



Année Universitaire : 2016-2017



Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Etude d'inondations dans des bases de données SIG dans le bassin du
Sebou, Centre Ait Yahia ou Alla**

Présentées par:

**Halima MAKHLOUFI
Samira EL OUACHANI**

Encadré par:

**Pr. BOUKHIR Mohammed, FST-Fès
Ing. OUEDGHIRI Mehdi, ABHS- Fès**

Soutenu Le 07 Juin 2017, devant le jury composé de:

**Pr. CHAOUNI Abdel-Ali (FST-Fès)
Pr. LAHRACH Abderrahim (FST-Fès)
Pr. BOUKHIR Mohammed (FST-Fès)**

Stage effectué à : ABHS, Fès





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

Halima MAKHLOUFI
Samira EL OUACHANI

Année Universitaire : 2016/2017

Titre : Etude d'inondations dans des bases de données SIG dans le bassin du Sebou, Centre Ait Yahia ou Alla

Résumé

Le bassin versant d'Ait Yahia ou Alla, situé dans le causse moyen atlasique au sud-ouest de la ville d'Azrou, et fait partie de région de Meknès-Tafilalt. Ce bassin est de forme allongé, il s'étend sur une superficie de 6.20 km^2 , son périmètre est de 11.34 km , avec des altitudes comprises entre 1138 et 1659 m .

La région où appartient la zone d'étude est caractérisée par un climat tempéré dont sa pluviométrie moyenne est de 479.3 mm , et une géologie assez diversifiée formée des terrains primaires et un recouvrement tertiaires et quaternaires du couloir Sud-Rifain.

Le problème d'inondation dans ce bassin provoqué par les crues générées par ensembles de chaâbats de Jbel Kharzouza.

La maîtrise et l'atténuation des conséquences des inondations provoquées par ce bassin nécessitent des mesures continues et des analyses des variables hydro-pluviométriques qui gouvernent 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. (Exemple, le module hydraulique HEC-GEORAS.

Mots clés : Ait Yahia ou Alla, bassin versant, crues, HEC-GEORAS.

DEDICACES

Nous dédions ce modeste travail

*A nos Familles que nous remercions infiniment pour leur amour, leur
patience et leur soutien.*

A nos Professeurs

Et

A nos chers Amis

qu'ils trouvent dans ce travail notre profond respect

Makhloufi Halima & Ouachani Samira

Remerciements

Ce travail est le résultat de notre stage effectué à l'Agence Hydraulique du Bassin du Sebou. C'est un fruit de nos propres efforts combinés à ceux des différentes personnes qui ont nous aidés et suivies tout au long de notre stage.

Nos remerciements s'adressent particulièrement :

En premier lieu nous tenons exprimer nos sincères remerciements à Mr. Mehdi OUEDGHIRI, notre encadrent à l'ABHS pour leur disponibilité, leur encouragement et leur soutien.

Mr. Mohammed BOUKHIR notre professeur encadrant à la faculté des Sciences et Techniques de Fès pour nous avoir encadré, prodigué les conseils qui ont nous aidé à réaliser ce projet dans les meilleurs conditions possibles

Nous remercions les membres de jury : Pr. Abdel-Ali CHAOUNI et Pr. Abderrahim LAHRACH.

Nous remercions également notre famille qui nous a soutenu tout au long de nos cursus, nos amis et à tous ceux qui ont nous aidé, de près ou de loin, à accomplir ce projet.

RESUME

Le bassin versant d'Ait Yahia ou Alla, situé dans le causse moyen atlasique au sud-ouest de la ville d'Azrou, et fait partie de région de Meknès-Tafilalt. Ce bassin est de forme allongé, il s'étend sur une superficie de 6.20 km², son périmètre est de 11.34 km, avec des altitudes comprises entre 1138 et 1659 m.

La région où appartient la zone d'étude est caractérisée par un climat tempéré dont sa pluviométrie moyenne est de 479.3 mm, et une géologie assez diversifiée formée des terrains primaires et un recouvrement tertiaires et quaternaires du couloir Sud-Rifain.

Le problème d'inondation dans ce bassin provoqué par les crues générées par ensembles de chaâbats de Jbel Kharzouza.

La maîtrise et l'atténuation des conséquences des inondations provoquées par ce bassin nécessitent des mesures continues et des analyses des variables hydro-pluviométriques qui gouvernent 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. (Exemple, le module hydraulique HEC-GEORAS.

Mots clés : Ait Yahia ou Alla, bassin versant, crues, HEC-GEORAS.

Sommaire

DEDICACES.....	1
Remerciements	2
Liste de tableaux.....	6
INTRODUCTION GENERALE	7
Chapitre I : Cadre générale de l'étude	9
I. Introduction :.....	9
II. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE SEBOU	9
2.1. Aspect hydraulique du bassin de Sebou :.....	10
1.2. Principaux problèmes et contraintes :	12
III. Généralités sur les inondations.....	13
3.1. Définition.....	13
IV. Crues Historiques au Maroc	15
V. Protection contre les crues	16
VI. Problématique de la zone D'étude.....	17
CHAPITRE II : Etudes géomorphologique des bassins versantes du centre Ait Yahia ou Alla.....	18
I. Introduction.....	18
II. Le Contexte Générale d'Ait Yahia ou Alla.....	18
2.1. Cadre administrative et géographique :.....	18
2.2. Contexte socio- économique :.....	19
III. Cadre géologique et Géomorphologique.....	20
IV. Cadre climatique	23
V. Caractéristiques physiographiques des bassins versants du centre Ait Yahia ou Alla.....	28
CHAPITRE III : Etude hydrologique	35
Introduction.....	35
II. Données d'entrées	35
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	45
ANNEXES.....	46
Annexe 1. Présentation de l'ABHS.....	46
1.1. Création :	46
1.3. Tâches effectuées à l'agence :	47
Annexe2 : Préparation des données	48

Liste de figure

Figure 1: carte de découpage administratif de la zone d'action l'ABHS. (ABHS. 2017)	10
Figure 2 : carte des nappes du bassin du Sebou	Erreur ! Signet non défini.
Figure 3 : Situation géographique du centre Ait Yahia ou Alla	19
Figure 4 : carte géologique schématique de la zone d'étude	23
Figure 5: Précipitation moyennes annuelles: station Ain Bittit (1986/87-2015/16).....	25
Figure 6 : Hauteurs des précipitations moyennes mensuelles : station Ain Bittit (1986/1987-2015/2016).....	26
Figure 7 : carte du réseau hydrographique de la région D'ait Yahia ou Alla	28
Figure 8: carte topographique d'Al Hajeb 1 :50000	29
Figure 9 : Délimitation des bassins versants des chaâbats traversant le centre Ait Yahia ou Alla	30
Figure 10 : carte d'un tin sur ArcGIS.	32
Figure 11: carte des pentes de la zone d'étude "center Ait Yahia ou Alla".	33

Liste de tableaux

Tableau 1 :Récapitulatif de la dotation en infrastructures pour le centre Ait Yahia ou Alla	20
Figure 4 : carte géologique schématique de la zone d'étude (ABHS)	23
Tableau 2: la station météorologique étudiée	24
Tableau 3: Hauteurs des précipitations moyennes mensuelles du station Ain Bittit (86/87-15/16).....	26
Tableau 4: classe et type de pente (2016).....	33
Tableau 5: Les caractéristiques physiographiques des bassins versants de centre Ait Yahia ou Alla. .	34
Tableau 6: la station météorologique étudiée	35
Tableau 7: Résultats de calcul des temps de concentration par différentes méthodes	37
Tableau 8:coefficients Montana pour les différentes fréquences de retour à la ville de Fès	39
Tableau 9: les valeurs des paramètres k_1 et k_2 au Maroc.....	40
Tableau 10: Résultats des calculs des débits de points en m^3 / s par les méthodes empiriques en fonction des périodes de retour.....	42
Tableau 11: calcul de l'intensité maximale de pluie par le temps	43
Tableau 1 : Les précipitations annuelles.....	50
Tableau 2 : Les précipitations mensuelles.....	51

INTRODUCTION GENERALE

Au cours des vingt dernières années, le Maroc a connu un certain nombre d'événements d'inondations au niveau de plusieurs régions du pays en raison d'une part, de la croissance démographique, et du développement urbain, agricole, industriel et touristique qui entraînent une occupation croissante des zones vulnérables et d'autre part, de l'aggravation des phénomènes extrêmes (sécheresse et crues) suite aux changements climatiques.

Les épisodes qui ont causé d'importants dégâts humains et matériels ont eu lieu notamment en 1995 (Ourika), 1996-1997 (plaine du Gharb), décembre 2002 (Mohammedia, El Jadida, Taza, Tétouan, Settat, Berrechid), 2009-2010 (plaine du Gharb, Rabat, Er-Rachidia, Missouri, IminTanout, Tanger, Nador, Casablanca, Khenifra, Tétouan, Agadir, Ait Melloul, Essaouira...).

Le plan national de protection contre les crues, réalisé par la Direction de la recherche et de la planification de l'eau en 2011, a permis d'identifier 392 sites qui présentent un risque de crues dont 63 sont situés dans le bassin de Sebou. (2015).

Cette étude s'intéresse au centre Ait Yahia ou Alla, qu'est situé à environ 3 km au sud-ouest de la ville d'Azrou (province Ifrane). Il est traversé par la route provinciale RP 7209 liant la ville d'Azrou à Ain leuh. L'origine principale des inondations du centre Ait Yahia ou Alla est le drainage des eaux pluviales de Jbel kharzouza.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres dans lesquels sont présentés les aspects de la méthodologie suivie pour la préparation à la modélisation hydrologique, ainsi que l'application de cette méthodologie au bassin du centre Ait Yahia ou Alla.

Le premier chapitre, comprend une Présentation du bassin versant de Sebou et des généralités sur les inondations.

Le deuxième est consacré sur la détermination des facteurs qui vont prédire la réponse hydrologique du bassin du centre Ait Yahia ou Alla, ils regroupent la situation géographique et géologique, les caractéristiques morpho-métriques et topographiques, du réseau hydrographique et hydro-climatiques, à ce stade, on a va établir une étude basée sur la construction du modèle du bassin par l'élaboration des cartes d'altitude, des pentes, du réseau hydrographique et aussi effectuer certains calcul pour caractériser mieux le bassin tel que le périmètre, la superficie ,et le coefficient de compacité, on a abordé une étude des paramètres

hydro-climatiques essentiels (précipitations, débit) qui s'avère très utile puisque c'est grâce à eux que s'opèrent les différents mécanismes régissant les transferts d'eau.

Le troisième chapitre comprend l'étude hydrologique pour déterminer les débits de pointe (Q_p) des crues de fréquences caractéristiques du centre Ait Yahia ou Alla.

Chapitre I : Cadre générale de l'étude

I. Introduction :

Le bassin versant de Sebou, de par sa situation géographique est soumis à un climat semi-aride .cette caractéristique climatique fait de l'eau une ressource très sollicitée et mal répartie tant dans le temps et dans l'espace.

L'augmentation rapide de la demande en eau, notamment pour les besoins agricoles, domestiques, industrielles et touristiques a provoqué une exploitation intenses des ressources hydriques disponibles dans les nappes aquifères de ce bassin versant de Sebou, ce dernier de par sa grande superficie, renferme plusieurs sous bassins versants de démentions variables, dans notre cas on parle de sous bassin versant (Ait Yahia ou Alla) sous forme de chaâbats dans la région d'Ifrane.

II. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE SEBOU

Le bassin de Sebou forme une cuvette entre le Rif au Nord, le moyen Atlas et la Meseta au sud, le couloir Fès-Taza à l'Est et l'Océan Atlantique à l'Ouest. D'une superficie d'environ 40.000 km², il est l'un des bassins les plus importants du royaume et renferme actuellement une population totale de près de 6,2 millions d'habitants (2004). Il dispose d'une économie agricole et industrielle qui contribue de façon importante à l'économie nationale.

Il est également très riche en potentialités touristiques. On y trouve des villes impériales à civilisation millénaire constituant un patrimoine universel comme les villes de Fès et Meknès, les sites romains de Walili (Volubilis) et les grottes de Friouatou dans la région de Taza. Le bassin de Sebou couvre en totalité ou en partie:

- **5 régions économiques** : Fès-Boulemane, Al Hoceima-Taza-Taounate, Meknès-Tafilalt, GharbChrarda-Beni Hssen et Rabat-Zemmour-Zair.

- **3 Wilayas** : Fès_Boulemane, Meknès-Tafilalt et Cherarda- Beni Hssen.

- **15 provinces et préfectures** dont 8 en totalité (Meknès, El Hajeb, Fès, MyYaacoub, Sefrou, Taounate, Kénitra, Sidi kacem) et 7 partiellement : (Ifrane, Boulemane, Taza, Chefchaouen, Khémisset, Khénifra et Al Hoceima).

- Plus de **70 centres** urbains et environ 260 communes rurales, appartenant aux différentes.



Figure 1: carte de découpage administratif de la zone d'action l'ABHS. (ABHS, 2017)

Le bassin hydraulique de Sebou établit des orientations et des objectifs comme ; la stratégie du secteur de l'eau dans le bassin du Sebou, assainissement et lutte contre la pollution, la protection et aménagement des bassins versants, gestion des ressources en eau solidaire et intégrée entre bassins, gestion des risques naturels (inondations et sécheresses), et information, éducation et sensibilisation de la population.

2.1. Aspect hydraulique du bassin de Sebou :

Le bassin du Sebou est marqué par un contexte géomorphologique et climatique très diversifié et renferme près du tiers des eaux de surface du royaume. Ce bassin se caractérise par un réseau hydrographique représenté principalement par l'oued Sebou et ses affluents.

L'oued Sebou prend sa source, sous l'appellation d'oued Guigou, dans le Moyen Atlas à 2100m d'altitude. Il sillonne une longueur d'environ 500 km avant d'atteindre son exutoire dans l'océan atlantique à Mehdiya près de Kénitra drainant ainsi une superficie voisine de 40000 km². Le long de son parcours, l'oued Sebou intercepte plusieurs affluents venus de régions contrastées dont les plus importants sont l'oued Ouergha dans le Rif, l'oued Inaouene deuxième affluent principal du Sebou après l'Ouergha, qui coule suivant une direction est-ouest, le long du couloir sud-rifain et l'oued Lebene dans le couloir de Taza au contact du Rif et du Moyen Atlas ainsi que les oueds Beht et Rdom issus du plateau central.

Le bassin du Sebou produit près du tiers des eaux de surface du Maroc. Il peut être subdivisé, du point de vue hydrologique, en quatre ensembles :

- Le haut et le moyen Sebou : ces deux affluents drainent respectivement des superficies voisines de 6000 Km² et 5400 km².
- L'oued Ouergha contrôle un bassin versant d'une superficie de l'ordre de 7300 Km².
- Le Beht rejoint le Sebou dans la plaine du Gharb. Ce cours d'eau draine un bassin versant d'environ 9000 Km². Parmi les affluents les plus importants du Beht figure l'oued R'dom.
- L'Inaouene et l'oued Lebene viennent de la région de Taza, au contact des domaines moyen-atlasique et pré-rifain. Ces affluents contrôlent des superficies respectives de 3400 km² et 1200 Km² environ.
- Le bas Sebou, dont la superficie couvre environ 6000km², et qui constitue un chenal instable et insuffisant pour supporter les débits de crues.

Le bassin du Sebou fait partie des bassins les plus riches en eau souterraine du Maroc. Ses ressources mobilisables (1020 mm³) représentent environ 25% du potentiel mobilisable du Maroc.

Les ressources en eau souterraines du bassin du Sebou sont contenues dans plusieurs nappes, dont les plus importantes sont :

- ✚ la nappe de Dradère-Souière ;
- ✚ la nappe de la Mamora ;
- ✚ la nappe du Gharb ;
- ✚ la nappe de Bou Agba ;
- ✚ les nappes du bassin du Fès-Meknès (phréatique et profonde) ;
- ✚ les nappes du couloir de Fès-Taza (phréatique et profonde) ;
- ✚ les nappes du Causse du Moyen Atlas (basaltes quaternaires et calcaires et dolomies du Lias);
- ✚ la nappe du Moyen Atlas plissé.



Figure 2 : carte des nappes du bassin du Sebou

1.2. Principaux problèmes et contraintes :

Le bassin du Sebou est le bassin le plus pollué du pays. En effet, il est situé en tête de l'ensemble des bassins du Maroc en termes de pollution organique d'origines industrielle et domestique et de pollution toxique. Il est suivi de loin par le Tangérois, le Tensift et le Bouregreg. Les sources de pollution sont multiples et se résument comme suit:

- La pollution d'origine domestique (le rejet des eaux usées)
- La pollution d'origine agricole (l'infiltration dans les eaux souterraines des produits agrochimiques).
- La pollution par les décharges publiques (dégagement des lixiviats qui rejoignent les eaux superficielles ou souterraines)
- La pollution d'origine industrielle (forte concentration en matières organiques, consommation de l'oxygène dissous de l'eau)

Concernant les nappes le problème se double d'un effet d'abaissement rapide de leur niveau.

Enfin, les questions de déforestation des massifs et de dégradation des sols constituent de vrais problèmes pour l'envasement des barrages, les pertes des sols cultivables et les inondations. Par ailleurs, le retard enregistré en matière de valorisation des ressources en eau mobilisées, notamment dans le domaine agricole, remet en cause la rentabilité des projets réalisés.

Face à ce contexte de réfraction croissante de l'eau, la gestion des ressources en eau avec efficacité et souci de durabilité est devenue comme objectif majeur de stratégie de développement. La mobilisation des ressources en eau et l'édification des barrages en tant que moyen pour cette mobilisation, joue un rôle important dans le processus de développement économique et social à l'échelle du bassin de Sebou et à tous le pays

III. Généralités sur les inondations

3.1. 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).

3.2. 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.

3.3. 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 culturales, le drainage, l'aménagement et l'entretien du réseau hydrographique.

➤ **Inondation 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.

➤ **Inondation 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.

IV. 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 m³/s. Le volume de la crue est d'environ 14,4 Mm³.

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

V. 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.

5.1. 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.

5.2. 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.

VI. Problématique de la zone D'étude

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéresserons aux Risques d'inondations dans les bassins versants du centre Ait Yahia ou Alla. Ce centre est exposé au risque d'inondations provoquées par les crues générées par un ensemble de châabats.

CHAPITRE II : Etudes géomorphologique des bassins versantes du centre Ait Yahia ou Alla.

I. Introduction

La caractérisation hydrologique du bassin versant du centre Ait Yahia ou Alla ne sera entamée qu'après une analyse des facteurs qui vont prédire sa réponse hydrologique, notamment le régime des écoulements en période des crues. Ainsi nous devons citer les facteurs suivants : La situation géographique et géologique et les caractéristiques morphométriques, celles du réseau hydrographique ainsi que les caractéristiques hydro-climatiques.

L'estimation de ces caractéristiques sera basée sur la technique de digitalisation et les modèles numérique du terrain.

II. Le Contexte Générale d'Ait Yahia ou Alla

2.1. Cadre administrative et géographique :

Le centre d'Ait Yahia ou Alla se situe au sud-ouest de la ville d'Azrou à environ 3 km (fig.3). Il appartient à la commune rurale de Tigrigra, caïdat Irklane, cercle d'Azrou, province d'Ifrane, région de Meknès-Tafilalt. Le centre est desservi par la route provinciale RP 7209 menant vers Ain Leuh et Khénifra.

La commune rurale de Tigrigra est limitée par :

Au Nord : la commune rurale de Ben Smim

A l'Est : la commune rurale de Timahdite

À l'Ouest : la province d'El Hajeb

Au sud : la commune rurale de Sidi El Mekhfi

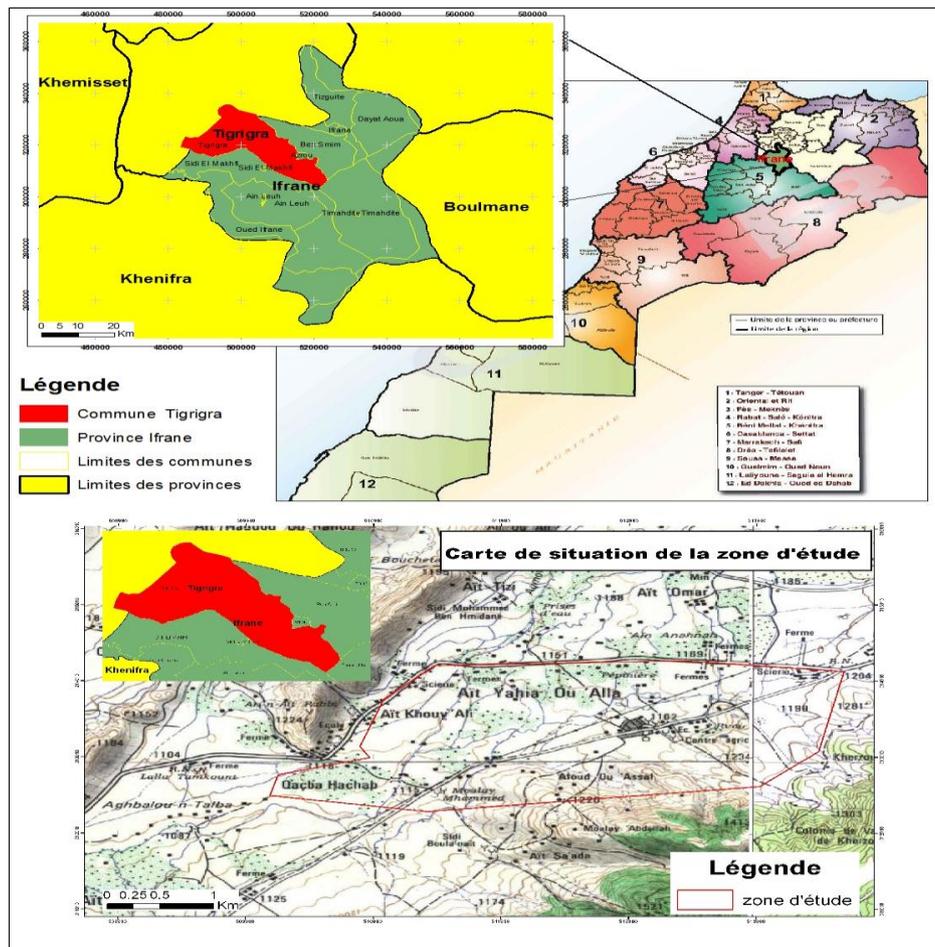


Figure 3 : Situation géographique du centre Ait Yahia ou Alla

2.2. Contexte socio- économique :

2.2.1. Démographie et population

Le nombre de la population rurale dans la province d'Ifrane est de 69 596 (environ 48.55% de la population). Au niveau de la commune rurale Tigrigra, le nombre de la population rurale est de 10 849. Le taux d'accroissement moyen annuel en monde rural est de l'ordre de 0.4% contre 0.7% en 1994. Au niveau du centre Ait Yahia ou Alla, le nombre des habitations est d'environ 80 maisons.

2.2.2. Activités économique

L'agriculture et l'élevage constituent les activités principales, les autres secteurs participent à taux très réduit à l'activité et aux revenus de la population. L'économie de la région se trouve développée pendant les saisons estivales du fait de la renommé touristique et artisanale de la zone.

2.2.3. Urbanisation et infrastructures

Les infrastructures sociales et économiques restent insuffisantes au niveau du centre Ait Yahia ou Alla et de la commune rurale Tigrigra.

Sa dotation en infrastructures est détaillée dans ce qui suit :

- Le secteur de l'enseignement: Existence d'une école primaire au niveau du centre et un collège.
- Le secteur de la santé publique : la commune de Tigrigra dispose d'un centre de santé communal au niveau du centre Ait Yahia ou Alla.
- Les voies routières : la desserte du centre est assurée par la route provinciale RP 7209. il est situé à environ 3 km de la ville d'Azrou.
- Autres infrastructures de base :
 - ✚ Le taux d'accès à l'eau potable au niveau de la commune est de 68 %.
 - ✚ Pour l'assainissement liquide, les rejets des eaux usées se font dans des fosses septiques, des puits perdus ou se déversent directement dans la nature. Ces rejets des eaux usées constituent un risque pour les ressources superficielles et souterraines.
 - ✚ Le taux d'électrification au niveau de la commune est de 100%.

Tableau 3 :Récapitulatif de la dotation en infrastructures pour le centre Ait Yahia ou Alla

Centre	Dotation en infrastructures					
	Enseignement	Santé	Voies routières	Eau potable	Assainissement liquide	Électrification
Ait Yahia ou Alla	écoles primaires et collège	Centre de santé	RP 7209	68 %	fosses septiques ou nature	100%

III. Cadre géologique et Géomorphologique

3.1. La géomorphologie :

Le centre d'Ait Yahia ou Alla appartient au Causse moyen-atlasique qui se caractérise par une structure tabulaire, plus faillée que plissée. Il s'agit en fait de vastes plateaux karstiques qui surplombent les plaines environnantes de la Meseta et du Sais à des altitudes comprises entre 1000 et 2200 m. Au niveau du centre d'Ait Yahia ou Alla, l'altitude est comprise entre 1100 et 1500 m.

Des ondulations à très grands rayons de courbure, des systèmes de failles, créent des cuvettes ou des horsts, tels le grand horst de Michlifène qui partage le Moyen Atlas tabulaire en deux tronçons: l'un méridional, l'autre septentrional. Les cuvettes sont nombreuses, créant des bassins versants fermés au centre desquels existent souvent des lacs permanents ou « Dayet » (Dayet Aoua, Dayet Ifrah, etc.)

3.2. La géologie :

Le Causse moyen atlasique est limité à l'ouest par les terrains primaires du bassin de l'oued Beht (Meseta primaire marocaine) et au Nord-est par ceux du massif du Tazzeke sur lesquels il repose. Au nord, la limite est déterminée par les terrains de recouvrement tertiaires et quaternaires du couloir Sud-Rifain sous lesquels il s'ennoie en un vaste synclinal dissymétrique, interrompu sur son flanc nord au contact du Rif et du Prérif (Ressources en Eau du Maroc).

Le Causse moyen-atlasique est subdivisé suivant des critères géographiques et structuraux : une partie occidentale qui va de la bordure de la Meseta à l'oued Sebou à l'est et une partie orientale qui correspond aux bordures liasiques de l'anticlinal du Tazzeke. La partie occidentale est elle-même subdivisée en deux tronçons suivant des critères structuraux : un tronçon septentrional au nord-ouest et un tronçon méridional au sud-est, séparés par l'importante ligne d'accidents du Tizi-N'Tretten. Le centre d'Ait Yahia ou Alla fait partie du tronçon septentrional.

La stratigraphie du causse moyen atlasique est donnée comme suit (Fig.4) :

- **Le socle hercynien** : Les sédiments primaires composant la majeure partie de la Meseta centrale, n'affleurent que très peu dans le Moyen Atlas tabulaire où ils n'apparaissent qu'à la faveur de quelques « boutonnières » (El-Menzel, Bsabis, jbel du Kandar, Koudiat-Shoubat au NW de Sefrou. Ce socle laisse pointer les roches dures du Primaire (grès, calcaires, quartzites) au sein de schistes tendres déblayés par l'érosion.
- **Le Permo-Trias** : Il est constitué par une série de marnes et argiles rouges, parfois violacées, gypsifères, salifères, au sein de laquelle s'intercalent des coulées de basaltes doléritiques ; le Permo-Trias repose en discordance sur la surface post-hercynienne.
- **Le Lias inférieur** : Avec le Lias inférieur débute la formation des dolomies et calcaires qui constituent le principal matériau du Causse. Dans le tronçon septentrional, étage représenté par des niveaux de marnes et calcaires marneux ou dolomitiques de faible

importance (1 à 5 m), affleurant en divers points au pied de la bordure occidentale entre El-Hajeb et Ben-Smim. Au-dessus de ces niveaux, le Lias inférieur est représenté par une série dolomitique d'environ 150 m d'épaisseur où l'on peut distinguer trois grands ensembles qui sont de bas en haut : des dolomies sableuses, des dolomies marneuses, des dolomies litées.

- **Le Lias moyen** : Dans le synclinal d'Ifrane, le Pliensbachien est représenté dans la part supérieure des dolomies litées qui forment le terme supérieur du Lias inférieur.

Le Domérien est constitué ensuite par la succession suivante, de bas en haut: calcaires lités (10 à 15 m) ; dolomies intercalaires (20 m) ; calcaires lités (10 m) ; dolomies supérieures (20 à 25 m).

- **Le Lias supérieur et le Dogger** : Avec le Toarcien apparaît un changement radical dans la sédimentation et les faciès marneux prennent beaucoup d'importance. Cependant, les sédiments du Lias supérieur et du Dogger sont beaucoup moins représentés que les séries dolomitiques et calcaires du Lias inférieur et moyen. A partir du Toarcien supérieur commence à se développer une série marno-calcaire qui se poursuit durant tout l'Aalénien et le Bajocien inférieur. Alors que le Bajocien moyen présente un faciès nettement marneux (marnes de Boulemane), le Bajocien supérieur est représenté par une série de calcaires plus ou moins dolomitiques appelés généralement «calcaires corniches». Le Bathonien ne serait présent que sporadiquement dans le synclinal de Bekrit. Le reste du Jurassique est absent (phase d'émersion).

- **Le Crétacé** : Dans le Moyen Atlas tabulaire, les dépôts crétacés ne sont représentés que dans le synclinal de Bekrit - Timhadite, à partir du Cénomaniens légèrement discordant sur le Jurassique. Cénomaniens et Turoniens sont sous des faciès d'alternances calcaires et marneuses, le Sénonien très épais étant franchement marneux dans l'ensemble

- **Le Tertiaire** : L'Oligocène, le Miocène et le Pliocène ne semblent pas représentés dans les causses du Moyen Atlas. Il convient de signaler un seul affleurement de Mio-Pliocène continental au nord d'Almis du Guigou

- **Le Quaternaire** :

- ❖ **Coulées volcaniques** : Sur le plateau de Timhadite, dans le voisinage des grands cratères (jbel Hebri, Chedifat et du Bou-Ahsine à la vallée de l'oued guigou). Les coulées atteignent des épaisseurs d'ordre de 150 à 200 m. Cette épaisseur va en

Dans cette partie, nous étudions la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques (précipitations, températures), enregistrés dans la station (Ain Bittit) qui est répartie près du centre Ait Yahia ou Alla.

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

Tableau 4: la station météorologique étudiée

<i>station</i>	<i>Coordonnées</i>		
	X	Y	Z
<i>Ain Bittit</i>	519660	35500	760

a) 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**

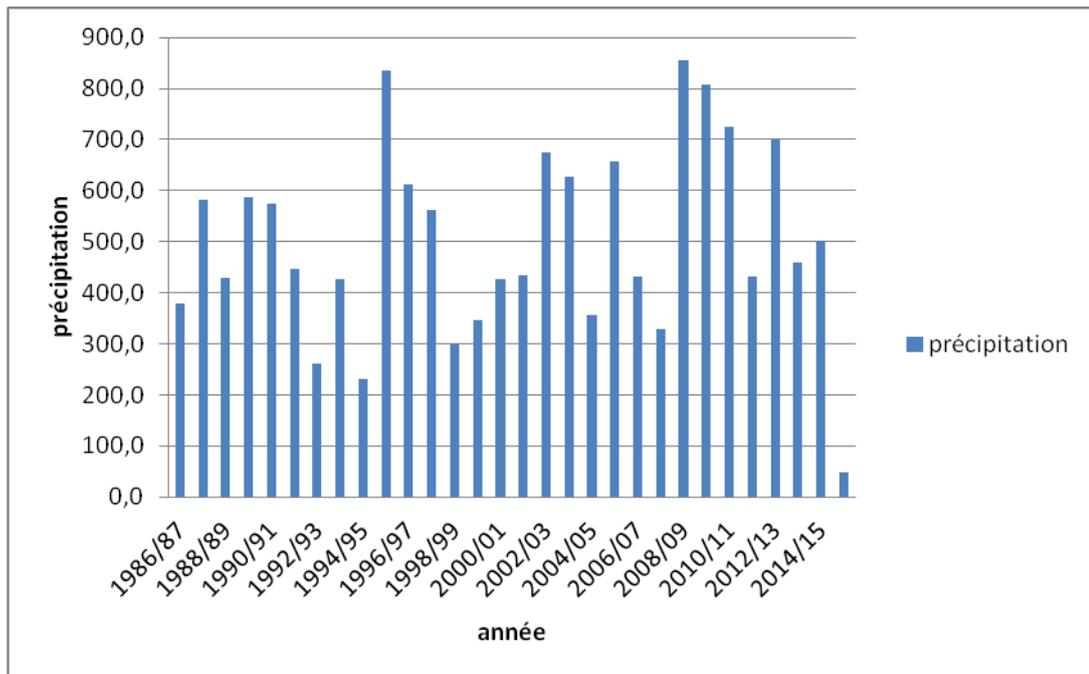


Figure 5: Précipitation moyennes annuelles: station Ain Bittit (1986/87-2015/16)

D'après la Fig.5, on peut tirer les résultats suivants :

- Les années des fortes pluviométries est marquées par des précipitations très importantes sont les années 08/09,09/10,10/11, ou la précipitation atteint une valeur varie entre 725mm et 854mm.
- Les années 92/93 et 94/95 sont marqués par des précipitations faibles prendront des valeurs varient entre 231mm et 262mm.
- L'année 2015/2016 caractérisé par des précipitations irrégulière (48mm).

➤ **Analyse des précipitations mensuelles**

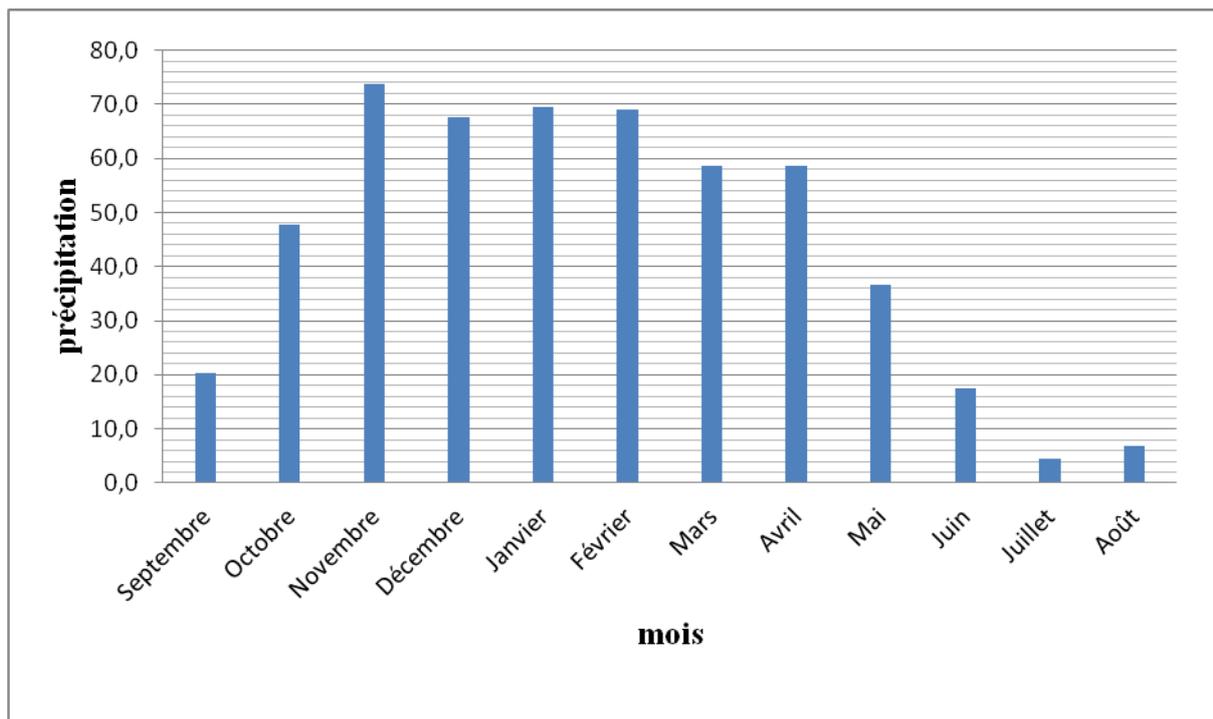


Figure 6 : Hauteurs des précipitations moyennes mensuelles : station Ain Bittit (1986/1987-2015/2016)

La fig. 6 montre que le mois le plus pluvieux est Novembre alors que le mois le plus sec est Juillet.

La hauteur de ces précipitations (Fig.6) croit progressivement à partir du mois de Septembre jusqu'à ce qu'elle atteigne son maximum au mois de Novembre. Elle décline pour atteindre son minimum au mois de Juillet, à partir duquel, elle reprend sa remontée

Tableau 5: Hauteurs des précipitations moyennes mensuelles du station Ain Bittit (86/87-15/16)

<i>station</i>	<i>Le mois le plus pluvieux</i>	<i>Le mois le plus sec</i>	<i>Pluie maximale</i>	<i>Pluie minimale</i>
<i>Ain Bittit</i>	Novembre	Juillet	73.7	4.6

b) 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...

Le Moyen Atlas est une région où la température est sensiblement influencée par l'altitude moyenne du massif. Les valeurs enregistrées sont relativement basses par rapport aux régions avoisinantes et confèrent une allure de climat tempéré.

c) Régime des vents :

Les vents dominants en hiver sont des vents ouest, et Est en été.

d) Ressources en eau :

La seule origine de l'alimentation en eau souterraine des Causses est météorique (pluie ou neige). Une très forte proportion des précipitations s'infiltré dans le karst calcaire et réapparaît principalement à la périphérie du Moyen_Atlas tabulaire.

Le bassin d'El Hajeb-Ifrane s'inscrit sur le synclinal d'Ifrane dont l'axe est orienté NW - SE. La limite W est la bordure du Causse entre El-Hajeb et Azrou.

A El-Hajeb une faille d'orientation SW-NE, surélève le substratum imperméable et isole totalement le Causse d'Agourâ du bassin d'Ifrane. Un réseau de failles WSW - ENE hache la bordure du Causse entre El-Hajeb et Bou-Rhaname, surélevant le Primaire et le Permo - Trias, empêchant ainsi tout abouchement entre le Causse d'El-Hajeb et la plaine de Meknès-Fès vers le nord.

La limite est du bassin de El-Hajeb-Ifrane suit une longue faille orientée SSE - NNW qui s'incurve en direction atlasique SW - NE à partir du jbel Aîn- Ouslaf. Cette faille suit un axe anticlinal important qui surélève le substratum permo-triasique, constituant ainsi une ligne de séparation des eaux souterraines entre les bassins d'El-Hajeb—Ifrane et d'Immouzer du Kandar. Cette faille est jalonnée de nombreux bassins fermés ou semi – fermés (en particulier, les bassins fermés des cours d'eau traversant le centre d'Ait Yahia ou Alla).

La limite sud est constituée par la faille SW – NE qui marque la bordure nord du bassin de Ras-el-Ma et par le horst de Michlifène.

Les émissions d'eau du bassin d'El-Hajeb-Ifrane sont essentiellement constituées par la somme des débits des sources et des abouchements avec le Sais. Le débit global de ces émissions a été évalué à environ 7 m³/s dont 1,2 m³/s résulteraient des abouchements avec la plaine de Meknès-Fès.

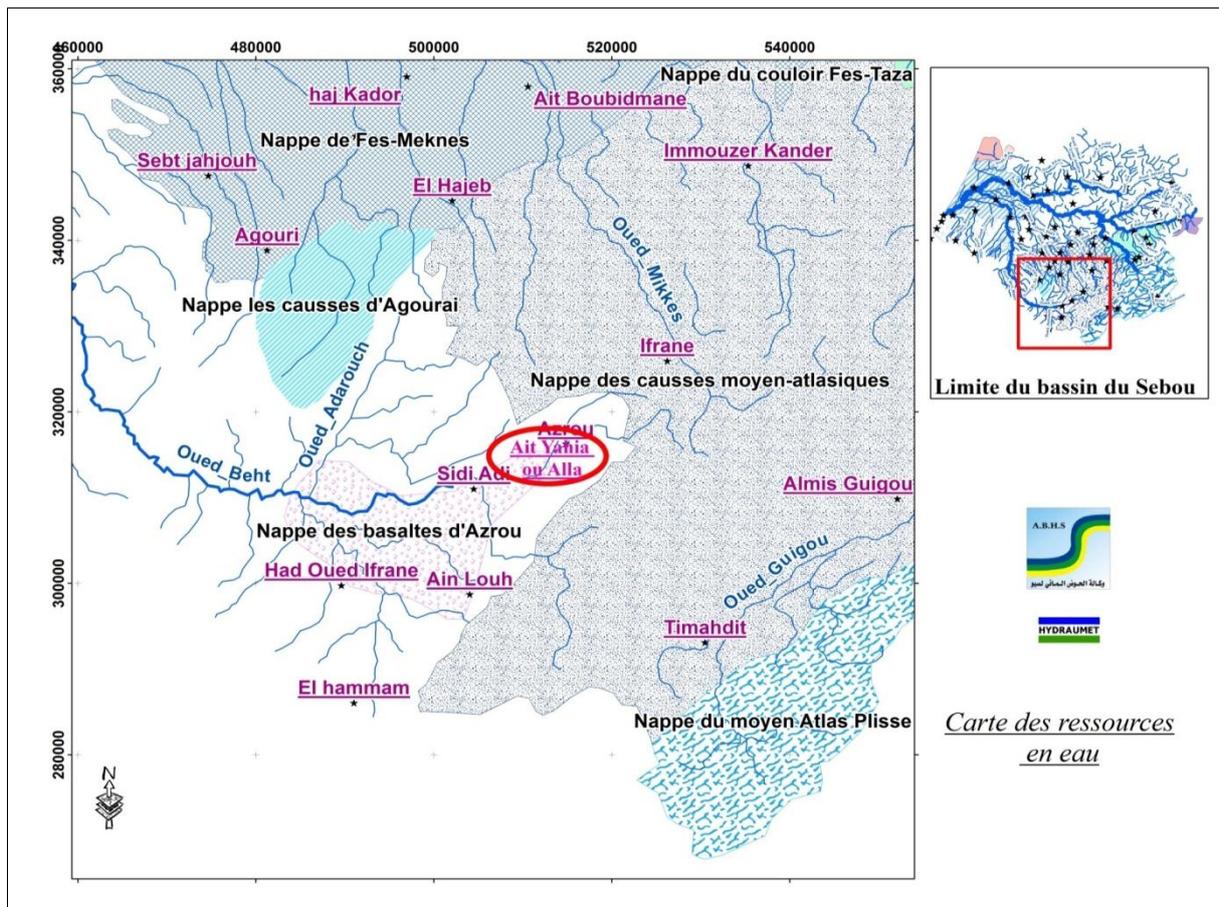


Figure 7 : carte du réseau hydrographique de la région D'ait Yahia ou Alla

V. Caractéristiques physiographiques des bassins versants du centre Ait Yahia ou Alla.

5.1.Introduction

Cette partie est consacrée à une description générale du bassin versant analysé afin de donner les indications géographiques, physiographiques, bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques. En effet l'altitude, la pente et la forme d'un bassin versant reliées à la lithologie renseignent sur le type de réponse hydrologique du bassin.

Les principales caractéristiques physiographiques et géomorphologiques d'un bassin versant étudié ont une importance majeure car elles interviennent, et souvent d'une façon combinée, dans les modalités de l'écoulement superficiel. Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le comportement hydrologique d'un bassin versant est influencé par les facteurs physiographiques qu'on va détailler par la suite,

généralement ces caractéristiques vont être estimés à partir de la carte topographique de la région.

5.2. Caractéristique morphométriques

On s'est basé sur la carte ci-dessous pour avoir les caractéristiques morpho-métriques obtenus par l'ArcGis.

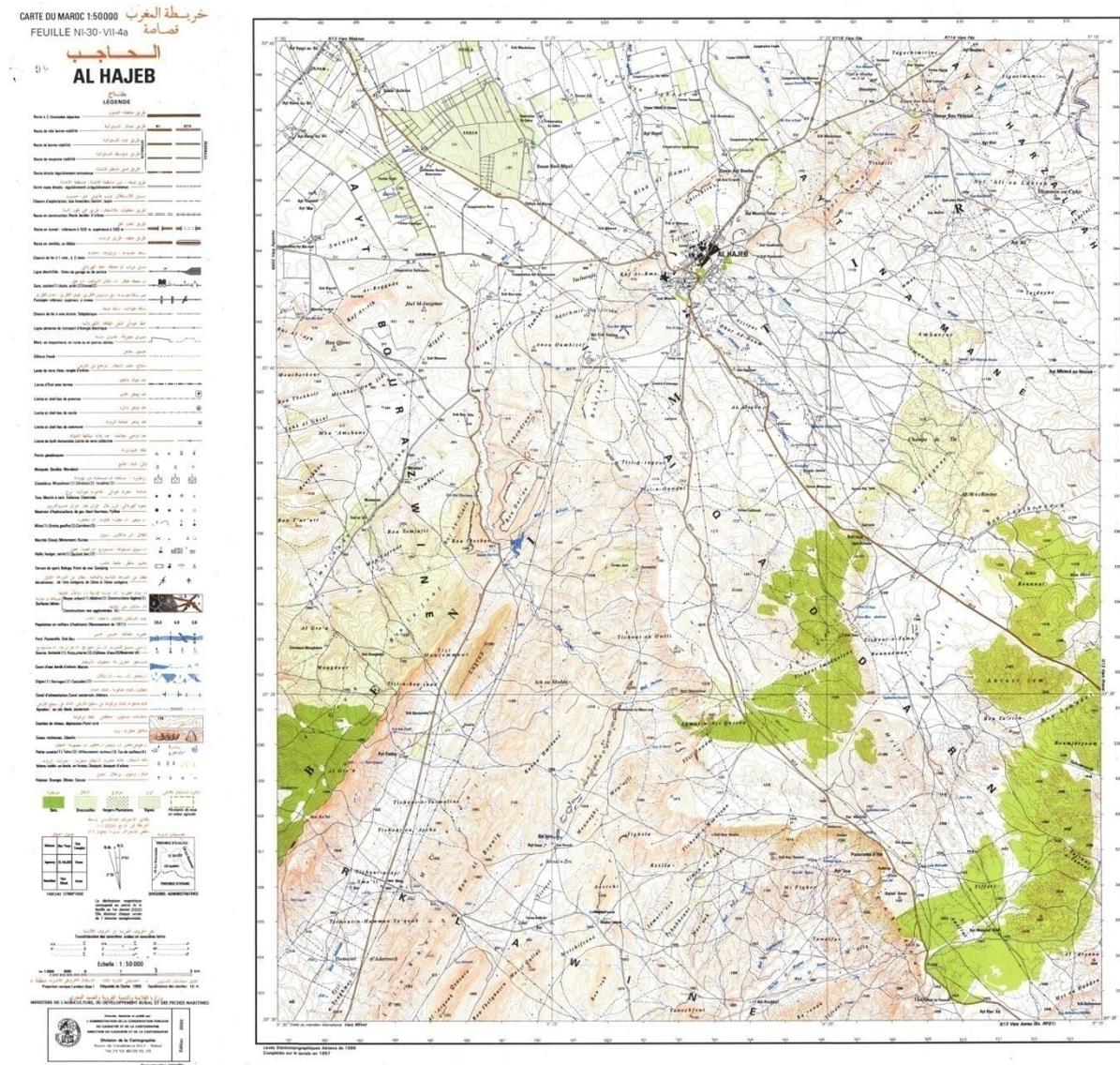


Figure 8: carte topographique d'Al Hajeb 1 : 50.000

5.2.1. La superficie et le périmètre :

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant ont des conséquences directes sur le comportement hydrologique de celui-ci (Fig9). Ces caractéristiques peuvent être calculées automatiquement à l'aide du logiciel ArcGis.

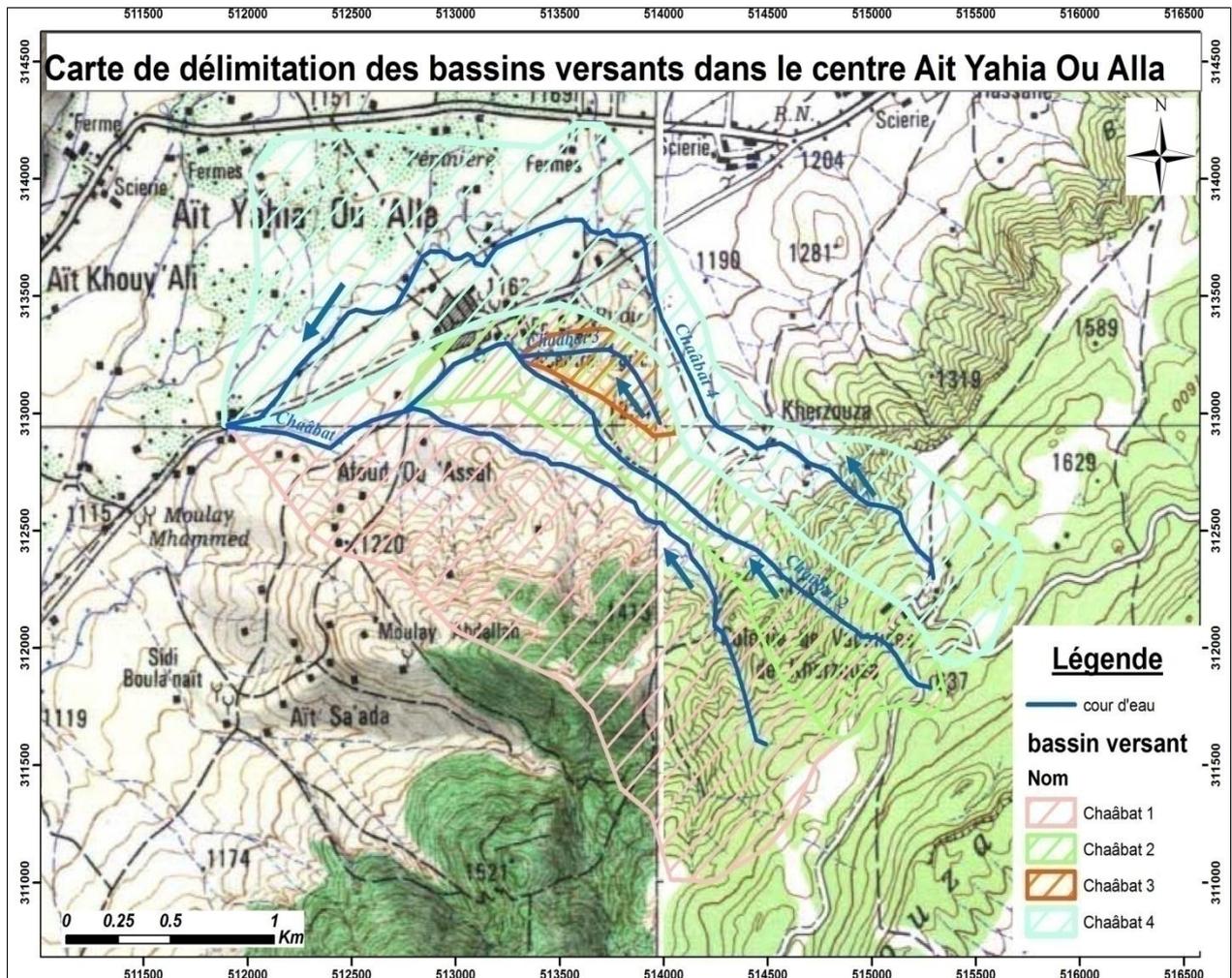


Figure 9 : Délimitation des bassins versants des chaâbats traversant le centre Ait Yahia ou Alla

5.2.2. Indice de compacité (Forme) :

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant d'une part et de renseigner sur la rapidité de la concentration des écoulements est l'indice de Gravelius. C'est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de surface de même périmètre.

$$k_G = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} \approx 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

- k_G : Indice de Gravelius,
- A : Surface du bassin versant (km^2),
- P : Périmètre du bassin (km),

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

5.2.3. Le rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est une représentation géométrique du contour du bassin versant transformé en rectangle. Celui-ci est tracé à partir de la longueur et de la largeur du bassin. Les courbes de niveau y sont parallèles et sont tracées en respectant les répartitions hypsométriques. Ce rectangle est conçu pour pouvoir comparer les bassins versants du point de vue morphologique. Ses dimensions sont respectivement :

$$\bullet L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right)$$

$$\bullet l = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right)$$

Avec :

KG : indice de compacité de Gravelius, $KG \geq 1.12$

A : superficie de bassin versant (Km^2)

L : longueur du rectangle équivalent (Km)

l : largeur du rectangle équivalent (Km)

5.3. Caractéristiques topographiques

5.3.1. Altitudes caractéristiques :

a) Altitude maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale indique le point le plus bas, se trouvant généralement à l'exutoire.

b) Altitude moyenne

L'altitude moyenne est déduite à partir de la relation suivant :(DUBREUIL 1966)

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A}$$

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)

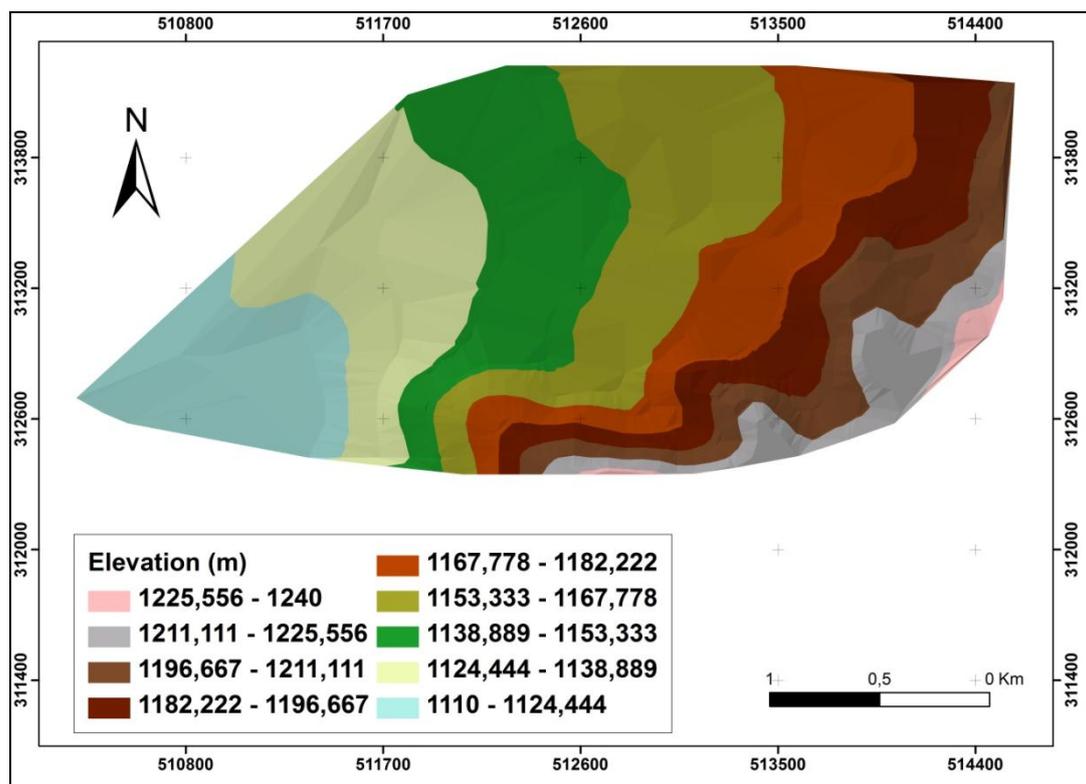


Figure 10 : carte d'un tin sur ArcGis.

5.3.2. Indices de pente :

Il est important de connaître le maximum des informations à propos des pentes et ses indices ces dernières nous renseignent sur le ruissellement, plus la pente est élevée plus les eaux ruissèlent rapidement, on peut citer le cas des zones montagneuses (comme notre zone d'étude) où on rencontre des crues importantes, par contre pour le cas d'une faible pente on aura un faible ruissellement.

a) Réalisation d'une carte de pente

La carte des pentes est déduite à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT), à partir de cette carte on peut déduire si on a des pentes faibles, moyennes ou bien fortes.

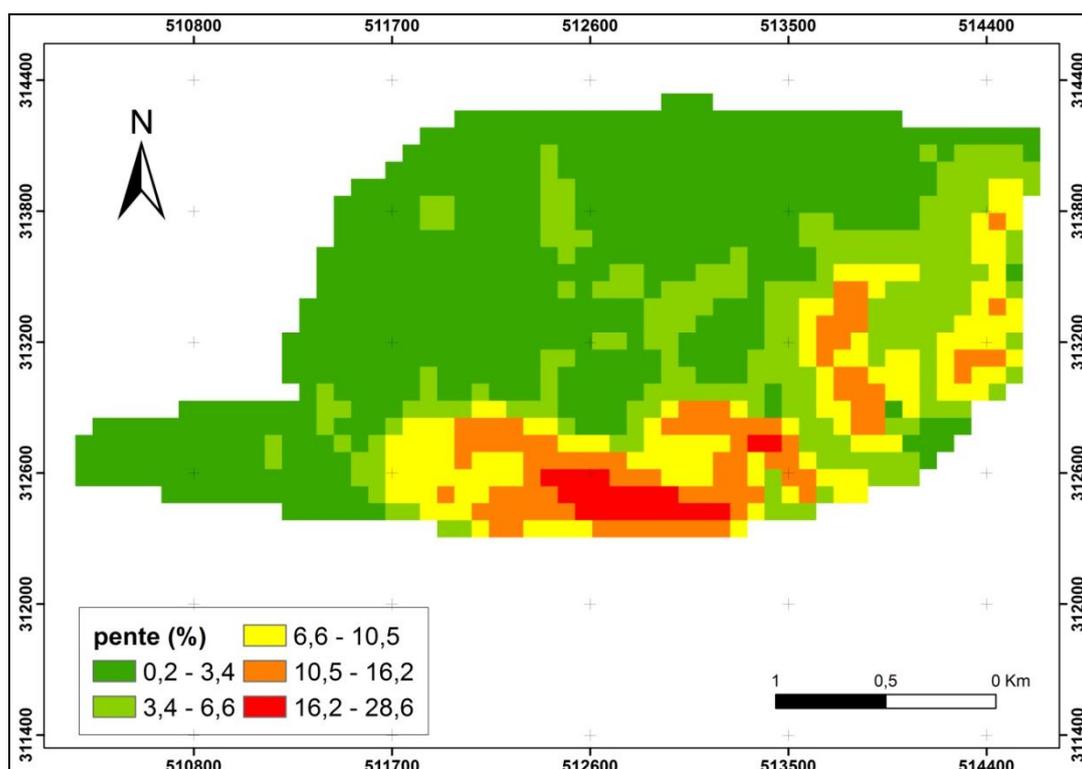


Figure 11: carte des pentes de la zone d'étude "center Ait Yahia ou Alla".

A partir de la carte des pentes (Fig. 11) on peut déduire que les pentes au niveau du bassin versant de centre Ait Yahia ou Alla varie entre faible et extrême (5 à 25%).

Tableau 6: classe et type de pente (2016).

<i>Classe</i>	<i>Type de pente</i>
1	Nulle à faible 0-5%
2	Modérée 5-10%
3	Abrupte 15-25%
4	Très abrupte 15-25%
5	Extrême > 25%

b) Pente moyenne

La pente moyenne est égale au quotient de la différence entre les hauteurs extrêmes par la Longueur du rectangle équivalent. Il nous renseigne sur la topographie du bassin. Elle donne Une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct donc sur le temps de Concentration T_c . Elle est déterminée par la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Avec :

P_{moy} : La pente moyenne du bassin versant

ΔH : L'altitude moyenne (m)

L: La longueur du rectangle équivalent (km)

5.4. Résultats :

Les résultats des caractéristiques physiographiques (morpho-métriques, topographiques) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 7: Les caractéristiques physiographiques des bassins versants de centre Ait Yahia ou Alla.

Nom du bassin	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Longueur du cours d'eau (km)	Largeur du RE (km)	Longueur du RE (km)	K_G	H_{max} (m)	H_{min} (m)	Déniv élée (m)	Pente moyenne (%)
Sous bassin 1	3.82	9.07	3.44	1.13	3.36	1.29	1646	1138	508	15.1
Sous bassin 2	1.23	6.88	3.16	0.26	1.95	1.73	1659	1159	500	25.6
Sous bassin 3	0.17	1.90	0.83	0.23	0.71	1.29	1224	1172	52	7.3
Sous bassin 4	2.72	10.76	4.68	0.56	4.79	1.82	1649	1136	513	10.7

5.5. Conclusion :

D'après les résultats trouvés (tableau .4), on voit que les indices de compacité des bassins versants sont supérieurs à 1, cela veut dire qu'ils ont une forme allongée, ceci favorise les faibles débits de pointe de crues à cause du retard de l'acheminement de l'eau à l'exutoire.

CHAPITRE III : Etude hydrologique

Introduction

L'objectif de cette étude est de déterminer les débits de pointe (Q_p) des crues de fréquences caractéristiques du centre Ait Yahia ou Alla.

II. Données d'entrées

On dispose des pluies journalières maximales annuelles depuis 1986/1987 jusqu'à 2015 /2016 de Ain Bittit station N°6405 qui nous ont été fournis par l'ABHS.

Tableau 8: la station météorologique étudiée

<i>station</i>	<i>Coordonnées</i>		
	X	Y	Z
<i>Ain Bittit</i>	519660	35500	760

2.1. Méthodologie adoptée pour l'étude des crues

a) Caractérisation du bassin versant : (voire tableau 4)

b) Calcul de temps de concentration :

Le temps de concentration (T_c) ou temps de pointe, est le temps nécessaire pour qu'une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée du bassin pour parvenir à l'exutoire.

Son calcul se fait en utilisant les formules suivantes :

➤ Formule de Kirpich :
$$T_c = \frac{L^{0.77} * I^{-0.385}}{52}$$

- T_c : temps de concentration en minutes ;
- I : pente en m/m ;
- L : longueur du thalweg principal en m.

➤ Formule de Giandotti :
$$T_c = 60 * \frac{4 * A^{1/2} + 1.5 * L}{0.8 * H^{1/2}}$$

- L : longueur du thalweg principal en km ;
- A : Superficie du bassin versant en km^2 ;
- H : dénivelée du bassin versant en m.

➤ **Formule de Ventura :** $T_C = 76.3 * \left(\frac{A}{I}\right)^{0.5}$

- I : pente en % ;
- A : superficie du bassin versant en km².

➤ **Formule de Turazza & Passini :** $T_C = 60 * 0.108 * (L * A)^{1/3} * I^{-0.5}$

- L : longueur du thalweg principal en km ;
- A : superficie du bassin versant en km ;
- I : pente en m/m.

➤ **Formule Espagnole :** $T_C = 18 * L^{0.77} * I^{-0.1925}$

- I : pente en m/m ;
- L : longueur du thalweg principal en km.

➤ **Formule de Van Te Chow :** $T_C = 60 * 0.123 * (L * I^{-0.5})^{0.64}$

- I : pente en m/m ;
- L : longueur du thalweg principal en km.

➤ **Formule de l'US Corps of Engineers :** $T_C = 16.682 * (L * I^{-0.25})^{0.77}$

- I : pente en m/m ;
- L : longueur du thalweg principal en km.

➤ **Formule californienne :** $T_C = 60 * 0.1452 * (L * I^{-0.5})^{0.77}$

- I : pente en m/m ;
- L : longueur du thalweg principal en km.

Les résultats de calcul des temps de concentration (en minutes) pour les bassins versants par les différentes méthodes adaptées sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 9: Résultats de calcul des temps de concentration par différentes méthodes

<i>T_c (min)</i>				
Formule	Chaâbat 1 (BV1)	Chaâbat 2 (BV2)	Chaâbat 3 (BV3)	Chaâbat 4 (SBV4)
<i>Kirpich</i>	13.83	7.40	6.09	13.36
<i>Giandotti</i>	43.18	30.77	30.10	45.09
<i>Ventura</i>	38.3	16.72	11.64	10.7
<i>Turazza et Passini</i>	22.82	7.35	7.19	15.86
<i>Espagnole</i>	54.24	38.50	20.87	60.15
<i>Van Te Chow</i>	21.02	12.50	10.63	20.42
<i>Corps of Engineers</i>	50.38	35.68	19.34	55.74
<i>Californienne</i>	30.70	16.43	13.51	29.60
<i>T_c retenu (min)</i>	35.80	93.39	16.07	35.22
<i>T_c retenu (heure)</i>	0.59	1.55	0.26	0.58

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

Après avoirs effectué l'analyse des données pluviométrique et l'étude physiographique des bassins versants objet de notre étude, nous allons procéder au calcul des débits en utilisant les méthodes empiriques usuelles.

Les méthodes de calcul recensées en utilisant différentes formules (empiriques, semi empiriques ou régionales) tiennent compte de deux facteurs essentiels :

- La taille du bassin versant, par le biais de sa surface et/ou de sa longueur.
- Le gradient topographique du bassin versant, par le biais de sa pente ou de sa dénivelée.

Débits retenus sont ceux calculés par ces formules dont les limites de validité dépendent essentiellement de la taille des bassins. Suivant ce critère, on distingue deux classes de bassin, à chacun on applique les formules convenables :

→ **Petits bassins versants (<100 ha)**

- Rationnelle
- Mac-Math

→ **Grands bassins versants (>100 ha)**

- Rationnelle
- Maillet Gauthier
- Fuller II
- Hazan Lazarevic

Notre zone d'étude contient un bassin versant qui est inférieure à 100 ha et trois bassins versants qui sont supérieurs à 100 ha, donc on va utiliser toutes les méthodes situées ci – dessus.

➤ **Formule Rationnelle :**

La formule rationnelle est la méthode la plus ancienne, elle utilise un modèle simple de transformation de la pluie de projet (décrite par son intensité), supposée uniforme et constante dans le temps, en un débit instantané maximal lorsque l'ensemble de son bassin contribue à ce débit.

La méthode rationnelle, décrite dans les Recommandations pour l'Assainissement Routier SETRA de 1982, s'énonce comme suit :

$$Q_T = \frac{C \times I(T, t_c) \times A}{3.6}$$

Où : Q_T : Débit de pointe en m³/s pour la période de retour T.

I : Intensité de la pluie en mm/h. soit,

$$I(T) = a(T)xt^{-b(T)}$$

Où : a(T) et b(T) sont des coefficients issues de l'ajustement statistique pour différentes périodes de retour, t la durée de l'averse.

Pour le cas de la présente étude, les paramètres a(T) et b(T) sont pris égaux à ceux de la station pluviométrique de la ville de Fès. Ces valeurs sont prises égales à :

Tableau 10:coefficients Montana pour les différentes fréquences de retour à la ville de Fès

Période de retour T (ans)	a	B
10	6.794	0.672
20	8.106	0.673
50	9.808	0.673
100	11.085	0.674

T: Période de retour (ans)

t_c : Temps de concentration en min

A : Superficie du bassin versant en Km².

C : Coefficient de Ruissellement

Pour les cours d'eau de centre Ait Yahia ou Alla, ce coefficient a été pris égal à 0,30.

➤ **Formule de Fuller II :**

$$Q_T = (1 + a \times \log(T)) \times (S^{0.8} + \frac{8}{3} S^{0.5}) \times \frac{4}{3} \times \frac{N}{100}$$

Avec : Q_T : Débit de pointe en m³/s de récurrence T.

T: Période de retour.

a : Coefficient variant entre 0,7 et 0,8 au Maroc. Nous adoptons a=0,8

S: Superficie du bassin versant en Km²

N: Coefficient régional pris égal à 80 en plaine, 85 en région accidentée et 100 en montagne. Nous prenons N=85 pour les bassins versants de la zone de l'étude

➤ **Formule de Mac –Math :**

Le calcul de débit se fait par la relation suivante :

$$Q = K \times H \times (S^{0.58} \times I^{0.42})$$

Avec : S : Surface du BV en Km².

I: Pente moyenne du BV.

H: Précipitation maximale en 24 h en mm.

K : Coefficient dépendant du couvert et de la topographie.

➤ **Formule de Mallet Gautier :**

Le débit se calcule par la formule suivante :

$$Q_T = 2 \times k \times \log(1 + a \times H) \times S \times \frac{\sqrt{(1 + 4 \log T - \log S)}}{\sqrt{L}}$$

Avec :

Q_T : Débit maximal (m³/s) pour la période de retour T.

S : Surface du BV en Km².

a : Coefficient de 20 à 30 (au Maroc, a = 20).

k : Coefficient de 0.5 à 6 (au Maroc, k = 2)

H : Hauteur moyenne annuelle des pluies (m)

L : Longueur du BV en Km.

➤ **Formule de hazan-Lazarevic :**

$$Q_T(1000) = k_1 \times S^{k_2}$$

Où : $Q(1000)$ = Débit de pointe en m³/s de récurrence 1000 ans

S = Superficie du bassin versant en Km²

Les valeurs des paramètres k1 et k2 dépendent de la situation géographique de la zone et de sa pluviométrie moyenne annuelle. Elles sont données dans le tableau suivant :

Tableau 11: les valeurs des paramètres k_1 et k_2 au Maroc

	<i>Province du Nord</i>			<i>Moyen Atlas</i>		<i>Haut Atlas</i>	
	<i>Rif central</i>	<i>Rif occidental</i>	<i>Rif oriental</i>				
k_1	15,55	9,78	7,58	14,94	13,51	13,47	9,38
k_2	0,776	0,793	0,808	0,636	0,613	0,587	0,742
<i>Pluviométrie [mm]</i>	1000 - 1300	800 - 1000	600 - 800	700 - 900	500 - 700	400 - 500	200 - 400

En nous basant sur la géographie et la pluviométrie de la zone d'étude, nous prenons les coefficients qui s'en approchent le plus :

$$k_1 = 14.94 ; k_2 = 0.636$$

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

$$Q(T) = Q(1000) \times \frac{(1 + a \times \log(T))}{(1 + a \times \log(1000))}$$

Q(T) : Débit de pointe en m³/s de récurrence T.

a : Coefficient régional variant de 0,8 à 2 pour la partie nord du Maroc, et de 2 à 3,5 pour le Rif Occidental. Nous prenons a = 2

d) Résultats :

Les calculs effectués par les différentes formules empiriques sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 12: Résultats des calculs des débits de points en m^3/s par les méthodes empiriques en fonction des périodes de retour.

<i>Cours d'eau</i>		<i>Chaâbat1 (BV1)</i>	<i>Chaabat2 (BV2)</i>	<i>Chaabat3 (BV3)</i>	<i>Chaabat4 (BV4)</i>
<i>Fuller II</i>	T=10 ans	16.47	8.40	-----	19.91
	T=20 ans	18.67	9.52	-----	22.57
	T=50 ans	21.59	10.96	-----	26.00
	T=100 ans	23.79	12.13	-----	28.77
<i>Mac-Math</i>	T=10 ans	-----	-----	23.80	-----
	T=20 ans	-----	-----	27.26	-----
	T=50 ans	-----	-----	31.75	-----
	T=100 ans	-----	-----	35.10	-----
<i>Mallet Gautier</i>	T=10 ans	17.25	19.45	-----	6.43
	T=20 ans	19.87	21.70	-----	7.02
	T=50 ans	22.50	24.37	-----	7.43
	T=100 ans	24.31	26.20	-----	8.23
<i>Hazan- Lazarevic</i>	T=10 ans	14.36	7.30	-----	12.11
	T=20 ans	17.96	8.76	-----	14.54
	T=50 ans	21.93	10.70	-----	17.75
	T=100 ans	24.94	12.17	-----	20.18
<i>Rationnelle</i>	T=10 ans	2.898	0.517	0.233	2.203
	T=20 ans	3.459	0.616	0.278	2.630
	T=50 ans	4.186	0.746	0.337	3.182
	T=100 ans	4.733	0.843	0.381	3.560

Tableau 13: calcul de l'intensité maximale de pluie par le temps

I (mm/h)				
	BV1	BV2	BV3	BV4
T=10	9.106	5.046	16.466	9.722
T=20	10.869	6.018	19.672	11.605
T=50	13.152	7.282	23.802	14.042
T=100	14.870	8.226	26.937	15.879

CONCLUSION

Dans le cadre de la présente l'étude, on a examiné par différentes méthodes, les débits de pointe pour le bassin versant d'Ait Yahia ou Alla. Le but étant de déterminer les éventuels débits et apports des crues au niveau de chaque cours d'eau et affluent afin de pouvoir constituer la base pour l'analyse hydraulique des zones inondables pour différentes périodes de retour. Et sa comparaison par la suite a la carte de délimitation des zones inondables.

Pour cela, on a utilisé les données de poste pluviométrique d'Ain Bittit pour l'analyse statistique des pluies maximales journalières. Ces données ont servi pour la génération des débits de crues par les méthodes rationnelle, Mallet Gauthier, Hazen Lazervic et Fuller II.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (2005): Etude de protection contre les inondations de centre d'Ain Karma dans la province de Meknès.

Benaabidate Lahcen. (2000) « thèse pour obtenir le grade de Docteur ES-SCINCES » : caractérisation du bassin versant de Sebou : Hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des sources thermales.

Cheikh Sidi El khair fatma. (2013) : Délimitation des zones inondables par l'utilisation combinée du logiciel HEC-RAC et HEC- GEORAS cas du centre « Ain Jemaa ». Mémoire de fin d'études de Master, Faculté des sciences et de techniques Fès.

Jabri Btissam. (2015) : Utilisation d'Arc-Hydro et d'HEC-GeoHMS dans l'extraction des données par la modélisation hydrologique spatialisée du bassin du Haut Sebou, Mémoire de fin d'études de Master, Faculté des sciences et de techniques Fès.

Slimani Sara. (2016) : Modélisation hydraulique du bassin versant de SIDI IFNI.

Webographie :

<http://resources.arcgis.com/>

<http://www.esri.com/>

<http://wikipedia.org/>

ANNEXES

Annexe 1. Présentation de l'ABHS

1.1. Création :

Instaurée par le décret 2.00.477 du 14 novembre 2000, pris en application de l'article 20 de la loi 10-95 sur l'eau. L'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou est un Etablissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. L'Agence du bassin gère les ressources en eau d'un bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau en veillant à la protection du domaine public hydraulique dans le but d'un développement durable. L'agence est administrée par un conseil présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau, parmi les grandes réalisations de l'agence on cite :

- Mobilisation des ressources en eau
- Déminéralisation des eaux saumâtres
- Dessalement des eaux de mer
- Collecte et valorisation des eaux pluviales
- Approvisionnement en eau potable et industrielle
- Assainissement, épuration des eaux usées et réutilisation
- Irrigation
- Energie hydroélectrique
- Protection contre l'érosion et le transport solide
- Réforme de la législation de l'eau
- Développement des compétences nationales

1.2. Organigramme de l'ABHS:

L'organigramme de l'ABHS se compose de :

Secrétariat général, quatre divisions, et un service de protection de la qualité de l'eau.



Figure 2 : Organigramme de l'ABHS

1.3. Tâches effectuées à l'agence :

❖ Définitions

Hydrométrie : méthodologie et technique de la mesure des hauteurs d'eau et des débits dans les cours d'eau.

Station hydrométrique : section d'un cours d'eau où sont mesurées la cote de la surface d'eau libre (m) et le débit du cours d'eau (l/s).

Jaugeages : détermination de la courbe d'étalonnage du cours d'eau, et comme c'est difficile.

Réseau hydrologique : ensemble des milieux aquatique (lacs, rivières, eaux souterraines, zones humides, etc.) présents sur un territoire donné, le terme de réseau évoquant explicitement les liens physiques et fonctionnels entre ces milieux.

station météorologique : ensemble de capteurs qui enregistrent et fournissent des mesures physiques et des paramètres météorologiques liés aux variations du climat, ces capteurs étant placés dans un boîtier, abri météorologique qui réalise l'équilibre thermique du thermomètre avec l'air et le protège du rayonnement solaire. Les variables à mesurer sont la température, la pression, la vitesse et direction du vent, l'hygrométrie, le point de rosée, la pluviométrie, la hauteur et le type des nuages, le type et l'intensité des précipitations ainsi que la visibilité. Les stations peuvent comporter des capteurs pour toutes ou une partie seulement de ces informations, selon leur type : agro_météorologique, d'aéroport, météo routière, climatologique. Les stations météorologiques sont le plus souvent à des coordonnées fixes sur les îles et les continents mais elles peuvent être aussi être à bord d'avions avec ou de navires (en particulier les navires_météorologiques). Elles peuvent également être déplacées pour des usages particuliers comme des expériences scientifiques ou pour déterminer les conditions météorologiques lors d'un désastre tel un feu de forêt. Les données qu'on en obtient peuvent être envoyées directement comme rapport météorologique, dans le cas d'une station automatique, ou faire partie des observations émises par un observateur humain.

Mesure de débits : un débit permet de mesurer le flux d'une quantité relative à une unité de temps au travers d'une surface quelconque. Son unité dérivée du SI est le mètre cube par seconde (m^3/s). Il s'agit d'une notion centrale dans une situation d'écoulement de fluide.

Annexe2 : Préparation des données

- Intégration des fichiers dwg des travaux topo réalisés par l'agence dans l'ArcGis
- Utilisation des images satellitaires Basemap
- Création des shapefiles
- Interpolation des courbes de niveau à partir des points de levé topo
- Géo- référencement des cartes
- Délimitation du bassin versant à partir de la carte topo

Quelques définitions :

ArcGis :

ArcGis est un système permettant d'utiliser des cartes et des informations géographique. Il permet d'effectuer les taches suivantes :

- ✓ Créations et utilisation des cartes
- ✓ Compilation de données géographiques

- ✓ Analyse de l'information appariée
- ✓ Partage et détections des informations géographiques dans diverses applications
- ✓ Utilisation des cartes et des informations géographique dans une base de données

Le système fournit une infrastructure permettant la mise à disposition des cartes et des informations géographiques dans une organisation, une communauté ou publiquement sur le Web.

Les shapefiles

Le *shapefiles*, ou « fichier de formes » est un format de fichier pour les [systèmes d'informations géographiques](#) (SIG). Initialement développé par [ESRI](#) pour ses logiciels commerciaux

Il contient toute l'information liée à la géométrie des objets décrits, qui peuvent être :

- des points
- des lignes
- des polygones

Création d'un TIN

Un **TIN** est une structure de données vectorielles qui divise l'espace géographique en triangles contigus, non superposés. Les sommets de chaque triangle sont des points de données d'échantillonnage de valeurs x , y , z . Ces points d'échantillonnage sont reliés par des lignes pour former des triangles de Delaunay. Les TIN sont utilisés pour le stockage et l'affichage de modèles de surface. Ils servent de structure d'arrière-plan, construite à la demande par les MNT.

❖ Les tableaux des précipitations en mm

Tableau 14 : Les précipitations annuelles

Année	Total en mm
1987/88	<u>583.0</u>
1988/89	<u>429.0</u>
1989/90	<u>587.0</u>
1990/91	<u>575.0</u>
1991/92	<u>446.0</u>
1992/93	<u>262.0</u>
1993/94	<u>427.0</u>
1994/95	<u>231.0</u>
1995/96	<u>834.0</u>
1996/97	<u>611.0</u>
1997/98	<u>562.0</u>
1998/99	<u>300.0</u>
1999/00	346,0
2000/01	426,0
2001/02	<u>434.0</u>
2002/03	675,0
2003/04	<u>628.0</u>
2004/05	<u>356.0</u>
2005/06	<u>656.0</u>
2006/07	<u>432.0</u>
2007/08	<u>330.0</u>
2008/09	<u>854.0</u>
2009/10	807,0
2010/11	725,0
2011/12	<u>432.0</u>
2012/13	<u>700.0</u>
2013/14	<u>459.0</u>
2014/15	<u>501.0</u>
2015/16	<u>48.0</u>

Tableau 15 : Les précipitations mensuelles

Année	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
1987/88	60,0	53,0	112,0	48,0	111,0	95,0	31,0	34,0	39,0			
1988/89		37,0	56,0	13,0	25,0	54,0	44,0	157,0	32,0	5,0	6,0	
1989/90	5,0	73,0	96,0	139,0	75,0		64,0	85,0	41,0		9,0	
1990/91	31,0	27,0	47,0	117,0	8,0	89,0	185,0	44,0	6,0	11,0	1,0	9,0
1991/92	46,0	38,0	14,0	20,0	3,0	55,0	87,0	47,0	48,0	82,0		6,0
1992/93		57,0	30,0	15,0	15,0	27,0	54,0	45,0	19,0			
1993/94	0,0	35,0	99,0	21,0	71,0	140	35,0	2,0	21,0	1,0		2,0
1994/95	6,0	21,0	20,0		0,0	47,0	36,0	63	8,0	30		
1995/96	22,0	6,0	38,0	123,0	205,0	80,0	135	70	104	43	8,0	
1996/97	31,0	27,0	14,0	239,0	118,0		15,0	109	40	17,0	1,0	0,0
1997/98	75,0	26,0	107,0	117,0	50,0	56,0	31,0	17,0	69	14,0		
1998/99	21,0	4,0		40,0	117,0	31,0	52,0	2,0	16	16,0		1,0
1999/00	9,0	53,0	53,0	26,0	28,0	0,0	0,0	95,0	56	0,0	0,0	26
2000/01	13,0	75,0	51,0	134,0	95,0	20,0	18,0	2,0	18	0,0	0,0	0,0
2001/02	21,0	0,0	16,0	147,0	0,0	6,0	70,0	126,0	47	1,0		
2002/03	0,0	65,0	182,0	46,0	86,0	57,0	105	72,0	38	15,0	0,0	9,0
2003/04		164,0	105,0	144,0	32,0	46,0	33	45	55	2,0	2,0	
2004/05	2,0	79,0	40,0	56,0		53,0	43	1,0	2,0	80,0		
2005/06	0,0	55,0	119,0	52,0	119,0	135	70,0	54,0	31	21		
2006/07	5,0	25,0	37,0	31,0	80,0	50,0	35,0	157,0	12			
2007/08	8,0	56,0	34,0	9,0	67,0	63,0	18,0	46	270		2,0	
2008/09	84,0	124,0	121,0	147,0	135,0	98,0	107,0	14,0	13,0	11,0		
2009/10	80,0	6,0	41,0	148,0	139,0	149,0	122,0	43,0	29,0	10,0	10,0	30,0
2010/11	0,0	98,0	153,0	60,0	52,0	48,0	44,0	93,0	149,0	24,0	0,0	4,0
2011/12	3,0	54,0	165,0	24,0	34,0	13,0	15,0	117,0	7,0	0,0	0,0	
2012/13	22,0	143,0	178,0	22,0		106,0	158,0	41,0	30,0			
2013/14	39,0	5,0	89,0	59,0	118,0	79,0	25,0	36,0	0,0	9,0		0,0
2014/15	11,0	6,0	124,0	26,0	105,0	59,0	58,0	23,0	43,0	14,0	32,0	
2015/16	14,0		6,0		28,0							