



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

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

**Délimitation des zones inondables par
l'utilisation combiné du logiciel HEC-RAS et
HEC GEORAS cas du centre « Ain Jemaa »**

Présenté par:

CHEIKH SIDI EL KHAIR Fatma

Encadré par:

- Pr. LAHRACH Abderrahim
- Mr Abdellah BOURAK . ABHS

Soutenu Le 26 Juin 2013 devant le jury composé de:

Pr. LAHRACH Abderrahim Encadrant

Pr. BENAABIDATE Lahcen

Pr. CHAOUNI Abdelali

Pr. TEBYAOUI Hassen





Année Universitaire : 2012-2013

Résumé

Le bassin versant d'Oued Ain jemaâ s'écoule à travers le centre rural d'Ain jemaâ qui se situe au nord-ouest de la préfecture de Meknès. Il en occupe 7.521 km². La totalité de cette surface a une altitude inférieure à 503m.

Ce bassin reçoit en moyenne 500 mm de pluie par an, sous une température moyenne annuelle de 18.15 °C.

L'évapotranspiration réelle prive ce bassin de 290.6 mm des précipitations qu'il reçoit.

Au niveau de ce bassin les affleurements changent brutalement. En effet, au Nord les affleurements sont rocaillieux, constitués de carbonates liasiques karstifiés et fracturés très perméables. Plus au Sud, on note l'abondance de dépôts de versants, à faciès essentiellement marneux du Miocène.

Outre ces paramètres climatiques, géologiques, et géomorphologiques, les caractéristiques physiographiques du bassin versant d'Oued Ain jemaâ conditionnent l'écoulement de la rivière.

La maîtrise et l'atténuation des conséquences des inondations provoquées par cet oued nécessitent un suivi hydrologique continu et une bonne connaissance des comportements hydrologiques à l'échelle du bassin et de la région. 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'inondations.

En se basant sur les fonctionnalités de modélisation qu'offre le logiciel HEC-RAS nous avons réalisé une modélisation de l'écoulement qui a permis de délimitation des zones inondables au centre d'Ain Jemaâ. Ces résultats peuvent contribuer à prévoir des aménagements adaptés afin de minimiser les dégâts causés par ces crues.

Mots-clés : Zone inondable, Modélisation, HEC-RAS, HEC-GEORAS, Ain jemaâ, Maroc

Dédicace

Je dédie ce modeste travail. À toute ma famille que je remercie infiniment pour leurs amours, leurs patiences, leurs soutiens, leurs encouragements, et leurs confiances. Rien au monde ne pourrait exprimer un jour ce que j'ai dans mon cœur pour vous.

Et

À mes chers amis qu'ils trouvent dans ce travail mon profond respect.



Remerciements

Au terme de ce projet de fin d'études réalisé à la Faculté des Sciences et Technique Fés, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes encadreurs Mr. Abderrahim LAHRACH, professeur à la faculté des sciences et technique 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 leurs disponibilité, aide et rigoureux conseils, j'ai pu mener à bien ce projet.

Mes remerciements s'adressent également aux membres de jury pour avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie également ma famille qui m'a soutenu tout au long de mon cursus, mes amis avec qui j'ai passé de bons moments et à tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, à accomplir ce projet, et plus précisément Mr Abdelbaset Midawi, doctorant à la faculté des Sciences et Technique Fés et Mr Haytam Mesrar, doctorant à la faculté des Sciences Fés.



Sommaire

Résumé	i
Remerciements	iii
Sommaire	iv
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	viii
Introduction générale	1
Chapitre I: Généralités	1
1. Généralités sur les inondations	2
1.1. Définition	2
1.2. Causes et Conséquences	2
1.3. Types des crues	2
2. Crues Historiques au Maroc	3
3. Protection contre les crues	5
3.1. Protection directe	5
3.2. Protection indirecte	5
Chapitre II : Présentation générale de la zone d'étude	6
I- Situation géographique et administrative	7
1- Contexte régional et provincial	7
II- Contexte physique	10
1-Topographie	10
2-La géologie et la géomorphologie	10
3 - Cadre climatique	11
III. Contexte socio-économique	21
1. Cadre administratif	21
2. La Population	21
Tableau 8 :Population de la CR et du centre Ain jemaa (Source : RGPH 2004, * estimation de la commune)	22
3. Les activités économiques	22
Conclusion	24
Chapitre III: Caractéristiques physiographiques du bassin versant d'Oued Ain jemaa	26
Introduction	27
I. Caractéristiques morpho-métriques	27
I.1. Surface, périmètre et talweg principal	27
I.2. Indice de compacité de GRAVELIUS	27
I.3. Le rectangle équivalent	28



II. Caractéristiques des altitudes (Hypsométrie)	29
II.1. La carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Ain jema	29
II.2. Courbe hypsométrique	31
II.3. Les altitudes caractéristiques	32
II.4. Les indices de pente	33
III. Caractéristiques du réseau hydrographique	36
Conclusion	37
Chapitre IV: Etude hydrologique	38
Introduction	39
I. Données d'entrées	39
II. Méthodologie adoptée pour l'étude des crues	39
II.1. Caractérisation du bassin versant	39
II.2. Calcul du temps de concentration	40
II.3. Calcul des débits de pointe	41
III. L'application de la méthodologie	48
III.1. Le temps de concentration	48
III.2. Le débit de pointe	48
IV. Synthèse des résultats	54
Conclusion	55
Chapitre V: Modélisation hydraulique du tronçon d'Oued Ain jema	56
I. Construction du modèle	57
1. Dispositif et outils informatiques utilisés.	57
2. Etapes d'élaboration du modèle	62
III Visualisation et discussion des résultats	67
III.1. Les profils en long	67
III.2. Les profils en travers	68
III.3. Vue de trois dimensions du tronçon modélisé	69
III.4. Vitesse d'écoulement	70
III.5. Restitution de la courbe de tarage	70
III.6. Les tableaux	71
III.7. Détermination des zones inondables dans le tronçon modélisé	71
Conclusion	74
Conclusion générale	75
Références bibliographiques	76
Webographie	77
ANNEXES	78
Annexe1 : Précipitations annuelles, mensuelles en mm de la station pluviométrique «Elhajra»	79



Annexe 2: Températures annuelles, mensuelles de la station pluviométrique «Elhajra»	80
Annexe3: pluies maximales journalieres – station Elhajra	81
Annexe 4: Pjmax, F(x) et le variable Réduite de la loi de Gumbel	82

Liste des figures

Figure 1: carte de la situation géographique de la région Meknès Tafilalt (Plan De Développement Du Centre Ain Jemaa Préfecture De Meknès).	7
Figure 2: carte de la situation géographique du centre Ain jemaa(Plan De Développement Du Centre Ain Jemaa Préfecture De Meknès).	8
Figure 3: Extrait de la carte géologique du sillon pré-rif occidental (service géologique de la société chérifienne de pétrole)	11
Figure 4:Diagramme Ombro-thermique de la station de Meknès	13
Figure 5: Abaque de l'indice d'aridité annuel de Martonne	14
Figure 6: Précipitations moyennes annuelles : Station El Hajra (1970 -2001)	14
Figure 7: Hauteurs des Précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Hajra (1970-2001)	15
Figure 8:La répartition saisonnière des précipitations dans la station de Meknès	16
Figure 9:Températures moyennes annuelles dans la station d'El Hajra (1981/2000)	16
Figure 10:Températures moyennes mensuelles dans la station d'El Hajra (1981/2000).	17
Figure 11:Variation mensuelle des différents termes du bilan hydrique de la zone d'étude	20
Figure 12:Schéma du rectangle équivalent du bassin versant d'Oued ain jemaa	28
Figure 13:: Le Modèle numérique du terrain (MNT) du bassin versant d'Oued Ain jemaa	29
Figure 14: Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Ain jemaa	30
Figure 15: Histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la superficie	31
Figure 16:La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Ain jemaa	31
Figure 17:Carte de Pente du bassin versant de O.Ain jemaa	34
Figure 18:Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Ain jemaa	36
Figure 19:Ajustement par la loi de Gumbel des Pjmax du poste El hajra	48
Figure 20:représentation schématique du dispositif informatique utilisé	58
Figure 21:l'extension Hec-GeoRas sur l'interface ArcMap	59
Figure 22:l'interface du logiciel Hec-Ras 4.2.0	59
Figure 23:schéma illustrant les fichiers d'un projet (Hec-Ras users manual)	60
Figure 24:Quelques entités géométriques numérisées sur ArcMap à l'aide de l'extension Hec-GeoRas	64
Figure 25:L'importation de la géométrie du tronçon a modélisée dans Hec Ras	64
Figure 26:Elaboration des données d'écoulement du tronçon a modélisée dans Hec Ras	65
Figure 27:L'introduction des conditions aux limites pour l'écoulement	66
Figure 28:Fenêtre de la simulation	67
Figure 29:Le profil en long du tronçon modélisé d'Oued Ain jemaa	68
Figure 30:le profil en travers d'une station	69
Figure 31:Vue en 3D de la zone la plus débordée du tronçon simulé	69
Figure 32:La variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire	70
Figure 33:Courbe de tarage du tronçon modélisé d'Oued Ain jemaa	71
Figure 34:Les zones débordées par la crue centennale (Centre d'Ain jemaa)	72
Figure 35:Les zones débordées par la crue cénquantiennale (Centre d'Ain jemaa)	73
Figure 36:Les zones débordées par la crue décennale (Centre d'Ain jemaa)	74

Liste des tableaux

Tableau 1: les stations météorologiques étudiées	12
Tableau 2: Classification de De Martonne de climat	13
Tableau 3 :Hauteurs des Précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Hajra (1970-2001)	15
Tableau 4:La répartition saisonnière des pluies dans la station de Meknès durant la période 1979- 2008.	15
Tableau 5 :Calcul de l'ETP mensuelle (mm)	18
Tableau 6:Calcul de l'ETR par la méthode de comparaison de Thornthwaite	20
Tableau 7:Calcul de la valeur moyenne de l'ETR	20
Tableau 8 :Population de la CR et du centre Ain jemaa (Source : RGPH 2004, * estimation de la commune)	22
Tableau 9:Agriculture et production agricole (Source : Données communale, 2009	23
Tableau 10:Le statut juridique des terrains agricoles (Source : Données communales, 2009)	23
Tableau11:Longueur et largeur du rectangle équivalent du bassin versant d'Oued Ain jemaa	28
Tableau 12: Hypsométrie du bassin versant de l'oued Ain jemaa	30
Tableau 13:la surface cumulée en fonction de l'altitude	31
Tableau 14 :Le coefficient de torrencialité du bassin versant d'Oued Ain jemaa	37
Tableau 15:Fiche morpho- métrique du bassin versant d'Oued Ain jema	37
Tableau 16:les caractéristiques du sous BV (du tronçon à modélisée).	40
Tableau 17:Les coefficients de Montana Fès	44
Tableau 18:les valeurs du coefficient du ruissellement selon la nature du sol (étude de protection contre l'inondation des centres de Ain karma)	45
Tableau 19:Les valeurs de k (études de protection contre l'inondation des centres de Ain karma).	46
Tableau 20:Les valeurs a et b (étude de protection contre l'inondation des centres de Ain karma)	47
Tableau 21:Le Temps de concentration du bassin versant d'Oued Ain jemaa en heure	48
Tableau 22 :Les pluies maximales journalières pour différentes périodes de retour	49
Tableau 23:Le Gradex journalier pour la station pluviométrique El hajra	49
Tab.23: Tableau 24:Passage de pluies journalières ou pluies en 24 heures	49
Tableau25:Débit de référence calculé par les formules empiriques (en m3/s)	50
Tableau 26:: Qp, V et R de période de retour de 10 ans	51
Tableau 27:Pluies sur le temps de concentration du bassin versant d'Oued Ain jemaa	51
Tableau 28:Les valeurs de Gp(Tc) pour le différent période de retour	52
Tableau 29:Résultats du calcul de R(T, Tc), Qp(T) et le V(T, Tc)	52
Tableau 30:Résultats pour le calcul de Qp(T)	53
Tableau 31:Les valeurs de Q(T) pour les différents périodes de retour calculé par la méthode de Mac Math	53
Tableau 32:Les valeurs de Q(T) pour les différents périodes de retour calculé par la Méthode de Mallet Gautier	54
Tableau 33:Les valeurs de Q(T) pour les différents périodes de retour calculé par la Méthode de fuller II	54
Tableau 34:Les valeurs de Q(T) pour les différents périodes de retour calculé par la Méthode de Hazan-Lazarevic	54
Tableau 35:les débits obtenus en (m3/s) par les différentes méthodes et les valeurs Qt retenus	54
Tableau 36:principaux paramètres hydrauliques pour un ensemble de stations	71

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 en plus adopté pour simuler et comprendre les phénomènes hydrologiques et hydrauliques. En outre, les systèmes d'information géographique sont désormais indispensables à la bonne gestion dans ce domaine comme dans d'autres.

Notre étude, vise à délimiter les zones inondables du centre d'Ain jemaa qui se situe dans la province de Meknès et qui est exposé à des inondations provoquées par l'Oued Ain jemaa, par l'utilisation combinée 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 généralités sur les inondations, suivi de 2 chapitres qui traitent les caractéristiques géographiques, agro-pédo-géologiques et climatique de la commune de Ain jemaa et les paramètres géologiques, physiographiques et climatiques du bassin versant d'oued Ain jemaa.

Les chapitres 4 et 5 concernent l'étude hydrologique et la modélisation hydraulique d'oued Ain jemaa. Et enfin la conclusion générale, et les annexes.



Chapitre I: Généralités

1. Généralités sur les inondations

1.1. Définition

Une inondation, correspond au débordement lent ou rapide des eaux hors de leur emplacement habituel. Cette submersion affecte généralement des terrains avoisinant un cours d'eau ou un plan à niveaux variables (par exemple lit moyen ou majeur), elle peut être régulière, par exemples dans les zones tempérées et froides au moment de la fonte des neiges, ou bien dans les pays tropicaux et de mousson pendant la saison des pluies exceptionnelles (orages de début de saison au Maghreb) ou par la rupture d'ouvrages. Elle se produit lorsque de l'eau en excès ne peut être évacuée par les voies naturelles (lit mineur des cours d'eau) ou artificielles prévues à cet effet (drains canaux d'irrigation ou réseaux d'assainissement).

1.2. Causes et Conséquences

Les inondations peuvent avoir de nombreuses causes cumulables, certaines sont naturelles et d'autres anthropiques:

Généralement ce sont les crues d'eau suite à des pluies de forte intensité qui sont la cause principale. Une crue est l'augmentation du débit d'un cours d'eau dépassant plusieurs fois le débit moyen.

Les inondations peuvent aussi résulter d'une lenteur, voire une absence d'infiltration dans des espaces soumis à des averses de forte intensité. Nombre d'inondations ou crues pluviales dans les villes se sont produites à cause des lieux rendus imperméables et à cause de l'incapacité des réseaux d'assainissement d'évacuer l'excès d'eau.

Certaines inondations sont liées à la rupture d'ouvrages (Barrage ou digue) ou à un glissement de terrain où la masse de matériau glissé bouche le lit du cours d'eau et empêche l'écoulement habituel.

1.3. Types des crues

Les inondations peuvent être la conséquence de crues ou simplement de fortes averses. Les principaux facteurs qui influencent la durée et l'intensité des inondations sont la pluviométrie, l'état hydrique des sols, le degré d'imperméabilité, le couvert végétal, les pratiques culturelles, le drainage, l'aménagement et l'entretien du réseau hydrographique.

✓ **Inondations de plaine**

Elles sont provoquées par des crues lentes et progressives, Elles se produisent souvent après une longue période de pluviosité. Lorsque les sols sont saturés d'eau, plutôt en Hiver, elles ne créent pas de dangers pour les vies humaines, sauf imprudence, mais peuvent s'étaler sur plusieurs semaines, et occasionner des dégâts très importants.

Au Maroc, ces inondations se produisaient sur les plaines alluviales des grands fleuves ayant un bassin versant dépassant 10000 Km² (Moulouya, Sebou, Oum Errabi, Tensift, Souss, Draa, Ziz), mais la construction de grands barrages sur ces fleuves a nettement baissé l'ampleur des inondations de ces fleuves. En 1996, une inondation de ce type a couvert plus de 140 000 hectares de la plaine du Gharb.

✓ **Inondations dues à des crues torrentielles**

Ce sont de brusques crues de torrents ou de rivières suite à des pluies abondantes dans des zones montagneuses, où les pentes fortes accélèrent le courant. Elles causent la montée des eaux (plusieurs mètres en quelques heures). Elles ne peuvent être prévues plusieurs jours à l'avance. Elles sont souvent dévastatrices et meurtrières.

Au Maroc, ce sont généralement les affluents des grands fleuves qui sont responsables des inondations concernant souvent des villages ou villes installés au piémont des grands reliefs, au bord des cours d'eau.

✓ **Inondations par ruissellement (Crues pluviales « urbaines »)**

Elles sont provoquées par des fortes pluies sur des sols où les infiltrations sont quasi nulles. Dans les zones urbanisées, les sols imperméabilisés ne permettent pas à l'eau de s'infiltrer. Les eaux de pluie ruissellent, saturent les réseaux d'évacuation et entraînent une remontée d'eaux par les égouts ce qui a pour conséquences la submersion de la voirie et des constructions de tout un quartier.

2. Crues Historiques au Maroc

Les précipitations qui se sont abattues des dernières années sur le Maroc ont provoqué des inondations qui ont plongé, certaines régions du Royaume dans l'isolement. Parmi les sites exposés à ce risque, on peut citer les exemples suivants:

➤ **Ourika**

Le bassin versant de l'Ourika, situé dans le Haut Atlas de Marrakech, présente une forme allongée avec des pentes très importantes au niveau des affluents et des versants. de point de vue lithologique, les terrains sont assez imperméables ce qui fait

accroître les risques d'inondations. Cette situation favorise une augmentation des volumes d'eau mobilisés par le cours d'eau principal et le développement d'importantes crues. de plus le bassin connaît souvent des épisodes orageux parfois rapides qui génèrent des inondations surtout en période d'été.

Cette région, a déjà connu plusieurs crues dans les années passées mais les plus dangereuses sont celles d'Août 1995 qui ont tout emporté sur leur passage avec plus d'une centaine de morts et quatre-vingts disparus. (Agence de Bassin Hydraulique du Tensift.2005)

➤ **Gharb**

Le bassin hydraulique du Gharb dispose du plus fort débit des eaux de surface. Malgré leur grande capacité de stockage, les barrages de cette région sont saturés.

Cette région qui se trouve à la croisée des deux grands fleuves Sebou et Baht, est aussi soumise à de fortes inondations, dont la cause reste liée à la nature argileuse du sol et à l'abondance des eaux qu'il faut transférer vers les régions les moins loties.

➤ **Mghogha**

La ville de Tanger, notamment le quartier industriel de Mghogha est aussi menacé par le risque d'inondation.

Lors de ces dernières inondations d'Octobre 2009, Oued Mghogha a submergé deux zones industrielles occasionnant d'énormes dégâts matériels à des dizaines d'usines ; ce secteur a été paralysé pendant plusieurs jours, à cause de ces inondations. En effet, 62 mm étaient largement suffisants pour que ce quartier et toute la ville du Détroit se noient sous les eaux. (La vie éco. 2010).

➤ **Malha**

La province de Taza a connu le 22 Novembre 2002 des précipitations torrentielles d'origines orageuses qui ont engendré la crue d'oued Larbâa et son affluent oued El Haddar.

La crue d'oued Larbâa a touché le quartier Malha à 5H30 et a duré 5h. Le débit de pointe est estimé à $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Le volume de la crue est d'environ $14,4 \text{ Mm}^3$.

Comme pour les crues précédentes, les douars Malha et Chleuh ont été les plus touchés par les eaux de crue.

L'enquête de crue menée par l'agence urbaine de Taza a mesuré une emprise inondée de l'ordre de 300m au niveau de douar Malha. Le nombre de logements touchés par cette crue est de 34 unités.

3. Protection contre les crues

Ne pouvant empêcher ces inondations de se produire, il est cependant possible d'en atténuer les effets ou d'en diminuer la fréquence en priorité au niveau des zones les plus sensibles et les plus exposées. Ces protections peuvent être réparties en deux groupes : directes et indirectes.

3.1. Protection directe

La protection directe consiste à intervenir directement sur le site menacé par la mise en œuvre des actions suivantes:

- Curage qui permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau.
- Rééquilibrage qui permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protection désirées.
- Renforcement des ouvrages de franchissements des oueds et modifications de leurs caractéristiques et des systèmes existants en cas de leur insuffisance.
- Réalisation des canaux permettant de régénérer le couloir initial de l'oued.
- Protection des berges qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau.
- Endiguement des oueds par la réalisation de digues qui longent le cours d'eau sur ses deux berges.

3.2. Protection indirecte

Elle consiste à intervenir plus loin des sites menacés, en réalisant des ouvrages sur les oueds responsables des inondations.

- Création des canaux périphériques.
- Réalisation des barrages ou seuils pour stocker et laminage des crues à l'amont des zones menacées.
- Aménagement des bassins versants contre l'érosion par la construction de seuils en gabions permettant la réduction des vitesses

Chapitre II : Présentation générale de la zone d'étude

I- Situation géographique et administrative

1- Contexte régional et provincial

Le centre d'Ain jema relève de la commune rurale d'Ain jema, du cercle d'Ain Orma, de la préfecture de Meknès et de la région Meknès-Tafilalet.

- Le contexte régional

La région de Meknès-Tafilalet jouit d'une position géographique privilégiée sur le territoire national : c'est une zone de passage entre le Nord et le Sud ainsi qu'entre l'Est et l'Ouest du Royaume.

Cette région s'étend sur une superficie de 60.407 km², soit près de 8,5% du territoire national et regroupe une population de 2,14 millions d'habitants. Elle est limitée au Nord par la région de Gharb-Chrarda-Béni-Hssen, au Nord-Est par la région de Fès-Boulemane, au Sud-Est par la région de l'Oriental, au Sud par les frontières maroco-algériennes, au Nord-Ouest par la région de Rabat-Salé-Zemmour-Zaër, à l'Ouest par les régions de Chaouia-Ouardigha et Tadla-Azilal et au Sud-Ouest par la région de Souss-Massa-Drâa.

De point de vue administratif, la région est composée de la préfecture de Meknès et des provinces d'El Hajeb, d'Ifrane, de Khénifra et d'Errachidia.

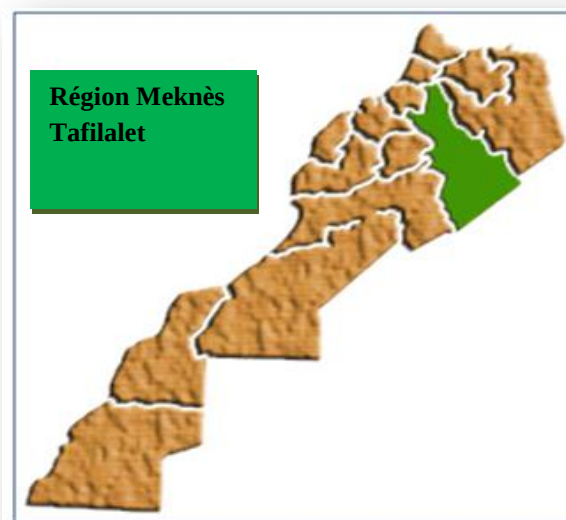


Figure 1: carte de la situation géographique de la région Meknès Tafilalt (Plan De Développement Du Centre Ain Jemaa Préfecture De Meknès).

- **Le contexte provincial (Préfecture de Meknès)**

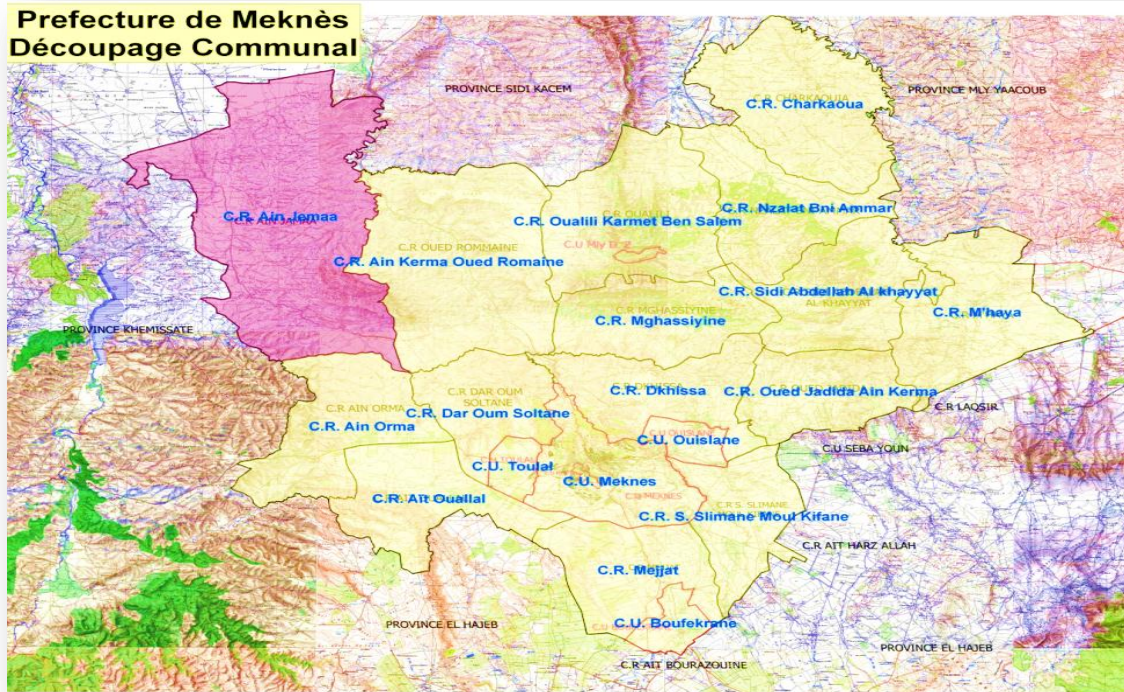


Figure 2: carte de la situation géographique du centre Ain jemaa(Plan De Développement Du Centre Ain Jemaa Préfecture De Meknès).

Niché à l'extrême de la partie ouest du massif montagneux de Zerhoun, le centre d'Ain jemaâ fait partie de la préfecture de Meknès.

Cette préfecture qui abrite la grande agglomération de Meknès, chef-lieu de la région Meknès-Tafilalet, concentre l'essentiel des activités économiques et une grande partie de la population régionale, surtout parmi la population citadine, et joue, par conséquent, le rôle de locomotive pour l'économie régionale. Cette préfecture se compose de 06 communes urbaines et communes rurales dont celle d'Ain jemaâ.

Située à l'extrémité nord de la région Meknès-Tafilalet, la préfecture de Meknès s'étend sur une superficie de 1786 km² et se déploie sur une zone de contact entre le pré-Rif et le Moyen Atlas : le plateau du Saïs. La préfecture de Meknès abrite le chef-lieu régional et comprend 23 communes dont 6 urbaines. Sur le plan géographique, le

territoire de la préfecture de Meknès forme un ensemble étagé dont l'altitude varie du nord au sud, et d'est en ouest, créant trois espaces dotés de caractéristiques distinctives:

- Une zone de montagne dont l'altitude varie de 400 à 1118 m, constituée par une chaîne mamelonnée alternant des creux très accidentés et des reliefs plus doux. Cet espace comprend le massif du Zerhoun, le Jbel Kannoufa, et le Jbel d'Outita (domaine pré rifain).

- une zone de plateaux s'étalant d'Ain Orma à l'ouest, jusqu'à Ain Taoujdade à l'est, selon une pente décroissante de 12% environ et une altitude allant de 800 m au sud à 500 m au Nord, aux abords des rides pré-rifaines (Jbels Zerhoun et Kannoufa).

- Une zone de plaine englobant les confins de Ain Jemaâ, la partie centrale du sillon Sud-Rifain (300 à 400m d'altitude) et la plaine des Mejjat (700 m d'altitude environ). Au niveau géologique, on observe que les roches constituées de marnes bleues (Tortonien), et de marnes rouges (Hamri) ont générés des sols fertiles et profonds qui retiennent l'humidité, créant ainsi l'un des meilleurs terroirs du Royaume très favorable à la céréaliculture. Toutefois, on observe que les sols argileux situés dans la partie Nord dominée par le Massif du Zerhoun sont moins fertiles que ceux du Saïs et plus aptes à la culture oléicole. Le climat est de type continental, ouvert sur l'influence de l'océan atlantique, les précipitations sont de 570 mm par an en moyenne.

Les températures annuelles moyennes présentent de fortes amplitudes avec un minimum pouvant atteindre 3,4°C en hiver jusqu'à 45,2° C en été.

Les vents dominants sont orientés Sud-Est/Nord-Ouest. Sur le plan hydrographique, on distingue deux réseaux principaux, celui de l'oued R'Dom et celui de l'oued Mikkès vers lesquels affluent de nombreux cours d'eau dont les oueds Boufekrane, Bouishac, Ouislane, El Kell, Zifer, Bou Gnaou et Oued Jdida. Ces oueds ont creusés des lits relativement profonds et larges, d'où le caractère très encaissé des différentes vallées.

II- Contexte physique

1-Topographie

Le centre d'Ain Jemâa se trouve dans une cuvette avec un relief non accidenté. Les pentes présentes sur la commune sont relativement douces.

2-La géologie et la géomorphologie

La zone d'étude empiète deux unités géologiques séparées par un accident majeur du Nord vers le Sud, ces unités sont :

- L'unité Nord faisant partie des rides pré-rifaines : elle est constituée par les affleurements liasiques carbonates qui forment l'essentiel de la ride et se prolongent plus au Nord sous un remplissage marneux du Miocène, surmonté par des molasses du Pliocène et des dépôts de versants quaternaires;
- L'unité Sud faisant partie du sillon sud rifain : constituée essentiellement par des affleurements marneux de grande épaisseur, surmontant les carbonates liasiques et les argiles rouges triasiques.

Entre ces deux unités, l'accident sud rifain joue le rôle d'une faille inverse chevauchante par endroit. Cette faille rehausse la partie nord et affaisse la partie sud. Elle fait remonter les argiles triasiques par endroit et influence l'inclinaison des couches au Nord.

Au niveau du centre d'Ain Jemâa et de sa zone limitrophe, les affleurements changent brutalement. En effet, au Nord les affleurements sont rocaillieux, constitués de carbonates liasiques karstifiés et fracturés très perméables. Ces carbonates sont pulvérisés sous forme de brèches au niveau de l'accident sud rifain. Plus au Sud, on note l'abondance de dépôts de versants, à faciès essentiellement marneux du Miocène. Ces Termes géologiques sont de faibles perméabilités, sauf à leur niveau d'altération.

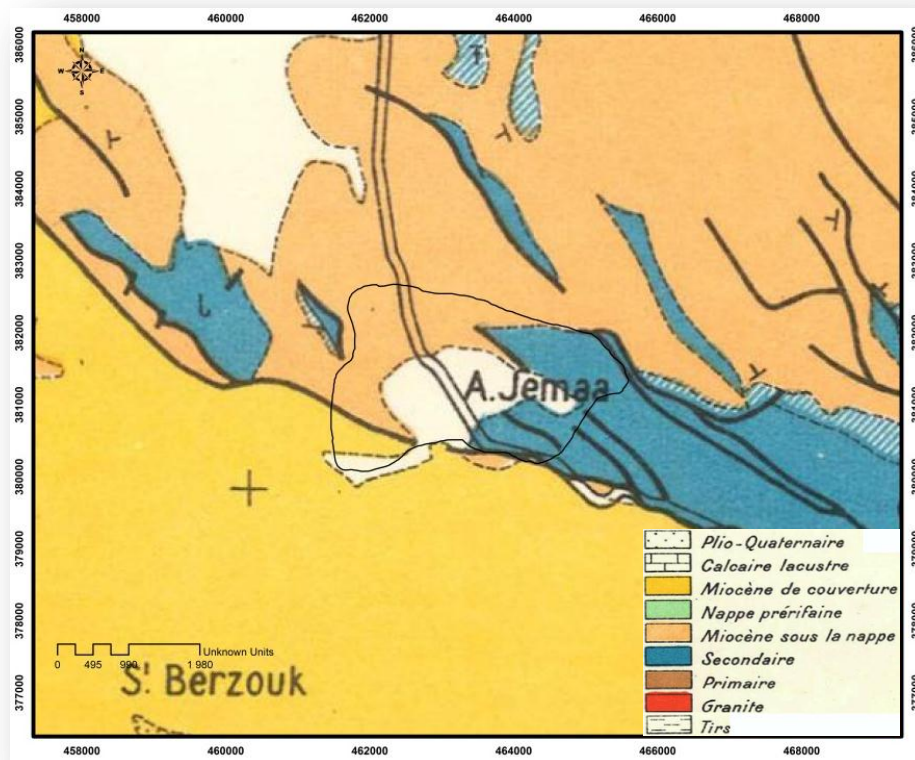


Figure 3: Extrait de la carte géologique du sillon préif occidental (service géologique de la société chérifienne de pétrole)

3 - Cadre climatique

Le climat joue un rôle déterminant dans le cycle hydrologique. Il régit la répartition spatio-temporelle des ressources hydriques et conditionne son potentiel hydrogéologique.

Dans cette partie, nous étudions la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques (précipitations, température, évaporation), enregistrés dans 2 stations (El Hajra et méknes) qui sont réparties près du centre d'Ain jemaa.

Les données de ces stations sont récupérées auprès du service hydrologique de l'agence du bassin hydraulique de Sebou.

Stations	Coordonnées		
	X	Y	Z
Meknes	487.5	365	550
El Hajra	508.86	382.70	215

Tableau 1: les stations météorologiques étudiées

3. 1- Caractérisation du climat

La caractérisation du climat d'une zone donnée à l'aide d'indices ou de diagrammes permet de comparer les climats d'une région à l'autre. Ils prennent généralement en compte l'offre pluviométrique, la demande évaporatoire et les températures.

✓ Diagramme Ombro-thermique

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

L'examen des données relatives au diagramme ombro-thermique de la station de Meknes (Fig.4) montre que le climat de Meknès est caractérisé par deux périodes bien marquées (figure.4)

- une période humide qui s'étale entre les mois d'octobre et d'avril et qui coïncide avec la période la plus fraîche ;
- une période à la fois sèche et chaude, qui s'étale de mai à septembre .Durant les mois de Juillet et Août, marquant le pic de la saison sèche, les pluies sont rares et apparaissent assez souvent sous forme d'averses violentes.

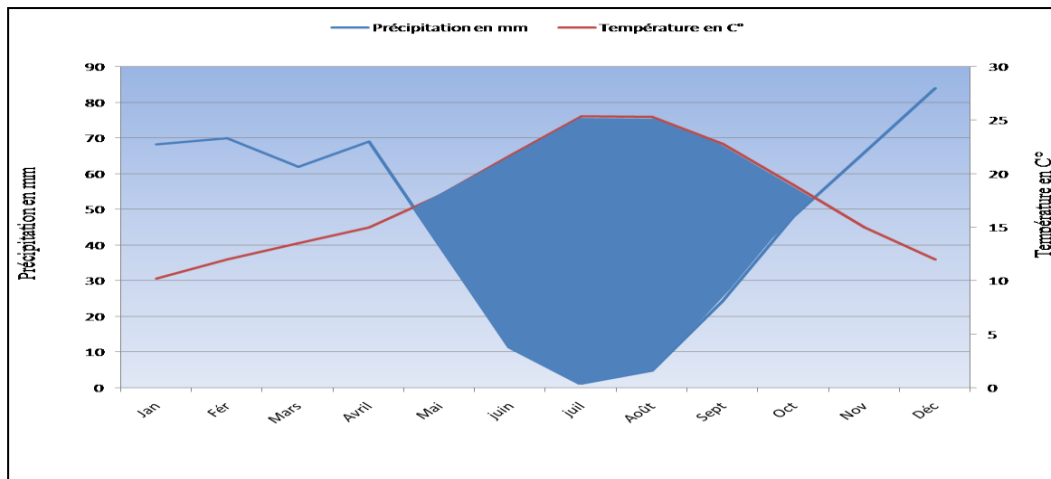


Figure 4:Diagramme Ombro-thermique de la station de Meknès

✓ Indice de Martonne

Cet indice est fonction des températures et des précipitations ; il est calculé par la relation suivante:

$$I = P/(T + 10)$$

I : indice d'aridité.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C.

$$I = 20.15$$

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante:

$I < 5$	<i>Climat hyperaride</i>
$5 < I < 7,5$	<i>Climat désertique</i>
$7,5 < I < 10$	<i>Climat steppique</i>
$10 < I < 20$	<i>Climat semi-aride</i>
$20 < I < 30$	<i>Climat tempéré</i>

Tableau 2: Classification de De Martonne de climat

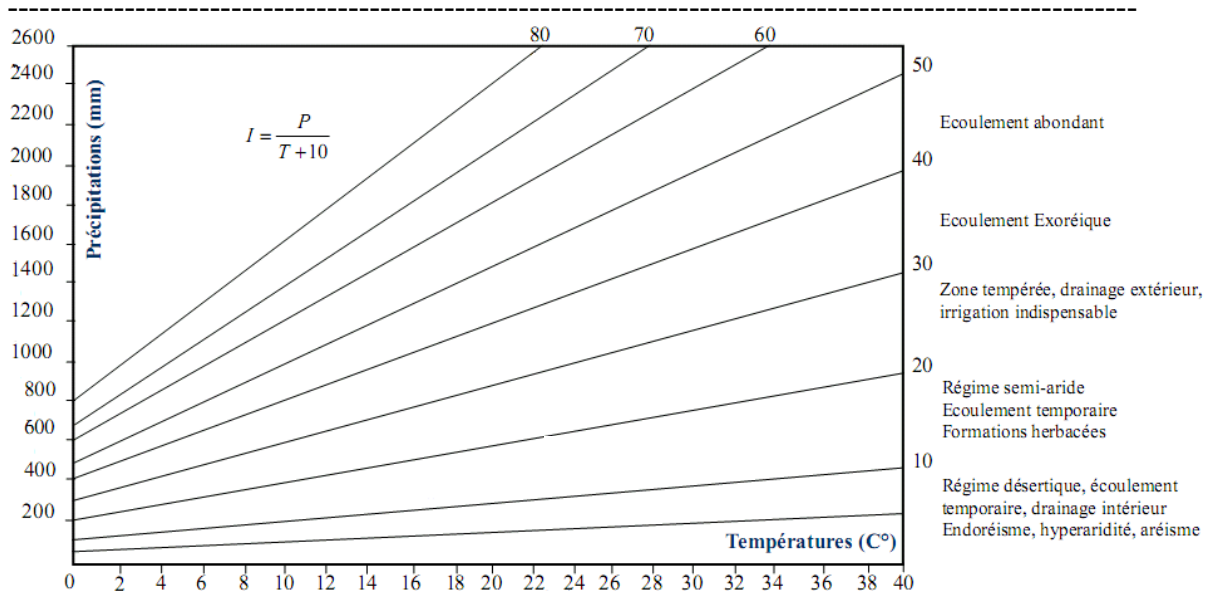


Figure 5: Abaque de l'indice d'aridité annuel de Martonne

3.2. Etude des facteurs climatiques

1. La pluviométrie

Les précipitations forment un paramètre hydrologique d'une grande importance dans le fonctionnement d'un bassin versant. Celles-ci, désignent toutes les formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère et qui tombe sur la surface terrestre.

➤ Analyse des précipitations annuelles

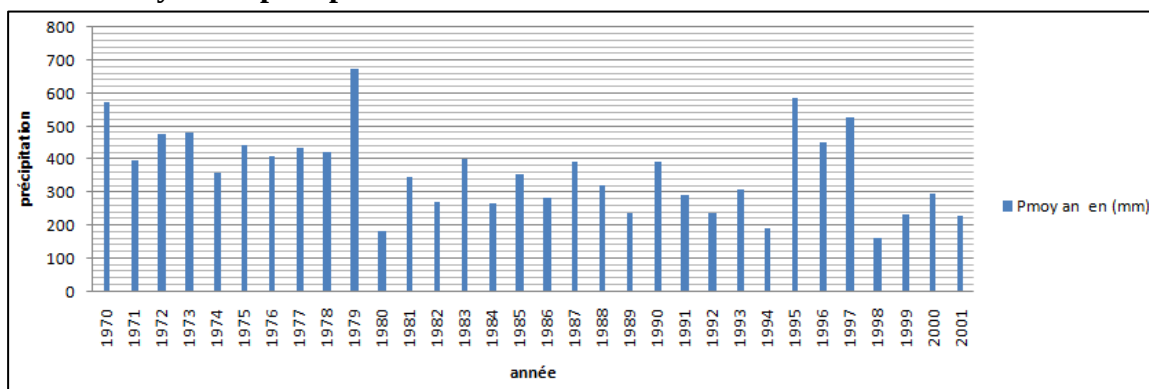


Figure 6: Précipitations moyennes annuelles : Station El Hajra (1970 -2001)

D'après la Fig. 6 on peut tirer les résultats suivants:

- L'année de forte pluviométrie est marquée par une pluviométrie très importante c'est l'année 1976 où la moyenne est de 678mm.
- L'année de pluviométrie faible est marquée par des précipitations faibles est irrégulières. Les années où la pluie est faible sont très fréquentes.

➤ Analyse des Précipitations mensuelles

La fig. 7 montre que le mois le plus pluvieux est Décembre alors que le mois le plus sec est Août.

Le mois le plus pluvieux et le plus sec pour la station pluviométrique d'El Hajra

La hauteur de ces précipitations (Fig.7) croit progressivement à partir du mois de Octobre jusqu'à ce qu'elle atteigne son maximum au mois de Décembre. Elle décline pour atteindre son minimum au mois d'Août, à partir duquel, elle reprend sa remontée.

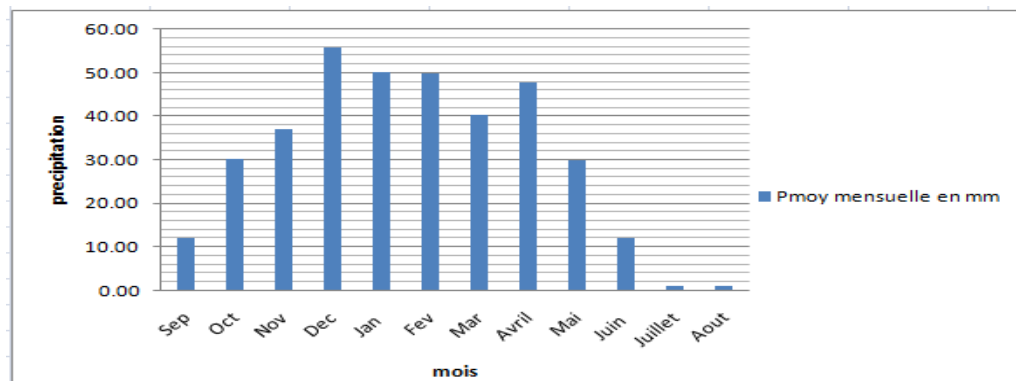


Figure 7: Hauteurs des Précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Hajra (1970-2001)

Stations	Le mois le plus pluvieux	Le mois le plus sec	Pluie maximale	Pluie minimale
El Hajra	Décembre	Août	55.96	0.91

Tableau 3 :Hauteurs des Précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Hajra (1970-2001)

➤ Analyse des précipitations saisonnières

La variation saisonnière des précipitations résumée dans le Tab.4 est obtenue à partir des valeurs moyennes mensuelles de la lame d'eau enregistrée dans la station de méknes afin de quantifier la part moyenne de chaque saison.

Saison	Hiver	Printemps	Eté	Automne
P (mm)	170.3 (36.18%)	108.62 (23.08%)	20.18 (4.3%)	171.51 (36.44%)

Tableau 4:La répartition saisonnière des pluies dans la station de Meknès durant la période 1979- 2008.

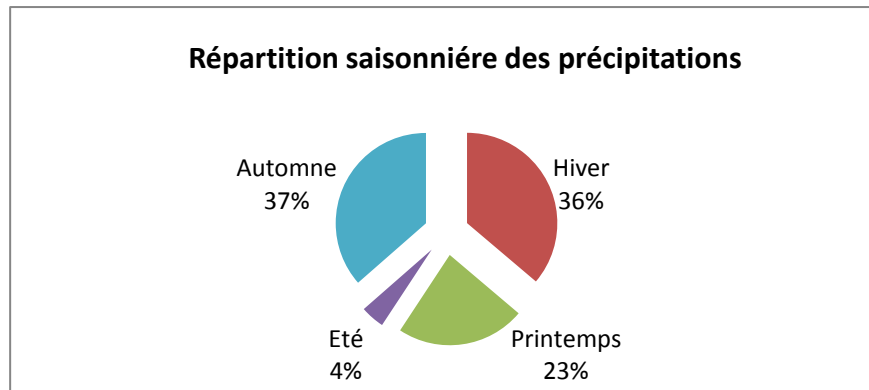


Figure 8:La répartition saisonnière des précipitations dans la station de Meknès

La répartition saisonnière des précipitations est caractérisée par une irrégularité. Elles sont abondantes durant l'automne et le l'hiver avec 37%, alors que elles sont très réduites en été avec 4%.

2. la Température

- La température est l'une des composantes principales du climat. Elle constitue également un facteur primordial en hydrologie. Elle contrôle l'intensité de plusieurs paramètres du cycle d'eau: l'évaporation, la transpiration des végétaux...

De ce fait, la caractérisation et l'identification du contexte climatique d'un bassin versant doit comporter obligatoirement, entre autres, l'étude de la température.

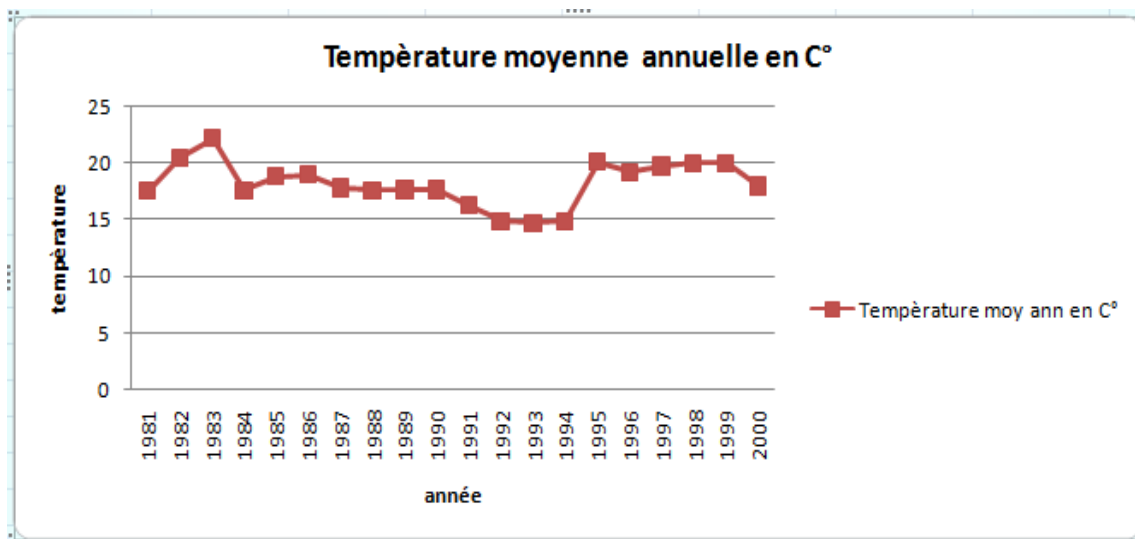


Figure 9:Températures moyennes annuelles dans la station d'El Hajra (1981/2000)

Dans la Fig.9 La température moyenne annuelle maximale est de 22.12°C elle est enregistrée à l'année 1983, tandis que la température moyenne annuelles minimale est de 14. 7° C obtenue à l'année 1993.

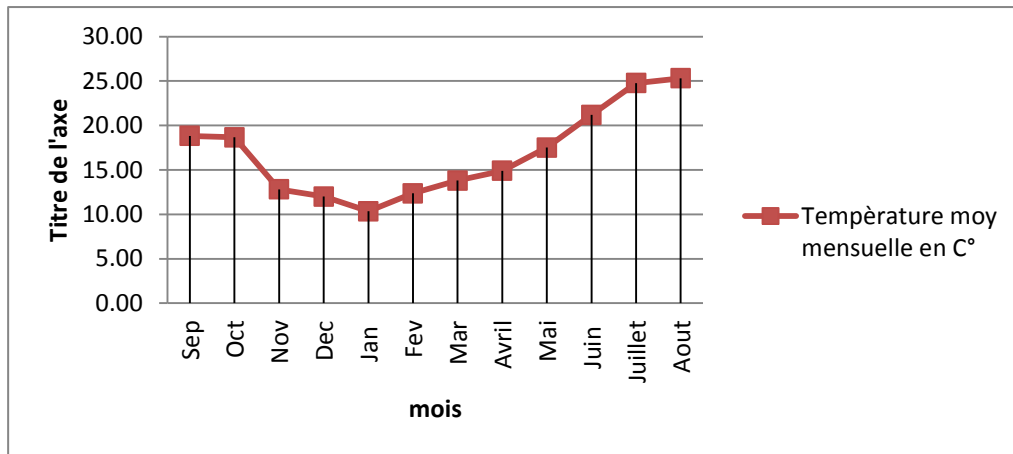


Figure 10:Températures moyennes mensuelles dans la station d'El Hajra (1981/2000).

Les mois Novembre, Décembre, Janvier et Février constituent les mois les plus froids (saison froide), avec une moyenne minimum au mois de Janvier (10.33°C). Les mois Juin, Juillet, Août et Septembre forment la saison chaude avec une moyenne maximum au mois d'Août, soit 25. 31°C

3. Estimation d'évapotranspiration

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique, et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant.

L'évapotranspiration représente la somme de toutes les pertes d'eau par transpiration des végétaux et par évaporation. Elle est régie par plusieurs facteurs de nature climatique, végétale ou de sol.

On distingue:

- **Evapotranspiration potentielle ETP**

ETP est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifique (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance.

Pour son estimation, Thornthwaite (1948) a établi une équation qui se base sur la température moyenne mensuelle qui s'écrit comme suit:

$$ETP = 16 * \left(\frac{10 * T}{I} \right)^{\alpha}$$

ETP : L'évapotranspiration de référence ou évapotranspiration potentielle (mm).

T: La température moyenne mensuelle (°C).

I: La somme des indices mensuels (i) de l'année, $i = (T/5)^{1.514}$, $I = 78.01$ °C

$\alpha : \alpha = (1.6 * I/100) + 0.5, \alpha = 1.75.$

Le Tab.5 résume le calcul de l'ETP (mm) pour chaque mois au niveau de la station d'El Hajra.

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
T en C°	18.82	18.66	12.81	12.00	10.33	12.35	13.81	14.90	17.51	21.19	24.76	25.31
i en C°	7.44	7.35	4.15	3.76	3.00	3.93	4.65	5.23	6.67	8.90	11.27	11.65
ETP en(mm)	74.72	73.65	38.09	34.00	26.17	35.76	43.44	49.68	65.82	91.96	120.80	125.52

Tableau 5 :Calcul de l'ETP mensuelle (mm)

• Évapotranspiration réelle ETR

ETR est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

Le calcul de l'ETR est basé sur la température et la hauteur des précipitations moyennes annuelles ou mensuelles. Sa détermination s'effectue par plusieurs méthodes.

✓ Méthode de Turc

$$ETR = P/(0.9+P^2/L^2)^{1/2}$$

ETR : est l'évapotranspiration réelle en mm;

P: est la hauteur de précipitation annuelle en mm;

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

T: La température moyenne annuelle en °C.

Pour notre zone d'étude, P= 321.81 mm, L= 1012.97, T= 18.16°C.

$$ETR= 321.66mm$$

✓ Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

L'utilisation des différents paramètres hydro-climatiques calculés, auparavant, permet de fournir une base de données nécessaire pour le calcul de l'ETR par la méthode de Thornthwaite. Cette méthode est basée sur la notion RFU qui est défini

comme étant la réserve en eau facilement utilisable et qui dépend de la saturation du sol et des précipitations.

La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU_{max} (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, en effet dans les zones arides à semi-arides, le sol est considéré saturé quand il absorbe une lame d'eau équivalente à des précipitations de 50 mm (Archambault et al, 1975).

Pour établir ce bilan, après avoir donné la RFU maximale ($RFU_{max} = 50 \text{ mm}$), il faut connaître l'état de la RFU à la fin du mois antérieur au début de l'établissement du bilan. On tient alors l'un des deux raisonnements suivants:

- si la RFU doit être pleine un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la remplir, c'est-à-dire à la fin du dernier mois où $P > ETP$;
- si la RFU doit être vide un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la vider, c'est-à-dire à la fin du dernier mois où $P < ETP$.

On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant ($ETP = ETR$). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P , de l'ETP et de la RFU :

$$\text{➤ Si } P > ETP \rightarrow ETR = ETP$$

• Si $(P - ETR) + RFU_{i-1} < RFU_{max}$ alors $RFU_i = (P - ETR) + RFU_{i-1}$ et $Exc. = 0$.

• Si $(P - ETR) + RFU_{i-1} \geq RFU_{max}$ alors $RFU_i = RFU_{max}$ et $Exc. = (P - ETR) + RFU_{i-1} - RFU_{max}$

Dans ce cas, le surplus des précipitations alimentera l'infiltration et/ou le ruissellement.

$$\text{➤ Si } P < ETP:$$

On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit:

• Si $RFU_{i-1} \geq ETP - P$ alors $ETR = ETP$, $RFU_i = RFU_{i-1} + (P - ETR)$ et $Exc. = 0$.

• Si $RFU_{i-1} < ETP - P$ alors $ETR = P + RFU_{i-1}$, $RFU_i = 0$ et $Exc. = 0$

RFU: La réserve en eau du sol facilement utilisable par les plantes, $RFU_{max} = 50 \text{ mm}$.

RFU_i : La réserve effective à la fin du mois considéré (en mm).

RFU_{i-1} : La réserve effective à la fin du mois précédent (en mm).

Exc. : l'excédent des précipitations par rapport à la mise en réserve (en mm).

Le Tab.6 et la Fig.11 illustrent les principaux résultats obtenus.

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
ETP en(mm)	74.72	73.65	38.09	34.00	26.17	35.76	43.44	49.68	65.82	91.96	120.80	125.52
P en (mm)	13.30	24.54	42.65	49.67	45.64	37.84	34.84	39.50	26.72	7.65	1.28	0.18
P-ETP	-61.42	-49.11	4.57	15.67	19.47	2.08	-8.61	-10.18	-39.11	-84.31	-119.52	-125.34
RFU en (mm)	0.00	0.00	4.57	20.24	39.71	41.79	33.19	23.01	0.00	0.00	0.00	0.00
ETR en (mm)	13.30	24.54	38.09	34.00	26.17	35.76	43.44	49.68	49.73	7.65	1.28	0.18
Excédent	0.00	0.00	0	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Déficit	61.42	49.11	0	0	0	0	0.00	0	16.10	84.31	119.52	125.34

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

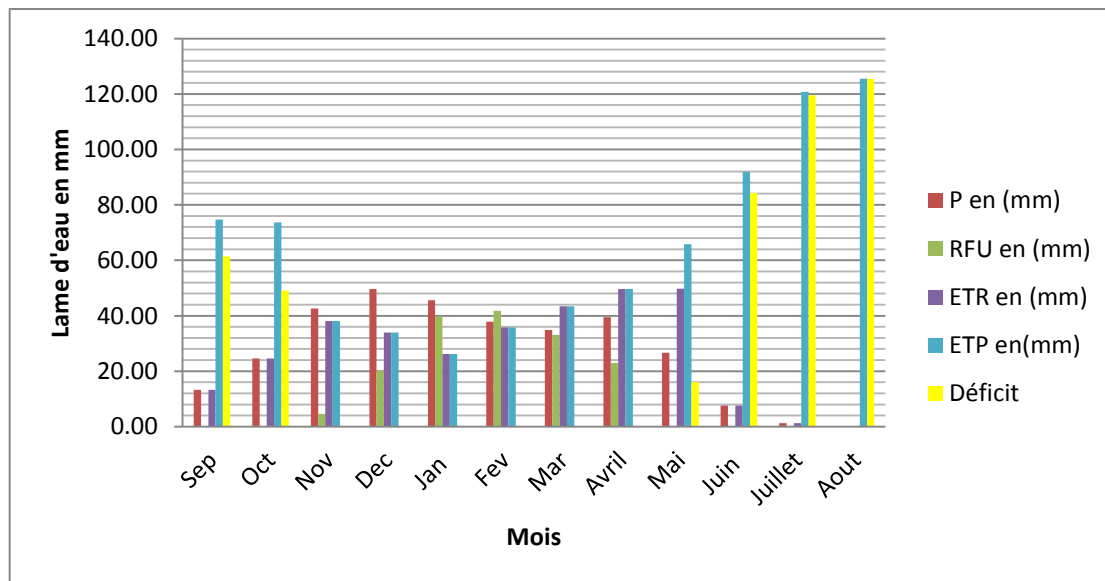


Figure 11:Variation mensuelle des différents termes du bilan hydrique de la zone d'étude

Ayant établi ce bilan par mois, on évalue l'ETR annuelle par la somme des ETR mensuelles.

Méthode	Turc	Thornthwaite	Moyenne
ETR (mm)	321.66	323.83	322.74

Tableau 7:Calcul de la valeur moyenne de l'ETR

4. Hydrogéologie

L'hydrogéologie régionale et locale de la zone d'étude est fortement influencée par la structure de la région. En effet, au Nord et Nord Est de cette zone (passant par la ville de Fès), les affleurements carbonates liasiques sont le siège d'une nappe phréatique importante dont le niveau est parfois proche du sol. Cette nappe donne naissance à plusieurs sources dans la région. Au sud, les marnes sont caractérisées par l'absence de nappe généralisée. Les seuls suintements sont abrités par les écoulements hypodermiques.

A une échelle locale, au-dessous de la zone d'étude, gîte une nappe carbonatée liasique très localisée, dont le niveau est parfois proche du sol, donnant ainsi naissance à plusieurs sources dans la zone. Trois de ces points d'émergence de la nappe jaillissant encore.

Oued R'dom représente le principal réseau hydrographique dans l'espace de la commune, il prend naissance dans le moyen Atlas. Il est le plus important cours d'eau du plateau de Meknès, qui y coule dans sa presque totalité.

III. Contexte socio-économique

1. Cadre administratif

Le centre d'Ain Jemâa se situe à environ 35 km de Meknès sur la route régionale RR 705 reliant Sidi Slimane à Meknès. Il est le chef-lieu de la commune rurale d'Ain Jemâa, le siège de la caïdat portant le même nom et dépend du cercle d'Ain Orma et de la préfecture de Meknès.

Elle est limitée au nord par la CR Ziara (Sidi kacem) et Ouelad Ben hamadi (Kenitra), à l'ouest par les provinces de Kenitra et Sidi kacem, au sud par la CR Ain Orma, et à l'est par les CR Ain Orma et oued Roumane.

La commune rurale d'Ain jemaa, à l'image des autres communes rurales relevant du cercle d'Ain Orma, développe des activités liées à l'agriculture. Le développement du centre de cette commune peut participer à réguler l'exode rural dans la zone nord de la Préfecture de Meknès.

Le statut de chef-lieu de la commune lui donne un rôle administratif et d'encadrement important à l'échelle du reste du territoire et de quelques communes voisines.

Par ailleurs, et suite au nouveau découpage administratif, deux communes rurales ont été supprimées, à savoir : la CR Oued Roumane et celle de Oualili, ainsi la superficie de la Commune de d'Ain jemaa a été élargie en annexant une partie de l'ex-commune Oued Roumane; dont le reste est ajouté à la commune rurale de Ain kerma

La commune rurale d'Ain jemaa s'étend sur une superficie de 250 Km² avec une population totale de 13146 habitants selon le RGPH 2004.

2. La Population

Selon le RGPH 2004, la population de la CR d'Ain jemaa a été de 13146 habitants en enregistrant un taux de 0,2% (entre 1994 et 2004),

La population du centre d'Ain jemaa est actuellement estimée (selon les services de la commune 2011) à quelques 3756 habitants répartis sur 512 ménages. La taille moyenne des ménages dégagée par l'enquête est d'environ 6 personnes. Elle traduit le

profil d'une population en transition lente du mode de vie rural vers une structure de ménages citadins.

En tenant compte de l'évolution de l'environnement immédiat du centre et des mutations auxquelles il assiste ces dernières années, le centre est appelé à connaître un rythme d'accroissement significatif. Le plan de développement homologué vient à point nommé pour planifier son développement futur et à lui donner une vocation en adéquation avec ses ressources et ses potentialités naturelles, démographiques et économiques.

Le taux d'accroissement en 2004 sur la population du centre d'Ain Jemâa issu dans la monographie du centre est 1.02%. L'évolution de la population est présentée dans le tableau suivant :

Année	1994	2004	2011
Population de la commune	12924	8 732	-
Population du centre	2520	2 610	3756*
TAMA	0,6%		

Tableau 8 : Population de la CR et du centre Ain jemaa (Source : RGPH 2004, * estimation de la commune)

3. Les activités économiques

L'activité économique du centre repose essentiellement sur l'agriculture, l'engraissement et la production de produit laitiers,

Les autres activités économiques du centre comptent quelques implantations reliées au commerce de la route, constitué principalement par le commerce alimentaire, aux besoins quotidiens de la population et ceux liés à la route. Le souk s'installe une fois par semaine, le dimanche et le nombre de visiteurs dépasse les 2000.

➤ L'agriculture et l'élevage

Le centres d'Ain jemaa se trouve dans une zone riche et à fort potentiel agricole. Ce potentiel mérite d'être renforcé par la rationalisation des fermes publiques, ainsi que par le renforcement des plantations des oliviers, des céréales, des tournesols et des autres spéculations favorables.

Le secteur primaire, notamment l'agriculture, mobilise une proportion de la population de l'ordre de 1227 agriculteurs. Ceci explique l'importance que joue ce secteur dans la base économique de cette localité.

La surface agricole utile (SAU) est estimée à 18.469 ha à Aït jema (dont 18454ha bours et 15 ha irriguées), avec une superficie moyenne des exploitations de 15 ha dans les terrains bours et 0.5 ha irrigués. Le système d'exploitation agricole est extensif dans 90% des exploitations et le mode de faire valoir est généralement via la coopérative « Essolh » qui contient 28 attributaires exploitant environ 324 ha.

Les cultures pratiquées sont essentiellement les céréales, les légumineuses, les cultures oléagineuses (tournesol), et les plantations fruitières notamment l'olivier. La superficie totale de la commune est de 23 405 ha et une S.A.U de 18 604 ha dont 120 hectares en irrigué. 14 916 ha sont en Melk, 266 ha en collectif, 132 ha en Guich et 3290 ha appartiennent à l'Etat. L'élevage reste généralement de type traditionnel: 281

Superficie totale exploitée		Superficie moyenne des exploitations		Nombre d'agricultures	Production	
En Bour	En irrigué	En Bour	En irrigué		Principaux produits	Rendement par ha
18454 ha	15 ha	15ha	1/2ha	1227	Blé .Tendre + Blé Dure	25 q 9 q 5 tonnes

Tableau 9:Agriculture et production agricole (Source : Données communale, 2009)

La répartition de la SAU communale selon le statut juridique se présente de la manière suivante :

Statut	Superficie (en ha)
Terrains Melk	10
Domaine de l'Etat	8
Autres (Coopérative)	4
Total	22

Tableau 10:Le statut juridique des terrains agricoles (Source : Données communales, 2009)

Les chiffres de ce tableau révèlent que la majorité des terres agricoles sont des terrains privés. Ils représentent environ 324 ha à la commune d'Ain jemaa. Les domaines de l'Etat viennent en deuxième place.

➤ **Le commerce, l'industrie et l'artisanat**

Comme dans la majorité des petits centres nationaux, les secteurs du commerce, de l'industrie et de l'artisanat sont très liés les uns aux autres. Les parts de ces activités dans la mobilisation de la main d'œuvre à Ain jemaa sont respectivement d'environ 17.88% ; 9.09% et 5.45% selon l'enquête ménages.

Selon des données communales, le commerce au centre d'Ain jemaa est représenté par 42 commerçants de vente des produits alimentaires, matériaux de construction, engrais agricoles, volaille, viandes,...etc. S'ajoute à tout ça une station de service, des bureaux de tabac, des téléboutiques et quelques petits cafés. La place commerciale la plus importante dans la commune est située au centre. Concernant l'industrie et l'artisanat, ils sont représentés par 2 moulins à farine à moteur, 1 huilerie, 02 mécaniciens, 1 menuisier, 1 cordonnier et 1 soudeur et 1 draz.

La commune d'Ain jemaa dispose, en outre, d'un souk hebdomadaire communal « souk El Had ». S'étalant sur 42000 m², ce souk est doté d'un parking, 1 abattoir, un étal de boucheries et une aire à grain.

La commune possède 02 carrières de sable et d'extraction de gravier qui lui permet une recette de 30000 dh/an.

Un autre projet d'investissement d'envergure est cours de lancement, il concernait la réalisation d'une cimenterie par la société CIMPOR (Asment du Centre) qui a eu l'accord de la commission régionale d'investissement le 03/0004/2011.

➤ **Le tourisme :**

A part les potentialités naturelles, la commune est dépourvue de monuments ou sites historiques pouvant donner à cette zone un attrait touristique, mais elle peut jouer un rôle important dans ce domaine, vu qu'elle sur son territoire une source thermale dite « Hamma de Moulay Yaccoub Seghir ».

Conclusion

L'analyse des paramètres climatiques, agro-pédo-géologiques du bassin versant d'Oued Ain jemaa nous a permis de tirer les conclusions suivantes:

- Au niveau du centre d'Ain Jemâa et de sa zone limitrophe, les affleurements changent brutalement. En effet, au Nord les affleurements sont rocaillieux, constitués liasiques karstifiés et fracturés très perméables, alors que au Sud, on

note l'abondance de dépôts de versants, à faciès essentiellement marneux du Miocène. Ces Termes géologiques sont de faibles perméabilités,

- La combinaison entre la température et la précipitation, par le biais du calcul du degré d'aridité, a montré que le bassin d'Oued Ain jema est, globalement sous un climat tempéré. Cette caractéristique climatique fait de l'eau une ressource très sollicitée et mal répartie tant dans le temps que dans l'espace.

Chapitre III: Caractéristiques physiographiques du bassin versant d'Oued Ain jema

Introduction

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 (géologie), le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique.

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

I. Caractéristiques morpho-métriques

I.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 du logiciel Arcgis.

Superficie du bassin (km²)	7,5
Périmètre du bassin (km)	11,7
Longueur du talweg principal (km)	5,4

I.2. Indice de compacité de GRAVELIUS

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.

$$K_G = 1.23$$

D'après les résultats, on a l'indice de forme du bassin versant est supérieur à 1 alors il a 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.

I.3. Le rectangle équivalent

La notion du rectangle équivalent permet de comparer l'influence des caractéristiques des bassins versants sur l'écoulement.

Cette notion assimile le bassin versant à un rectangle qui a la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique. Sa longueur et sa largeur sont données par l'expression suivant:

$$\left. \begin{aligned} S &= L \times l \\ P &= 2(L + l) \end{aligned} \right\} \rightarrow \text{Diagramme d'un rectangle équivalent}$$

La longueur: $L = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_G} \right)^2} \right]$

La largeur: $l = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_G} \right)^2} \right]$

L : La longueur est exprimée en Km.

l : La largeur en Km.

K_G : L'indice de compacité.

S : la superficie du bassin versant en km^2 .

Longueur du rectangle L (km)	La largeur du rectangle l (Km)
4.2	1.8

Tableau11:Longueur et largeur du rectangle équivalent du bassin versant d'Oued Ain jemaa

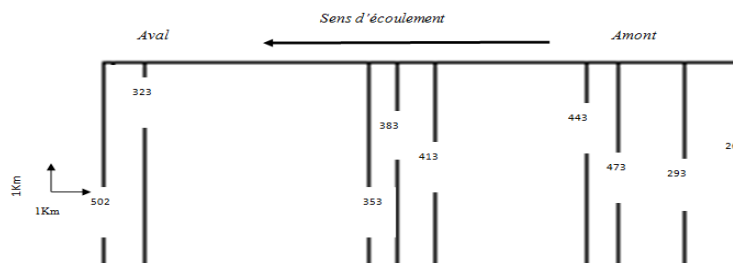


Figure 12:Schéma du rectangle équivalent du bassin versant d'Oued ain jemaa

II. Caractéristiques des altitudes (Hypsométrie)

II.1. La carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Ain jemaa

La carte hypsométrique est obtenue en délimitant des tranches d'altitude du bassin par des courbes de niveau d'équidistances choisis. Dans cette carte hypsométrique, les tranches d'altitude sont équidistantes de 30m. Une carte hypsométrique est basée sur le modèle numérique du terrain (MNT),

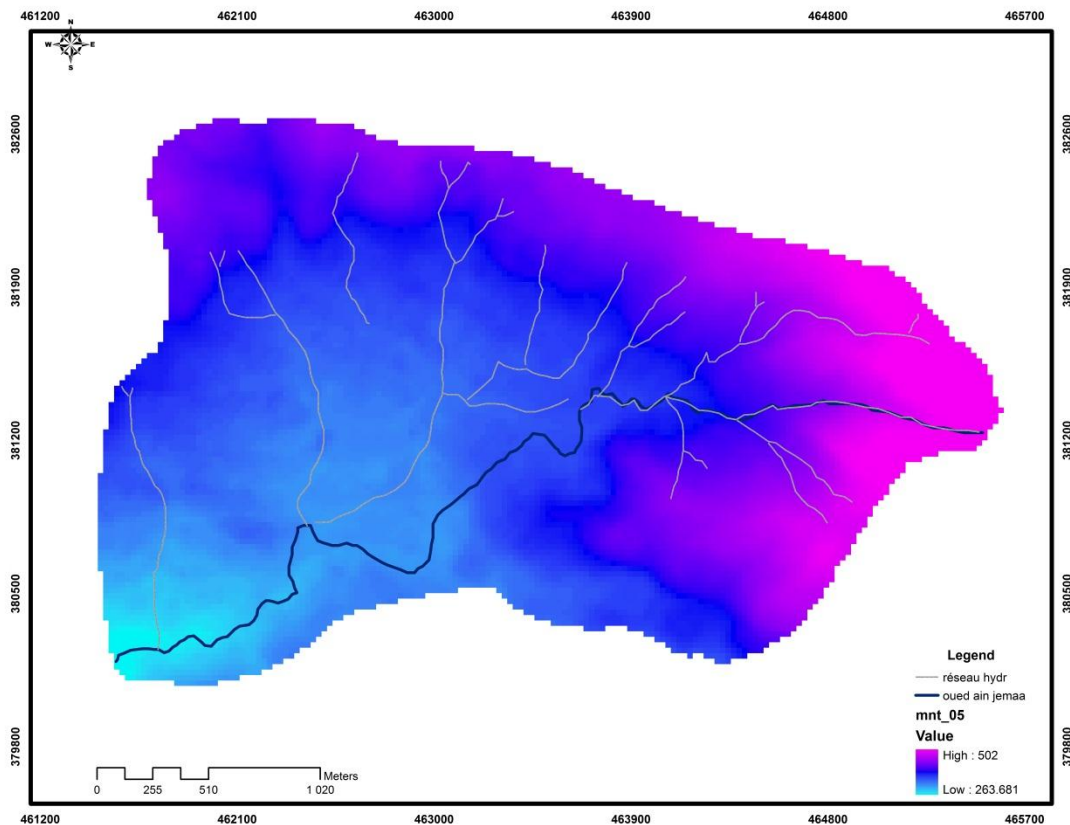


Figure 13:: Le Modèle numérique du terrain (MNT) du bassin versant d'Oued Ain jemaa

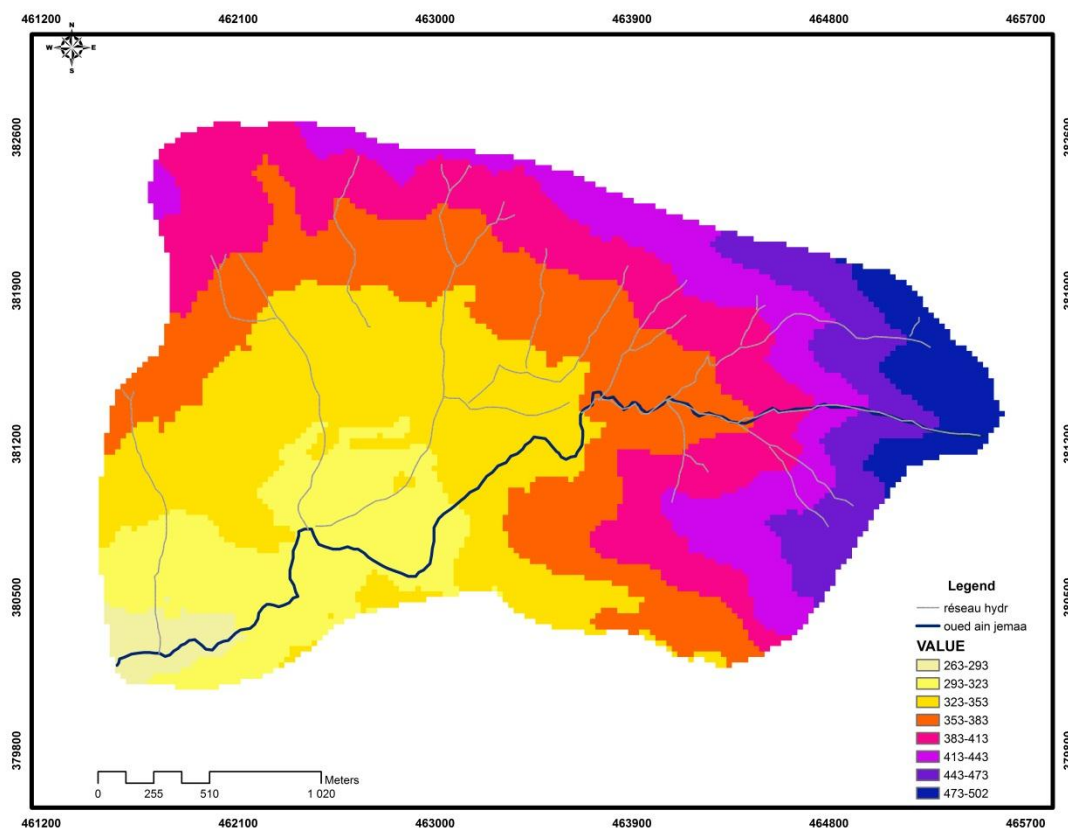


Figure 14: Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Ain jemaa

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

Classes hypso	Superficie en (Km ²)
263-293	0.15
293-323	1.01
323-353	1.78
353-383	1.59
383-413	1.35
413-443	0.81
443-473	0.50
473-502	0.31

Tableau 12: Hypsométrie du bassin versant de l'oued Ain jemaa

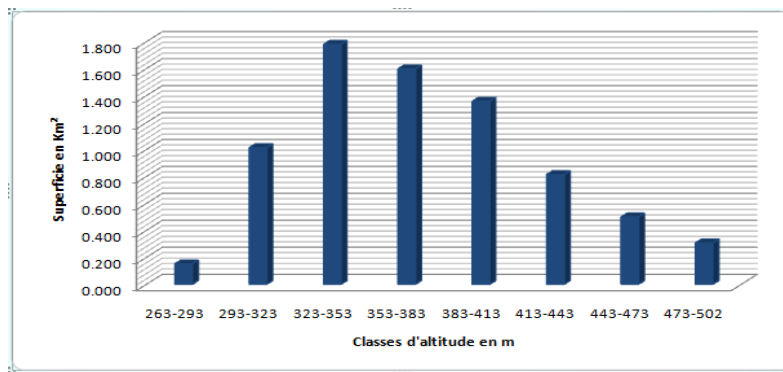


Figure 15: Histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la superficie

Altitude (m)	Superficie cumulée en (Km²)	Superficie cumulée en %
263	7.521	100
293	7.370	98
323	6.356	85
353	4.576	61
383	2.978	40
413	1.620	22
443	0.806	11
473	0.307	4
502	0	0

Tableau 13: la surface cumulée en fonction de l'altitude

II.2. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique est une représentation graphique des pourcentages des superficies cumulées à la surface totale.

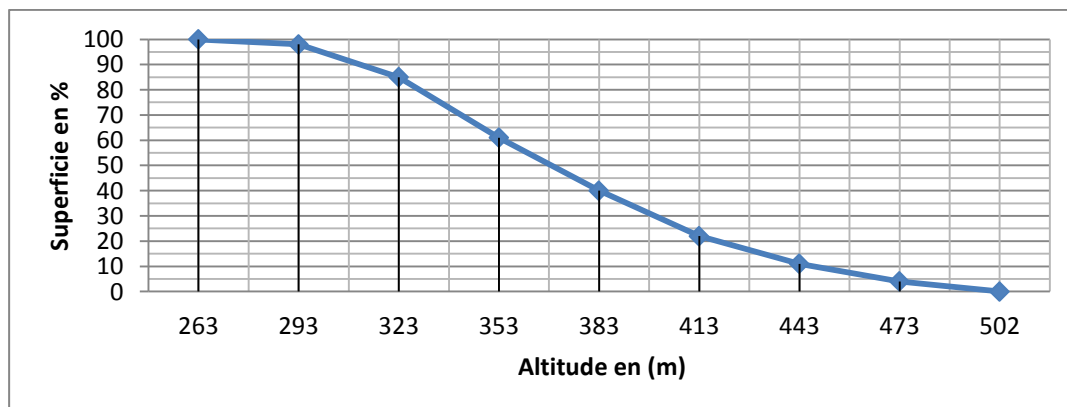


Figure 16: La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Ain jema

II.3. Les altitudes caractéristiques

1- Altitude la plus fréquente :

Elle correspond au maximum de l'histogramme des fréquences altimétriques. C'est, en d'autres termes, l'altitude de la plus grande surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveau successives. Au niveau de l'Oued Ain Jemaa l'altitude la plus fréquente est de l'ordre de 353 m avec une superficie de 1.6 Km² localisée dans la partie médiane et aval du bassin

2- Altitude de fréquence ½ (la médiane) :

Correspond au point d'ordonnée 50% de la courbe hypsométrique. La médiane du bassin versant de l'Oued Ain jemaa est 368 m (Fig.15).

3- Les altitudes maximale et minimale

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 deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

$$\text{Alt max}=502 \text{ m} \quad \text{et} \quad \text{Alt min}=263 \text{ m}$$

4- L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum A_i \cdot h_i}{A} \quad \text{H moy} = 373.76 \text{ m}$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²] ;

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : superficie totale du bassin versant [km²].

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en oeuvre de modèles hydrologiques.

II.4. Les indices de pente

Leur connaissance est d'une grande importance car il est évident que les eaux ruissellent d'autant plus que la pente des versants est grande. C'est ainsi qu'en montagne, on rencontre, pour une averse donnée, des crues plus importantes qu'en plaine où les pentes sont beaucoup plus faibles.

✓ **Réalisation de la carte des pentes**

A partir du profile, on peut déduire que les pentes au niveau du bassin d'Ain jemaa (Fig.17) sont en majorité très faibles (inférieur à 4%), modérées (inférieur à 12%).

✓ **Pente moyenne du bassin**

La pente moyenne est égale au quotient de la différence entre les hauteurs extrêmes par la longueur du rectangle équivalent. Elle renseigne sur la topographie du bassin, donc elle influence sur l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. En effet, plus la pente est forte plus la durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents et le cours principal est faible, par conséquent le bassin réagira d'une façon rapide aux averses. On estime la pente moyenne à partir de la courbe hypsométrique du bassin.

$$P_{\text{moy}} = \frac{H_{\text{moy}}}{L}$$

$$P_{\text{moy}} = 0.138 \text{ m/m} = 13.8 \%$$

Avec :

P moy : pente moyenne du bassin ;

H moy : l'altitude moyenne du bassin(m) ;

L : longueur du cours d'eau principal en (m).

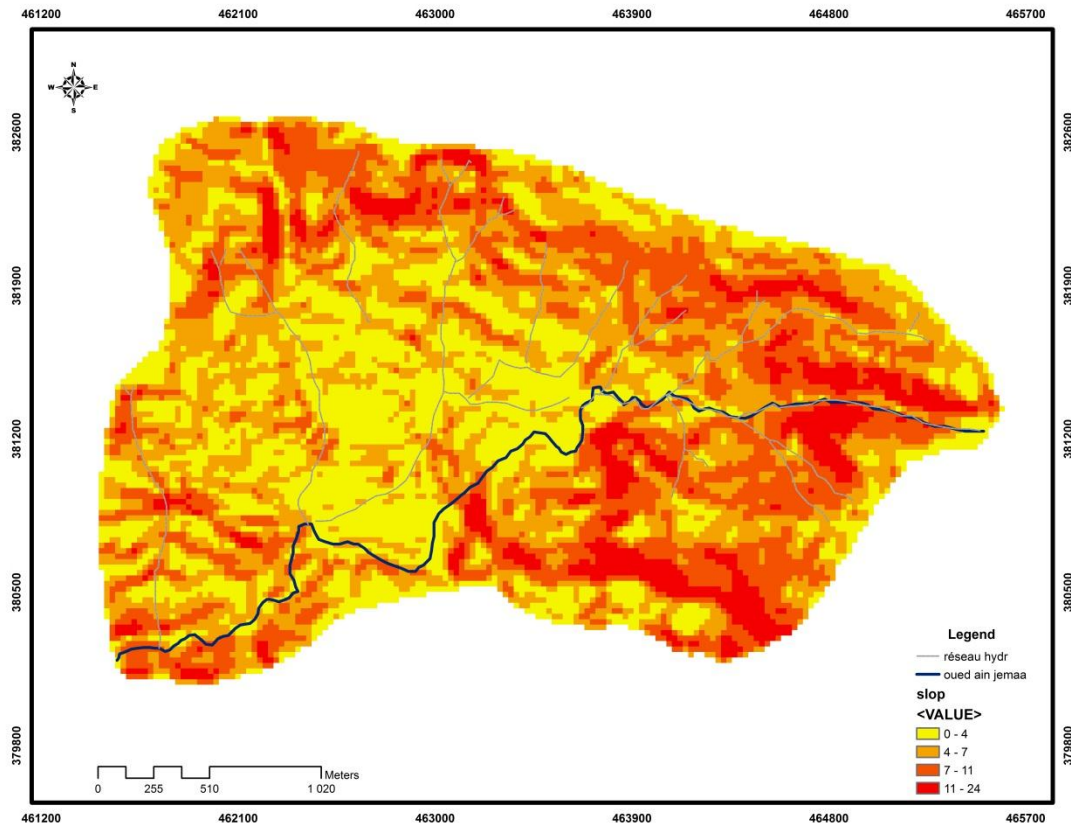


Figure 17: Carte de Pente du bassin versant de O.Ain jema

✓ Indice de pente classique

L'indice de pente classique consiste à rapporter le dénivelé d'altitude entre les deux points extrêmes du bassin à la longueur du bassin définie par la longueur du rectangle équivalent.

$$I_{classique} = \frac{DH}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}, I_{classique} = 57.17m/Km$$

avec

$I_{classique}$: La pente moyenne du bassin versant en m/km

DH : L'altitude moyenne en (m)

L : La longueur du rectangle équivalent en (km).

✓ Indice de pente globale

Pour éviter les valeurs extrêmes, L'Institut de Recherche et Développement en France (IRD) a proposé la définition d'un indice global de pente d'un bassin versant, il sert à classer le relief des bassins.

$$I_g = Du/L; I_g = 40.19m/Km$$

Avec :

Du : $H5\% - H95\% = 600$ m, la dénivelé utile est l'altitude entre laquelle s'inscrit 90% de la surface du bassin.

H5%: altitude correspondant à 5% de la surface totale du bassin au-dessus de H5%;

H95%: altitude correspondant à 95% de la surface totale du bassin versant de H95%;

Ig : indice de pente globale ;

Leq : longueur du rectangle équivalent.

L'indice de pente influence la réponse du bassin au niveau du volume écoulé, de la forme de l'hydrogramme de débit écoulé et très particulièrement au niveau de la durée de l'écoulement et de l'enregistrement du débit max

✓ 5-La dénivelée spécifique

L'indice de pente global décroît pour un même bassin lorsque sa surface augmente. La comparaison des pentes de bassins de taille différente se fait en se basant sur le dénivelé spécifique qui dérive de la pente globale en la corrigeant de l'effet de la surface.

$$Ds = Ig * (A)^{0.5}$$

$$Ds = 110.22m$$

Avec :

Ds= dénivelée spécifique ;

A= surface du bassin versant (Km²) ;

Ig =indice de pente globale.

III. Caractéristiques du réseau hydrographique

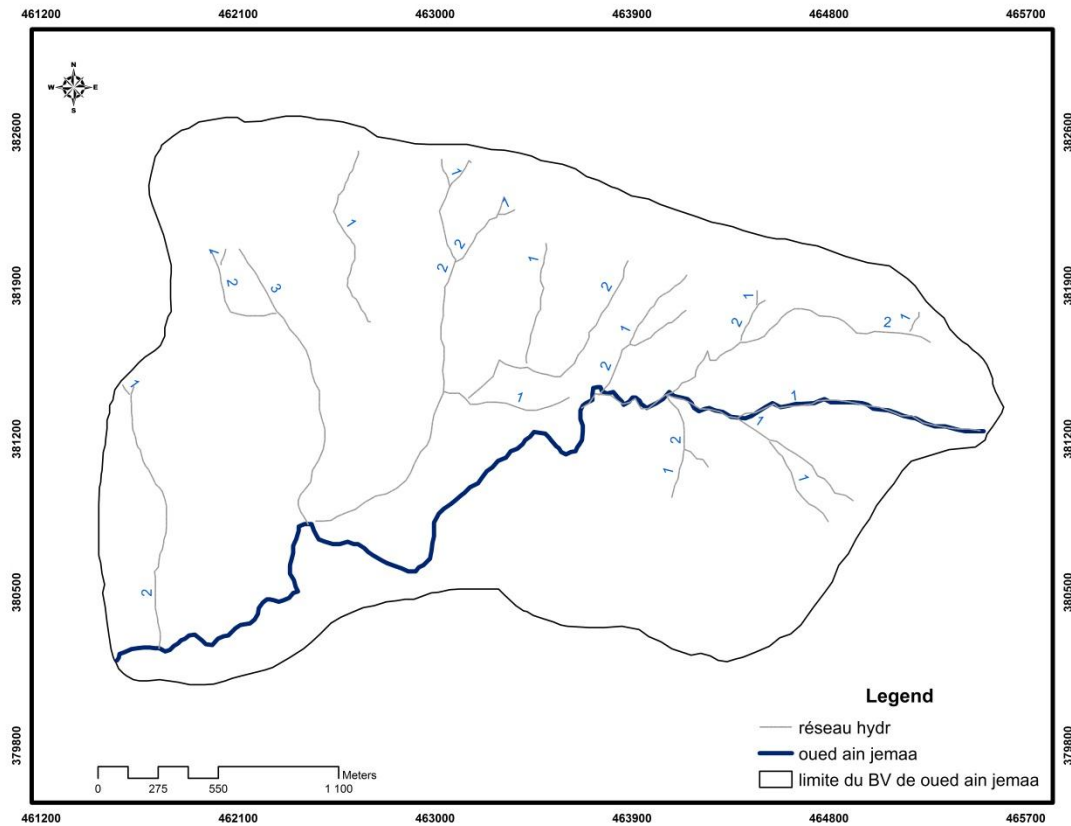


Figure 18: Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Ain jemaa

3.1. 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.

$$D_d = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{A}$$

D_d : Densité de drainage (Km⁻¹).

L_i : La longueur d'un affluent d'ordre i (Km).

A : La superficie du bassin versant (Km²).

La somme s'étendant en principe à tous les cours d'eau permanents ou non quelque soit leur importance.

$$Dd = 2.1 Km - 1$$

3.2. Coefficient de torrentialité

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la fréquence des thalwegs élémentaires par la densité de drainage:

$$C_T = D_d \cdot F_1$$

D_d : Densité de drainage.

F_1 : Fréquence des thalwegs élémentaires $F_1 = N_1/A$.

M : Nombre de cours d'eau d'ordre 1.

Bassin Versant	N_1	F_1	C_T
O. Ain jemaa	14	1.86	3.906

Tableau 14 :Le coefficient de torrentialité du bassin versant d'Oued Ain jemaa

Conclusion

L'étude des paramètres physiques du bassin versant d'Oued Ain jemaa a permis de dégager les principales caractéristiques de ce bassin. Ces paramètres morphologiques ont été obtenus par planimétrie sur une carte au 1/ 50000, par calcul ou à partir de la courbe hypsométrique.

Le tab.17. Résume les paramètres de la fiche morpho métrique du bassin versant d'Oued Ain jemaa

Périmètre (km)	11.69
Superficie (km ²)	7.52
Indice de compacité	1.23
Longueur du rectangle équivalent (Km)	4.18
Largeur du rectangle équivalent (km)	1.8
Altitude maximale (m)	502
Altitude minimale (m)	263
Altitude moyenne (m)	373.76
Altitude médiane (m)	368
Pente moyenne	13.8%
Indice global de pente (m/m)	40.19
Longueur du réseau hydrographique (km)	15.86
Densité de drainage (km-1)	2.1

Tableau 15:Fiche morpho- métrique du bassin versant d'Oued Ain jema

Chapitre IV: Etude hydrologique

Introduction

L'objectif de cette étude est de déterminer les débits de pointe des crues de fréquences caractéristiques à l'entrée du centre d'Ain jema. Nous utiliserons la méthode de Gradex, et les formules empiriques

Cette étude a deux sous-objectifs:

- Estimer les débits de pointe (Q_p) à l'exutoire du bassin versant étudié, pour des périodes de retour allant de 10 à 100 ans;

- Estimer les volumes de crues.

La méthode de Gradex est la méthode de référence pour les bassins versants des zones de reliefs et a été utilisée dans de nombreux pays étrangers.

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

I. Données d'entrées

Pour les besoins de l'étude, on dispose des pluies journalières maximales annuelles au niveau du poste de El Hja situés à quelques kilomètres du centre d'Ain jema

Les données nous ont été fournies par l'ABHS, (Annexes 3). les coordonnées Lambert de cette station sont:

$$X = 508.86 \quad Y = 382.76 \quad Z = 215 \text{ m}$$

II. Méthodologie adoptée pour l'étude des crues

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

II.1. Caractérisation du bassin versant

La caractérisation du bassin versant se fait par la délimitation du bassin versant sur la carte topographique et la détermination des caractéristiques géométriques de ce dernier (superficie, longueur de talweg, dénivelée maximale...), et puisque l'étude hydrologique concerne seulement le tronçon qui traverse le centre on va donner les caractéristiques du sous bassin versant sur lequel on va appliquer les calculs hydrologiques.

Caractéristiques du BV						
	Surface Km ²	Longueur Km	Pente %	Perimètre Km	Dénivelée m	Indice de compacité
Sous BV d'Ain jema	0.91	2.15	34.76	4.32	240	3.7

Tableau 16:les caractéristiques du sous BV (du tronçon à modélisée).

II.2. Calcul du 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 Giondotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{DH}}$$

T_c : Temps de concentration en heure,

S : surface du BV en Km²,

L : longueur du Talweg en Km,

DH : Dénivelée maximale du BV en m.

Cette formule est la mieux adaptée aux bassins versants ruraux.

- La formule de Kirpich

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

T_c : Temps de concentration en min,

L : Longueur du Talweg en m,

I : Pente moyenne du Talweg en m/m;

$$I = \frac{DH}{L} = 0.06$$

- La formule de Turazza

$$T_c = 0.108 \times (S \times L)^{0.333} \times I^{0.5}$$

T_c : Temps de concentration en h,

L : Longueur du Talweg en Km,

I : Pente moyenne en m/m ;

S : Superficie du bassin versant en km².

- **La formule de vantura**

$$T_c = 76.3 * (A/I)^{0.5}$$

T_c: Temps de concentration en min,

A : Superficie du bassin versant en km².

I : Pente moyenne du Talweg en ;

II.3. Calcul des débits de pointe

II.3-1.Calcul des débits de pointe par la méthode de Gardex

Nous avons soumis les pluies journalières maximales enregistrés à la station d'El Hajra à une analyse fréquentielle par la méthode d'ajustement statistique en utilisant la loi de Gumbel.

➤ . Ajustement par la loi de Gumbel

La loi de Gumbel est souvent utilisée pour ajuster les séries de pluies maximales correspondantes. Dans ce cas, le caractère exponentiel de cette distribution est décrit par la pente de la droite d'ajustement des pluies ou des débits observés. La pente de cette droite est le gradient de cette distribution Exponentielle, d'où le nom de la méthode GRADEX.

Le calcul de « GRADEX » des pluies journalières observées consiste donc à procéder à l'ajustement des valeurs de pluies maximales annuelles selon une distribution de Gumbel pour en déduire une estimation du paramètre **b** de la droite d'ajustement $Y = a U + b$ (Avec **U** : variable réduite de Gumbel).

- **La méthode à appliquer**

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:

$$F(x) = \exp (-\exp (-(x-a) / b)) \quad (1)$$

Avec; la variable réduite suivante:

$$U = (x-a) / b \quad (2)$$

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

La distribution s'écrit alors de la manière suivante : $F(x) = \exp (-\exp (-U)) \quad (3)$

Et $U = -\ln (-\ln (F(x))) \quad (4)$

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

$$Y = aU + b$$

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. L'estimation des paramètres a et b de l'ajustement peut se faire graphiquement (ajustement à l'œil ou à l'aide d'une régression statistique), ou selon une méthode mathématique comme celle des moments.

En pratique, il s'agit essentiellement d'estimer la probabilité de non dépassement $F(x_i)$ qu'il convient d'attribuer à chaque valeur x_i . Il existe de nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition à l'aide de la fréquence empirique. Elles reposent toutes sur un tri de la série par valeurs croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang R . Des simulations ont montré que pour la loi de Gumbel, il faut utiliser la fréquence empirique de Hazen:

$$F(x_{(R)}) = (R - 0.5) / N \quad (5)$$

R est le rang dans la série de données classée par valeurs croissantes,

N est le nombre d'échantillon,

$x_{[r]}$ la valeur de rang r .

Rappelons encore que le temps de retour T d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. Soit :

$$T = (1 / (1 - F(x))) \quad (6)$$

A l'aide de l'ajustement, il est alors possible d'estimer la pluie ou le débit maximal pour un temps de retour donné.

- **La démarche pour l'analyse fréquentielle de la série et l'ajustement de l'échantillon**

- 1) La préparation de la série de données.
- 2) Triage des valeurs dans l'ordre croissant.
- 3) L'attribution du rang à chaque valeur R .
- 4) Le calcul de la fréquence empirique pour chaque rang $F(x)$ (Hazen, équation (5)).
- 5) Le calcul de la variable réduite « U » du Gumbel (équation (4)).
- 6) La représentation graphique des couples (U, P_{jmax}) de l'échantillon à ajuster.
- 7) l'ajustement de la relation linéaire de type $(P_{jmax} = aU + b)$ aux couples $(U_i, P_{jmax i})$ (en utilisant le logiciel Excel pour représenter la droite de régression et pour déterminer les coefficients de la droite de Gumbel a et b).

8) L'estimation des paramètres a et b . La pente a de cette droite n'est autre que le GRADient Exponentielle des pluies ou des débits (ou GRADEX).

Les méthodes utilisées pour le calcul des débits de pointe sont:

➤ **Méthode de Gradex**

La méthode de Gradex se base essentiellement sur:

- L'ajustement par la loi de Gumbel des pluies maximales journalières et la détermination, des $P_{jmax}(T)$ pour T allant de 2 à 1000ans;
- La détermination du Gradex journalier $G_p(24)$. Puis Le passage des valeurs journalières aux valeurs en 24h se fait en majorant les valeurs journalières de 15% pour tenir compte de la coulissante de la pluie;
- Le calcul du Gradex des pluies sur le temps de concentration $G_p(T_c)$ à partir du Gradex des pluies en 24 heures;
- Le calcul du débit de pointe de référence $Q_p(T^*)$ (pivot du Gradex) en utilisant les formules empiriques de Caquot;
- Le calcul des débits de pointe et des lames d'eau ruisselées pour chaque période de retour par la méthode de Gradex classique.

II.3.2. Calcule des débits des crues parles 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 topographie du bassin versant par le biais de sa pente ou de sa dénivelée.

Les débits retenus sont ceux calculés par ces formules dont les limites de validités dépendent essentiellement de la taille des bassins .suivant ce critères, on distingue deux classes de bassin, a chacune on applique les formules appropriées.

❖ Petits bassins versant (<100 ha)

✓ **Mac math**

✓ **Rationnelle**

❖ Grands bassins versant (>100ha)

✓ **Rationnelle**

✓ **Maillet Gauthier**

✓ **Fuller II**

✓ **Hazan Lazarevic**

• **Méthode Rationnelle**

La méthode rationnelle est également utilisée pour le calcul des débits de pointe pour différentes fréquences. Cette méthode repose sur le principe suivant : le débit à l'exutoire d'un bassin soumis à une averse homogène dans le temps et dans l'espace d'intensité I , atteint son maximum lorsque la durée de l'averse est égale au temps de concentration du bassin.

Le débit maximal est donné par la formule:

$$Q_p(T) = C(T) * I(T_c, T) * S$$

$Q_p(T)$: débit en m^3/s .

$C(T)$: coefficient de ruissellement.

S : Superficie du bassin versant en m^2

$I(T_c, T)$: Intensité moyenne maximale correspondant au temps de concentration de période de retour T , soit:

$$I(T_c, T) = P(T_c, T) / T_c$$

$P(T_c, T)$: Pluie instantanée annuelle de période de retour T en mm.

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

Les paramètres **a** et **b** de MONTANA sont pris égaux à ceux de la station de Fès et sont fournis par la **Direction de la Météorologie Nationale**.

Coefficients de Montana Fès				
T	10	20	50	100
a	6.794	8.106	9.808	11.085
b	0.672	0.673	0.673	0.674

Tableau 17: Les coefficients de Montana Fès

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

$$C = c_1 * A_1 + c_2 * A_2 + \dots + c_n * A_n / A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

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

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

Cette méthode va permettre de déterminer des débits de pointe pour des fréquences inférieures ou égales à la centennale.

Coefficients de ruissellement C				
Topographie et végétation		Texture du sol		
		Sablonneux	Argile et Silt	Argile Compacte
Boisé				
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
DEBOISE ET FRICHES				
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
CULTURES DRAINEES				
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

Tableau 18: les valeurs du coefficient du ruissellement selon la nature du sol (étude de protection contre l'inondation des centres de Ain karma)

Le coefficient de ruissellement retenu pour le bassin versant oscille autour de 0.40.

La durée de la pluie considérée pour chaque bassin versant sera égale à son temps de concentration.

- **La formule de Mac Math (BV < 100 ha)**

$$Q(T) = K * P * A^I * I^{0.42}$$

- Q_t est le débit max. en l/s pour une période de retour donnée ;

- I est la pente moyenne du bassin versant (%);

- A est la superficie du bassin versant (en hectares);

- P Précipitation maximale en mm tombée en 24 h sur le bassin versant.

- k est un coefficient d'expression dépendant du couvert végétal et de la topographie du BV (les valeurs de K sont données dans le tableau 11)

Nature de la surface	Valeur de K
BV de grandes dimensions et recouvert de végétation	0.11
Superficies cultivées et terrains vagues des zones suburbains	0.22
Terrains non aménagés ; non rocheux de pente moyenne, zones peu densément peuplées et faubourgs non pavés	0.32
Petites cités, terrains non aménagés, rocheux à forte pente	0.43

Tableau 19:Les valeurs de k (études de protection contre l'inondation des centres de Ain karma).

Pour le cas de bassin versant étudiés, K sera pris égal à 0.43

- Formule de Mallet Gauthier (BV > 100km²)**

$$Q(T) = 2 \cdot K \cdot \log(1 + a \cdot P_{an}) \cdot A / (L^{0.5})^{(0.5)}$$

Q(T) : Débit de pointe en m³/s pour la période de retour ;

L : longueur du plus long talweg (km) ;

A : superficie du bassin versant ;

Pan : Pluie moyenne annuelle en mm, Pan est pris égal a576mm (pluviométrie moyenne enregistrée au niveau de la zone de meknés).

- Formule de Fuller II (BV > 10km²)**

$$Q(T) = (1 + a \cdot \log(T)) \cdot A^{0.8} + 8 \cdot (A^{0.5}) / 3 \cdot 4/3 \cdot N / 100$$

Q(T) : Débit pour la période de retour T (m³/s) ;

A : Superficie du bassin versant (km²) ;

T : Période de retour ;

a : Coefficient qui varie entre 0.7 et 8 au maroc. Nous adabtons a=0.8

N: Coefficient régional pris égal à 80 en plaine,85 en région accidentée et 100 en montagne.

Nous prenons N=85.

• **Formule de Hazen-Lazarevic :**

Elle permet d'évaluer le débit de pointe de la crue milléniale :

$$Q_{1000} = a \cdot S^b$$

Avec :

S : Surface du BV en km² ;

Les valeurs des paramètres « a » et « b » dépendent de la situation géographique de la zone et de sa pluviométrie annuelle.

	Province du Nord				Moyen Atlas		Haut Atlas
	Rif central	Rif occidental		Rif oriental			
A	15.55	9.78	7.58	14.94	13.51	13.47	9.38
B	0.776	0.793	0.808	0.636	0.613	0.587	0.742
Pluviométrie (mm)	1000-1300	800-1000	600-800	700-900	500-700	400-500	200 -400

Tableau 20: Les valeurs a et b (étude de protection contre l'inondation des centres de Ain karma)

En nous basant sur la géographie et la pluviométrie de la zone d'étude, nous prenons les coefficients qui s'en approchent le plus : K1=13.51 ; K2=0.613.

La transposition des débits des crues milléniales aux débits de récurrence T se fera par la formule de fuller I qui s'écrit comme suit :

$$Q_t = Q(1000) \cdot (1 + a \log T) / (1 + a \log(1000)).$$

Q(T) : débit de pointe en m³ /s.

A : Coefficient régional variant de 0.8 à 2 pour la partie nord du Maroc, à 3.5 pour le rif occidental. Nous prenons a=2.

III. L'application de la méthodologie

III.1. Le temps de concentration

	Giandotti	kripich	turazza	Ventura	moy
Tc (h)	0.84	0.18	0.22	0.2	0.36

Tableau 21:Le Temps de concentration du bassin versant d'Oued Ain jema en heure

La valeur du temps de concentration au niveau du bassin versant, permet de le classer parmi les bassins versants qui ont un temps de concentration courte.

III.2. Le débit de pointe

III.2.1. Méthode de Gradex

- L'ajustement et la détermination des $P_{jmax}(T)$ pour T allant de 2 à 1000ans et la détermination du Gradex journalier $G_p(24)$ (Annexe 6):

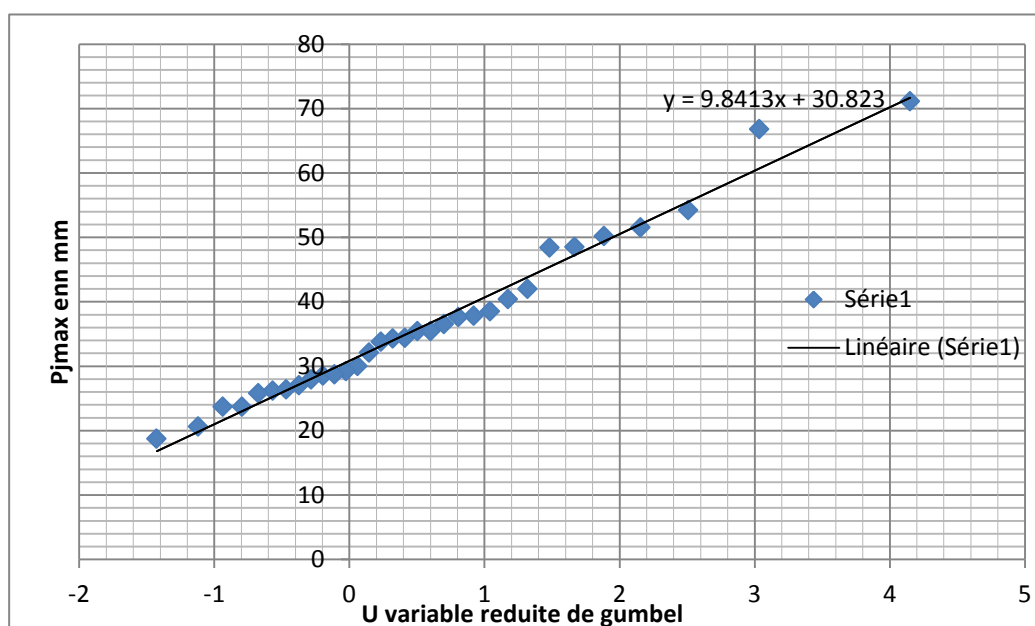


Figure 19:Ajustement par la loi de Gumbel des P_{jmax} du poste El hajra

Le graphique d'ajustement permet d'aboutir les tableaux Tab.21 et 22, dans lesquels sont regroupés le Gradex et les pluies maximales journalières pour différentes périodes de retour.

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

T	U (T)	P_{jmax}
2	0.37	34.43
5	1.50	45.58

10	2.25	52.97
20	2.97	60.05
50	3.90	69.22
100	4.60	76.09

Tableau 22 :Les pluies maximales journalières pour différentes périodes de retour

Station	Gradex	Gp (24)
El hajra	9.841	11.317

Tableau 23:Le Gradex journalier pour la station pluviométrique El hajra

- **Le passage des valeurs journalières aux valeurs en 24h**

Ce passage se fait en majorant les valeurs journalières de 15% pour tenir compte de la coulissante de la pluie dont on multiplie les valeurs journalières par un coefficient égal à 1.15.

T	Pjmax	P(24)
2	34.43	39.59
5	45.58	52.42
10	52.97	60.91
20	60.05	69.06
50	69.22	79.60
100	76.09	87.50

Tab.23: Tableau 24:Passage de pluies journalières ou pluies en 24 heures

- Estimation du débit de référence

La méthode du Gradex repose sur le fait qu'au-delà d'une certaine fréquence dite de référence T^* (généralement comprise entre la fréquence décennale et vingtennale, selon la perméabilité des sols), l'essentiel de la pluie tombée ruisselle, autrement dit, tout complément de pluie engendre un supplément d'écoulement égal en volume. Pour le cas des bassins versants objets de la présente étude, nous avons considéré comme fréquence de référence la fréquence décennale ($T^*=10$ ans).

Le débit de référence Q_p ($T^*=10$ ans) calculé par les formules de Caquot 1 et 2:

$$Q_p(T^*=10\text{ans})=0.9844*I^{0.3153}*C^{1.2207}*S_{bv}^{0.7696}*(4*S_{bv}/L^2)^{0.3} \quad (1)$$

$$Q_p(T^*=10\text{ans}) = 0.9462*I^{0.3189}*C^{1.2232}*S_{bv}^{0.7677} \quad (2)$$

C : est le coefficient de ruissellement pris égal à 20%

S_{bv} : Surface DU bassin versant en (Ha).

L : longueur du talweg en Km,

I : pente moyenne du talweg (m/m).

Donne les résultats suivant :

Caquot 1	Caquot 2
27.49	0.20

Tableau25:Débit de référence calculé par les formules empiriques (en m³/s)

La valeur de $Q(T=10$ ans) pour le cours d'eau d'Oued Ain jemaa, qui sera retenu pour l'application de la méthode de Gradex, correspondra à la valeur maximale des deux formules de Caquot.

Alors la valeur retenue est de 27.49 m³/s

Calcul de la lame d'eau ruisselée et du volume pour la fréquence 10 ans

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

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

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

Bassin Versant	Qp (T*=10ans) m3/s	V (T*=10) m ³	R (T*=10) mm
Oued Ain jema	113.70	35839.64	39.38

Tableau 26:: Qp, V et R de période de retour de 10 ans

- **Calcul des lames ruisselées et des débits de pointe pour différentes fréquences**

Le principe de base sur lequel nous nous sommes fondés pour le calcul des crues par la méthode de Gradex, est que la crue est d'autant plus importante en termes de débit de pointe que si le bassin versant considéré est soumis à un épisode pluvieux dont la durée coïncide avec le temps de concentration du bassin. D'autre part, on considère une pluie d'une période de retour T engendre une crue de même période de retour.

Par conséquent, nous allons considérer que le bassin versant étudié est soumis à une pluie d'une durée équivalente au temps de concentration.

Le passage des pluies en 24 heures aux pluies sur le temps de concentration pour chaque fréquence se fait en utilisant la formule:

$$P(T_c) = P(24) * (T_c/24)^{(1-b)}$$

Où b est le coefficient de Montana

b	T	P(Tc)
0.672	10	15.36
0.673	20	17.49
0.673	50	20.16
0.674	100	22.25

Tableau 27:Pluies sur le temps de concentration du bassin versant d'Oued Ain jema

Par conséquent, les lames d'eau ruisselées R(T, Tc) aux sites étudiés, sur le temps de concentration et pour différentes périodes de retour, sont obtenues en utilisant l'équation:

$$R(T, T_c) = R(T^*, T_c) + G_p(T_c) * [u(T) - u(T^*)]$$

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

R(T*, Tc) est la lame d'eau ruisselée de référence.

Gp(Tc) est le gradex sur le temps de concentration calculé à partir du gradex en 24 heures par la formule:

$$Gp(Tc) = Gp(24) * (Tc/24)^{(1-b)}$$

T	b	Gp(Tc)
10	0.672	2.85
20	0.673	2.86
50	0.673	2.86
100	0.674	2.87

Tableau 28: Les valeurs de Gp(Tc) pour le différent période de retour

- Calcul de débits de pointe**

On peut déduire le volume de la crue en multipliant la lame d'eau par la superficie totale du bassin versant.

$$V(T, Tc) = R(T, Tc) * S$$

On calcule le débit de pointe en divisant le volume par le temps de concentration du bassin versant.

$$Qp(T) = V(T, Tc) / Tc$$

T	R(T, Tc) mm	V(T, Tc) m3	Q(Tc) en m ³ /s
10	39.38	35835.8	27.65
20	41.44	37713.33	29.09
50	48.32	43977.89	33.93
100	55.09	50132.66	38.68

Tableau 29: Résultats du calcul de R(T, Tc), Qp(T) et le V(T, Tc)

On peut aussi calculer le débit de pointe par la relation de Gradex suivante:

$$Qp(T) = Qp(10) + \frac{Gp(Tc) * S}{3.6 * Tc} * \ln\left(\frac{T}{10}\right)$$

Qp(T) : débit de pointe en m³/s

Tc : Temps de concentration en heure

S : Superficie du bassin versant en Km²

T : Période de retour par ans.

Gp : Gradex sur le temps de concentration en mm.

2. Méthode Rationnelle

La méthode rationnelle est également utilisée pour le calcul des débits de pointe pour différentes fréquences. Cette méthode repose sur le principe suivant: le débit à l'exutoire d'un bassin soumis à une averse homogène dans le temps et dans l'espace d'intensité I , atteint son maximum lorsque la durée de l'averse est égale au temps de concentration du bassin.

Le débit maximal est donné par la formule:

$$Q_p(T) = C(T) * I(T_c, T) * S$$

$Q_p(T)$: Débit en m^3/s .

$C(T)$: Coefficient de ruissellement qui dépend de la période de retour T .

$I(T_c, T)$: Intensité moyenne maximale correspondant au temps de concentration de période de retour T , soit:

$$I(T_c, T) = P(T_c, T)/T_c$$

$P(T_c, T)$: Pluie instantanée annuelle de période de retour T en mm.

S : Superficie du bassin versant en m^2 .

T	PTC	I(tc,T)	Qmax
10	15.36	42.42	5.36
20	17.49	48.31	6.11
50	20.16	55.68	5.63
100	22.25	61.45	7.77

Tableau 30:Résultats pour le calcul de $Q_p(T)$

Ou par la relation: $I(T_c, T) = a * (60 * T)^{-b}$

Les paramètres **a** et **b** de MONTANA extrait par la Courbe IDF.

3. Méthode de mac math

T ans	QT (m^3/s)
10	10.82
20	12.27
50	14.14
100	15.54

Tableau 31:Les valeurs de $Q(T)$ pour les différents périodes de retour calculé par la méthode de Mac Math

4. Méthode de Mallet Gautier

T	QT
10	15.28
20	17.00
50	19.05
100	20.46

Tableau 32:Les valeurs de Q(T) pour les différents périodes de retour calculé par la Méthode de Mallet Gautier

5. Méthode de fuller II

T (ans)	QT m ³ /s
10	16.43
20	18.63
50	21.53
100	23.73

Tableau 33:Les valeurs de Q(T) pour les différents périodes de retour calculé par la Méthode de fuller II

6. Méthode de Hazan-Lazarevic

T (ans)	QTm ³ /s
10	5.465
20	6.561
50	8.011
100	9.108

Tableau 34:Les valeurs de Q(T) pour les différents périodes de retour calculé par la Méthode de Hazan-Lazarevic

IV. Synthèse des résultats

Les résultats obtenus par les différentes méthodes utilisées pour le calcul des crues sont synthétisés dans le tableau suivant:

T	Gautier	FullerII	Gardex	Hazen	Mac math	Rationnelle	MOY
			Qt				
10	15.28	16.43	27.65	5.46	10.82	5.36	19.79
20	17.01	18.63	29.10	6.56	12.27	6.11	21.58
50	19.05	21.54	33.93	8.01	14.14	5.63	24.84
100	20.46	23.74	38.68	9.11	15.55	7.77	27.63

Tableau 35:les débits obtenus en (m³/s) par les différentes méthodes et les valeurs Qt retenus

Les valeurs qui ont été retenus sont les valeurs par excès.

Conclusion

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

Ces débits de pointe seront introduits en amont du tronçon choisi d'Oued ainjema pour la modélisation hydraulique.

Chapitre V: Modélisation hydraulique du tronçon d'Oued Ain jema

Introduction

L'étude hydraulique consiste à faire le diagnostic de la zone d'étude pour tout événement hydraulique. Elle consiste à calculer les hauteurs d'eau et déterminer les zones de débordement. Une simulation hydraulique d'un modèle est un calcul, dont les résultats sont caractéristiques du débit, de la géométrie du cours d'eau ainsi que des conditions aux limites du modèle.

I. Construction du modèle

Cette partie sera consacrée à détailler le dispositif informatique utilisé : logiciels, outils, documents numériques... ainsi qu'à décrire la méthodologie de travail suivie.

1. Dispositif et outils informatiques utilisés.

Il faut tout d'abord signaler que nous avons choisi de se servir d'un code informatique unidimensionnel qui a prouvé son efficacité dans ce genre de calcul hydraulique. Il s'agit bien du code HEC-RAS (**H**ydrologic **E**ngineering **C**enter, **R**iver **A**nalysis **S**ystem ou système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) élaboré par l'US Army Corps of Engineers, et publié en freeware depuis 1995. Ce logiciel s'est déjà montré très performant pour ce type d'étude, et bon nombre d'entreprises et de laboratoires le considèrent comme l'outil idéal de première approche (K. DEBIANE 2000 et R. CHAMPREDONDE 2006). Ce système permet d'analyser les débits et le niveau d'eau 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, de restitution sous forme de tableaux et de graphiques.

Nous disposons de la version (**HEC-RAS 4.2.0**) disponible gratuitement sur le site officiel HEC-RAS.

En plus du code HEC-RAS, nous nous sommes servis du fameux logiciel ARCGIS, le leader en matière des systèmes d'information géographique.

Les échanges entre les deux programmes étant assurées par une extension développée aussi par HEC, le corps des ingénieurs de l'armée américaine : HEC-GEORAS, dédiée à fonctionner sous ARCGIS.

Le tout forme donc un dispositif informatique cohérent qui permet dans un premier temps de préparer les données géométriques requises (preprocessing), de faire ensuite les calculs nécessaires (simulation), et d'exploiter enfin les résultats (postprocessing).

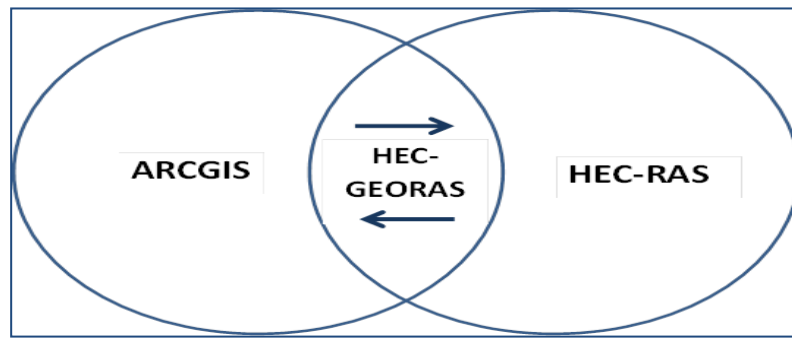


Figure 20:représentation schématique du dispositif informatique utilisé

1.1. ARCGIS

Elaboré par ESRI (pour **E**nvironmental **S**ystems **R**esearch **I**nstitute), il s'agit d'un logiciel qui compte – comme déjà signalé- parmi les produits les plus utilisés dans le domaine de la gestion de l'information dans l'espace géographique, offrant une multitude d'option et de possibilités d'analyse et de traitement de données via des extensions assez riches : Spatial Analyst, 3D Analyst...

1.2. HEC-GEORAS

Afin de rendre possible les échanges entre HEC-RAS et les systèmes d'information géographique, le corps des ingénieurs de l'armée américaine a développé cet extension qui s'intègre après installation avec ARCGIS. La dernière version de HEC-GEORAS disponible sur le site officiel de HEC-RAS, est HEC-GeoRAS 4.3 qui est compatible avec ArcGIS 9.3 et qui nécessite au moins la licence ArcView en plus des deux extensions ***Spatial Analyst*** et ***3D Analyst***.

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

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

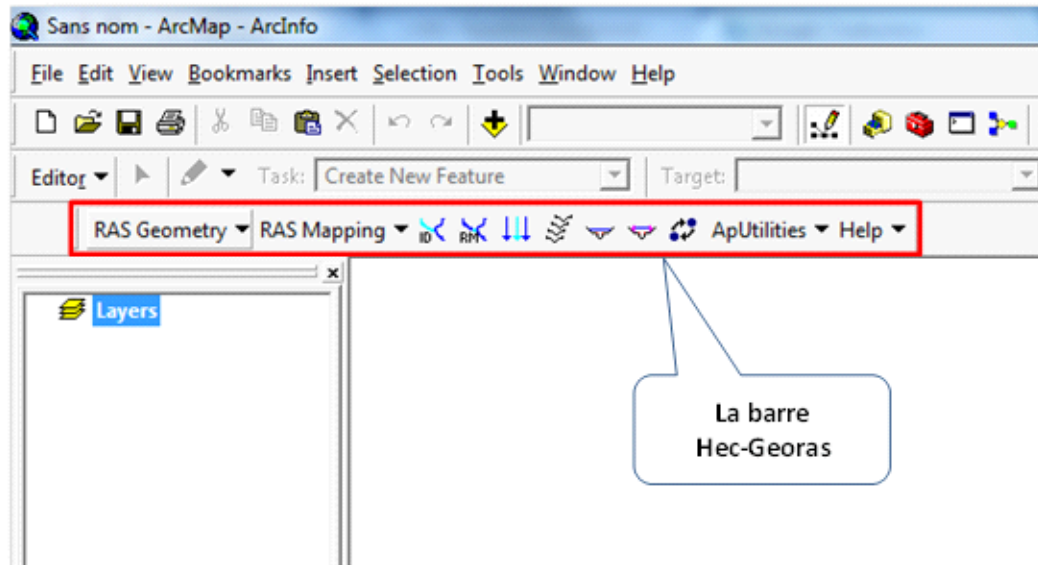


Figure 21:l'extension Hec-GeoRas sur l'interface ArcMap

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

1.3.HEC-RAS

- Présentation générale

Un système intégré désigné à effectuer des calculs et des analyses hydrauliques, stocker gérer les données et restituer les résultats sous forme de tableaux ou de graphiques.

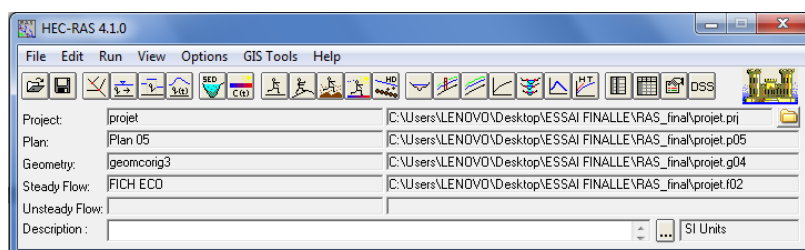


Figure 22:l'interface du logiciel Hec-Ras 4.2.0

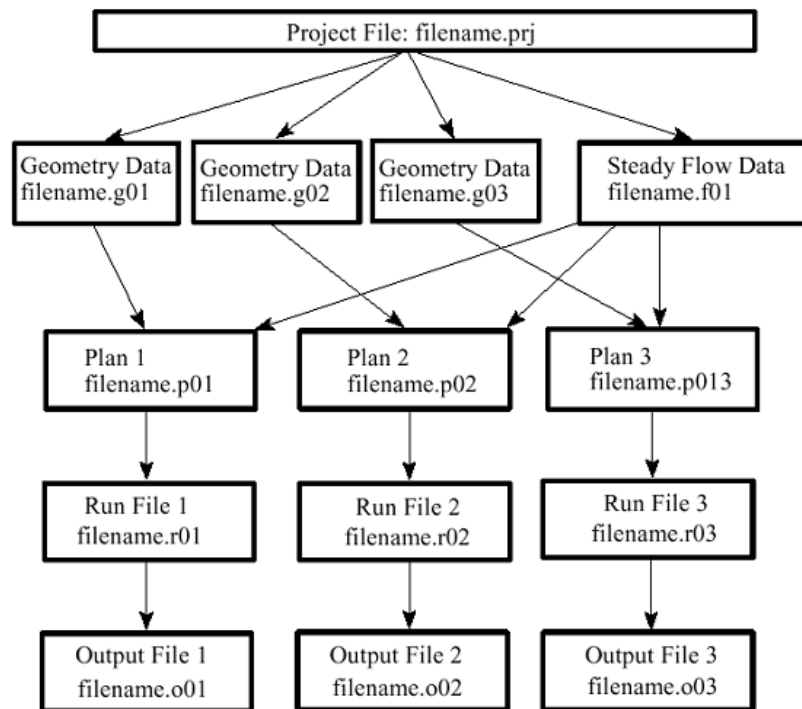


Figure 23:schéma illustrant les fichiers d'un projet (Hec-Ras users manual)

Tout comme la plupart des logiciels (dont ArcGis d'ailleurs), HEC-RAS utilise le concept de Projet afin de réaliser une simulation du comportement hydraulique d'un cours d'eau. Tel que défini par HEC-RAS, un projet est un ensemble de fichiers permettant de simuler le comportement hydraulique d'un cours d'eau sous diverses conditions. La figure ci-dessous illustre la hiérarchie des fichiers d'un projet.

Il faut souligner l'existence de deux type de fichiers essentielles : les fichiers de données de géométrie (Geometry Data files) et ceux de données d'écoulement (Flow Data files), qui correspondent effectivement aux deux étapes primordiales de préparation de la simulation par Hec-Ras, et qui seront détaillé ultérieurement. Les fichiers Plan, représentent des scénarios programmés par l'utilisateur, c'est-à-dire, ce sont des combinaisons entre des fichiers de géométrie et des fichiers d'écoulement. Les autres fichiers sont générés automatiquement par le logiciel.

• Principes du calcul hydraulique par Hec-Ras

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

- La modélisation de l'écoulement en régime permanent,
- La modélisation de l'écoulement en régime transitoire,
- Le calcul du transport solide,

- L'analyse des processus de pollution et de la qualité de l'eau.

Pour le moment, en ce qui concerne notre étude, nous avons nous limiter à s'intéresser à la première fonctionnalité.

- **Le choix du coefficient de la rugosité (coeff. de Manning Strickler)**

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



Figure26 : fenêtre permettant de prendre en considération la variation verticale du coefficient n de Manning en fonction de la profondeur ou du débit.

Le coefficient de Manning (n) est défini par la formule :

$$Vitesse = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} * S^{1/2} \quad \begin{cases} R_h = \text{Rayon hydraulique} \\ S = \text{Surface} \end{cases}$$

Le coefficient de Strickler (k) est également utilisé dans la littérature et correspond à l'inverse du coefficient de Manning :

$$k = \frac{1}{n}$$

Les différentes études effectuées sur les supports d'écoulement de l'eau, surtout celles effectuées par Ven Te Chow en 1959, ont défini des ordres de grandeur pour la valeur du coefficient de Manning ainsi que pour celui de Strickler.

1.4. Cartes topographiques, MNT et images satellitaires

L'élaboration des fichiers de géométrie nécessite un fonds de base qui peut être un modèle numérique de terrain, une carte topographique ou des images satellitaires. En réalité, plus on dispose de documents, plus on a tendance à produire de bons résultats. Cependant, la fiabilité de ces résultats dépend étroitement de la qualité de ces documents (échelle, résolution...), aussi bien que de leur manipulation et exploitation.

- **Cartes topographiques**

Les cartes topographiques disponibles à l'échelle du bassin étudié sont celles aux 1/50000^e.

- **Modèle numérique de terrain**

Les cartes topographiques avec cette échelle ne sont utilisées en pratique que pour numériser et vérifier certaines entités : cours d'eau, berges...

La topographie ou les données altitudinales nécessitent le recours à un modèle numérique de terrain qui doit être doté d'une résolution acceptable.

Heureusement, dans notre cas la topographie et les données altitudinales sont extraites à partir d'un plan de restitution qui est réalisé par l'ABHS.

Cependant l'utilisation de ces données n'a pas été faite à l'état brut :

- Il fallait tout d'abord vérifier que le système de coordonnées géographiques est un système métrique : Lambert conique conforme (Maroc zone I). Ceci est extrêmement important pour éviter d'avoir des anomalies après l'exportation de la géométrie vers Hec-Ras
- Ensuite nous avons procédé à convertir le MNE en TIN (Triangulated Irregular Network) ou réseau de triangles irréguliers. Il s'agit d'un format développé par ESRI beaucoup plus adapté à la modélisation hydraulique par Hec-Ras. Les algorithmes utilisés soit par Hec-GeoRas ou par Hec-Ras révèlent une vitesse de traitement beaucoup plus importante qu'avec un MNE au format Grid. C'est la raison pour laquelle le manuel d'utilisateurs de Hec-GeoRas recommande l'utilisation des TIN de préférence.

2. Etapes d'élaboration du modèle

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

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

2.1. Elaboration du fichier de la géométrie

L'extension Hec-GeoRas nous a permis la préparation des entités géométriques nécessaires à la construction du modèle hydraulique. Après avoir mis en place les couches utilisées comme fonds d'extraction de l'information (cartes topographiques, MNT, images satellitaires, stations hydrologiques...), les fonctionnalités fournies par l'extension Hec-GeoRas nous ont permis d'une manière organisée, de numériser les entités suivantes :

- Le réseau hydrographique : à partir essentiellement du MNT en prenant en considération le tracé des rivières sur la carte et l'image satellitaire.
- Les lignes berges (bank lines) : en se basant encore essentiellement sur la topographie du MNT. Ces lignes permettent de délimiter le chenal d'écoulement.
- Les lignes d'écoulement (Flow path centerlines) : ils enveloppent le chenal d'écoulement et les lignes berges, permettant au logiciel de calcul et des distances entraînent chaque profil en travers et celui à son aval.
- Les lignes des profils en travers (Cross section cut lines) : c'est l'entité la plus importante à laquelle il faut accorder le maximum d'attention puisque c'est le profil en travers qui détermine l'altitude de la surface d'écoulement et la variation de sa pente, ainsi que la topographie de la plaine d'inondation.
- Les ouvrages hydrauliques (Inline structures) : nous a permis de localiser les digues des barrages à introduire dans le modèle. A signaler ici que cette option permet aussi d'introduire les autres sortes d'ouvrages hydrauliques : ponts, ponceaux, buses...
- Les surfaces de stockage (Storage areas) : à l'aide de cette option nous avons introduit les retenues des barrages.
- En plus d'autres options qui permettent de préparer des géométries assez complètes qui prennent en considération le maximum de détail possible.

Le menu de Hec-GeoRas permet par la suite d'attribuer des codes d'identification d'objets (ID), les nomenclatures, ainsi que d'autres attribues indispensables. Il permet aussi l'extraction de la topographie que ce soit pour les profils en travers, les cours d'eau, des structures hydrauliques, ou encore les surfaces de stockage.

L'opération finale est d'enregistrer le résultat et de l'exporter sous forme d'un fichier RASimport.sdf que reconnaît Hec-Ras

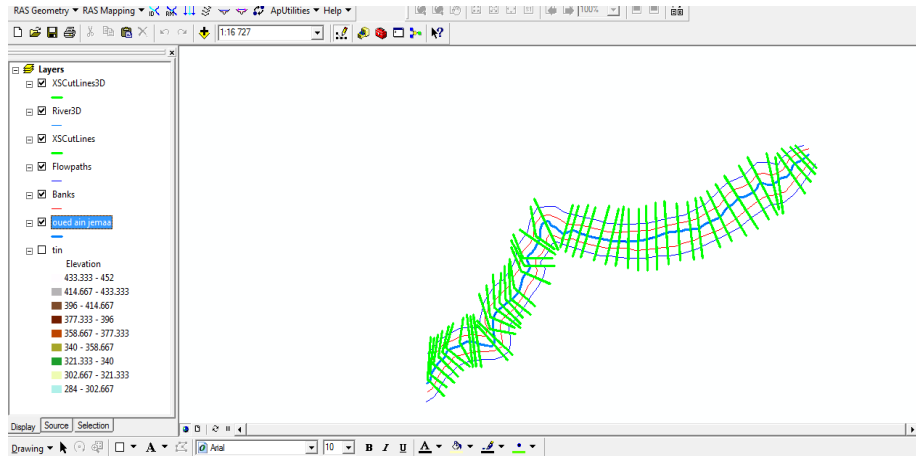


Figure 24: Quelques entités géométriques numérisées sur ArcMap à l'aide de l'extension Hec-GeoRas

2.2. Importation du fichier de la géométrie

La version actuelle de Hec-GeoRas ne permet pas d'élaborer toutes les informations indispensables d'une manière complète, il en reste des choses incomplètes qu'il faut introduire une fois sous Hec-Ras. A titre d'exemple, les ouvrages hydrauliques manquent de beaucoup d'informations telles que les dimensions, des ouvertures,...

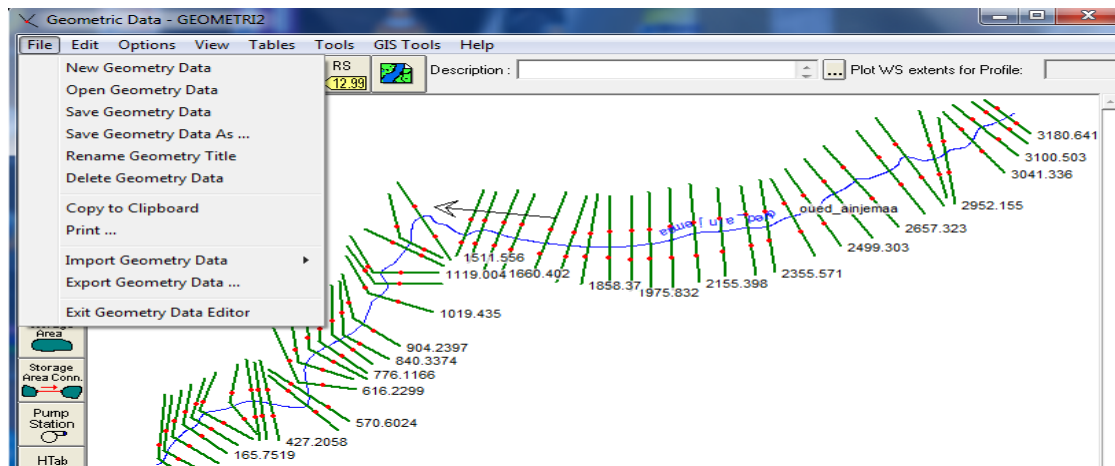


Figure 25: L'importation de la géométrie du tronçon a modélisée dans Hec Ras

2.3. Elaboration du fichier des données d'écoulement

Cette étape permet d'introduire les données et les informations en relation avec l'écoulement à simuler. Suivant le cas étudié et les conditions qui l'entourent, on peut choisir un régime d'écoulement permanent, transitoire ou encore quasi-transitoire. Pour

chaque régime, Hec-Ras permet de créer un fichier d'écoulement approprié ; dans le cas d'un régime permanent, il faut introduire un débit que le programme considère constant surtout le tronçon étudié, par contre si on choisit le régime transitoire, le programme exige une série de débits en fonction du temps (hydrogramme), et le débit change d'un point l'autre du tronçon.

Que ce soit dans le cas du régime permanent ou transitoire, l'utilisateur doit préciser les conditions aux limites du modèle et les conditions initiales de la simulation.

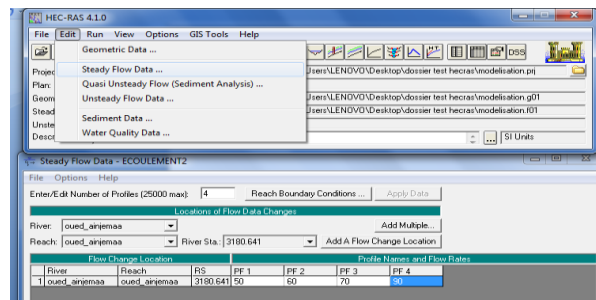


Figure 26:Elaboration des données d'écoulement du tronçon a modélisée dans Hec Ras

• Les conditions aux limites

Les limites amont et/ou aval de chaque tronçon doivent soumettre à des conditions qui peuvent être de différentes natures. Hec-Ras propose une large gamme de conditions aussi bien pour l'amont que pour l'aval.

Dans le cas du régime permanent à comportement fluvial, seules les conditions à l'aval sont requises. En plus, le programme reconnaît les jonctions entre les tronçons, les connexions entre les tronçons et les surfaces de stockage... comme des conditions limites et les prend en charge automatiquement.

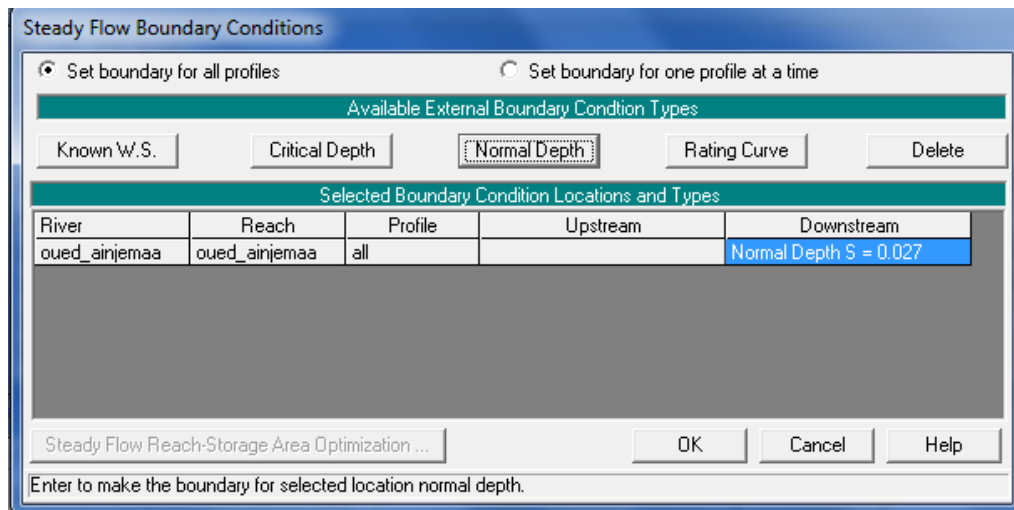


Figure 27: L'introduction des conditions aux limites pour l'écoulement

- **test du modèle**

Après avoir élaboré les deux fichiers de géométrie et d'écoulement, nous avons procédé à des tests visant l'évaluation de la stabilité du modèle.

Le programme demande d'abord de déterminer un plan, avant d'aborder les calculs. S'il existe des erreurs ou des dysfonctionnements affectant soit les entités géométriques (par exemple : intersection entre deux profils en travers), soit les données de l'écoulement (manque d'une condition limite par exemple).

Hec-Ras indique dans la plupart des cas l'emplacement exact (le code du profil en travers) du problème qu'il faut corriger.

2.4. Simulation

Dès que le modèle s'apprêtait à l'utilisation, nous avons commencé la phase d'exploitation. Nous avons adopté la simulation en régime permanent avec un écoulement fluviale vu que le modèle hydraulique est extrêmement sensible au moindre défaut, et présente des disfonctionnement en régime transitoire.

Les résultats de la simulation sont exportés vers ArcGis où ils seront exploités par Hec-GeoRas pour cartographier la surface inondée correspondante à chaque profil calculé par Hec-Ras.

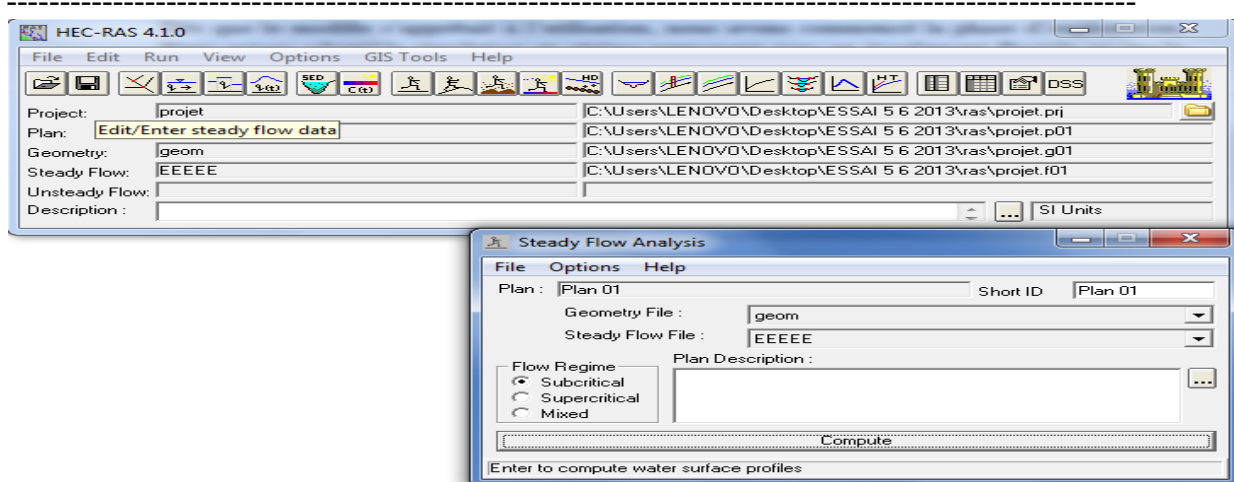


Figure 28:Fenêtre de la simulation

III Visualisation et discussion des résultats

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

III.1. Les profils en long

La ligne d'eau représente une vue en profil du tronçon d'étude avec le niveau et la surface d'eau de l'Oued et le niveau d'eau de chaque période de retour.

Dans le cas de cette étude la différence entre les niveaux des périodes de retour existe et bien lisible. Le comportement des crues est sensible aux irrégularités de la topographie.

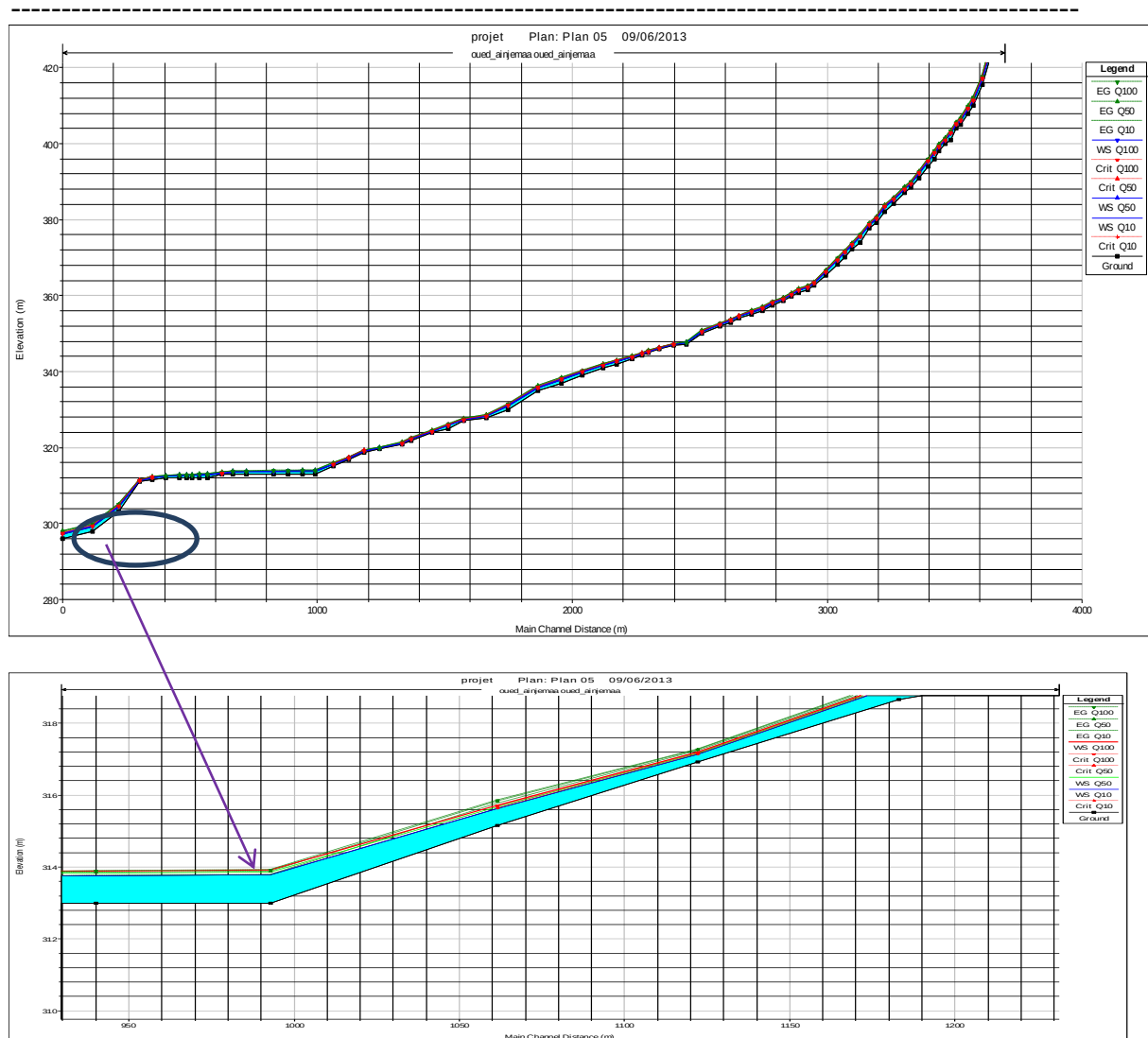


Figure 29:Le profil en long du tronçon modélisé d'Oued Ain jemaa

III.2. Les profils en travers

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

La section transversale représentée par la figure29, permet de comparer à ce point précis, les hauteurs d'eau résultantes des débits sortant face à celles des débits entrant.

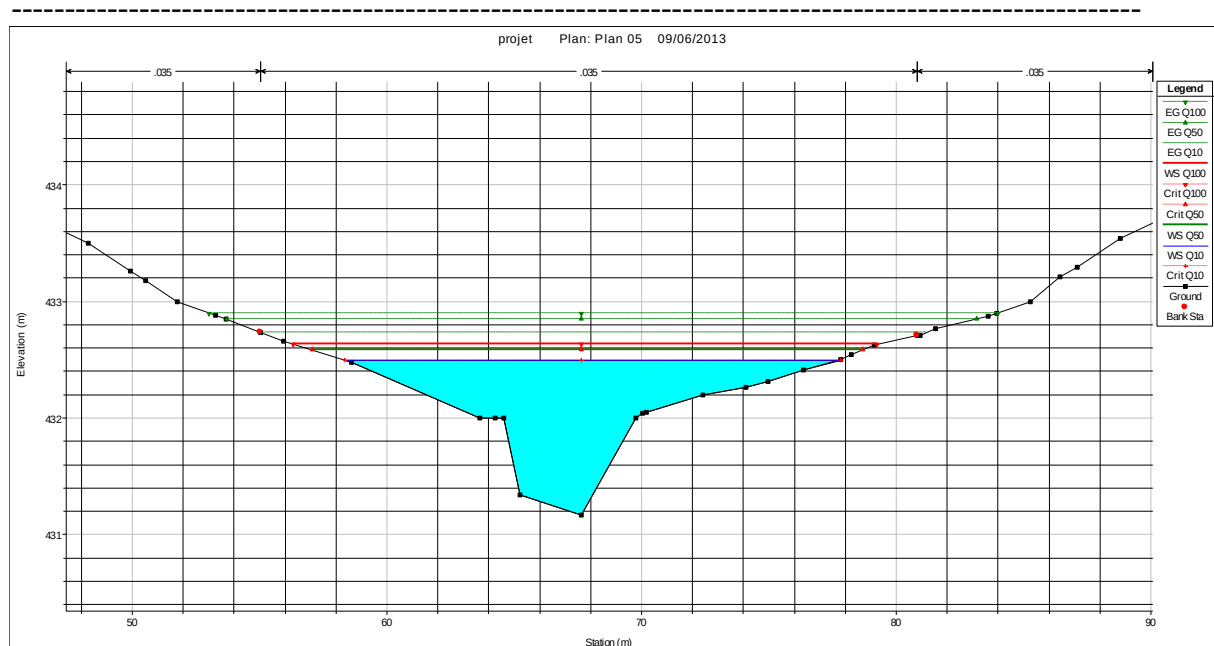


Figure 30:le profil en travers d'une station

III.3. Vue de trois dimensions du tronçon modélisé

HEC-RAS fournit une vue de trois dimensions qui facilite le suivi du comportement des eaux de crue de période de retour. La Fig. X montre que dans la partie amont du tronçon, il n'y a pas un débordement de l'oued à cause de la pente. La concentration des eaux s'est effectuée dans le troisième quart du tronçon dont on observe un énorme débordement.

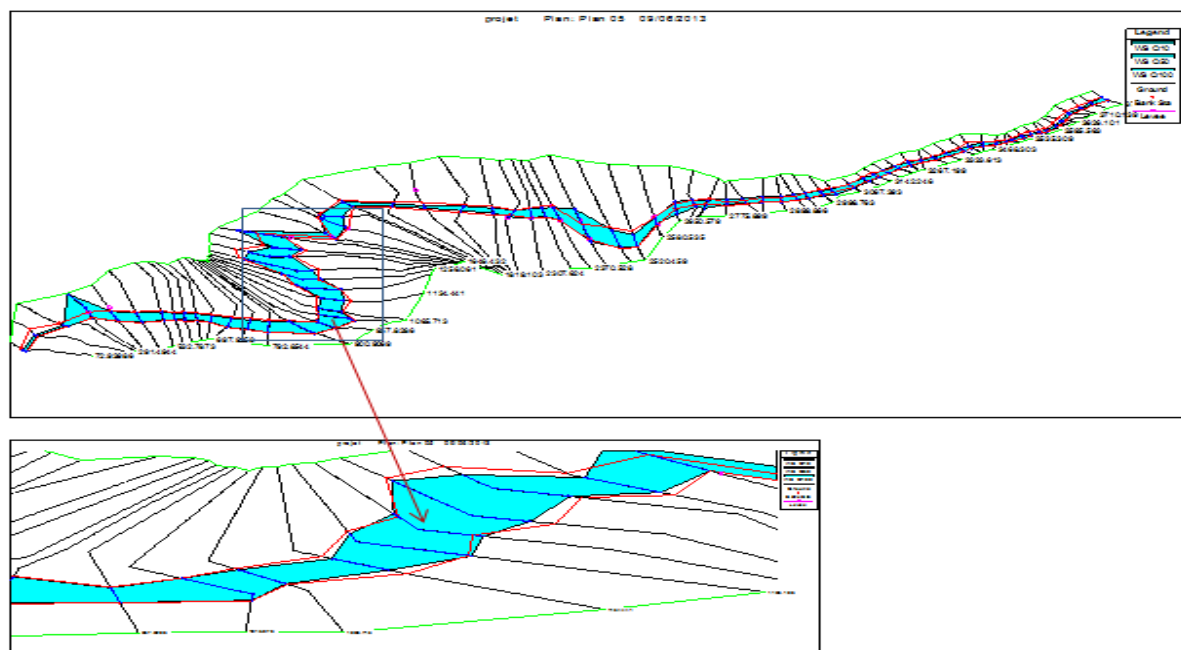


Figure 31:Vue en 3D de la zone la plus débordée du tronçon simulé

III.4. Vitesse d'écoulement

La Fig32. Représente la variation de vitesse d'écoulement des eaux pour chaque période de retour en fonction de la distance à partir de l'exutoire sur la bordure gauche, au centre et sur la bordure droite de la rivière.

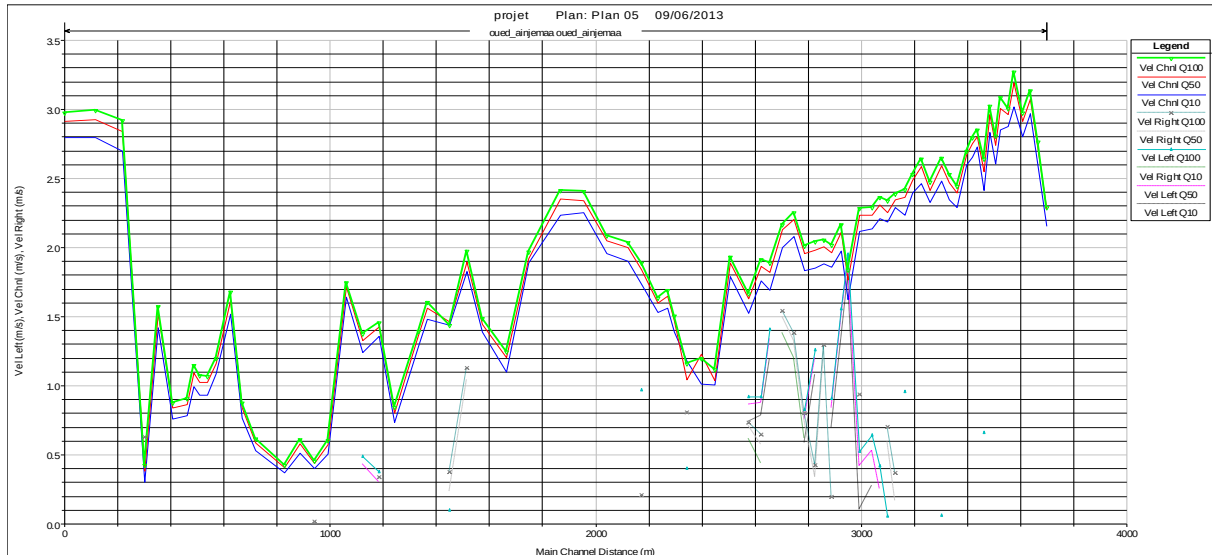


Figure 32:La variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire

On observe presque la même allure pour tous les niveaux d'eau. La vitesse augmente, cependant, avec le niveau d'eau. La variation de vitesse est fonction de la topographie de terrain: en aval (100m à partir de l'exutoire) la vitesse moyennement variable et de forte valeur, elle commence à diminuer le long des tronçons situés à des distances entre 250-1000 m; Puis elle devient importante le long des tronçons 1500-2000; et 3000-3500 m de l'exutoire. Ces endroits sont caractérisés par une pente assez importante. Finalement, on distingue presque une même vitesse à gauche et à droite de la rivière et qui est plus faible que la vitesse au centre. La vitesse d'écoulement influence directement sur l'importance de l'érosion et la quantité du volume transporté par les eaux de crue ainsi que la force de pénétration des eaux dans les domaines urbains.

III.5. Restitution de la courbe de tarage

HEC-RAS a permis de fournir une représentation de la variance de la hauteur d'eau en (m) en fonction de débit en m³/s

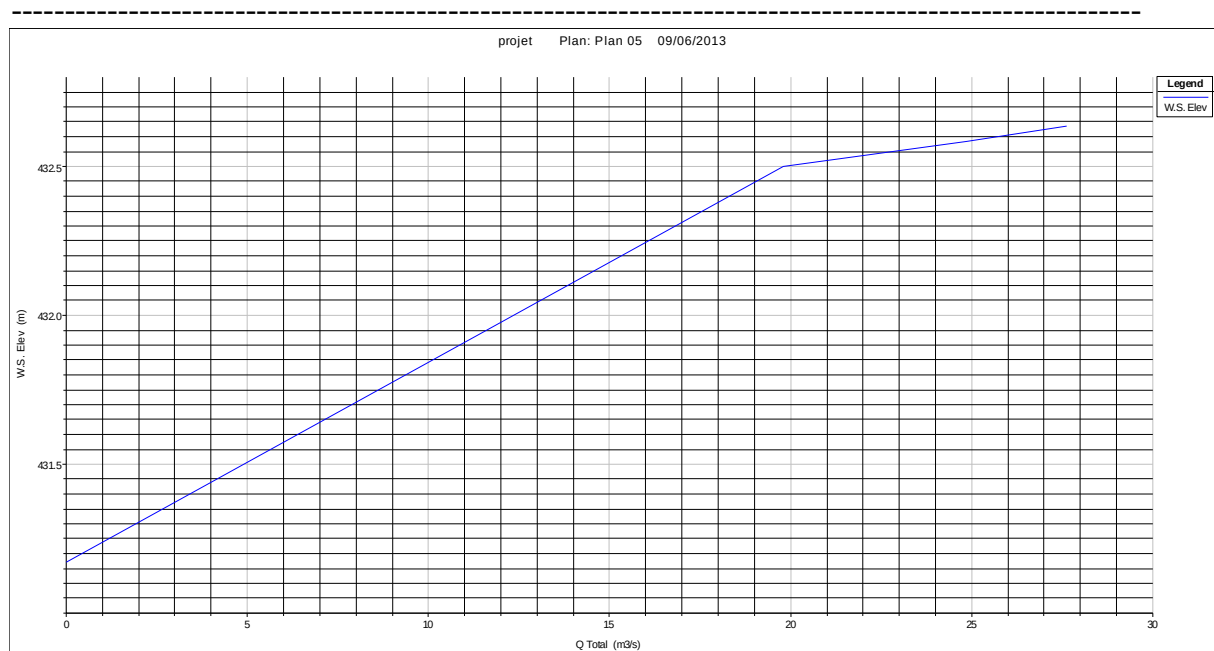


Figure 33: Courbe de tarage du tronçon modélisé d'Oued Ain jemaa

III.6. Les tableaux

Le logiciel permet aussi de créer des tableaux récapitulatifs de l'ensemble des paramètres hydrauliques pour un barrage ou autre ouvrage, pour une surface de stockage, pour chaque station (profil en travers), ou pour l'ensemble des stations à la fois.

River Sta	Q Total (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m²)	Top Width (m)
3772.394	76.55	431.17	433.15	433.15	433.57	0.010868	2.91	27.78	35.42
3739.042	76.55	426.72	428.81	428.81	429.32	0.010869	3.2	24.69	25.86
3710.139	76.55	422	424.84	424.84	425.34	0.012563	3.14	24.48	25.51
3681.22	76.55	415.61	418.12	418.12	418.81	0.011708	3.67	20.86	15.22
3646.604	76.55	410	412.67	412.67	413.48	0.012037	3.98	19.25	11.97
3626.101	76.55	407.84	410.36	410.36	411	0.012097	3.55	21.56	16.98
3595.563	76.55	405	407.31	407.31	408.02	0.01197	3.71	20.61	14.82
3577.801	76.55	404	405.96	405.96	406.58	0.011713	3.48	22.01	17.86
3556.688	76.55	401.07	403.77	403.77	404.42	0.012042	3.56	21.47	16.73
3535.309	76.55	399.97	401.76	401.76	402.35	0.010429	3.46	23.09	20.3
3511.637	76.55	398	400.2	400.2	400.76	0.011316	3.33	23.22	21.89
3493.094	76.55	396	398.43	398.43	399	0.011109	3.36	23.31	21.42
3468.303	76.55	394	396.2	396.2	396.71	0.011011	3.17	24.93	28.19
3435.231	76.55	391	392.93	392.93	393.37	0.010596	2.97	27.02	33.9
3402.77	76.55	388.45	390.24	390.24	390.77	0.010303	3.28	24.54	24.46
3375.014	76.55	387	388.85	388.85	389.38	0.01039	3.28	24.52	24.36

Tableau 36: principaux paramètres hydrauliques pour un ensemble de stations

III.7. Détermination des zones inondables dans le tronçon modélisé

La détermination des zones touchées lors des crues a été réalisée par la cartographie de ces zones après extrapolations de logiciel SIG. Pour la mise en évidence de ce risque dans le centre de Ain jemaa nous avons rétablie les lits de tronçon d'eau qui

traverse des zones sur la base de la carte topographique, et rectifie à partir d'un navigateur satellitaire qui permet la visualisation des zones touchées.

Mais puisque les débits sont en général faibles nous allons cartographiées seulement les zones qui sont touchées par le crue centennal.

Les figures 34,35 ,36 confirment qu'une partie des zones marquées sont touchées lors de les crues décennale cénquantiennale et centennale du tronçon étudié.



Figure 34:Les zones débordées par la crue centennale (Centre d'Ain jemaa)



Figure 35: Les zones débordées par la crue cénquantiennale (Centre d'Ain jema)



Figure 36: Les zones débordées par la crue décennale (Centre d'Ain jema)

Conclusion

La réalisation et l'étude de la modélisation hydraulique du tronçon d'Oued Ain jema qui coule près du centre rural de Ain jema permet de faire le diagnostic de cette zone d'étude pour tout événement hydraulique. Cette simulation consiste à calculer 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 qui permettent de reproduire l'état de la zone naturelle à l'état numérique.

Conclusion générale

Le bassin versant d'Oued Ain jemaa a une forme allongée sur une superficie totale de 7.5 km² et il a une morphologie et une structure complexe. Les eaux rejoignent le cours d'eau principal dans une courte durée. C'est un bassin de moyenne altitude. La pente réduit aussi le temps de concentration.

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

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

Références bibliographiques

ABDELBASET MIDAOU(2011) : Modélisation des zones inondables de l'Ouergha en aval du barrage Al Wahda Utilisation couplée de Hec-Ras et ARCGIS, faculté de lettre et de sciences humain-sais -fés

AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DE SEBOU (2005): Etude de protection contre les inondations de centre d'Ain karma dans la province de Meknès.

AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DE SEBOU(2005) : diagnostique de la situation existant et étude hydrologique au niveau du centre d'Ain karma, dans la province de Meknès.

AGENCE URBAINE DE MEKNES (28/02/2012) : Etude du plan de développement du centre ain jema, Préfecture de Meknès.

AMRANI (2008) : évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines au niveau du plateau de Meknès par les méthodes PRK et GOD, Mémoire de fin d'études de Master, Faculté des sciences et de techniques Fès.

CAMERON T. ACKERMAN. 2011. HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS® User's Manual Version 4.3.93. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (HEC).

Faiza HOCINE, Mostefa BELHADJ AISSA*, A. HADDOUD, A. BELHADJ AISSA : extraction du réseau hydrologique à partir d'un MNT et utilisation du sig pour l'étude du bassin versant, Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement, Faculté d'Electronique et d'Informatique, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB) Alger Algérie.

GINGER Environnement (2009): Etudes préalables au projet d'élaboration d'un plan de prévention des risques inondation sur le bassin de l'Orne Amont : Phase 2 Cartographie des aléas, Ginger Environnement et infrastructure: direction Spécialisée Prévention Risques Naturels, Avril 2009.

GUIDE HEC-RAS (2005): Gestion des ressources hydriques. Université du Québec, École de technologie supérieure. Département de Génie de la construction.

HASSANI & NEJJARI(2011) : Délimitation des zones inondables (cas du centre de bouchfa'a), Mémoire de fin d'études de Master, Faculté des sciences Dhar Mehraz-Fés

HINGRAY B., PICOUET C. et MUSY (2009): Hydrologie: Une science pour l'ingénieur, Presses polytechniques et universitaires romande (PPUR), 8 oct. 2009

LABORDE J.P. (2008): Eléments d'hydrologie de surface, Université de Nice - Sophia Antipolis

KHALED DEBIANE : Cours sur le logiciel HEC-RAS, Cabinet Telesystems



Marie-Gabrielle STARON : modélisation hydraulique et cartographie de zones inondées sur la somme, université pierre et marie curie, école des mines de paris & école nationale du génie rural des eaux et des forêts.

MERIAM LAHSAINI : étude et modélisation des crues du tronçon urbain de l'oued aggay, ville de sefrou, Mémoire de fin d'études de Master, Faculté des sciences et de techniques Fès.

MUSY A. et HIGY C. (2004): Hydrologie: Une science de la nature, Presses polytechniques et universitaires romande (PPUR), 2004.

SECRETARIAT D'ETAT AUPRES DU MINISTERE DE L'ENERGIE, DES MINES, DE L'EAU ET DE, Étude pour la réalisation d'une cartographie et d'un système d'information géographique sur les risques majeurs au Maroc.

Webographie

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

<http://eur.i1.yimg.com/eur.yimg.com/i/fr/enc/jpeg/cartes/mc072f0.jpeg>



ANNEXES

Annexe1 : Précipitations annuelles, mensuelles en mm de la station pluviométrique «Elhajra»

années/mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Pmoy an en (mm)	total
1970				97.9	84	10.8	77.4	198	71	27	6	0	47.68	572.1
1971	0	0	85.2	56	69.3	47.2	58.7	20.8	49.4	9.3	0	0	32.99	395.9
1972	46.2	87	34	42.3	66.4	54.7	51	72.1	17.4	7.3	0	0.9	39.94	479.3
1973	0	23	31.7	180	12.1	37	41	123	18.7	16	0	0	40.21	482.5
1974	0	33	6.8	0	29.3	72.5	97.5	47.9	36.7	16	0	19	29.89	358.7
1975	2.5	0	14.1	82.2	25.7	38.1	96.7	69.3	101	14	0	0	36.97	443.6
1976	6.8	70	0	102	108	80.8	11.4	2.8	28.8	0	0	0	34.22	410.6
1977	0.6	86	29.4	32.8	26.3	75.6	34.5	47.7	35.6	64	0	2.7	36.27	435.2
1978	1.8	0.9	1.7	75.7	104	189	34.5	13.5	0.4	1.7	0.3	0	35.29	423.5
1979	28.6	85	7.1	75.7	104	189	34.5	47.7	35.6	64	0	2.7	56.16	673.9
1980	3.6	30	37.6	3.1	21.5	8.8	21.2	56.8	1.8	1.5	0	0	15.49	185.9
1981	5.2	11	0	67.3	41.4	33.2	24.6	113	48.5	0	2.3	0.6	28.93	347.1
1982	0.4	56	60	25.8	0.1	98.5	16.1	2.2	14.4	0	0	0.3	22.82	273.8
1983	0	8.2	91.4	74.7	19.7	7.6	50.3	70.4	72.8	5.2	0	0	33.36	400.3
1984	13	1.2	70.2	12.6	71.3	19.1	8.9	46.6	23.8	0	0	0	22.23	266.7
1985	4.5	9.2	64.3	33.5	75.5	58.9	34.6	49.2	0	27	0.5	0	29.77	357.2
1986	0	23	20.1	8.4	110	90.2	2.7	17.6	7.9	2.7	2	0	23.72	284.6
1987	3.2	41	78.8	75.6	63.7	33.3	47.5	19.2	28.3	2	0	0	32.72	392.6
1988	0.1	49	65.8	1.4	40.7	31.4	15.4	79.7	31.6	5.3	2.4	0.3	26.93	323.1
1989	0	22	16.8	15.2	13.3	45.7	68.6	28.9	27.3	0.7	0	0	19.88	238.5
1990	18.3	19	56.1	84.6	8	55	125	23.8	1.2	0.4	0.5	0.6	32.71	392.5
1991	36.6	31	6	7.5	0	33.7	50.3	53.6	32.1	44	0	0.1	24.58	294.9
1992	0	22	16.8	15.2	13.3	45.7	68.6	28.9	27.3	0.7	0	0	19.88	238.5
1993	0	30	98.3	18.2	48.3	91.8	11.6	2.2	8.2	0	0.2	0	25.73	308.8
1994	12	27	23.7	0	2.2	16.9	28.6	39.3	5.4	37	0	1.6	16.14	193.7
1995	20.8	21	39.9	96.3	186	29.7	76.8	35.1	52.9	7.9	19	0.1	48.79	585.5
1996	28.9	25	21.9	150	114	0	2.5	60.6	32.4	15	0	0	37.53	450.3
1997	106	23	107	94.7	36.8	57.3	11.7	17.3	63.6	12	0	0	44.12	529.4
1998	21.9	6.3	0.2	15.3	41.9	19	39.5	0.2	20.2	0	0	0.2	13.73	164.7
1999	1.8	51	36.4	18.1	22.1	0	0	65.3	38.6	0	0	0	19.44	233.3
2000	5.8	37	15.5	136	50	19.5	17.3	0.7	13.9	0	0	0	24.64	295.7
2001	0.8	2.4	6.5	92.6	0.2	8.2	31	75.7	10.7	0.7	0	0	19.07	228.8
Pmoy mensuelle en mm	11.92	30.01	36.88	55.96	50.28	49.94	40.31	47.78	29.92	11.92	1.04	0.91		323.81

Annexe 2: Températures annuelles, mensuelles de la station pluviométrique «Elhajra»

année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Température moy ann en C°
1981	19	22.4		14.3	12.4	12.7	14.8	16.1	18.8			26.9	17.49
1982			15.8					16.5		23.7	25.7		20.43
1983								18.2	15.4	22.5	28.7	25.8	22.12
1984	23.7		13	12.5	9.7	14.8	13.1	17.3	16.8	23	22.6	26.9	17.58
1985	25.2	21.6	16.5	12.5	11.6	12.5	13.2	13.6	22.3	22.3	28.6	25.3	18.77
1986	24.5	20.4	14.7	10.7	12.6	12.8	15	18.9	19.3	27.8	25.7	25	18.95
1987	28.2	18.4	13.9	13	10.3	11.6	13.3	15.9	17.2	20.7	23.7	27	17.77
1988	25.4	19.4	16.1	9.8	8.9	11.5	10.5	12.8	19.3	22.5	27.5	26.8	17.54
1989		20.7	15.2	13.4	9.2	11.9	15.2	12.3	18.5	21.8	26.4	28.9	17.59
1990	22.7	17.3	14.1	11.4	9.4	9.9	12.6	14.8	17.3	23.2	26.4	28.9	17.59
1991	22	16.8	12.8	12.4	2.9	16.5	13.1	16.1	21	18.8	26		16.22
1992	20.01	17.7	12.7	11	12.05	11.8	13.4	13.4	21.6	15.8			14.8
1993	20.4	17.8	12.6	10.9	9.9	11.4	13.8	13.5		13.3	23.4		14.7
1994				16.9	10.3	12.8	13.9	17.1	21.6	15.8			14.8
1995	20.4	22.9	18.2	16.1	14.9	13.1	16.1	17.6	22.6	26.8	28.2	24	20.08
1996	22.3	20	15.4	19	13.4	13.5	15.2	17.7	21.7	21.5	23.8	26.5	19.17
1997	26.2	22.3	16.7	12.3	11.3	14.8	15.8	15.9	18.5	24.9	28.3	29.4	19.7
1998	24.4	20	19.1	17.1	14.8	15.8	22.3	10.8	16.8	25.5	28.2	24.7	19.96
1999	24	21.8	15	12.7	10.5	14.4	15.6	16.5	21.1	26.5	27.8	33.6	19.96
2000	28	17.8	14.3	13.3	12.2	12.9	15.4	18	20.3	27.4			17.96
moy	18.82	18.66	12.81	12.59	10.33	12.35	13.81	14.90	17.51	21.19	24.76	25.31	18.159

Annexe3: pluies maximales journalieres – station Elhajra

Année	Pluie
1970	54.2
1971	28.5
1972	36.5
1973	66.8
1974	48.4
1975	40.4
1976	26.2
1977	32.1
1978	38.5
1979	42
1980	23.7
1981	34.3
1982	35.4
1983	30
1984	48.5
1985	27
1986	33.8
1987	20.6
1988	27.9
1989	71.1
1990	37.8
1991	35.4
1992	23.7
1993	29.2
1994	28.7
1995	51.5
1996	34.4
1997	37.6
1998	25.8
1999	18.7
2000	50.2
2001	26.4

Annexe 4: Pjmax, F(x) et le variable Réduite de la loi de Gumbel

Année	Rang	Pjmax	fréquence	variable reduite
1970	30	54.2	0.92	2.51
1971	10	28.5	0.30	-0.19
1972	20	36.5	0.61	0.70
1973	31	66.8	0.95	3.04
1974	26	48.4	0.80	1.48
1975	24	40.4	0.73	1.18
1976	6	26.2	0.17	-0.57
1977	14	32.1	0.42	0.15
1978	23	38.5	0.70	1.04
1979	25	42	0.77	1.32
1980	3	23.7	0.08	-0.94
1981	16	34.3	0.48	0.32
1982	18	35.4	0.55	0.50
1983	13	30	0.39	0.06
1984	27	48.5	0.83	1.67
1985	8	27	0.23	-0.37
1986	15	33.8	0.45	0.23
1987	2	20.6	0.05	-1.12
1988	9	27.9	0.27	-0.28
1989	32	71.1	0.98	4.15
1990	22	37.8	0.67	0.92
1991	19	35.4	0.58	0.60
1992	4	23.7	0.11	-0.79
1993	12	29.2	0.36	-0.02
1994	11	28.7	0.33	-0.11
1995	29	51.5	0.89	2.16
1996	17	34.4	0.52	0.41
1997	21	37.6	0.64	0.81
1998	5	25.8	0.14	-0.67
1999	1	18.7	0.02	-1.43
2000	28	50.2	0.86	1.89
2001	7	26.4	0.20	-0.47







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

Nom et prénom: CHEIKH SIDI EL KHAIR Fatma

Année Universitaire : 2012/2013

Titre: Délimitation des zones inondables par l'utilisation combiné du logiciel HEC-RAS et HEC GEORAS cas du centre « Ain Jemaa »

Résumé

Le bassin versant d'Oued Ain jemaa s'écoule à travers le centre rural d'Ain jemaa qui se situe au nord-ouest de la préfecture de Meknès. Il en occupe 7.521 km². La totalité de cette surface a une altitude inférieure à 503m.

Ce bassin reçoit en moyenne 500 mm de pluie par an, sous une température moyenne annuelle de 18.15 °C.

L'évapotranspiration réelle prive ce bassin de 290.6 mm des précipitations qu'il reçoit.

Au niveau de ce bassin les affleurements changent brutalement. En effet, au Nord les affleurements sont rocaillieux, constitués de carbonates liasiques karstifiés et fracturés très perméables. Plus au Sud, on note l'abondance de dépôts de versants, à faciès essentiellement marneux du Miocène.

Outre ces paramètres climatiques, géologiques, et géomorphologiques, les caractéristiques physiographiques du bassin versant d'Oued Ain jemaa conditionnent l'écoulement de la rivière.

La maîtrise et l'atténuation des conséquences des inondations provoquées par cet oued nécessitent un suivi hydrologique continu et une bonne connaissance des comportements hydrologiques à l'échelle du bassin et de la région. 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'inondations.

En se basant sur les fonctionnalités de modélisation qu'offre le logiciel HEC-RAS nous avons réalisé une modélisation de l'écoulement qui a permis de délimitation des zones inondables au centre d'Ain Jemaa. Ces résultats peuvent contribuer à prévoir des aménagements adaptés afin de minimiser les dégâts causés par ces crues..

Mots-clés : Zone inondable, Modélisation, HEC-RAS, HEC-GEORAS, Ain jemaa, maroc

