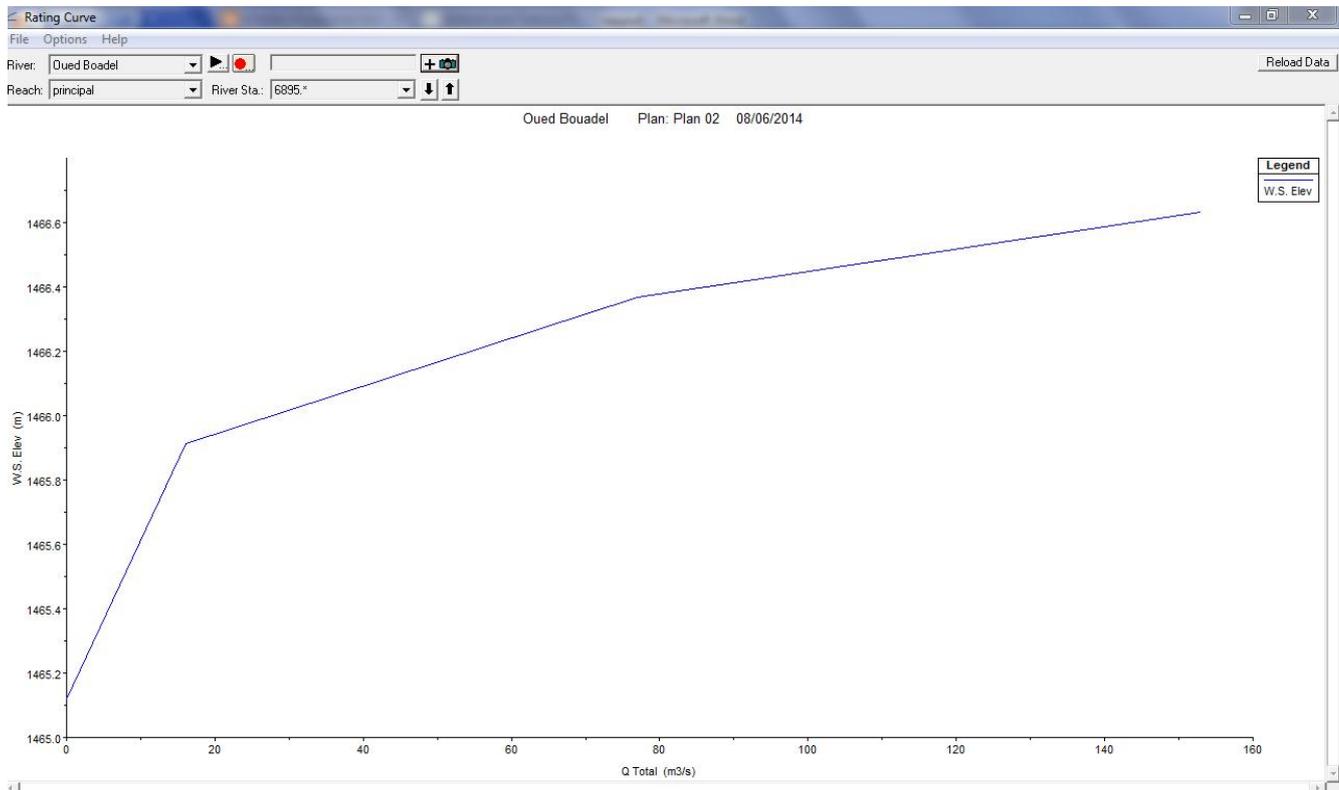


Fig24 : Courbe de tarage obtenu à partir de HEC-RAS.

Le graphique représente la courbe de tarage décrivant la relation entre les hauteurs d'eau et les débits correspondants d'un cours d'eau. Le débit s'annule en 1465,1 m puis il augmente progressivement jusqu'à 1465,9 m après la courbe apparaît plus au moins linéaire pour les hauteurs fortes.

1) Visualisation en trois dimensions du tronçon modélisé :

Hec-Ras fournit une vue en trois dimensions qui facilite le suivi du comportement des eaux de crue de période de retour.

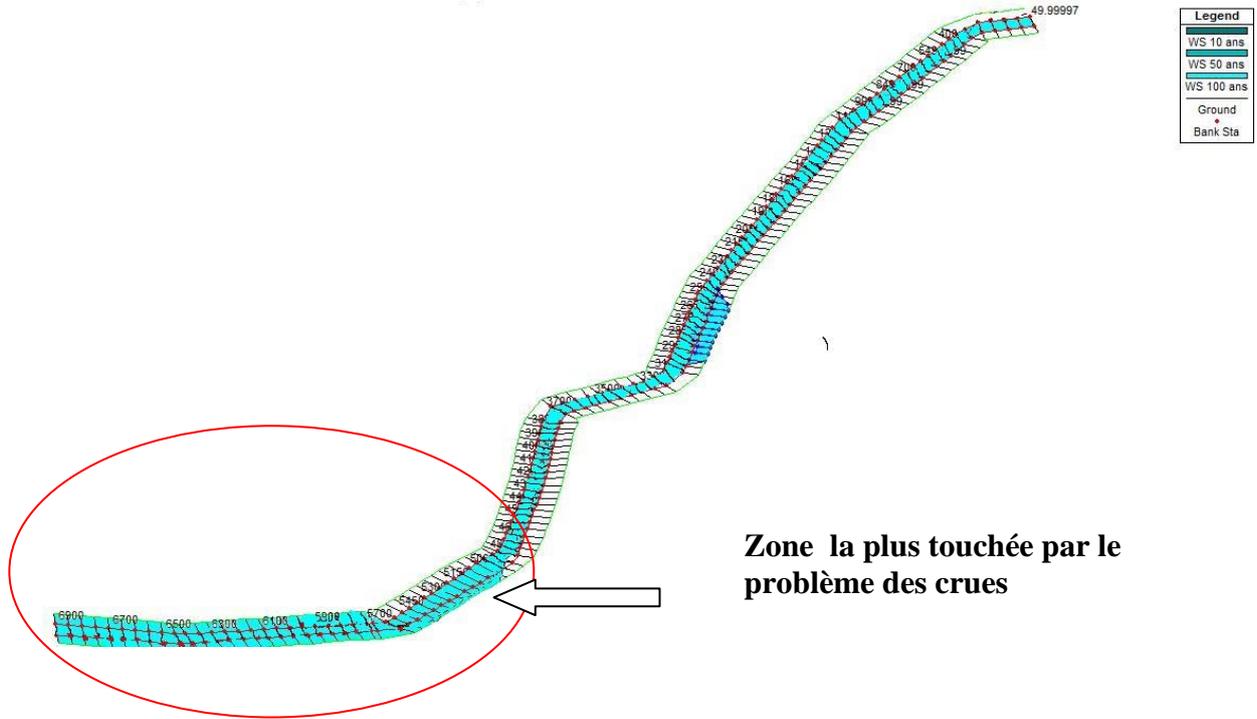


Fig. 25 : Vue du tronçon modélisé en 3D

Cette figure montre que dans la partie amont située au Sud du bassin, il n'y a pas de débordement de crue, par contre, dans la partie aval, on observe un énorme débordement

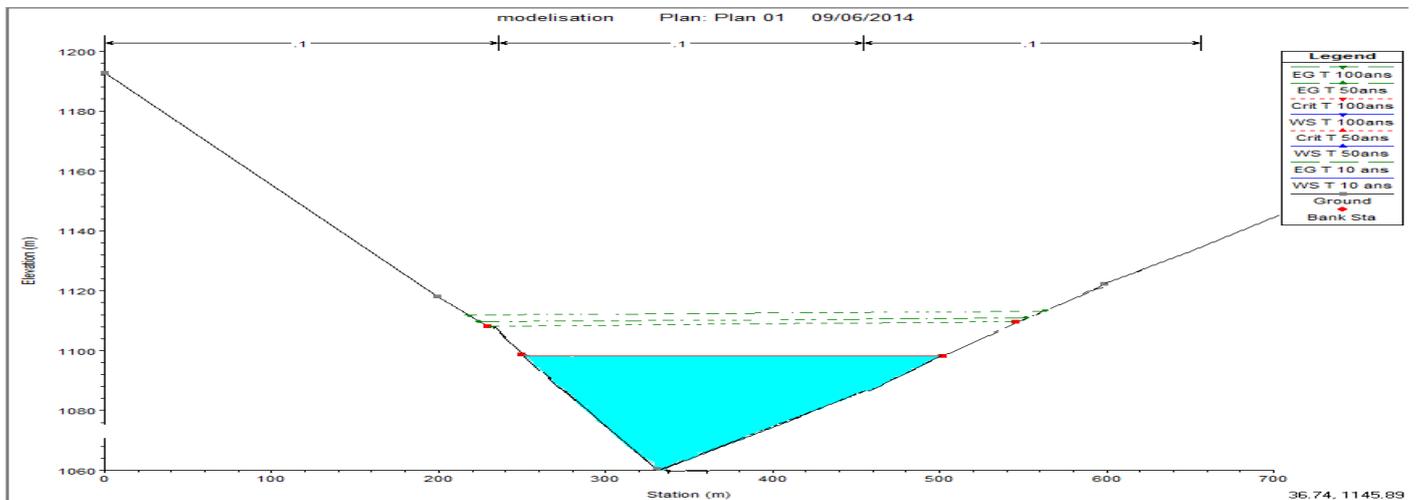


Fig26 : Profil en travers d'une section du bassin versant Bouadel (partie aval)

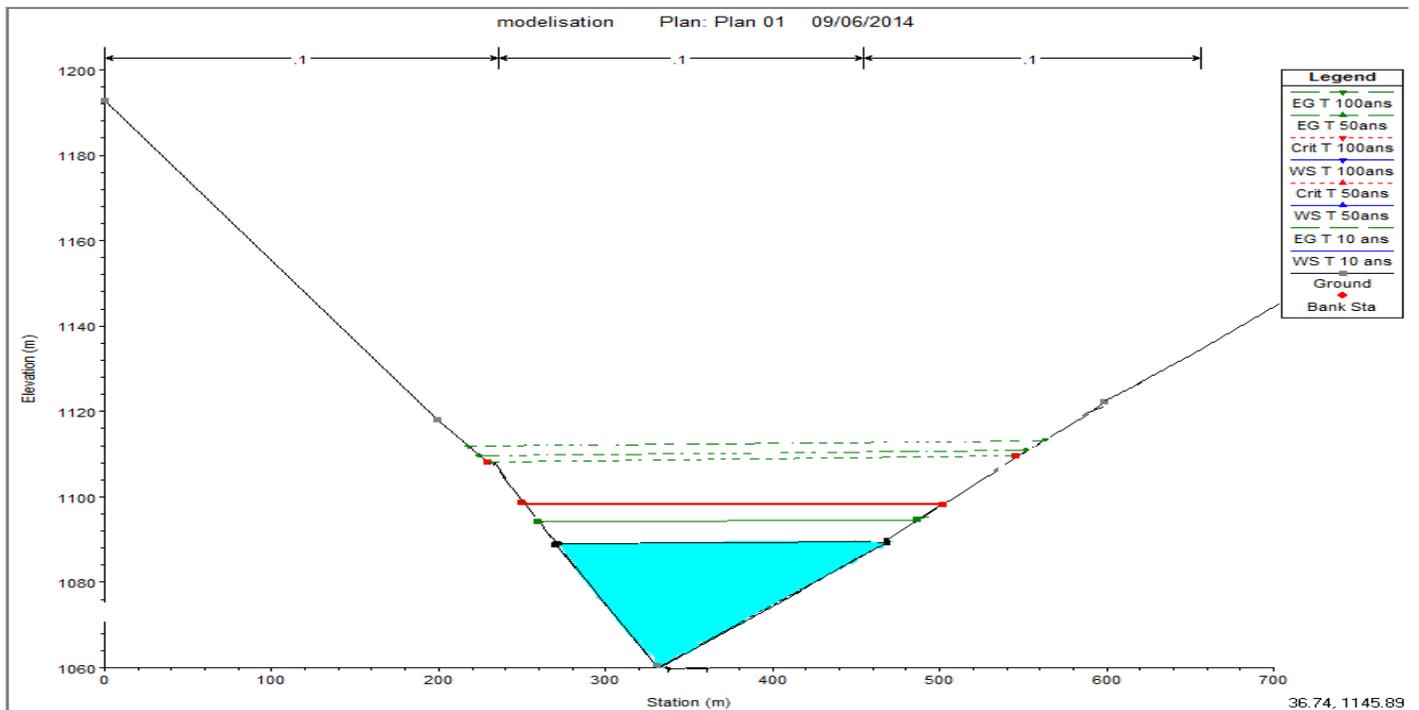


Fig27 : Profil en travers d'une section du bassin versant Bouadel (partie intermédiaire).

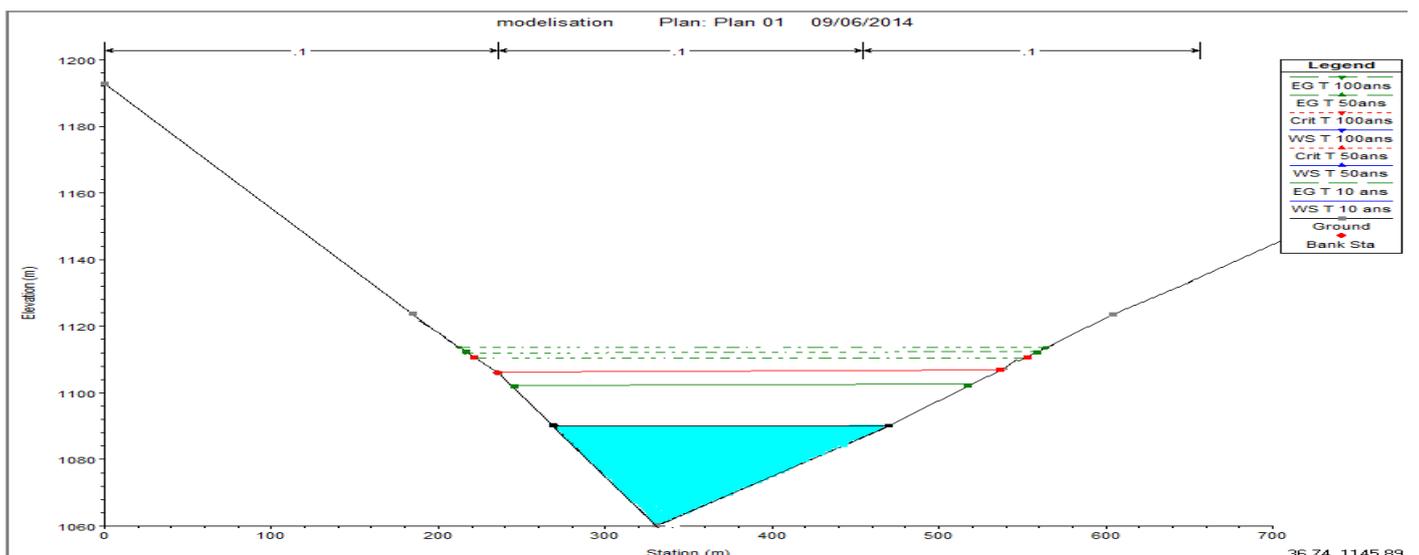


Fig28 : Profil en travers d'une section du bassin versant Bouadel (partie amont).

On observe une évolution de la hauteur d'eau à partir de l'amont vers l'aval d'Oued Bouadel ce qui indique débordement de l'eau à la partie aval donc on a une zone touchée par les inondations.

Conclusion :

La réalisation et l'étude de la modélisation hydraulique de la grande chaâba qui coule dans le centre de Bouadel consiste à déterminer les zones de débordement en utilisant le système d'information géographique <<SIG>> et le logiciel de modélisation de rivière HEC-Ras qui permettent de reproduire l'état de la zone naturelle à l'état numérique.

Conclusion générale :

Depuis longtemps l'homme a été confronté aux inondations et a tenté de pallier à ce phénomène à travers des schémas d'aménagement visant à éliminer ou au moins à maîtriser les crues des rivières qui périodiquement mettaient en péril des vies humaines et freinaient son développement économiques .

Le présent travail consiste en la réalisation d'une étude morphologique, hydrologique du bassin versant d'Oued Bouadel, ainsi qu'une modélisation du comportement hydraulique de l'écoulement de l'Oued. Cet action qui ont entre est menacé par le risque d'inondation à cause de sa topographie et leur habitation qui ont dispersés.

Le centre d'étude est constituée d'un grand bassin et ses sous bassins versants, le plus grand d'Oued Bouadel qui s'étend sur une superficie de 11 Km² et un périmètre de 18 Km, sa longueur du cours d'eau principal est de 7 Km.

La modélisation hydraulique réalisée par l'utilisation d'HEC-RAS et HEC GEORAS du tronçon qui passe par le centre étudié a permis d'observer les zones qui peuvent être débordées par les eaux.

En effet, les débits calculés sont saisis sur le logiciel de modélisation HEC-RAS.

En plus des données géométriques de l'Oued, afin d'établir un modèle pour diagnostiquer l'écoulement de l'Oued et définir les limites d'eaux de l'Oued et donc établir une cartographie des zones à risque d'inondations. Cette cartographie nous a montré que les eaux de l'Oued débordent hors le lit majeur de l'Oued et atteignent des zones habitées au niveau du centre, d'où la nécessité d'un aménagement pour protéger le centre contre les inondations.

Références bibliographiques

CHEIKH SIDI EL KHAIR Fatma (2013) : Délimitation des zones inondables par l'utilisation combiné du logiciel HEC-RAS et HEC GEORAS cas du centre « Ain Jemaa »

Agence du bassin hydraulique (2012) : Diagnostic de la situation actuelle, étude hydraulique et définition des travaux d'aménagements.

LAHSAINI Meriam (2011) : Etude et modélisation des crues du tronçon urbaine de l'Oued Aggay , ville de Sefrou.

Cours d'hydrologie et assainissement d'Ecole Normal Abd Elmalek Essaadi de Tetouan.

Webographie :

<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/main.html>

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

<http://fr.wikipedia.org/>