



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITÉ AMAR THELIDJI- LAGHOUAT



FACULTÉ : GÉNIE-CIVIL ET ARCHITECTURE
DÉPARTEMENT : GÉNIE-CIVIL

DOMAINE : Technologie
FILIÈRE : Hydraulique
OPTION : Ressources Hydrauliques

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Thème :

**IDENTIFICATION DE LA VULNÉRABILITE AU
DÉBORDEMENT D'OUED MEDSSOUS DE LA VILLE
D'AFLOU PAR MODÉLISATION SOUS HEC-RAS**

Présenté par :

Boutassouna Aïssa

Jury de soutenance :

<u>Nom et Prénom</u>	<u>Grade</u>	<u>Qualité</u>
<i>M^{me} M.Stamboul.</i>	<i>Pr</i>	<i>Président</i>
<i>M^r K.Yamani</i>	<i>MAA</i>	<i>Examinatrice</i>
<i>M^{me} F.BOULAGHMEN.</i>	<i>MAA</i>	<i>Promotrice</i>
<i>M^r A.Guiddoum</i>	<i>Dr</i>	<i>Co-Promoteur</i>

Promotion : Juin 2021

Dedicases

Je dédie ce modeste travail qui est l'accomplissement de longues années d'études pour arriver au niveau de Master 2 en spécialité Hydraulique option Ressources Hydraulique, en premier lieu à :

D'abord à ma très chère mère, pour son amour, son aide et son soutien pendant toute ma vie ;

A mon très cher père, pour ces conseils, son soutien matériels et moral afin de réaliser et finir ce cursus ;

A mon très cher frère ;

A mes très chères sœurs ;

A toute ma famille sans particulier ;

A tous mes amis.

Boutassouna Aissa

Remerciements

Je remercie DIEU de nous avoir donné le courage d'accomplir à bien ce travail.

- ✧ A l'issue de ce modeste travail, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à : Ma chère promotrice, M^{me} BOULAGHMEN. F, qui m'a beaucoup aidé par ses orientations et ses précieux conseils pour l'élaboration de cette étude ; mon cher co-promoteur, Mr Guiddoum. A, pour sa présence et son soutien à mener à bien ce modeste travail.*

- ✧ J'exprime toute ma gratitude et mon respect aux membres du jury M^{me} Yamani. K, Mr Stamboul. M et qui me feront l'honneur de corriger et d'apprécier ce modeste travail.*

- ✧ Je tiens aussi à exprimer mes sincères remerciements à tous les enseignants du département de Génie Civil spécialement les enseignants de la filière d'Hydraulique qui ont participé à faire ressortir le meilleur de moi par cette formation de qualité.*

- ✧ Je remercie infiniment tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

Boutassouma Aissa

Résumé :

La présente étude a pour but de développer un modèle hydrologique-hydraulique efficaces pour la simulation de l'événement pluvieux, l'estimation des débits des crues et la détermination des hauteurs d'eau dans le bassin versant de l'Oued Medsous afin d'établir une carte de vulnérabilité de la ville d'Aflou .Le travail consiste d'abord à étudier le bassin versant d'Oued Medssous sur le plan géomorphologique, hydrographique et climatique et à analyser les processus hydrologiques principalement responsables de la genèse de crues. Après avoir énuméré les principaux modèles hydrologiques et hydrauliques, le choix a porté sur l'application de modèle SIG qui va, par la suite, nous permettre de montrer son efficacité et sa performance dans ce genre d'étude à l'échelle régionale de la wilaya de Laghouat : le modèle hydraulique HEC-RAS est utilisé comme modèle d'addition hydrogéologique afin de ressortir les zones à risque. Les résultats obtenus montrent que les deux modèles arrivent à estimer de manière rapide et efficace le volume de ruissellement du bassin versant qui passe juste au milieu et tout au long de la ville d'Aflou, l'élaboration de l'hydrogramme de crue, les débits et les hauteurs d'eau le long de l'oued Medsous dans la ville d'Aflou .

Mots clés : Bassin versant, Oued Medsous, Modélisation hydraulique, HEC-RAS

Abstract:

The purpose of this study is to develop an efficient hydrological-hydraulic model for the simulation of the rainfall event, the estimation of flood flows and the determination of the water heights in the watershed of the Oued Medsous in order to establish a vulnerability map of the city of Aflou. The work consists first of all in studying the watershed of Oued Medssous geomorphologically, hydrographically and climate and in analyzing the hydrological processes mainly responsible for the genesis of floods. After having enumerated the main hydrological and hydraulic models, the choice fell on the application of GIS model which will, subsequently, allow us to show its efficiency and its performance in this kind of study at the regional scale of the wilaya of Laghouat: the HEC-RAS hydraulic model is used as a hydrogeological addition model in order to identify risk areas. The results obtained show that the two models manage to estimate quickly and efficiently the volume of runoff from the watershed which passes just in the middle and throughout the city of Aflou, the development of the flood hydrograph, the flows and heights of water along the Medsous wadi in the city of Aflou.

Keywords: Watershed, Oued Medsous, Hydraulic modeling, HEC-RAS

مختصر

الغرض من هذه الدراسة هو تطوير نموذج هيدرولوجي هيدروليكي فعال لمحاكاة حدث هطول الأمطار ، وتقدير تدفقات الفيضانات وتحديد ارتفاعات المياه في مستجمعات المياه في واد مدسوس من أجل إنشاء خريطة ضعف مدينة أفلو: يتكون العمل أولاً من دراسة مستجمعات المياه في واد مدسوس على المستوى الجيومورفولوجي والهيدروغرافي والمناخي وتحليل العمليات الهيدرولوجية المسؤولة بشكل أساسي عن نشأة الفيضانات. بعد إدراج النماذج الهيدرولوجية والهيدروليكية الرئيسية ، وقع الاختيار على تطبيق نموذج نظم المعلومات الجغرافية الذي سيسمح لنا لاحقاً بإظهار كفاءته وأدائه في هذا النوع من الدراسة على النطاق الإقليمي لولاية الأغواط: يستخدم النموذج الهيدروليكي HEC-RAS كنموذج إضافة هيدرولوجي من أجل تحديد مناطق الخطر. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن النموذجين تمكنا من تقدير حجم الجريان السطحي بسرعة وكفاءة من مستجمعات المياه التي تمر في وسط مدينة أفلو وفي جميع أنحاء مدينة أفلو ، وتطور هيدروغراف الفيضان ، وتدفقات المياه والارتفاعات على طول وادي ميدسوس. في مدينة أفلو .

الكلمات المفتاحية: مستجمعات المياه ، واد مدسوس ، التصميم الهيدروليكية ، HEC-RAS

Liste des Figures

Figure I.1 : Schéma explicatif des composantes du risque hydrologique	1
Figure I.2 Courbe d'isorisque (Renard, 2008	2
Figure I .3 Logiciel HEC-RAS de Hydrologic Engineering Center.....	7
Figure I .4 Représentation des limites dans l'équation d'énergie	8
Figure I. 5 Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS.....	10
Figure I .6 Exemple de calcul de l'énergie moyenne.....	10
Figure I.7 Volume élémentaire pour la dérivation des équations de continuité et de la quantité de mouvement.....	11
Figure I .8. ... Ecoulements dans le canal principal et la plaine d'inondation.....	13
Figure II 1 : Présentation géographique de la ville d'Aflou	20
Figure II .2 Situation de la ville d'Aflou par rapport a l'Algérie du nord.....	21
Figure II.3 Répartition annuelle de nébulosité.....	22
Figure II.4 Répartition mensuelle des humidités relative.....	23
Figure II.5 répartition mensuelles d'évaporation.....	24
Figure II.6 Variation Précipitations moyennes mensuelles (1990-2017)	25
Figure II .7 Variation des précipitations annuelles (1990 – 2017).....	27
Figure II. 8 Variation mensuelle de température à la station d'Aflou-1990-2017.....	28
Figure II .9 Variations des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales.....	29
Figure II .10 la carte géologique de Laghouat échelle 1/200.000.....	30
Figure II .11 l'oued Medssous 2011.....	33
Figure II .12 l'oued Medssous 2011.....	34
Figure II .13 l'oued Medssous 2011	35
Figure III.1 Les composantes d'un SIG.....	37
Figure III.2 Carte satellitaire de la ville d'Aflou [Google Earth- Map-Info].....	39
Figure III.3 Présentation de l'interface Map-Info.....	39
Figure III.4 La représentation graphique les limites d'oued medssous sur photo satellitaire par Map-Info.....	40
Figure III.5 Configuration de l'importation des documents	41

Figure III.6 Introduction des données de simulation de l'Oued.....	41
Figure III.7 Introduction des informations sur le débit d'eau de crue	42
Figure IV.1 Représentation de l'interface données : Introduction des débits de crue en termes de fréquence.....	44
Figure IV.2 Indication des résultats obtenus par jeux de données sous Hec-Ras. Section 80 cm.....	45
Figure IV.3 : Résultats de la hauteur du niveau d'eau dans l'oued en 3D.....	46
Figure IV.4 : Vue sur l'oued avant son aménagement	46
Figure IV.5 :Schéma de l'aménagement effectué dans le lit d'Oued Medssous	47
Figure IV.6 le niveau de l'eau après la modification d'oued.....	47
Figure IV.7 Schématisation des résultats obtenus lors de la simulation.....	47
Figure IV.8 Vue sur l'oued après la modification.....	48
Figure IV.9 Présentation de la partie d'Oued Medssous non encore achevé (mars 2021.Photo personnelle).....	49
Figure IV.10 Présentation de la partie d'Oued Medssous en aval à proximité de la zone urbaine (Mars 2021.Photo personnelle).....	50
Figure IV.11 Oued Medssous avant nettoyage.....	51
Figure IV.12 Oued Medssous durant le nettoyage du lit mineur.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1: les valeurs de la nébulosité pour la région d'Aflou.....	22
Tableau 2: Répartition mensuelle des humidités relative	23
Tableau 3: Répartition mensuelle de l'évaporation de la ville aflou	24
Tableau 4: . Précipitations moyennes mensuelles (1990-2017).....	25
Tableau 5: . Valeurs des précipitations annuelles de station Aflou (1990-2017).....	25
Tableau 6 : . Valeurs des précipitations annuelles de station Aflou (1990-2017.....	26
Tableau 7: Températures moyennes mensuelles et annuelles Aflou (1990-2017).....	28
Tableau 8 : Températures mensuelles (1990-2017)	29

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

L'eau peut être une aubaine comme elle peut être une source de risque, ce dernier «est au cœur de la vie de notre société de son organisation, même si sa perception dépend directement des enjeux et du moment» ; elle engendre des situations contradictoires d'une fois de pénuries et d'autre fois d'inondations. En effet ; les inondations sont à l'origine de Plus de 80% des catastrophes naturelles enregistrés dans le monde entre 1996 et 2006 provoquant ainsi des dégâts (humaine, économique, ...) d'un part et de modifier l'image de la ville d'autre part «Nous vivons dans un monde soumis à une pression de changement qui engendre un sentiment général d'insécurité pour le présent et de pertes de vision pour l'avenir».

La ville d'Aflou est régulièrement confrontée à des flux incontrôlés qui ont entraîné des inondations.

Le conseil populaire local s'efforce de limiter les conséquences de ces événements majeurs. Cela concerne également l'évacuation des eaux de pluie.

Dans un premier temps, nous montrons diverses données descriptives de notre zone d'étude pour comprendre les facteurs qui affectent la vulnérabilité de la ville d'Aflou au risque d'inondation, tout en nous concentrant sur les aspects suivants : physique (forme de relief, topographie, géologie, etc...), climatique et bioclimatique. (Précipitations, évaporation, température, couvert végétal, etc...), les ressources en eau, leurs caractéristiques, leur comportement par rapport au débit principal et au bassin récepteur.

Parce que les inondations sont le résultat des crues des vallées fluviales dues à la montée des eaux ; parce qu'elles ne peuvent être évitées, elles peuvent coexister avec elles en se désengageant des risques liés à leur gestion. La meilleure façon de bien réagir est de prévoir et de prévenir. En effet, la gestion de ce risque devient de plus en plus nécessaire, et toutes les parties prenantes doivent être associées et tous les moyens possibles doivent être utilisés.

Ainsi, nous présenterons les outils de calcul et la méthodologie adoptée afin de créer les applications nécessaires aux différentes étapes d'encastrement des vulnérabilités en fonction de l'utilisation des SIG.

Pour étudier et diagnostiquer la vulnérabilité de la ville aux inondations, nous n'avons observé que les trois indicateurs suivants : source de danger, morphologie urbaine et relevé

topographique, ont une relation directe avec le risque d'inondation et l'environnement. Civilisé. C'est pourquoi nous avons développé le développement des données numériques en un véritable service de cartographie afin de mettre en évidence et cartographier les vulnérabilités qui nous permettent de mettre en évidence les quartiers à risques.

Notre objectif est de déterminer la couverture des zones inondables avec différentes périodes de retour en exploitant les résultats obtenus dans les études hydrologiques. De plus, nous nous intéressons aux conditions d'écoulement dans tous les secteurs d'aléa.

Introduction :

«Nous vivons dans un monde soumis à une pression de changement qui engendre un sentiment général d'insécurité pour le présent et de pertes de vision pour l'avenir».

L'eau peut être une aubaine comme elle peut être une source de risque, ce dernier «est au cœur de la vie de notre société de son organisation, même si sa perception dépend directement des enjeux et du moment» ; elle engendre des situations contradictoires d'une fois de pénuries et d'autre fois d'inondations. En effet ; les inondations sont à l'origine de Plus de 80% des catastrophes naturelles enregistrés dans le monde entre 1996 et 2006 provoquant ainsi des dégâts (humaine, économique, ...) d'un part et de modifier l'image de la ville d'autre part «Nous vivons dans un monde soumis à une pression de changement qui engendre un sentiment général d'insécurité pour le présent et de pertes de vision pour l'avenir.

I.1 Définition du risque hydrologique :

Le risque hydrologique est défini comme un danger éventuel plus au moins probable auquel on est exposé, ce risque est induit par l'eau. Cette formulation fait apparaitre les deux composantes du risque, l'aléa et la vulnérabilité (Figure I .1).

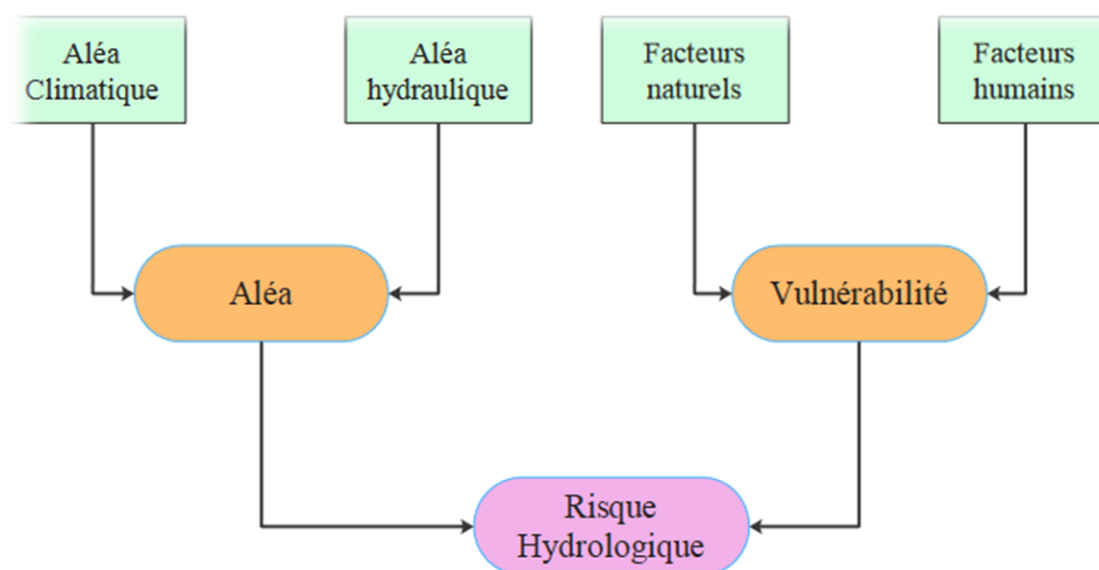


Figure I .1 : Schéma explicatif des composantes du risque hydrologique

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

D'après cette formule, un même risque peut être le produit d'un aléa fort avec une vulnérabilité faible, d'un aléa moyen et une vulnérabilité moyenne ou d'un aléa faible et vulnérabilité forte. En représentant l'aléa et la vulnérabilité par deux axes dans un espace plan, on obtient des courbes d'iso risque (Figure I. 2).

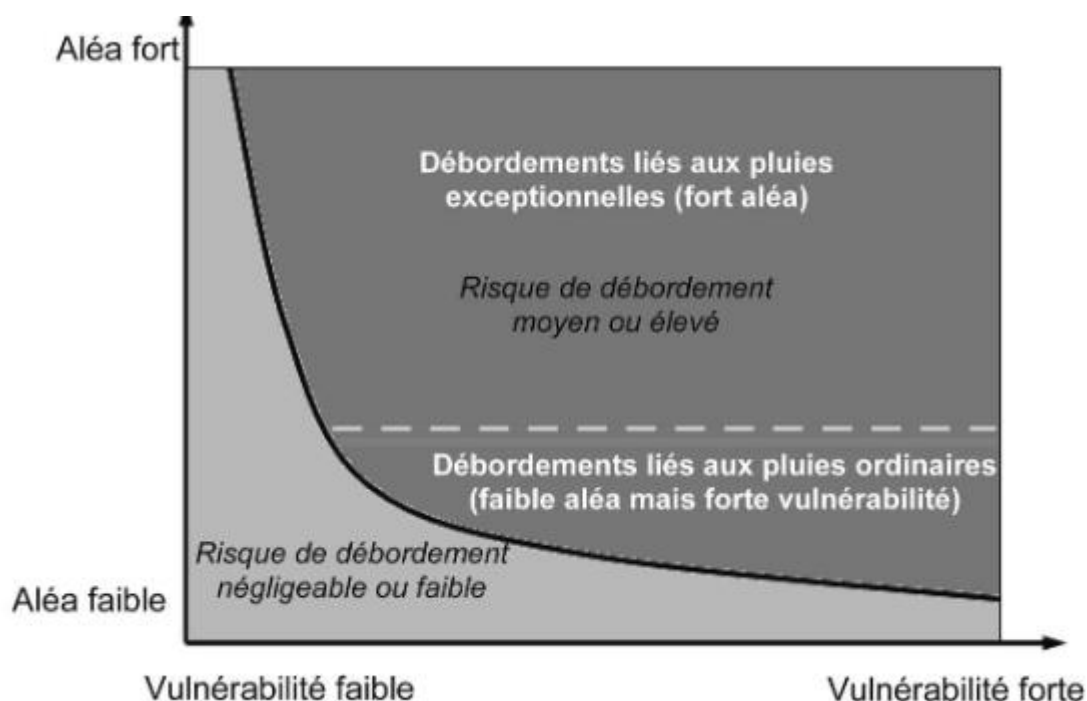


Figure I .2 : Courbe d'isorisque (Renard, 2008).

I.1.1 L'aléa :

Il est défini comme la probabilité d'un phénomène naturel ou accidentel de se produire en un lieu donné. Souvent, l'aléa se présente sous forme des eaux de ruissellement suscitées par les précipitations. On distingue deux types d'aléa :

I.1.1.1 L'aléa climatique :

Il se présente sous forme des précipitations caractérisées par l'intensité, la durée et la fréquence (courbe IDF). Une meilleure compréhension de la variabilité pluviométrique d'une région permettrait une amélioration de la gestion des risques induit par les eaux de ruissellement. La connaissance de la distribution spatiale et temporelle est

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

indispensable. Malheureusement, elle n'est pas prise en considération, méconnue par les ingénieurs et marginalisées dans toutes les études de protection contre les inondations. Aussi, l'obtention d'une telle information nécessite une multitude de stations pluviométriques réparties sur le bassin versant.

I.1.1.2 L'aléa hydraulique :

C'est la conséquence de l'aléa climatique et le mode d'occupation des sols. On peut identifier un tel aléa hydraulique par la hauteur de la lame d'eau et la vitesse d'écoulement.

Le taux d'accroissement élevé est suivi par un développement du tissu urbain imparable ce qui affecte directement le cycle hydrologique urbain. L'urbanisation conduit à l'imperméabilisation des sols ce qui implique des coefficients de ruissellement très élevés et un temps de réponse du BV de plus en plus réduit. Ce temps de réponse signifie que la vitesse d'écoulement atteint des valeurs immenses ou les conditions de l'écoulement sont favorables.

Les réseaux hydrographiques naturels urbains, parfois non permanents, avec des cheminements sinueux, très encombrés, peut pentus, sont remplacés par des canaux à ciel ouvert ou des galeries enterrés, souvent, surdimensionnés dans ces parties amont, tracés directement pour des raisons économiques et dotés par des pentes confortables pour un écoulement idéale [1] (Chocat, 1997). Aussi, la collecte et l'évacuation des eaux de ruissellement se fait par des réseaux d'assainissement généralement de type unitaire. Ces réseaux sont dimensionnés pour des périodes de retour décennales donc tout le système est sous-dimensionné pour des périodes de retour supérieures. Aussi, ils peuvent avoir des défaillances ou dysfonctionnement pour des causes naturelles comme l'entrée des corps volumineux ou le dépôt des matières en suspensions, ou des causes humaines comme les défauts de réalisation ou l'absence de l'entretien périodiques.

I.1.2 la vulnérabilité :

C'est le fait d'être sensible aux blessures ou aux attaques. Cette définition implique la prise en compte de deux effets de la vulnérabilité aux risques naturels : les dommages potentiels ou la capacité d'endommagement des phénomènes naturels menaçants ; les difficultés qu'une société mal préparée rencontre pour réagir à la crise, puis restaurer l'équilibre en cas de sinistre (perturbations directes et indirectes, immédiates et

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

durables). Ces deux aspects renvoient à deux approches du système de la vulnérabilité : l'approche classique consiste à mesurer l'endommagement potentiel des éléments exposés ; la nouvelle approche, intégrée et complémentaire de la première, vise à cerner les conditions ou les facteurs propices aux endommagements ou influant sur la capacité de réponse à une situation de crise (Thouret, 1996).

L'approche classique de la vulnérabilité consiste à estimer les dommages potentiels, généralement sous forme d'une courbe. Les impacts spatio-temporels, socioéconomiques et culturels sont estimés par les coûts et l'endommagement des éléments exposés. Les coûts directs, immédiats ou latents (préjudices corporels, habitat et activités socioéconomiques), et les coûts indirects, à terme moyens de production, emploi, reconstruction, sont mesurables. Les atteintes au patrimoine humain, écologique, culturel et esthétique et la réadaptation sont également importantes, mais restent difficiles à évaluer avec précision. L'inconvénient majeur de cette définition est de n'aboutir qu'à une définition positive du risque qui se traduit inévitablement par une recherche en terme de minimalisation, et qui conduit à s'approcher autant que possible du risque zéro, même s'il est inaccessible (Yahiaoui, 2012).

La nouvelle approche prend en considération les différents facteurs influençant la vulnérabilité telle que naturels, structurels ou socio-économiques. Puis elle examine la réponse du milieu exposé au risque. Les facteurs naturels correspondent aux caractéristiques morphométriques et pédologiques du bassin versant. Les zones les plus hautes du bassin versant sont caractérisées, souvent, par des pentes excessives ou les sols ont tendance d'être plus minces ce qui limite le potentiel de stockage des eaux (infiltration réduite). Les zones de montagne ont tendance de recevoir plus de précipitations. La topographie et la surface du bassin versant ainsi que la densité du réseau hydrographique naturel jouent un rôle déterminant sur l'envergure du temps de réponse du bassin versant.

Les facteurs socio-économiques se présentent sous forme des dommages que peuvent subir les habitants et à la valeur économique du site sinistré. Les dommages sur les personnes sont essentiellement liés aux possibilités d'alerte et d'évacuation. L'alerte et l'évacuation sont déterminées par la possibilité de prévoir les précipitations et les crues correspondantes, et par la possibilité d'informer les populations concernées et d'organiser l'intervention des secours. Ces différentes actions sont cependant d'autant

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

plus difficiles à mettre en œuvre que les événements sont rapides, et qu'il s'agit d'inondations pluviales résultant de précipitations importantes dont la prévision est relativement incertaine. Les dommages liés à l'occupation du sol dépendent de nombreux paramètres. On distingue fréquemment les dommages directs concernant les dégâts matériels et les pertes d'exploitation (Hingray, 1999).

I.2.La modélisation hydrologique :

Le processus hydrologique sur un bassin versant naturel est tellement compliqué et causé par un nombre important de facteurs que sa modélisation est devenue un sujet ambigu et donne une infinité de notions, définitions et classifications comme le mentionne Ambroise (1998) "il y a presque d'autant de modèles que d'hydrologues". Tous les modèles sont une représentation simplifiée du monde réel. Ils peuvent être physiques, à analogie électrique ou mathématique. Dans le passé, les modèles physique ou à analogie électrique ont été importants, maintenant les modèles mathématique, avec écart, sont universellement les plus applicables et connaissent un développement très rapide. Dans ce qui suit, on s'intéresse aux modèles mathématiques.

I .2.1. Typologie des modèles :

I.2.1.1. Modèle empirique (boîte noire) :

Un modèle empirique est construit autour de relations mathématiques directes établies entre les entrées et les sorties observées sur le bassin versant considéré. Ce type de modèle ne cherche pas à décrire les processus impliqués dans la relation pluie-débit et est donc souvent caractérisé comme des modèles "boîtes noires" puisque le système peut être consulté en termes d'entrée et sortie sans aucune connaissance de son fonctionnement interne.

I.2.1.2. Modèle conceptuel (boîte grise) :

Un modèle conceptuel cherche à représenter les principaux processus de la relation pluie-débit sans utiliser les lois physiques régissant les processus concernés. Ce type de modèle est généralement constitué de réservoirs connectés entre eux, dont les niveaux augmentent et diminuent au cours du temps et qui sont censés représenter les différents compartiments hydrologiques des bassins versants. L'utilisation de différents réservoirs permet une première séparation des composantes de la relation pluie-débit. Aussi connu

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

"modèle à boîte grise" puisqu'il combine une structure théorique partielle avec les données pour compléter le modèle.

I.2.1.3. Modèle à base physique (boîte blanche) :

Un modèle à base physique représente les processus de la relation pluie-débit en utilisant les lois physiques régissant ces processus. Ce type de modèle permet, de plus, de calculer les différents termes du bilan d'eau du bassin versant étudié. Appelé modèle à boîte blanche, boîte transparente ou boîte de verre parce que les composantes internes du système sont disponibles pour inspections. Ils sont purement théoriques.

I.2.1.4. Modèle global :

Dans un modèle global, le bassin versant est représenté comme une seule entité spatiale homogène. La variabilité spatiale des processus étudiés n'est donc pas explicitement prise en compte avec ce type de modèle.

I.2.1.5. Modèle distribué (spatialisé) :

Dans un modèle distribué, le bassin versant est divisé en plusieurs entités spatiales. Ce découpage de l'espace peut être sous la forme d'un maillage régulier, ou par sous bassins-versants. Ce modèle permet de prendre en compte la variabilité spatiale des processus étudiés.

I.2.1.6. Modèle semi-distribué :

Dans un modèle semi-distribué, certains processus sont modélisés en divisant le bassin versant en plusieurs entités spatiales. Ce découpage de l'espace peut être réalisé grâce à des critères hydrologiques (découpage en sous bassin versant), ou des critères topographiques (découpage par bandes d'altitude). Ce modèle permet de prendre en compte la variabilité spatiale des processus étudiés.

I.3. Logiciel HEC-RAS :

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) (Figure I.3) est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Centre de l'U.S. Army Corps of Engineers USACE (2010a et 2010b). Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux. HEC-RAS est doté d'interfaces

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

conviviales d'édition et de paramétrage des simulations. Il peut traiter des cas complexes, et il est disponible en freeware.

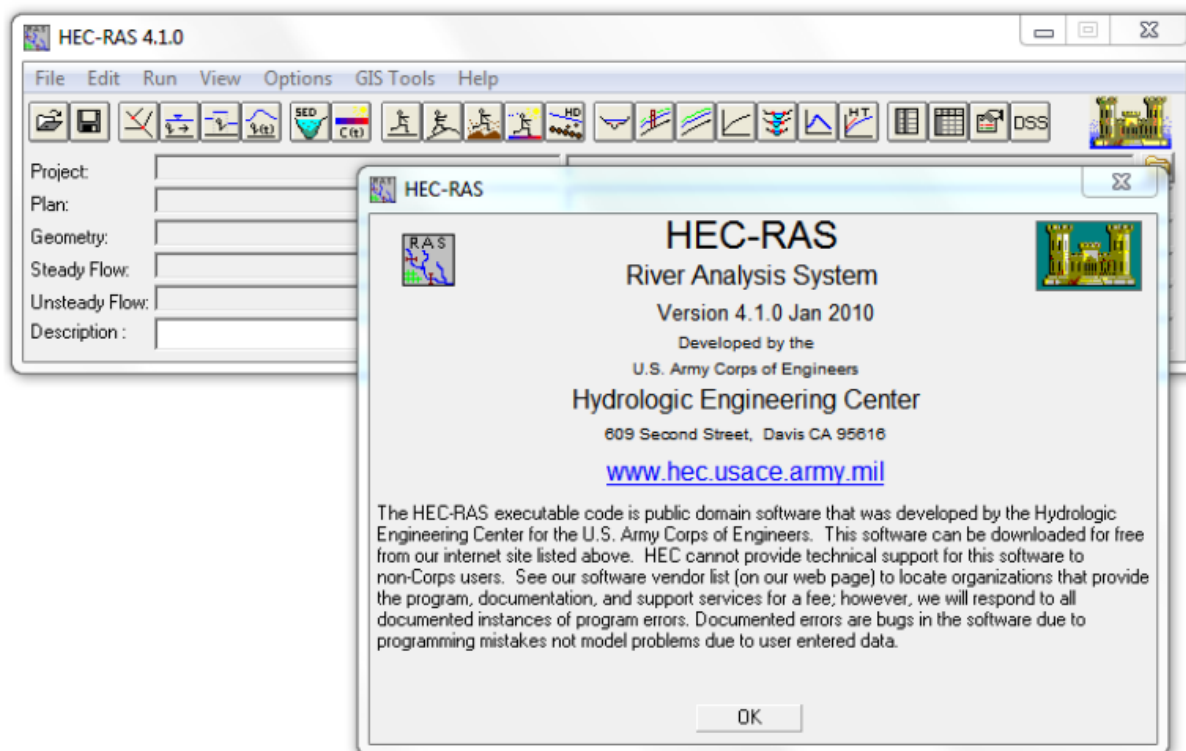


Figure I.3 : Logiciel HEC-RAS de Hydrologic Engineering Center.

HEC-RAS résout les problèmes des écoulements à surface libre permanent ou non-permanent de calcul de ligne d'eau en graduellement varié. Il résout l'équation de l'énergie unidimensionnelle, les pertes étant évaluées par la formule de frottement au fond de Manning-Strickler et par des formules de contraction/expansion de l'écoulement. Pour les situations rapidement variées telles que les ressauts hydrauliques, les écoulements à proximité des ponts, et les confluences de rivière, l'équation de l'énergie est remplacée par l'équation de quantité de mouvement. Pour les écoulements débordants, la section totale est divisée en sous-sections homogènes en terme de forme et de rugosité, et chaque débit partiel Q_i est calculé selon la "Divided Channel Method" à l'aide de la formule de Manning-Strickler.

I.3.1.Possibilités du modèle HEC-RAS :

L'objectif principal du programme HEC-RAS est tout à fait simple, Il est conçu pour exécuter le calcul hydraulique unidimensionnel pour tous les réseaux de canaux naturels

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

et artificiels par le calcul des hauteurs de la surface de l'eau en toute section d'intérêt pour un ensemble de données d'écoulement en régime permanent ou par des hydrogrammes de propagation des crues par la simulation de l'écoulement en régime non permanent.

I.3.2. Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS :

I.3.2.1. Profils de la surface de l'eau en écoulement permanent :

Comme il a été indiqué plus haut le modèle HEC-RAS est capable d'exécuter des calculs unidimensionnels de profil de la surface de l'eau pour l'écoulement permanent graduellement varié dans des canaux naturels et artificiels. Les profils de la surface de l'eau en régime d'écoulement sous critiques (fluvial), supercritiques, et mixtes peuvent être calculés.

I.3.2.1.1. Équations de base entre deux sections :

Les profils de la surface de l'eau sont calculés entre deux sections comme il montré à la figure(I.4) en résolvant l'équation d'énergie. L'équation d'énergie est écrite comme suit :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Où :

Y_1, Y_2 : profondeur de l'eau au niveau des sections

Z_1, Z_2 : côte du canal principal

V_1, V_2 : vitesses moyennes (débit total /surface totale d'écoulement)

α_1, α_2 : coefficients de pondération de vitesse

g : accélération de la gravité

h_e : perte d'énergie principale (perte de charge)

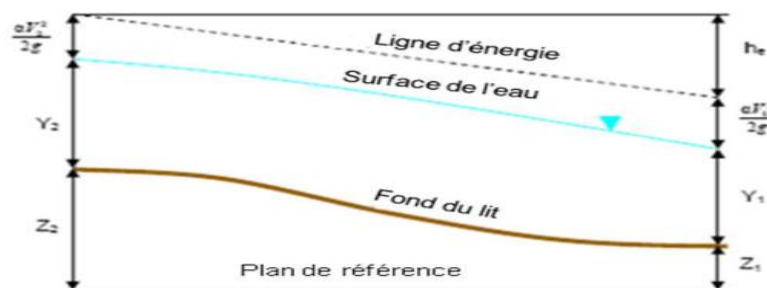


Figure I.4 : Représentation des limites dans l'équation d'énergie

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

La perte totale d'énergie (h_e) entre deux sections est composée des pertes par frottement et des pertes de contraction ou d'expansion. L'équation pour la perte totale d'énergie est comme suit :

$$h_e = L\overline{S_f} + C \left| \frac{\alpha V_2^2}{2g} - \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right|$$

Où :

L: longueur de la distance entre deux sections

Sf: angle de frottement représentatif entre deux sections

C : coefficient de perte d'expansion ou de contraction.

I.3.2.1.2.Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit :

La détermination du transport total et du coefficient de vitesse pour une section de calcul exige que l'écoulement soit subdivisé en unités pour lesquelles la vitesse est uniformément distribuée. L'approche utilisée dans HEC-RAS est de subdiviser l'écoulement dans les surfaces des rives en utilisant les points d'arrêt des valeurs de la rugosité n comme base de la subdivision (endroits où est observé le changement des valeurs du coefficient de rugosité n comme le montre la figure (I.5)). Le flux est calculé dans chaque subdivision sous la forme suivante en fonction de n (Equation de Manning):

$$Q = K S_f^{1/2}$$

Avec

$$K = \frac{1}{n} A R^{2/3}$$

Où :

K : flux pour la subdivision

n : coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision

A : surface d'écoulement pour une subdivision

R : rayon hydraulique pour une subdivision (surface/périmètre mouillé)

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

Le programme cumule tous les débits dans les rives pour obtenir un flux pour la rive gauche et la rive droite. Le débit total d'une section de calcul est obtenu en additionnant les trois débits des trois subdivisions (gauche, canal, droite)

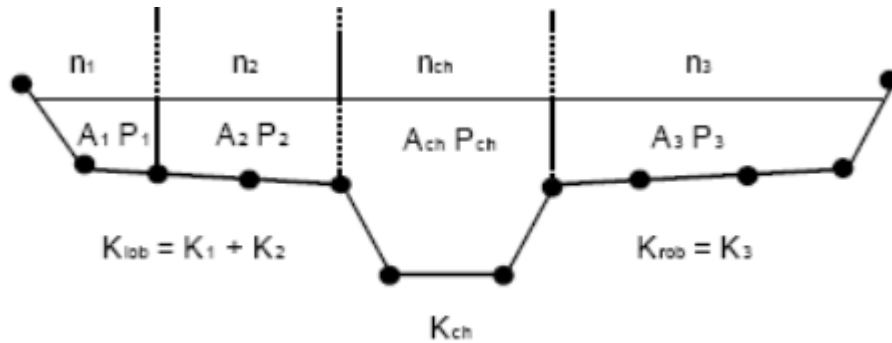


Figure I.5 : Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS

I.3.2.1.3.Évaluation de l'énergie cinétique moyenne :

Puisque le logiciel de HEC-RAS est un programme de calcul unidimensionnel des profils de la surface de l'eau, seule une surface de l'eau et donc une énergie moyenne sont calculées en chaque section. Pour un niveau donné de la surface de l'eau, l'énergie moyenne est obtenue en considérant les énergies correspondantes aux trois sous-sections d'une section de calcul (rive gauche, canal principal, et rive droite). Le schéma (I.6) ci-dessous montre comment l'énergie moyenne est obtenue pour une section de calcul.

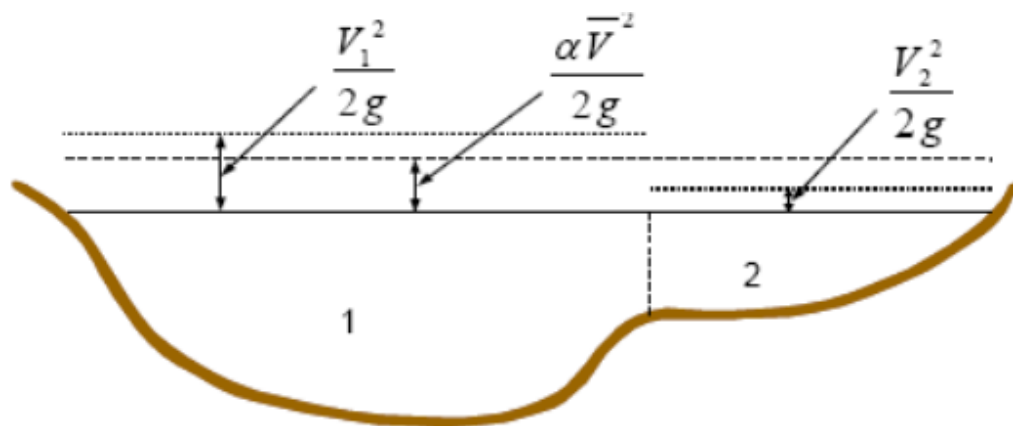


Figure I.6 : Exemple de calcul de l'énergie moyenne.

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

V_1 = vitesse moyenne de la surface 1

V_2 = vitesse moyenne de la surface 2

I.3.2.1.4. Calcul du profil de la surface de l'eau :

La hauteur inconnue de surface de l'eau en une section donnée est déterminée par une solution itérative.

$$WS_2 = WS_1 + \frac{1}{2g} (\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2) + h_e$$

WS: Niveau (Profil) de la surface de l'eau (m)

I.3.2.2. Calcul de la propagation des crues en régime d'écoulement non permanent :

Les lois physiques qui régissent l'écoulement de l'eau dans un canal sont : (1) le principe de la conservation de la masse (continuité), et (2) le principe de la conservation de la quantité de mouvement.

Ces lois sont exprimées mathématiquement sous forme d'équations différentielles partielles, qui ci-après désigné sous le nom des équations de continuité et de la quantité de mouvement.

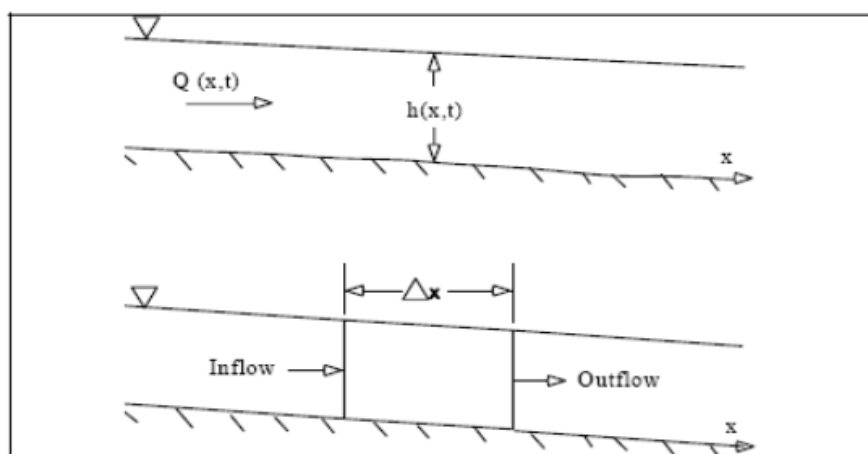


Figure I.7 : Volume élémentaire pour la dérivation des équations de continuité et de la quantité de mouvement.

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

I.3.2.2.1.Équation de Continuité :

Considérons le volume élémentaire représenté sur la figure(I.7).Dans cette figure, la distance X est mesurée le long du canal. Au point médian du volume, l'écoulement et toute la surface d'écoulement sont dénotés Q(x, t) et AT, respectivement.

La surface totale d'écoulement est la somme de la surface active du canal et de la zone de stockage.

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

Avec q_l est l'apport latéral par unité de longueur.

I.3.2.2.2. Équation de la quantité de mouvement :

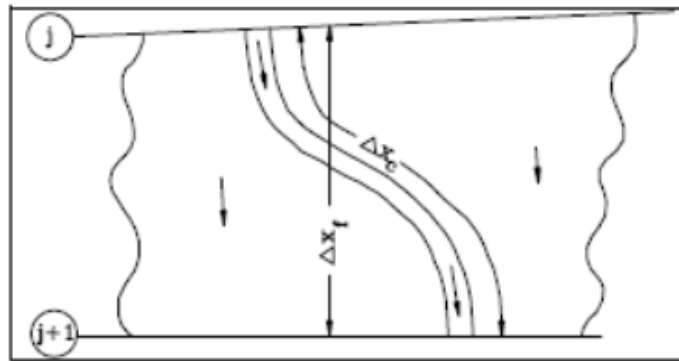
L'équation de la quantité de mouvement est donnée par :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial Z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

I.3.3.Application des équations d'écoulement non permanent dans HEC-R AS :

La figure (I.8) illustre les caractéristiques bidimensionnelles de l'interaction entre le canal et la plaine d'inondation. Quand le niveau d'eau du canal s'élève, l'eau s'éloigne latéralement du canal, inondant la plaine d'inondation et remplissant les zones de stockage disponibles. A mesure que la profondeur augmente, la plaine d'inondation commence à transporter l'eau en aval généralement le long d'une courte trajectoire. Quand le niveau d'eau s'abaisse, l'eau se déplace vers les rives du canal complétant l'écoulement dans le canal principal.

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE



FigureI.8 : Ecoulements dans le canal principal et la plaine d'inondation

Puisque la direction primaire de l'écoulement est orientée le long du canal, ce champ bidimensionnel d'écoulement peut souvent être exactement rapproché par une représentation unidimensionnelle. Les surfaces d'accumulation peuvent être modélisées avec les zones de stockage qui échangent l'eau avec le canal. L'écoulement dans les rives peut être rapproché comme un écoulement à travers un canal séparé.

Ce problème Canal/ Plaine inondable a été analysé par plusieurs auteurs de différentes manières. Fread (1976) et Smith (1978) ont traité ce problème en divisant le système en deux canaux séparés et en écrivant des équations de continuité et de quantité de mouvement pour chaque canal. Pour simplifier le problème ils ont assumé une surface horizontale de l'eau en chaque section normale à la direction de l'écoulement ; tels que l'échange de la quantité de mouvement entre le canal et la plaine d'inondation soit négligeable et que le débit soit distribué selon les flux :

$$Q_c = \varphi Q$$

Où :

Q_c : Ecoulement dans le canal(m³/s)

Q : Écoulement total(m³/s)

φ : $K_c / (K_c + K_f)$,

K_c : Flux dans le canal(m³/s)

K_f : flux dans la plaine d'inondation (m³/s).

I.4. Le débit de crue :

I.4.1. Le concept du période de retour :

Les termes décennale, centennale et millénaire signifient des périodes de retour. Cette notion est destinée à caractériser la fréquence d'apparition d'un événement catastrophique extrême Ponce (1994). En hydrologie, les périodes de retour varient généralement de 10 ans à 100 ans, pour les régions où les précipitations maximales probables (PMP) n'ont pas été définies, jusqu'à 10.000 ans. Le choix de la période de retour dépend de divers facteurs, y compris l'étendue du bassin versant, le degré de risque, l'importance de la structure, et le degré de conservatisme. La période de retour la plus basse est de 5 à 10 ans, elle est applicable dans l'assainissement urbain. En règle générale, ces périodes de retour sont associées à des zones de drainage inférieures à 100 ha. Pour ces zones, la méthode rationnelle peut être utilisée pour estimer le débit de pointe. Dans certains cas, en particulier pour les zones de plus de 100 ha, des périodes de retour plus longues peuvent être justifiées. Dans l'hydrologie des petits bassins versants, le débit de pointe est lié à l'intensité des précipitations, qui son tour est liée au temps de la concentration (travers les courbes intensité-durée-fréquence applicables). Les petites surfaces de drainage ont un temps de concentration réduit et cela va produire une intensité élevée et un débit de pointe élevé par unité de surface. Cependant, étant donné que la zone est faible, le débit de pointe est proportionnellement faible. Ainsi, pour les petites zones où le temps de concentration est mesuré en minutes, il n'est pas rentable de concevoir pour de longues périodes de retour. Les travaux de protection contre les inondations régionales dans les zones urbanisées sont des structures telles que des digues et des élargissements des canaux. Dans ce cas, les périodes de retour peuvent varier entre 50 et 100 ans. Le temps de concentration est beaucoup plus grand, de quelques heures, et l'intensité des précipitations est d'autant plus faible, ce qui entraîne un débit de pointe relativement faible par unité de surface. Cependant, le débit de pointe peut être grand, ce qui reflète plus la taille de la zone de drainage que l'intensité des précipitations. La période de retour de 100 ans équivaut à quatre générations humaines. La valeur de 100 ans ne signifie pas que la structure sera exposée au risque exactement tous les 100 ans. Au contraire, cela signifie que la structure sera exposée au risque, soit 10 fois tous les 1000 ans. Le débit de pointe d'une crue de 100

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

ans est appliqué pour l'estimation des plaines inondables et les travaux de protection contre les crues.

I.4.2. Formules basée sur la période de retour :

I.4.2.1. Formule de Mallet-Gauthier :

L'énoncé de la formule de Maillet et Gauthier pour l'estimation de la crue de période de retour T (Coutagne, 1951) est :

$$Q_{\max\%} = 2k \text{Log}(1 + AP) \cdot \frac{S}{\sqrt{L_p}} \cdot \sqrt{1 + 4 \text{Log}T - \text{Log}S}$$

S: superficie du bassin versant (Km²).

L_p: longueur du talweg principal (Km).

A: coefficient régional pris égal à 20.

k: constante comprise entre 1-3.

P: précipitation moyenne interannuelle en m.

T: période de retour en années.

I.4.2.2. Formule de Giandotti :

$$Q_{\max} = Q_{\text{moy},j,\max\%} \cdot K$$

$$K = \left(\frac{P_{tc}}{P_{j\max}} \right) \cdot \left(\frac{24}{tc} \right)$$

Avec :

Q_{max} : débit de pointe (m³/s).

Q_{moy,j,max%}: débit moyen journalier maximal pour une période de retour (m³/s)

.P_{tc}: hauteur de pluie max. pour un t=tc.

P_{jmax} : pluie journalière maximale.

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

I.4.2.3. Formule fuller :

$$Q_{\max} = Q_{\text{moy.jmax}\%} \cdot \left[1 + \left(\frac{2,66}{A} \right)^{0,3} \right]$$

Q_{\max} : débit de pointe (m^3/s).

$Q_{\text{moy.jmax}\%}$: débit moyen journalier maximal pour une période de retour (m^3/s).

A : superficies Bassin Versant (km^2)

I.4.3. Calcul du débit de crue :

Selon Taha (2001), il existe plusieurs méthodes empiriques pour le calcul du débit de pointe qui engendre, souvent, des inondations. Ces méthodes sont classés en trois catégories, des méthodes utilisant uniquement la superficie du bassin versant telles que : Froncou-Radier (1969), Hong (1984). Des formules faisant intervenir la période de retour telles que : Fuller (1914), Maillet et Gauthier (1903). Des formules faisant intervenir les précipitations telles que

Turazza (1880). Cette dernière est donnée par la formule :

$$Q = \frac{Cr \cdot H \cdot A}{3,6 \cdot tc}$$

Q : débit de crue maximum en m^3/s

Cr : coefficient de ruissellement du bassin pour la crue considérée

H : hauteur totale maximale de précipitation correspondant au temps de concentration du bassin, en mm

Tc : temps de concentration en heures

A : aire du bassin versant en km^2 .

Parmi toutes les formules existantes, le choix de celle de Turazza semble plus judicieux car elle englobe des paramètres signifiant tous les processus indispensables pour générer

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

le ruissellement. La surface reflète l'étendue du bassin versant. Le facteur pluviométrique est présenté sous forme d'intensité (hauteur de pluie et temps de concentration). Le coefficient de ruissellement représente le paramètre ayant plus de signifiante sur le comportement hydrologique du bassin versant. Il exprime le degré d'imperméabilité du bassin versant, cela est lié directement la composition physique de la surface et la su surface du bassin versant. Sa détermination reste un défi pour les ingénieurs, vu l'étendu et la complexité du milieu. La partie suivante de ce chapitre est consacré la détermination du coefficient de ruissellement du bassin versant de Sigues.

I.4.4. Détermination du coefficient de ruissellement par la méthode SCS-CN :

Le ruissellement de surface est fonction de plusieurs facteurs tel que, la durée et l'intensité des précipitations, le type de sol, l'occupation du sol, le couvert végétal, la pente et la densité du réseau hydrographique (Ponce, 1996 ; Perrone, 1998 ; Mirsha, 2003). Généralement, le ruissellement important prend naissance dans un bassin versant naturel. Ce bassin, qui est un système physique extrêmement hétérogène et compliqué, transforme les précipitations en flux dans les rivières et les canaux vers les exutoires qui sont, souvent, des zones urbaines (Brooks, 2013). Dans les Etudes sur les inondations en milieu urbain causées par des précipitations intenses, la fonction de production se limite, souvent, un simple coefficient de ruissellement car le volume d'eau ruisselle concerné par les pertes initiales est négligeable par rapport au volume total (Lhomme, 2006). Dans les villes de petites et moyennes importances, la majorité des flux inondant viennent du débordement du lit majeur du cours d'eau, ce dernier Etant alimenté par le bassin versant qui entoure la ville (Zevenbergen, 2010). Dans ce cas, la fonction de production est plus complexe vu l'hétérogénéité du milieu. Le volume d'eau provenant du bassin versant naturel est plus important que celui produit dans la ville et son estimation est l'un des problèmes hydrologiques majeurs dans les bassins versants non jauges. Compte tenu du nombre des variables et des incertitudes relatives au ruissellement, l'utilisation d'un model conceptuel semi-distribué est indispensable. Elle nécessite des investigations in-situ, des prélèvements et des vérifications sur terrains pour mieux assimiler le milieu naturel. Parmi les méthodes développées pour l'estimation du ruissellement dans les bassins versants non jauges, la méthode SCS (U.S.D.A, 1986) largement utilisée en raison de sa simplicité et du nombre limité de paramètres exigés (Mary, 1995 ; Banasik, 2010 ; Xiao, 2011 ; Mirsha, 2012, Ji-Hong,

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

2014 ; Giridhar, 2014). La méthode du SCS est basée sur deux paramètres pour estimer le ruissellement sous forme de hauteur partir de la pluviométrie.

Le coefficient de ruissellement est une variante spatio-temporelle. Il varie dans le temps puisque l'infiltration est variable car les premières fractions de la pluie sont, souvent, absorbées par le sol ce qui donne un coefficient de ruissellement faible, au fur et mesure, le sol se sature et le coefficient de ruissellement augmente. La variation spatiale est due, d'une part, l'hétérogénéité du complexe type-occupation des sols, et d'autre part la variation de la distribution spatiale des précipitations au sein du bassin versant.

Le coefficient de ruissellement est un paramètre crucial pour l'estimation du débit des crues dans les bassins versants non jaugés. Les tableaux et les graphiques permettent de le déterminer d'une manière empirique ce qui peut conduire à des incohérences dans l'application, par conséquent, il est important d'identifier d'autres paramètres qui peuvent être utilisés pour l'évaluer plus directement (Del Giudice, 2012). Pour une détermination rigoureuse du coefficient de ruissellement, la connaissance des composantes physiques du bassin versant est primordiale. Ces composantes sont : les types des sols et l'occupation des sols.

I.4.5. Temps de Concentration T_c :

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

Les méthodes et les formules utilisées reflètent un caractère régional, traduit par des paramètres propres à la région dans laquelle sont développées ces formules. Normalement on donne la priorité à celle qui nous semble applicable, élaborées dans les conditions physico géographiques analogues à celles de la partie Nord de l'Algérie.

L'estimation du temps de concentration est obtenue grâce à des formules empiriques suivantes :

I.4.5.1. Formule de GIANDOTTI (1937) :

Le temps de concentration est calculé comme suit :

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

S : surface du bassin versant (Km²).

L_{cp} : longueur de cours d'eau principal (Km).

T_c : temps de concentrations exprimé en heure.

H_{moy} : altitude moyenne (m).

I.4.5.2. La formule de KIPRICH :

$$T_c = 0.6615 \cdot L^{0.77} \cdot I^{0.383}$$

Où :

L : longueur du talweg principale en [Km].

I : la pente moyenne du cours d'eau.

I.4.5.3. Formule de S.C.S (Soil Conservation Service) :

$$T_c = \left[\frac{0.87Lp^3}{H} \right]^{0.385}$$

T_c : Temps de concentration (h).

L_p : Longueur du talweg principal (Km).

H : Différence entre les points extrêmes du talweg.

Conclusion :

En matière de gestion des risques ainsi que selon le cadre législatif, un concept et notions fondamentales du risque sont mentionnés dans les lois 04-20 du 25 Décembre 2004. La connaissance de l'aléa et la vulnérabilité nous permet par suite de mener à bien l'identification des cas échéants d'inondations dans la région de Aflou. L'objectif que nous voulons atteindre dans l'étude est l'évaluation de la vulnérabilité de la ville

CHAPITRE 01 : ÉTUDE BIOGRAPHIQUE

d'Aflou. Au risque d'inondation est de déterminer les zones inondables pour diminuer les dégâts par la réduction de la vulnérabilité. Cette étude a permis ainsi de mettre en lumière l'extension urbaine dans les zones inondables et d'identifier les zones les plus vulnérables face au risque d'inondation.

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

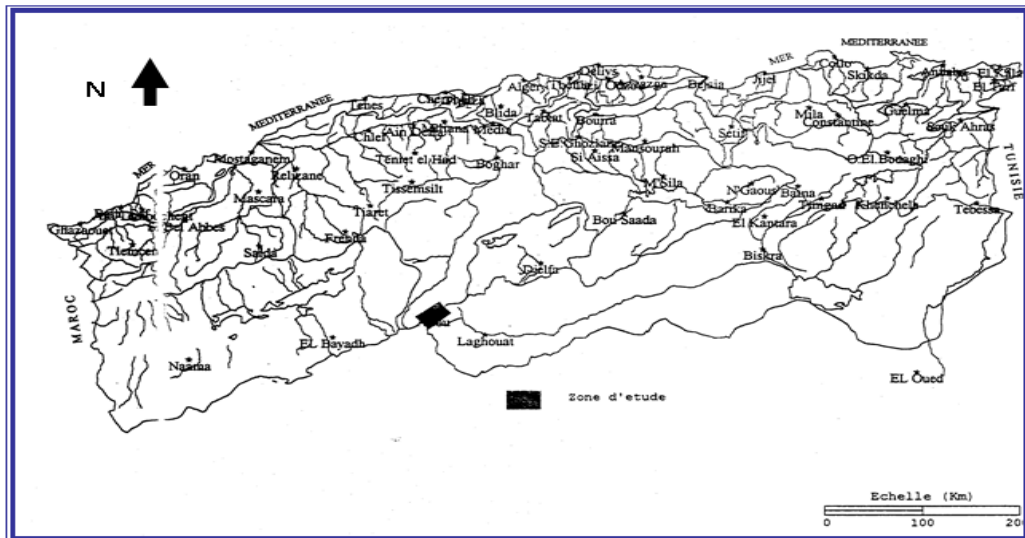


Figure II .2 : Situation de la ville d'Aflou par rapport a l'Algérie du nord

La ville d'Aflou se trouve à 406 km d'Alger et 110 km à l'ouest de Laghouat. D'Après la carte d'état-major ses coordonnées UTM sont :

- X= 418000 m E
- Y= 3775000m N
- Z= 1400.00 m

II. 2 Climatologie :

Tous les relevés que nous exposerons intéressent exclusivement la station météorologique d'Aflou.

II. 2.1 Les conditions locales

En raison de la situation géographique de notre secteur d'étude (a 270 Km du littoral), l'action de la Méditerranée se trouve estompée pendant que s'affirment les influences sahariennes.

Cette position en latitude constitue un facteur essentiel, commandant la climatologie de notre région car celle-ci coïncide :

- Avec la limite méridionale occupée par le front polaire.
- Avec l'air de stationnement du front Méditerranéen II.

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La présence de systèmes perturbés qui en découlent, entraînera une augmentation du volume des précipitations qui seront relativement plus élevées à Aflou et El – Bayadh que sur les Hauts plateaux.

II. 2.1.1 Nébulosité – Insolation :

La nébulosité intéresse particulièrement la fraction du ciel couverte par les nuages. La valeur de la nébulosité varie de 0 pour un ciel clair à 10 pour un ciel entièrement couvert. Nous donnerons sous forme de tableau les valeurs de la nébulosité, pour la région d'Aflou et cela d'après les données de P.SELTZER.

Tableau N°1 les valeurs de la nébulosité relevées à la station de Laghouat.

	J	F	M	A	M	J	JL	AT	S	O	N	D	Année
Aflou	4,5	4,7	4,1	3,8	3,6	3,0	2,0	2,2	2,8	3,2	4,0	4,2	3,5

A titre de comparaison nous donnerons les valeurs de la nébulosité relevées à la station de Laghouat.

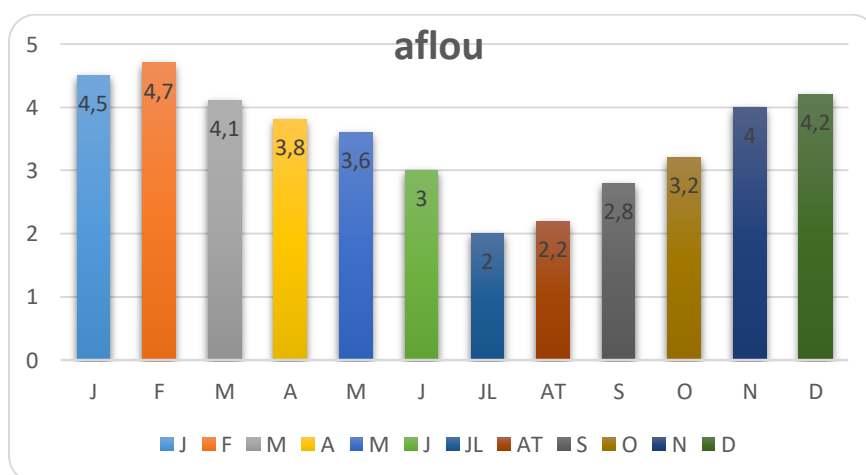


Figure II-03 : Répartition annuelle de nébulosité

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Les nuages sont donc relativement plus nombreux à Aflou. Il en résulte une évolution inverse de la durée d'insolation pour laquelle nous ne disposons d'aucun relevé. De janvier à mai, ce sont les mois où il y'a plus de nuages par rapport à la moyenne (3.5), tandis que les mois de juillet à septembre sont plus clairs.

II. 2.1.2 L'humidité relative :

Elle montre l'état de l'atmosphère en précisant s'il est plus ou moins proche de la condensation. C'est à ce paramètre que se rattache la «sensation» d'humidité ou de sécheuses de l'air, représenté par le rapport de la quantité d'eau Q_i dans 1 m³.

On observe. a un instant donné, la quantité de vapeur d'eau Q nécessaire pour saturer le même volume d'air a la même température.

On l'exprime habituellement en

Tableau 02: Répartition mensuelle des humidités relative.

STATION		F	M	A	M	J	JL	AT	S	O	N	D	Moy	
Aflou	h%	67	67	59	52	45	36	32	32	46	57	64	73	53
	T	3,6	3,51	6,8	9,97	15,5	20,	24	23,8	19,77	13,93	8,21	3,6	12,8

En général, le déficit hygrométrique va en diminuant de Décembre 73% à Juillet et Aout (32% a Aflou). L'histogramme FigureII-04 montre qu'à partir du maximum observé en décembre, l'humidité commence à perdre de son ampleur jusqu'au mois de Juillet.

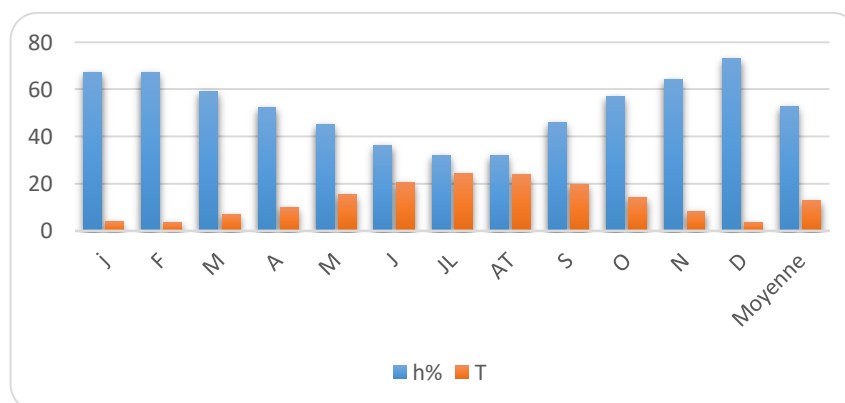


Figure II-04 : Répartition mensuelle des humidités relative.

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Notons aussi, que l'évolution de l'humidité est inversement proportionnelle à la température. On peut donc admettre que les influences sahariennes sont prépondérantes de mai (45%) à septembre (46%). Durant cette période, le climat du Djebel Amour est véritablement subdésertique.

II. 2.1.3 L'évaporation :

L'évaporation totale mesurée dans la région peut atteindre 1500 mm/an. La répartition mensuelle de l'évaporation est donnée dans le tableau suivant

Tableau 03 : Répartition mensuelle de l'évaporation.

MOIS	S	Oc	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Jt	At
Evaporation (mm) à 07.h00	73.2	50.6	20.2	20.2	31.2	31.2	51	51.4	91.8	96.6	134.1	111.2
Evaporation (mm) à19h00	165.3	117.5	73.1	73.1	68.6	63.1	102.1	128.1	158.8	197.8	234.6	206.6

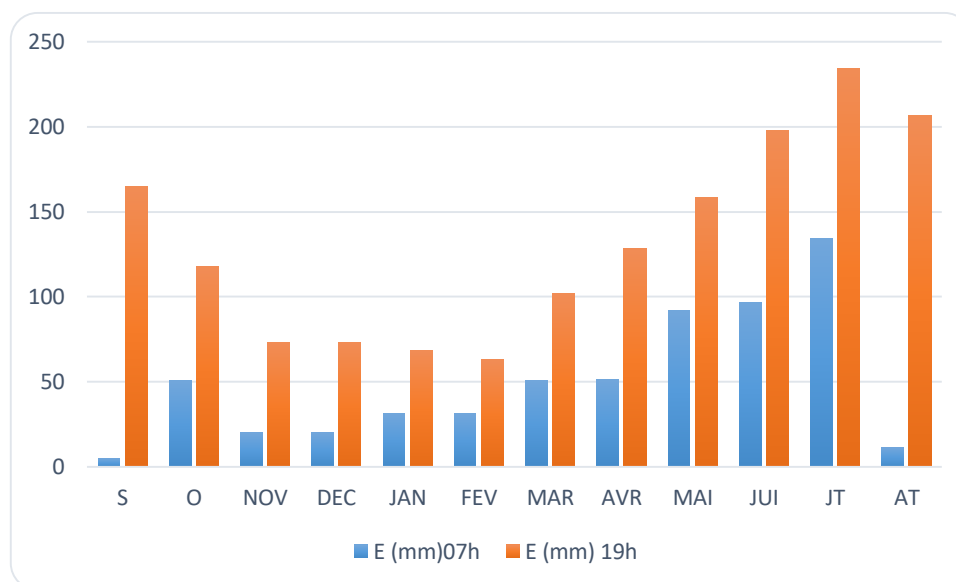


Figure II-05 : Répartition mensuelles d'évaporation

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

II. 2.1. 4 Précipitation :

II. 2.1. 4.1 Pluviométrie mensuelle :

Tableau 04 : Précipitations moyennes mensuelles (1990-2017)

Station	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou
Aflou (1990- 2017)	33,45	23,38	27,30	25,57	29,81	26,68	24,08	28,98	24,32	13,58	8,49	15,65

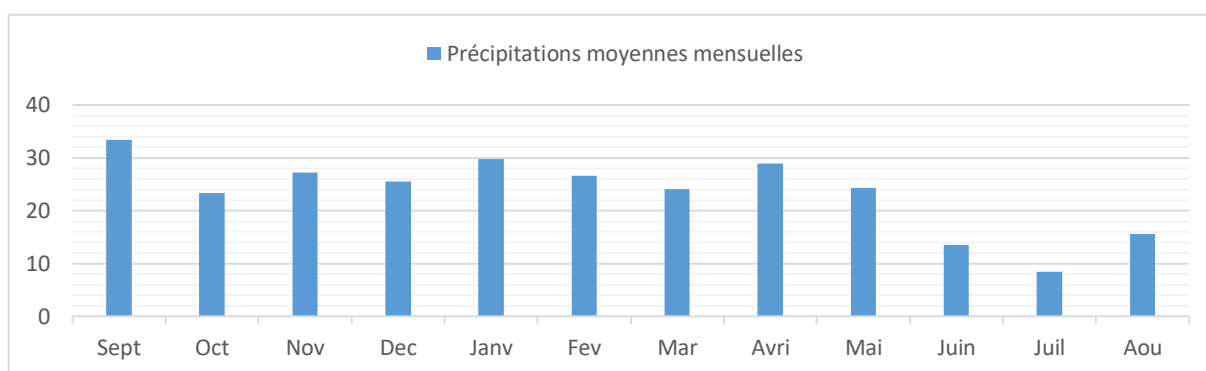
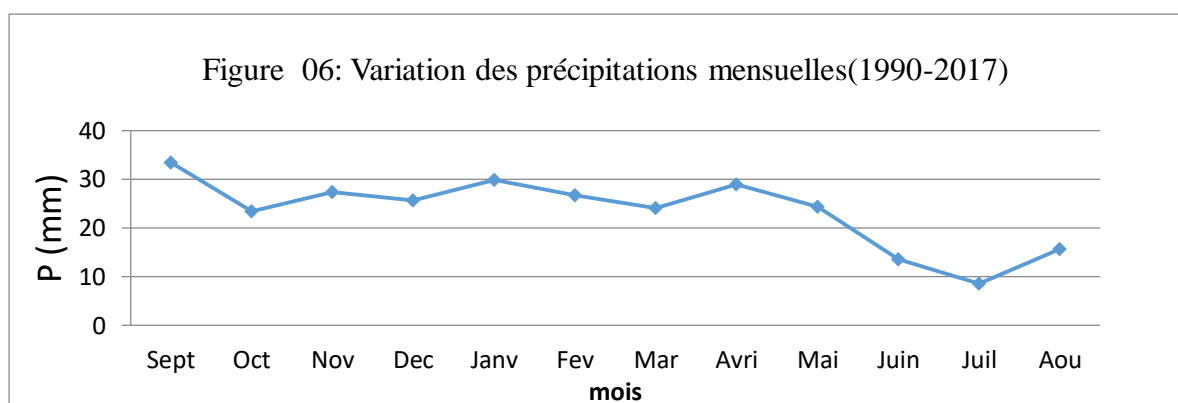


Figure II-05 : Variation Précipitations moyennes mensuelles (1990-2017)



La pluviométrie maximale est de l'ordre de 33,45 mm enregistré pendant le mois septembre, et le minimum est l'ordre de 8,95 mm enregistré pendant le mois juillet.

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

II. 2.1. 4.2 Pluviométrie annuelle :

Tableau 06 : Valeurs des précipitations annuelles de station Aflou (1990-2017).

N°	Années	P (mm)
1	1990	243,8
2	1991	383,5
3	1992	150,7
4	1993	218,7
5	1994	172
6	1995	208,4
7	1996	358,6
8	1997	317,6
9	1998	333,2
10	1999	208,8
11	2000	217,9
12	2001	170,4
13	2002	192,1
14	2003	255,2
15	2004	393,2
16	2005	222,1
17	2006	369,5
18	2007	220,7
19	2008	229,1
20	2009	417,7

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

21	2010	325,9
22	2011	449,5
23	2012	347,4
24	2013	351,7
25	2014	375
26	2015	291,5
27	2016	298,3
28	2017	153,5
	P.MOY	281.29

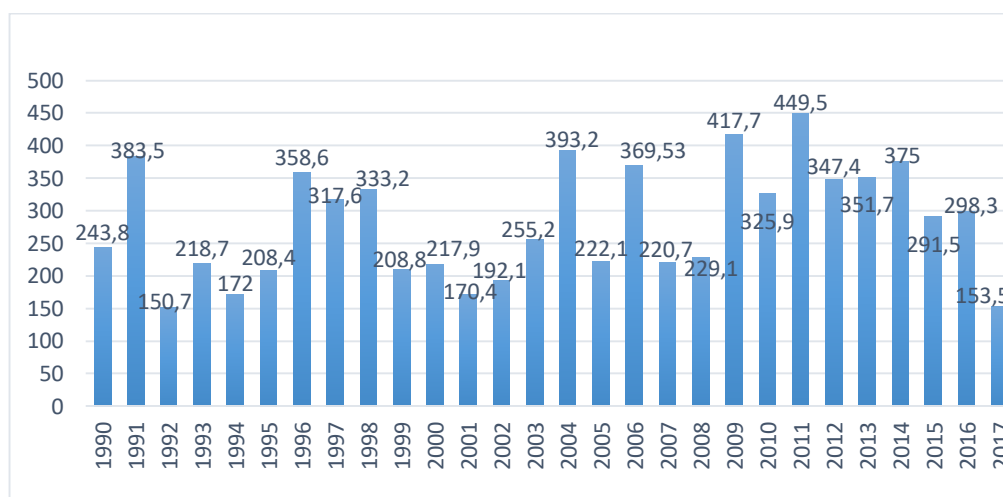


Figure II .07 : Variation des précipitations annuelles (1990 – 2017).

L'analyse du tableau 04, montre que la pluviométrie moyenne annuelle enregistrée sur une série de 28ans est de 281.28 mm Toutefois, la pluviométrie annuelle est variable d'une année à l'autre, caractéristique du climat méditerranéen comme le met en évidence le calcul du coefficient d'irrégularité. En effet, la valeur maximale des précipitations dépasse largement la moyenne avec 449.5mm enregistrée en 2011 et le minimum accuse une valeur de 150.7 mm enregistrée en1992.

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

II. 2.1. 5-Température :

La température est un facteur très important régissant les facteurs climatiques et intervenant dans l'estimation du bilan hydrologique.

Pour l'étude des températures nous disposons de données de températures annuelles et mensuelles de la station d'Aflou

Les températures moyennes annuelles et mensuelles sont des éléments moteurs du cycle de l'eau influençant directement d'autres facteurs météorologiques tels que l'ensoleillement, vitesse, turbulence du vent, précipitations et évaporation

Tableau 07 : Températures moyennes mensuelles et annuelles Aflou (1990-2017).

Station	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Moy.
Aflou	1990-2017	21,29	16,47	9,51	5,25	4,31	4,59	8,54	13,31	18,06	22,47	25,70	25,16	14,56

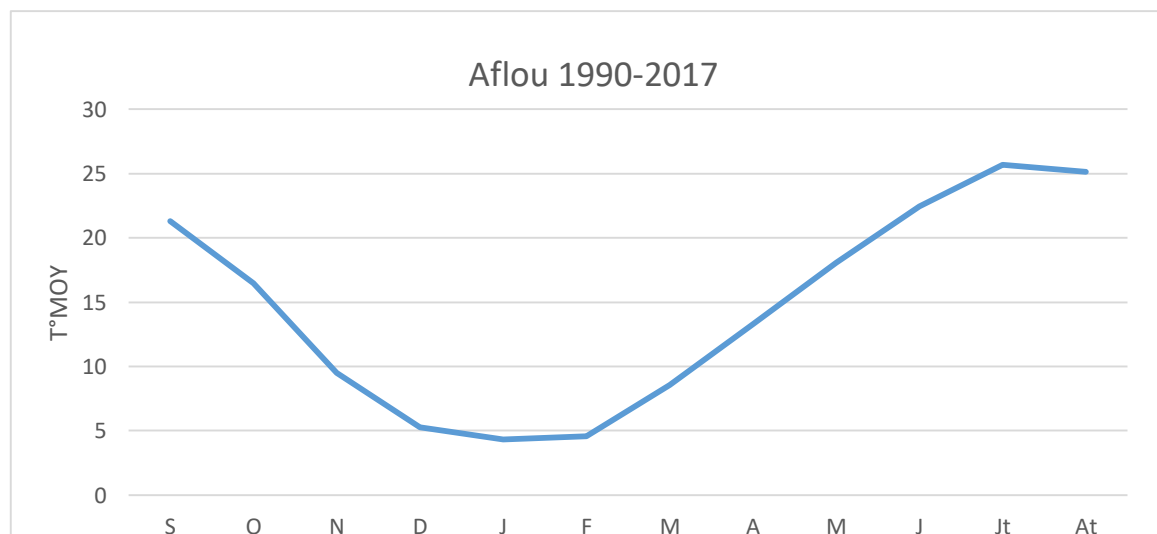


Figure II. 8 : Variation mensuelle de température à la station d'Aflou-1990-2017.

La figure 8 montres que les températures moyennes faibles à la station d'Aflou s'observent au mois de Janvier et février avec 4,31°C et 4.59°C. Tandis que les températures moyennes fortes s'observent aux mois de juillet avec 25,70°C et d'Août avec 25,16°C. Quant à la température moyenne annuelle, elle est de 14,56°C.

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Tableau 08: Températures mensuelles (1990-2017)

ANNÉE													
Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Sept	Janv	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout
T.min	11.81	6.46	1.00	-2.55	11.81	-2.42	-2.09	0.49	3.78	7.44	11.46	15.81	15.46
T.max	28.91	22.05	15.09	11.09	28.91	10.25	10.81	14.99	20.4	25.04	30.09	34.80	35.22
T.Moy	21,29	16,47	9,51	5,25	21,29	4,31	4,59	8,54	13,31	18,06	22,47	25,7	25,16

Source : subdivision de l'agriculture d'Aflou

- T_M : Moyennes mensuelles des températures maximales (°C).
- T_m : Moyennes mensuelles des températures minimales (°C).
- $T_{moy} = (M+m)/2$: Températures moyennes mensuelles (°C).

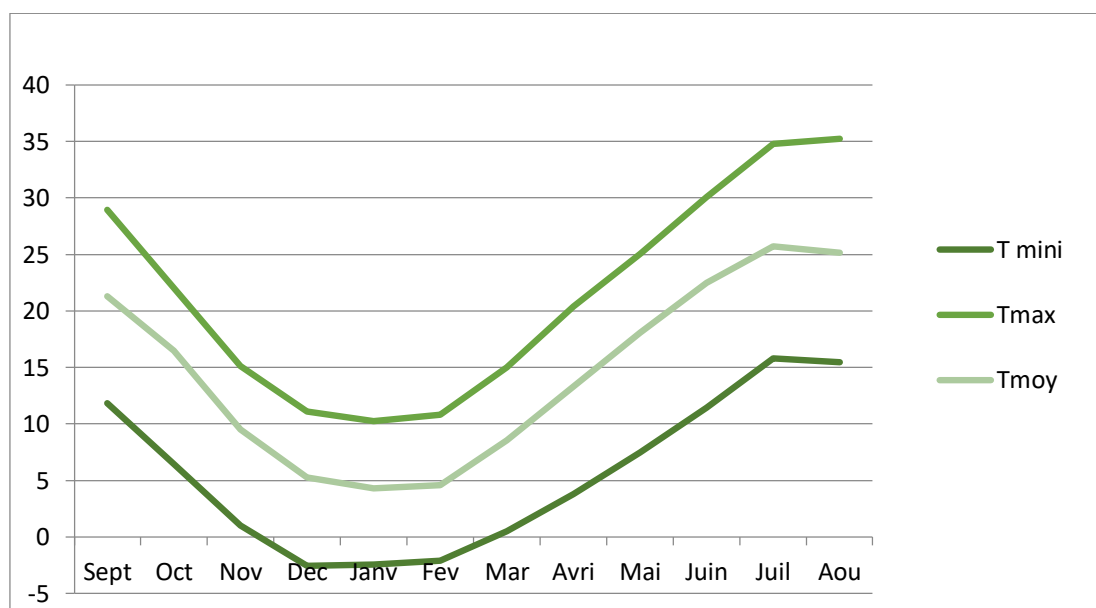


Figure II .9 : Variations des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales

D'après le tableau. 13 et la figure 8, que :

La période chaude s'étale de Juin à Aout

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La période la plus froide s'étale de Décembre à Février

La température moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois d'Août (25,16°C) alors que la température la plus basse est celle du mois de Janvier (4.31°C).

II. 3 Géologie de la région :

Aflou fait partie des monts du Djebel Amour représentant la partie centrale de l'Atlas Saharien, limitée au Nord par l'accident Nord Atlasique et au sud par la flexure sud Atlasique.

La structure tectonique de la région étudiée est marquée par un vaste synclinal à fond subhorizontal de direction NE-SW, étroit au Nord Est et devenant de plus en plus large vers le Sud-Ouest.

Les formations gréseuses qui forment le synclinal sont très fissurées selon deux directions principales :

Une direction N50° à N70° E. Une direction N120° à N150° E. Ce synclinal est limité au Nord et au Sud-Ouest Djebel Elgaada Les termes de la série stratigraphique du secteur comprennent :

Le jurassique supérieur comporte un ensemble lithologique à dominance marine qui repose sur une série à dépôts continentaux

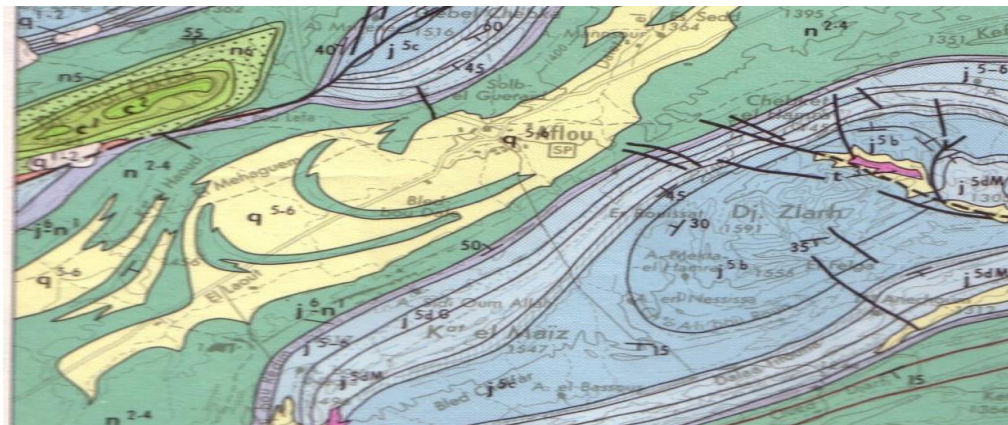


Figure II .10 :la carte géologique de Laghouat échelle 1/200.000

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le Crétacé débute par une puissante série gréseuse, correspondant à une sédimentation continentale (stratification entrecroisée) et se termine par une formation marine qui constitue des marnes des calcaires du Cénomannien Turonien.

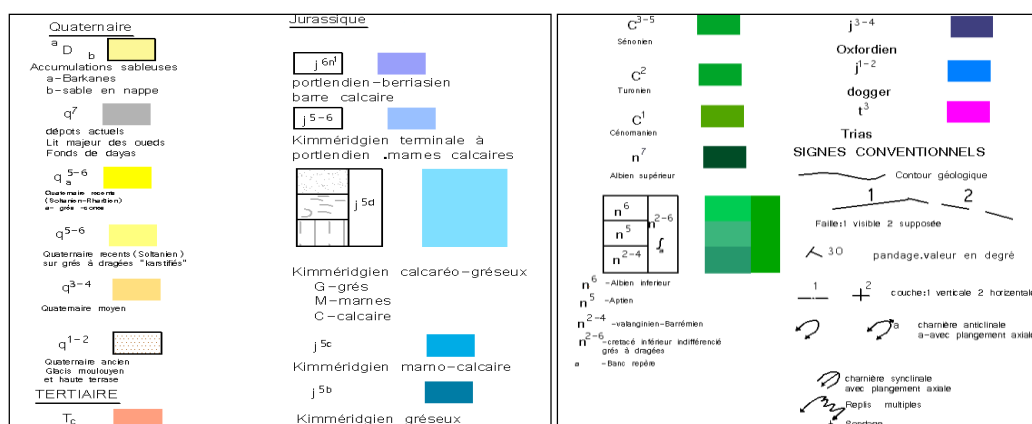
Dans la série stratigraphique qui a été décrite, des horizons par leur natures lithologiques sont susceptibles de constituer des aquifères.

Au niveau d'Aflou on peut citer :

Le complexe détritique du Barrémien, Aptien, Albien, qui constitue le synclinal d'Aflou, forme un aquifère multicouche à porosité d'interstices, de fractures et de chenaux.

Le calcaires dolomitiques du turonien au niveau de Djebel Sidi Okba et Djebel Gourou constituent un aquifère à porosité de fractures.

Et enfin les formations du Moi-Plio-Quaternaire, lorsque leur épaisseur le permet, peuvent constituer des réservoirs d'importance moyenne.



Les montagnes du djebel Amour forment un nœud orographique très important, et constituent un ensemble de plis plus ou moins individualisés, ils enserment une cuvette Synclinale au centre de laquelle se trouve la ville d'Aflou.

Vers le nord on rencontre le djebel Sidi Okba (170/) dont le sommet est formé de Calcaire au sud djebel Zlag (1580 m) qui sépare le synclinal d'Aflou du plateau de la Gaada.

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

STRATIGRAPHIE :

Au Sahara et au début de l'ère secondaire les reliefs formes sont aplanis ; les terrains enlevés sont exportés au nord et vont combler les zones de subsidences. Durant l'ère Secondaire la mer couvrait en majeure partie le Maghreb ; les grands géosynclinaux de l'atlas Saharien commencent à être comblés de sédiments dès L'ère secondaire, peu Profond vers le nord.

Au Crétacé la mer va couvrir la plus grande partie de l'Afrique du Nord, elle l'évacuera au début du Tertiaire. Les dépôts terrigènes et chimiques offrent une remarquable sédimentation.

LE TRIAS :

LE POINTEMENT DES TRIAS DE AIN FOURENE :

Situé sur la route d'Aflou el Guicha, il est constitué de roches vertes sous forme de filons en grains fins et légèrement modifiés au contact des calcaires jurassique. Ces Filons de 1a2 mètres et sur une dizaine de mètres de long se trouvent à L'intérieur des marnes salifères et gypse. Cet affleurement se trouve enserré par l'anticlinal du djebel chebka et djebel zlag.

LE POINTEMENT DE DJEBEL ZLAG :

En amont de l'ain djeneb et le long de l'axe anticlinal du djebel Zlag on rencontre un affleurement de gypse et de sel qui forme les berges de l'oued M'zi d'une hauteur de quelques mètres.

LE POINTEMENT DE GOUROU :

Il existe de nombreux petits pointements localisés dans les fonds et sur les bords des ravins souvent encaissés. Ils sont formés de gypse et micro diorites.

LE JURASSIOUE :

Il occupe le cœur des anticlinaux, c'est au niveau de l'anticlinal de Taouiala Ket Labiod au nord de ain Sdi Ali, Djebel Zlag qu'affleurent ces grès. D'après les forages

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

que nous avons effectués à Taouiala et Kef Labiod, et tout récemment à El Ghicha, l'épaisseur de ces grès varient d'un endroit à un autre. Nous avons noté une épaisseur de 100 mètres au niveau de Taouiala et plus de 200 m à Kef Labiod.

II .3 Les inondations de la ville Aflou :

S'agissant de quartiers en majorité constitués d'habitations précaires, les services de l'APC ont beaucoup de mal à répartir le quota de 75 aides au logement et à la restauration, car submergés par le nombre de sinistrés, révisé à la hausse (500) et qu'il faut trier. Arrivé sur le lieu, sollicité de constater de visu ce que les inondations ont révélé comme malfaçon, inexistance d'aménagements, précarité des conditions de vie en des quartiers surpeuplés, produit d'une urbanisation anarchique. Le chef de l'exécutif a eu cette réflexion : «Il faut les comprendre.» Si l'on ne déplore aucune victime, qu'en aurait-il été si les inondations avaient eu lieu de nuit, s'interroge-t-on. Pas plus tard que lundi dernier, des précipitations beaucoup plus importantes accompagnées de grêle se sont abattues des heures durant sur la région. Heureusement, l'oued Medssous a été curé entre temps par les crues, les rues du Village Sud nettoyées des tonnes de boue charriées par les torrents.



Figure II .11 : l'oued Medssous 2011 (source : YouTube)

Tout a commencé par un orage ordinaire. Alors que sur les hauteurs on louait le Ciel pour sa clémence, on ignorait tout du drame que vivaient les habitants d'Oum Graïn, Aïn Yagoub, Kharcha et Zaoui Saïd.

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Vingt minutes seulement ont suffi pour que les torrents de boue envahissent l'ensemble des quartiers, emportant tout sur leur passage. Les travaux d'assainissement réalisés à coups de milliards se sont avérés inopérants faute d'études sérieuses et en raison de l'inexistence de collecteurs d'eaux pluviales et d'ouvrages en amont. S'agissant d'une ville sise dans un bassin versant – l'oued qui la traverse jouant le rôle de collecteur naturel n'a pu contenir la boue charriée par les torrents qui s'y déversent -, le niveau des eaux a atteint par endroits plus de 1,50 m de hauteur. «L'oued était obstrué aux deux tiers par le sable faute de curage alors qu'une enveloppe de 470 millions de centimes a été allouée à cette fin», déclare le président de l'association du quartier Zaoui Saïd avant d'ajouter : «Nous demandons l'ouverture d'une enquête, pour situer les responsabilités, la pluie n'y est pour rien.»



Figure II .12 : l'oued Medssous 2011 (source : YouTube)

Alors que le ministre de l'Intérieur a été saisi pour l'inscription d'une opération d'urgence qui a trait à l'aménagement de Oued Medssous en raison du danger qu'il constitue pour plus de

CHAPITRE 02 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

50 000 habitants, les techniciens sur place estiment que l'étude lancée en 1992, nécessite une actualisation et une révision dans le sens de l'abandon de la déviation préconisée.



Figure II .13 : l'oued Medssous 2011 (source : YouTube)

CHAPITRE 03: PRÉSENTATION DES OUTILS DE CALCUL ET APPLICATIONS

III.1 Introduction :

Les inondations sont le résultat de débordement des berges d'un Oued par l'augmentation des niveaux d'eau ; Puisqu'elles ne peuvent être évitées, il est possible de vivre avec en se résiliant par la gestion des risques qu'elles impliquent. La meilleure façon de bien réagir est d'anticiper et prévenir. En effet, la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure toutes les parties prenantes et utiliser tous les moyens possibles disponibles. Dans ce chapitre nous allons présenter les outils de calculs et la méthodologie adopté afin d'établir les applications nécessaires des différentes phases pour réaliser les cartes de vulnérabilité selon l'utilisation des SIG

III.2 Concepts de base de (SIG) :

Le concept de base du système d'information géographique SIG repose sur la possibilité qu'un tel logiciel informatique peut apporter comme organisation et présentation des données alphanumériques spatialement référencées. Ce concept est apparu dans les années 1960-1970. [24].

Depuis ce temps, des définitions plus ou moins similaires et cohérentes ont fait leur apparition. Afin de bien situer le rôle et l'usage d'un SIG, Précisons qu'il n'existe pas encore une définition claire et communément admise par l'ensemble de la communauté scientifique. La plupart des définitions citées sont plutôt d'ordre général et couvrent un large spectre de sujets et d'activités.

L'intégration, le croisement et la superposition des données de télédétection et d'autres variables hydrogéologiques peuvent être facilités par le développement d'un système d'information géographique (SIG).

Ce système remplirait les fonctions suivantes :

- Une fonction de stockages des informations après homogénéisation des données géocodées et classées.
- Une fonction de traitement et de vérification, de gestion et de mise à jour.
- Une fonction de distribution et de communication rapide des données numériques.
- Une fonction d'orientation des schémas directeurs pour l'aménagement, l'exploitation et la gestion des ressources en eau.

CHAPITRE 03: PRÉSENTATION DES OUTILS DE CALCUL ET APPLICATIONS

III.2.1 Définition de SIG :

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un logiciel informatique capable d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées. Le SIG permet d'acquérir, d'organiser, de gérer, de traiter et de restituer des données géographiques sous forme de plans et cartes (cartographie intuitive et évolutive). Il s'agit d'un système de gestion entrepreneurial qui permet à toute organisation (entreprise ou collectivité) de gérer spatialement son activité.



FigureIII.1 Les composantes d'un SIG

III.2.2 Histoire du SIG :

La première application SIG, souvent citée en épidémiologie, est l'étude menée avec succès par le docteur John Snow. Il s'agit de l'épidémie de choléra dans le quartier de Soho à Londres en 1854 : ayant représenté sur un plan la localisation des malades et l'endroit où ils puisaient leur eau, il parvint à déterminer que c'était l'eau d'un certain puits qui était le foyer de contamination.

Dans les années 60, les cartes de l'Afrique de l'Est, trop nombreuses pour permettre de localiser les meilleurs endroits pour créer de nouvelles implantations forestières, font naître l'idée d'utiliser l'informatique pour traiter les données géographiques (SIG). L'avancée de l'informatique encouragée par la prise de conscience environnementale ont permis l'usage des techniques et méthodes dans la science et l'aménagement du territoire. Le suivi, la gestion et la protection de la biodiversité sont également à l'origine de l'évolution des applications SIG. Depuis 1970, de nouvelles approches scientifiques transdisciplinaires et collaboratives ont vu le jour.

CHAPITRE 03: PRÉSENTATION DES OUTILS DE CALCUL ET APPLICATIONS

III.2.3 Les outils de SIG :

D'une manière générale, la mise en œuvre d'un SIG peut être faite avec différents logiciels parmi lesquels les quatre suivants constituent les plus utilisés : Géo-concept, Arc-View, Arc-Gis et Map-Info. Tous ces logiciels ont une même vocation : apporter des réponses à la problématique spatiale grâce à des analyses cartographiques ou des thématiques. Les fonctionnalités techniques sont très proches les unes des autres. Ces logiciels s'adaptent à des usages dans les divers domaines, mais leurs choix devra être éclairé par :

- Son cout dépendant évidemment du budget alloué au projet du SIG.
- L'ergonomie de son interface.
- La nécessité de former les chargés d'études pour sa prise en main.
- Ses atouts en termes d'apport de solutions d'analyses.
- Les possibilités d'échanges de données.
- La compatibilité de ses supports de données avec d'autres.

L'environnement Map-Info et ses sous programmes ont été utilisés dans ce travail pour des raisons de convivialité et adaptation en un temps qui correspond à ce travail de projet de fin d'étude.

III.3 Présentation Map-Info :

Map-Info est un logiciel SIG bureautique permettant de créer, traiter et manipuler l'information géographique par des requêtes spatiales et de les cartographier (*cartes, graphes, cartes thématiques...*)

III.3.1 Méthodologie de travail :

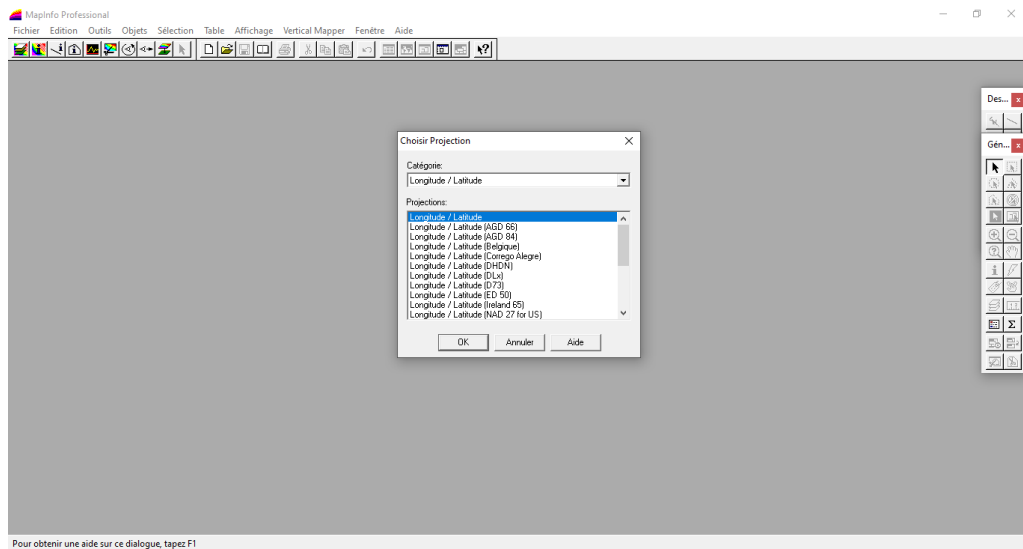
- 1- Afin de travailler selon le logiciel Map-Info, nous effectuons d'abord plusieurs démarches en téléchargeant une carte satellitaire de la ville d'Aflou, notamment la zone que nous souhaitons étudier, que le chemin de Oued medssous.

CHAPITRE 03: PRÉSENTATION DES OUTILS DE CALCUL ET APPLICATIONS



FigureIII.2 : Carte satellitaire de la ville d'Aflou [Google Earth- Map-Info].

2- Dans les étapes suivantes, après avoir ouvert Map-Info, nous choisissons la projection, puis nous choisissons la première option, qui est (Longitude/Latitude). Selon la figure 4. Il est présenté l'interface principale de travail :



FigureIII.3 :Présentation de l'interface Map-Info.

CHAPITRE 03: PRÉSENTATION DES OUTILS DE CALCUL ET APPLICATIONS

3- Nous avons élaboré des cartes à l'aide de calques (Oued) sur lesquelles sont dessinés en complément à la carte d'origine. Sur ces calques se trouvent les indications de l'espace qu'occupent les habitations, l'Oued et les ponts existants ; qui par la suite, seront utilisés pour la simulation sur le logiciel Hec-Ras.

Dans l'étape suivante, il est défini la zone urbaine ainsi que le cours d'eau de la vallée passant par la ville d'Aflou. Afin d'établir une carte numérique sur Map-Info, il est impératif de suivre la étape citée ci-dessous.

- Dessiner les bords de la vallée (Oued medssous) en vert ;

Nous obtenons les résultats comme le montre la figure suivante :



Figure III.4 : La représentation graphique des limites d'oued medssous sur photo satellitaire par Map-Info

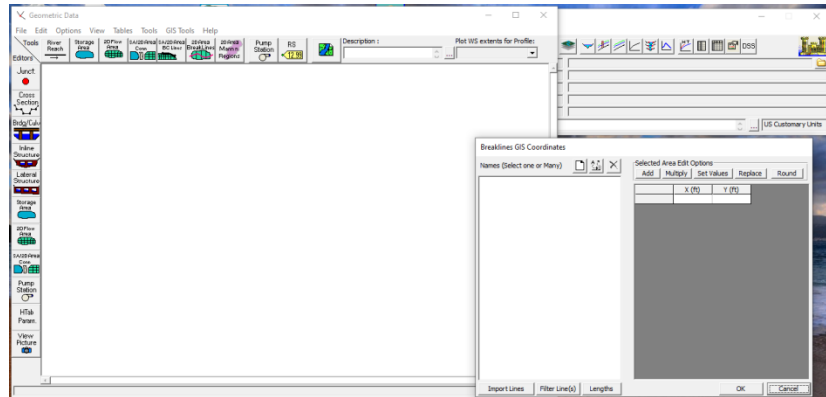
4- Ayant introduit les données sur Map-Info, nous faisons la conversion en fichier adapté au format HEC-RAS pour passer à un jeu de données afin d'établir une simulation en HEC-RAS telles que le débit de crue et les dimensions de la vallée (longueur, largeur, hauteur). Il est précisé que cela comprend la recherche des zones à risque qui peuvent être submergées lors d'une forte crue engendrant le débordement de l'Oued.

III.4 Méthodologie de travail en HEC-RAS :

1- Il est à préciser que l'importation des fichiers sur lequel nous avons travaillé en mode logiciel Map-Info ont été transférés à l'aide de la fenêtre "Geometric Data", puis nous utilisons "GIS Tools" et nous choisissons "Breaklines Coordinates Table" afin que l'on

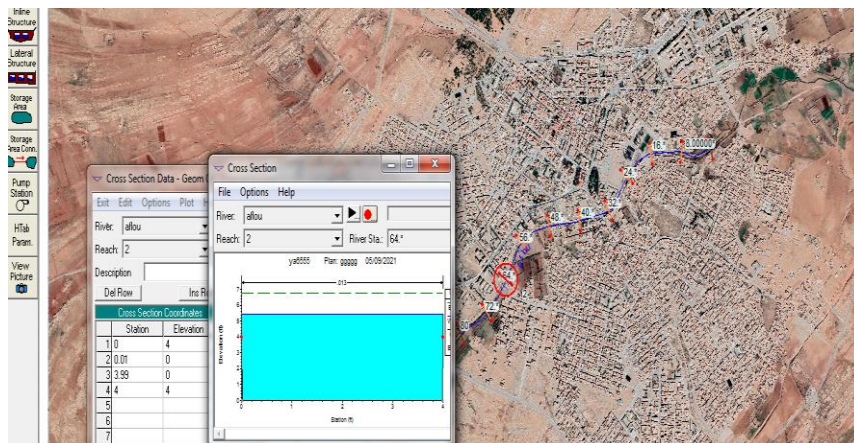
CHAPITRE 03: PRÉSENTATION DES OUTILS DE CALCUL ET APPLICATIONS

puisse importer les données sous formes de data sous " Import Lines ". La procédure est comme suit :



FigureIII.5 Configuration de l'importation des documents

2- L'étape suivante consiste à visionner la vallée dans (Géométric Data). Nous traçons une ligne qui passe par le milieu d'oued, afin de déterminer la direction du flux de crue ensuite les données de simulation se font introduire sous (Cross Section), telles que les mesures (longueur, largeur et hauteur).



FigureIII.6 :Introduction des données de simulation de l'Oued

Il est impératif de subdiviser l'oued en section linéaire de l'ordre de 100 mètres et le jeu de simulation se fait sous les différentes valeurs de débits : t débit sont pris en considération en Q (m^3/s) en termes de fréquence temps c'est ($T= 100$ ans)

CHAPITRE 03: PRÉSENTATION DES OUTILS DE CALCUL ET APPLICATIONS

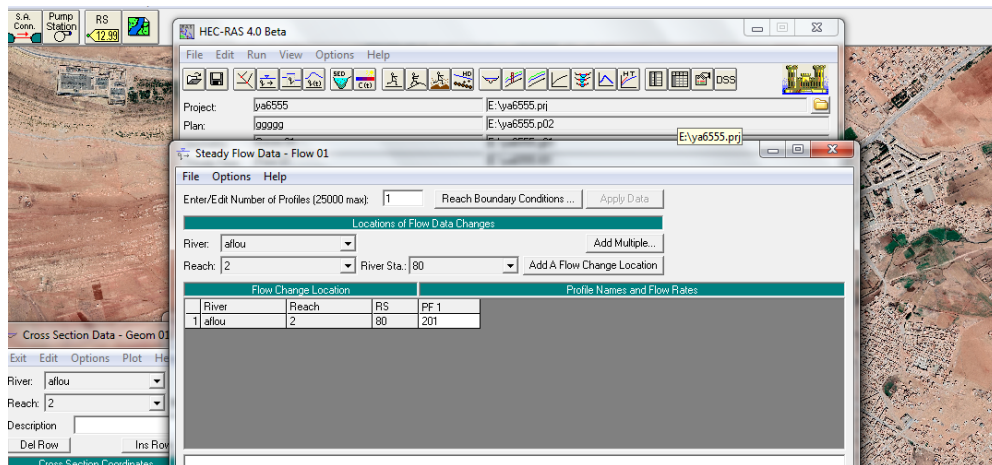


Figure III.7 Introduction des informations sur le débit d'eau de crue

III.5 Conclusion :

La ville d'Aflou est représentée selon Map-Info comme un exutoire traversée du Sud au Nord par la vallée d'medssous. Cette même vallée est la résultante de plusieurs vallées où les eaux de ruissellent convergent vers ces points à risque considéré comme étant des zones urbaines. L'analyse spatiale montre ces zones à risque d'inondation aux débordements d'Oued medssous. La simulation vis HEC-Ras nous a permis de faire ressortir les coupes (sections) où l'on peut mesurer la hauteur de débordement afin de pouvoir par la suite estimer son étalement dans la zone d'étude.

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

Introduction

Pour étudier et diagnostiquer la vulnérabilité des bâtiments existants aux inondations, nous n'avons observé que les trois indicateurs suivants: source de danger, morphologie et topographie urbaines, ont une relation directe avec le risque d'inondation et l'environnement urbain. C'est pourquoi nous avons développé le développement des données numériques dans un véritable service de cartographie afin de mettre en évidence la carte des vulnérabilités qui nous permet de mettre en évidence les quartiers à risque.

Dans cette partie de l'étude, notre objectif est de déterminer la couverture des zones inondables avec des périodes de retour différentes en exploitant les résultats obtenus dans l'étude hydrologique. Il est aussi présenté une une comparaison avant et après la modification en Oued Medssous.

IV.1.Présentation des conditions hydrauliques pris en compte dans la modélisation:

Les conditions hydrauliques utilisées reposent sur le calcul numérique aux conditions limites selon l'étude bibliographique établis. La simulation sera faite en régime permanent. La figure IV.1 permet de montrer la représentation de l'interface des données avec introduction des débits de crue en termes de fréquence dans le logiciel Hec-Ras.

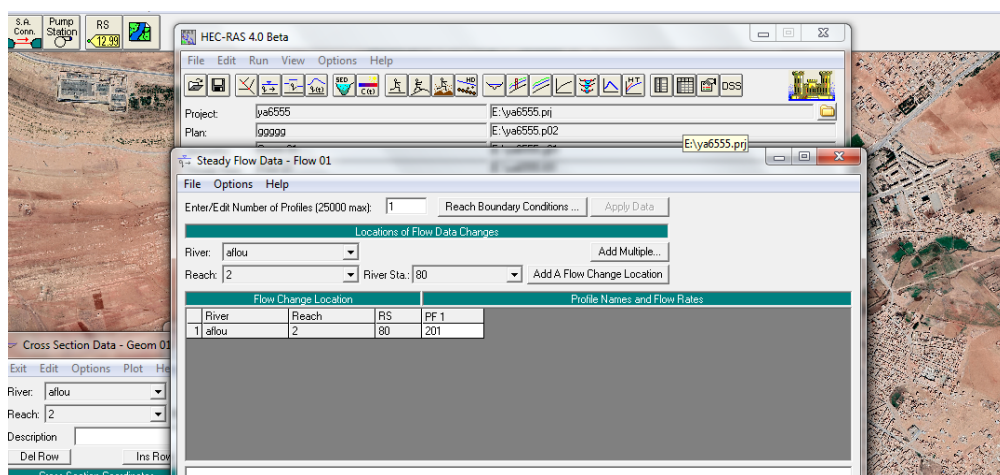


Figure IV.1 : Représentation de l'interface données après introduction des débits de crue en termes de fréquence

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

IV.2 .Résultats de la modélisation sous Hec-Ras :

Suite aux inondations catastrophiques de la ville d'Aflou en 2011, il a été établi des aménagements dans le lit d'oued et qui sont toujours en cours.

IV.2 .2. IV.2 .2. 1. Modélisation sous Hec-Ras avant l'aménagement :

Il est précisé que les données géométriques sont représentées par des profils en travers (numérotés par ordre croissant de l'aval vers l'amont), la distance entre chaque profil, le coefficient de Manning du lit mineur et des lits majeurs de droite et de gauche. A cela, il faut rajouter les ouvrages spécifiques transversaux. Les conditions aux limites sont de deux types : les débits entrants dans chaque cours d'eau modélisé et les conditions de niveau aux extrémités et c'est considéré selon le type d'écoulement, ces conditions ne sont pas les mêmes et à chaque opération nous effectuons une modification des données :

Pour un écoulement fluvial, les conditions aux limites nécessaires se situent en aval (La hauteur normal ou bien une hauteur d'eau connue).

Sur la figure. IV.2, il est représenté la montée du surplus obtenus par jeu de données sous Hec-Ras selon la Section 80 cm. Le résultat obtenu est de l'ordre de 1.6 mètre, ce qui a causé d'après des témoignages des dommages dans cette partie du quartier centre d'Aflou.

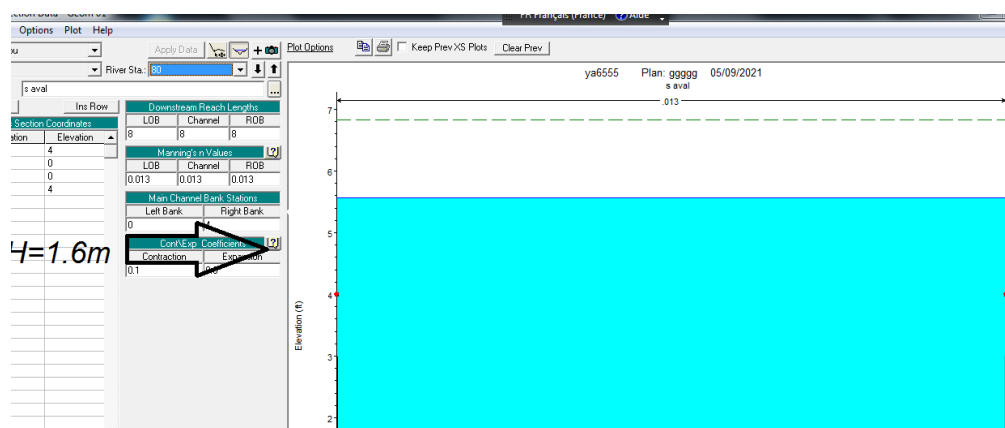


Figure IV.2 : Indication des résultats obtenus par jeu de données sous Hec-Ras.

Section 80 cm

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

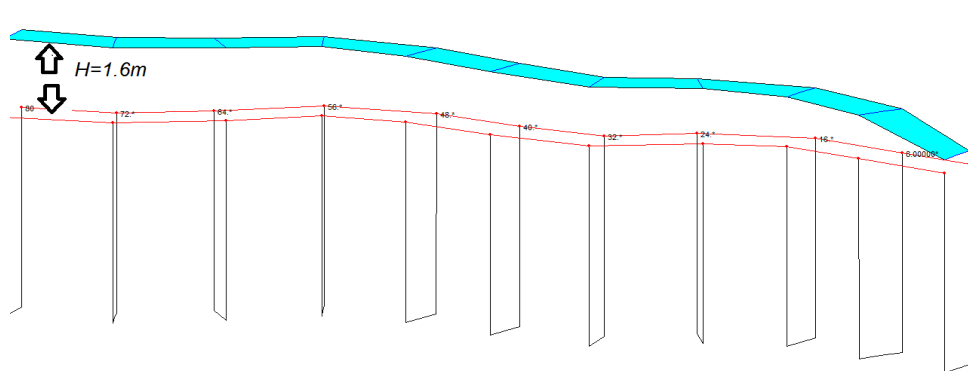


Figure IV.3 : Résultats de la hauteur du niveau d'eau dans l'oued en 3D.

Sur la figure IV.4, il est représenté l'état de l'Oued Medssous avant l'aménagement ou l'on voit sa profondeur ainsi que le type le mur soutènement en pierre.



Figure IV.4 : Vue sur l'oued avant son aménagement

IV.2 .2. 2. Modélisation sous Hec-Ras Après l'aménagement :

Nous avons établi le calcul par simulation de débit afin de pouvoir comparer les résultats avant et après l'aménagement d'Oued Medssous

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

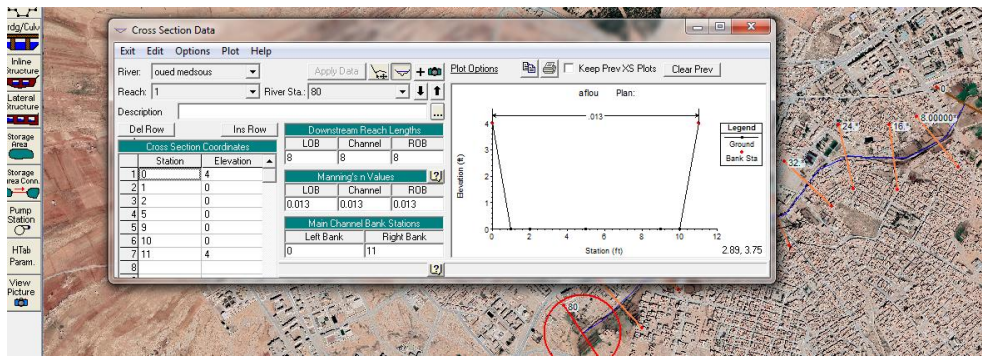


Figure IV.5 : Schéma de l'aménagement effectué dans le lit d'Oued Medssous.

Il est montré la figure IV.5, l'introduction des débits en termes de fréquences dans le logiciel Hec-Ras. Dans cette figure représente le niveau de l'eau après la modification d'oued

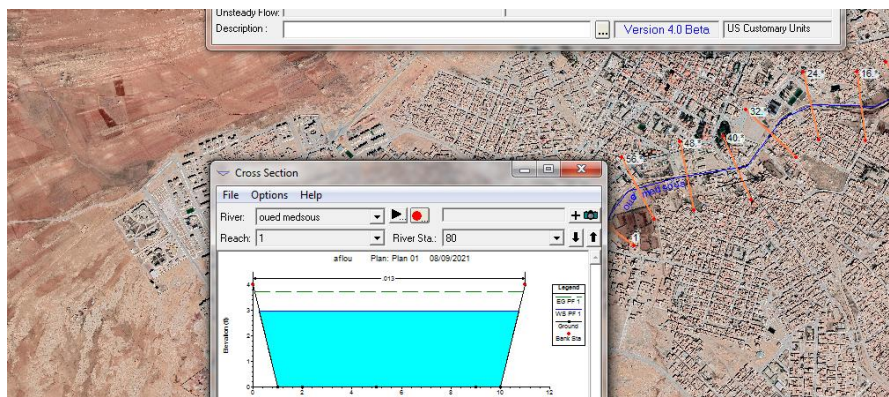


Figure IV.6 :le niveau de l'eau après la modification d'oued

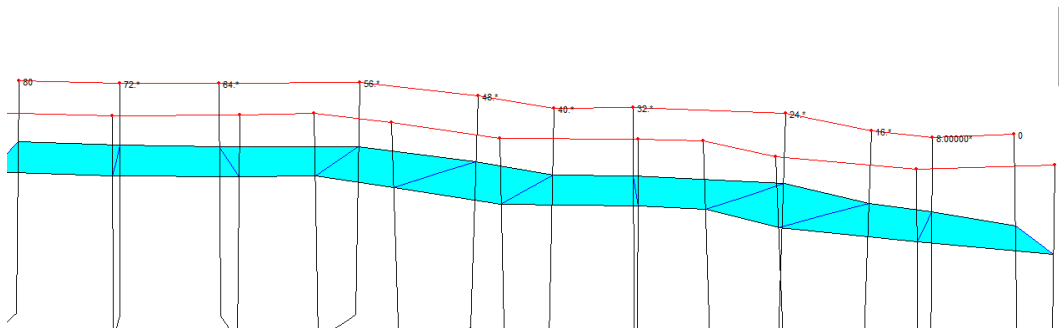


Figure IV.7 : Schématisation des résultats obtenus lors de la simulation

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

Sur la figure IV.8, il est représenté l'état de l'Oued Medssous après l'aménagement ou l'on constate l'élargissement de celui-ci avec modification du type de mur de soutènement en béton armé.



Figure IV.8 : Vue sur l'oued après la modification.

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

IV.3. Analyse et discussion des résultats :

Nous remarquons une diminution des niveaux d'eau après la modification d'oued, ce qui entraîne une diminution de l'incidence des inondations, mais à condition que le projet soit terminé (la modification de l'acheminement de l'oued), Malheureusement, le projet n'est pas encore terminé et cela conduit aux personnes touchées par les inondations dans la ville Aflou. Il est constaté sur la figure IV.9: la présentation de la partie d'Oued Medssous non encore non achevé.

Il est présenté sur la figure IV.9 une prise photographique lors d'une crue à Aflou de la partie d'Oued Medssous non encore aménagé



Figure IV.9: Présentation de la partie d'Oued Medssous non encore achevé (mars 2021. Photo personnelle).

Il est présenté sur la figure IV.10 la partie d'Oued Medssous en aval à l'état naturel alors que c'est approximatif de la zone urbaine. Il est donc intéressant de la prendre en compte dans les projets d'aménagement urbain avant même que les constructions prennent place pour éviter toute installation dans le lit d'Oued

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS



FigureIV.10 : Présentation de la partie d'Oued Medssous en aval à proximité de la zone urbaine (Mars 2021.Photo personnelle).

IV.4 Solutions et Propositions :

Après analyse des résultats obtenus en simulant les crues des périodes de retour de T à l'état critique (T=100) à l'aide des logiciels HEC-RAS , nous avons obtenus des hauteurs d'eau en total allant jusqu'à 4 mètre environ à partir de la vallée la plus basse.

Afin d'éviter les conséquences dévastatrices des inondations du la ville Aflou, ilsuggéré de protéger les résidents.

Les Propositions sur les étapes suivantes :

- 1-Achèvement du projet bloqué dès que possible.
- 2-Changez le cours des vallées qui s'y jettent (Oued Medssous).
- 3- Nettoyage périodique d'oued

Il est nécessaire de préciser que la société a sa part de responsabilité dans la dégradation des oueds en zone urbaine. Il est présenté sur la figure IV.12 l'état des lieux d'une zone urbaine à Aflou où l'Oued Medssous à subit le rejet volontaire de la population des déchets ménager.

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS



FigureIV.11 : Oued Medssous avant nettoyage

Il est présenté sur la figure IV.12 une prise photographique montrant Oued Medssous durant le nettoyage du lit mineur



Figure IV.12 : Oued Medssous durant le nettoyage du lit mineur

D'après plusieurs calculs d'estimation des prix que nous avons effectués, nous avons opté pour un choix de optimale de construction du mur de soutènement en béton armé estimé à 26 709 DA par mètre cube, comme le montre la figure IV.13, selon les caractéristiques géotechnique localisé :

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

Tableau IV.4: Prix au mètre cube pour construire un mur de soutènement en béton armé

Désignation	Quantité	Unité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Séparateur homologué pour murs.	8,000	U	7,99	63.92
Barres en acier haute adhérence, Fe E 400, de divers diamètres.	86,700	Kg	117,59	10.195,05
Fil de fer galvanisé pour attacher, de 1,30 mm de diamètre.	0,850	Kg	126,03	107.13
Tube en PVC, série B, de 75 mm de diamètre et 3 mm d'épaisseur, avec extrémité évasée, selon NF EN 1329-1	0,050	m	360,11	18.01
Béton prêt à l'emploi BCN: CPJ-CEM II/A 32,5 - TP - B 35 - 15/25 - E: 2a - BA - P 18-305.	1,050	m ³	13.522,92	14.199,07
Compagnon professionnel III/CP2 ferrailleur	1.651	h	488,99	807.32
Ouvrier professionnel II/OP ferrailleur.	1.951	h	364,49	711.12
Compagnon professionnel III/CP2 bétonneur.	0.318	h	488,99	463.63
Ouvrier professionnel II/OP bétonneur	1,272	h	364,49	534.42
Frais de chantier des unités d'ouvrage	2,000	%	26.720,75	27.255,17
Coût d'entretien décennal: 1.090,21DA les 10 premières années. (da/m ³)			Montant total HT : 27.255.17	

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

IV.5. Conclusion :

Dans cette dernière partie, nous avons essayé d'interpréter les résultats obtenus en fonction de chaque sections tout en précisant les causes et conséquences afin d'identifier des sections à risque de débordement d'Oued Medssous et proposer une solution de protection urbaine dans une ville aussi importante que Aflou que ce soit de par sa position géographique que par son rang économique vis-à-vis des wilaya du Sud du pays en prenant en considération le taux de perte humaines et matérielles sans d'autant oublier l'aspect technique et économique à des fins de réduire les risque des inondations en Algérie.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En matière de gestion des risques ainsi que selon le cadre législatif, un concept et notions fondamentales du risque sont mentionné dans les lois 04-20 du 25 Décembre 2004. La connaissance de l'aléa et la vulnérabilité nous permet par suite de mener à bien l'identification des cas échéants d'inondations dans la région de Aflou. L'objectif que nous voulons à atteindre dans l'étude est l'évaluation de la vulnérabilité de la ville d'Aflou au risque d'inondation est de déterminer les zones inondables pour diminuer les dégâts par la réduction de la vulnérabilité. Cette étude a permis ainsi de mettre en lumière l'extension urbaine dans les zones inondables et d'identifier les zones les plus vulnérables face au risque d'inondation.

La finalité de cette analyse est de faire ressortir les facteurs de prédispositions que ce soient permanent ou temporaires commanditant la présence des divers aléas au long du la ville Aflou. Ainsi on peut schématiser les atouts et les contraintes au développement de l'espace urbain et les risques générés sur cette espace géographiquement stratégique comme interaction physique et composante territoriale sociale économique et environnementale.

La ville d'Aflou est située dans une zone en forme d'exutoire s'étendant du nord au sud à Oued medssous, où plusieurs vallées se rencontrent, ce qui a conduit à l'inondation de la ville. L'analyse spatiale affiche par variables de pente, l'intensité de drainage et les zones de perméabilité à risque d'eau stagnante selon plusieurs catégories de risque.

Dans cette dernière partie, nous avons essayé d'interpréter les résultats et en fait comparaison avant et après modification d'oued medssous et proposer une solution de protection urbaine dans une ville aussi importante que Laghouat que ce soit de par sa protection géographique que par son rang économique vis-à-vis des wilaya du Sud du pays en considération le taux de perte humaines et matérielles sans d'autant oublier l'aspect technique et économique à des fins de réduire les risque les inondations.



Bibliographique

Bibliographie :

- 1_ <http://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/10/Cheloufi->
- 2_ <https://core.ac.uk/download/pdf/236416969.pdf>
- 3_ <https://american-jiras.com/Fatima-ManuscriptRef.10-ajira161117.pdf>
- 4_ <https://revues.imist.ma/index.php/ewash-ti/article/viewFile/16083/9348>
- 5_ https://courses.ex-machina.ma/downloads/gc-2/s7/Hydrologie/Hydrologie_M
- 6_ <https://sd9075fac2be829bf.jimcontent.com/download/version/1562750062>
- 7_ http://hydrologie.org/THE/YAHIAOUI_A.pdf
- 8_ <http://thesis.univ-biskra.dz/3965/1/Th%C3%A8se%20de%20doctorat%20>
- 9_ <https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/ministere/diffu>
- 10_ <http://www.saidi.ma/Ghazi-Garir-2017.pdf>
- 11_ <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/beiepe/book/export/html/1947>
- 12_ <https://fr.db-city.com/Alg%C3%A9rie--Laghouat--Aflou>
- 13_ <https://ds.univ-oran2.dz:8443/jspui/bitstream/123456789/457/1/oued%20Mzi.pdf>
- 14_ <https://books.openedition.org/psorbonne/22676?lang=fr>
- 15_ https://courses.ex-machina.ma/downloads/gc-2/s7/Hydrologie/Hydrologie_Modele_Simulation.pdf
- 16_ <https://core.ac.uk/download/pdf/236416969.pdf>
- 17_ http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=1016
- 18_ https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc_num.php?explnum_id=523
- 19_ <http://american-jiras.com/Maroua-ManuscriptRef.15-ajira191118.pdf>
- 20_ <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2014-v27-n1-rseau01120/1021982ar.pdf>
- 21_ <http://repository.usthb.dz/bitstream/handle/123456789/6512/TH8942.pdf?sequence=3&isAllow=y>
- 22_ http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2019_0115_SALLAK_Vol1.pdf
- 23_ <http://bib.univ-oeb.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/2097/1/Binder1.pdf>
- 24_ <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01654929/document>
- 25_ <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0304/optsee/bei/4/html/groupe/projgr3.htm>
- 26_ http://www.haute-garonne.gouv.fr/content/download/18278/135650/file/MODELISATION_HYDRAULIQUE_SAINTORENS.pdf
- 27_ <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01654929/document>