

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master

Par : CHARIF HABIBA

FARDJAOUI Nesrine

Thème

RISQUES D'INONDATION ET OCCUPATION DES
SOLS

Cas de la ville de AIN EL MELH

Dirigé par : **Mr : BERGHOUT Ali**

Soutenu devant le jury composé de :

MR. BENIA MOUNIR	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
MR. BERGHOUT ALI	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur
MR. TAMIM DJAMEL	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur
MR. MOKHTARI ELHADJ	Université Mohamed Boudiaf M'sila	promoteur

Année universitaire : 2017 /2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلْ أَعْمَلُوا فِيسِيْرِ اللَّهِ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ إِلَى
عِلْمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا كُنتُمْ تَعْمَلُونَ ﴿١٠٥﴾

صِدْقَةُ اللَّهِ الْعَظِيمُ

Dédicace

*L'éducation, c'est la famille qui la, donne ;
l'instruction, c'est l'état qui la doit.*

Victor Hugo

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient
Exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance...*

*A qui je dois ma réussite et je leur di merci A mon **PAPA** qui m'a soutenu tout au long de mon
cursus avec ses précieux conseils, ses encouragements et ses sacrifices;*

*A la prunelle de mes yeux, celle qui m'a soutenu jour et nuit pour qu'elle me voit toujours au
sommet, comme une étoile filante : A toi ma chère **MAMA**. La langue française n'est pas
Assez riche pour me permettre de t'exprimer toute ma gratitude.*

*Amon mari **Soufyane** qui a toujours été mon point d'appui et qui m'a bien supporté
Durant les moments de détresse.*

*A mes sœurs, **Hanane Samra** et mes frères **Mohammed Khalil Ali** ; Merci pour l'aide.*

*A ma petite ange **Belkis** mon cœur.*

Charif Habiba

Remerciement

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes.

Nous souhaitons ici les en remercier.

Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement MR.BERGHOUT ALI qui nous a permis de bénéficier de son encadrement. Aussi a MR MOKHTARI ELHADJ

Les conseils qu'il nous a prodigués, la patience, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant les années des études.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Sommaire

Introduction	01
Chapitre I. COMPRENDRE LE PHENOMENE "INONDATION"	04
Chapitre Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)	12
Chapitre III : PRESENTATION DU SITE DE L'ETUDE	24
Chapitre IV : Etude hydrologique	31
CHAPITRE v : MODELISATION	65
CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville	106
Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION	124
Conclusion	161

Liste des figures

FIGURE	PAGE
Figure I.1.décomposition du risque d'inondation en aléa et vulnérabilité	5
Fig II-2-Pays les plus touchés par les inondations et les tempêtes depuis 1990	14
Fig. III -1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA COMMUNE DE AIN EL MELH	25
Fig.IV-1 : Interface de ArcMap (Etablie par les auteurs)	32
Fig.IV-2 :Interface de Arc Catalogue (Etablie par les auteurs)	33
Fig.IV-3 : Interface d'ArcToolbox	34
Fig .IV-5 : Totalité des Bassins Versants	35
Fig .IV-6 : Bassins Versants a)BV1 b)BV2 c)BV3 d)BV4	39
Fig.IV-7 : Carte Hypsométrique des quatre Bassins Versants	40
Fig.IV-8 : Courbe hypsométrique du bassin versant N°1	41
Fig.IV-9 : Courbe hypsométrique du bassin versant N°2	42
Fig.IV-10 : Courbe hypsométrique du bassin versant N°3	43
Fig.IV-11 : Courbe hypsométrique du bassin versant N°4	44
Fig.IV-12 : Carte pente des quatre B V	47
Fig.IV-13 : Réseau hydrographique des quatre BV	48
Fig. IV-14 : représentation graphique de l'ajustement par la loi de Gumbel	52
Fig. IV-15 : Pluies de Courtes durées	54
Figure V-1 : Classification des modèles hydrologiques	65
Fig.V-2 : Liaison Arc GIS- HecGeoRas- HEC RAS	67
Fig. V -13 : Hydrogramme de la crue de période de retour 20 ans simulée à l'exutoire du BV 4 (5B)	84
Fig.VI-1 : Effet de l'occupation du sol sur l'Hydrogramme	106
Fig.VI-7 : Fenêtre Ras Mapper	111
Fig.VI-9 : Fenêtre de liaison Terrain-Landcover	112
Fig.VII-A-1 : Digue écrêteur de crues	124
Fig.VII-E-1 : Mur en Gabion	158

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tab. III-1 : Evaporation	28
Tab.III- : Etat des POS en 2015 proposés dans le PDAU	29
Tab.IV-1 : Paramètres morpho-métriques des quatre bassins versants	37
Tab.IV-2 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant N°1	41
Tab.IV-3: Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant N°2	42
Tab.IV-4 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant N°3	43
Tab.IV-5 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant N°4	44
Tab.IV-6 : Hauteurs caractéristiques des quatre BV	45
Tab.IV-7 : Pentes Moyennes	46
Tab.IV-8 : Indice de pente globale	47
Tab.IV-9 : Type de relief des bassins versants	47
Tab.IV-10 : Vitesse moyenne de ruissellement	49
Tableau IV-11 : Caractéristiques empiriques de la série avec N=47ans	51
Tableau IV-12 : Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel	51
Tab. IV-13 : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon.	53
Tab.IV-14 : Temps de concentration des bassins versants	56
Tab.IV-15 : Débits pour chaque période de retour	58
Tab.IV-16 : Débit maximales (formule de Skolovsky)	59
Tab.IV-17 : Hydrogramme des crues de différentes périodes de retour BV 3	60
Tableau V-1 : Caractéristiques topographiques des bassins	70
Tab.VII-A-1 : Caractéristiques bathymétriques de la cuvette	126
Tab.VII-A-4 : CALCUL DU LAMINAGE DE CRUE PAR LA MÉTHODE DE COTCHERINE	134
Tab.VII-A-6 : Coordonnées du déversoir	140
Tab.VII-B-1 : Tableau des résultats-canal couvert	149
Tab.VII-C-1 : Tableau des résultats-canal à ciel ouvert	152

ملخص :

من خلال الدراسة التي قدمناها، أعطينا أولاً لمحة عامة عن ظاهرة الفيضانات و عن موقع الدراسة تم تحديد الأحواض الساكنة و خصائصها المؤثرة مباشرة بواسطة Arc Gis 10.3 و Hyfran بواسطة البرامج Hec على مدينة عين الملح بعدها قمنا بحساب التدفقات مما سمح لنا بإنجاز المحاكاة بواسطة البرنامج مع الأخذ بعين الاعتبار استغلال الأراضي وتأثيره على هذه الظاهرة و ذلك بواسطة Hec Hms و Ras 5.03 بتطبيق عدة سيناريوهات.

الجزء الأخير سمح لنا بتصميم و حساب المنشآت المتعددة (سد احتجاز - قناة مفتوحة - قناة مغطاة - حماية حواف الواد - شبكة الصرف الصحي الموحدة) التي ستسمح بحماية المدينة من الفيضانات. الحماية كلمات مفتاحية : الفيضانات، شغل الاراضي، النمذجة، المحاكاة،

Résumé :

A travers l'étude que nous avons présentée, nous avons donné en premier lieu un aperçu général sur le phénomène des inondations et sur le site objet de notre étude. Par le biais des logiciels Arc Gis 10.3 et Hyfran, nous avons déterminé les bassins versants, et leurs caractéristiques, qui influencent directement sur la ville d'AIN EL MELH, puis nous avons procédé à l'estimation des débits correspondants ce qui nous a permis de faire la simulation à l'aide des logiciels Hec Ras 5.03 et Hec Hms tout en prenant en considération l'occupation des sols et son influence sur le phénomène par la simulation de différents scénarios.

La dernière partie nous a permis la conception et le dimensionnement des divers ouvrages (digue écrêteur de rétention-canal à ciel ouvert-canal couvert-protection des berges-réseau unitaire d'assainissement) qui permettront la protection de la ville contre les crues.

Mots clés : Inondation, occupation des sols, modélisation, simulation, protection

Abstract :

Through the study we presented, we first gave an overview on the current status of the object site of our study to know the Northwest part which has about 40% of the city of AIN EL MELH and we proceeded to estimate the drinking water needs of the population and various public facilities until 2035 which helped us design and network dimensioning.

The second part relates to the study of sanitation in this area taking into account domestic wastewater and storm water in the integral in a unitary system .

Keywords: floods, land use, modeling, simulation, protection

Introduction

Introduction

Avec les changements climatiques, les phénomènes météorologiques extrêmes sont appelés à se multiplier, préviennent les scientifiques.

Il y aura possiblement moins d'ouragans dans certaines régions, mais ils risquent d'être plus puissants et de causer plus de dommages, Les épisodes de pluies intenses devraient, pour leur part, augmenter.

L'Institut de l'Université des Nations unies pour l'environnement et la sécurité humaine (IUNU-EHS) a dévoilé ses plus récentes données (actualisées en 2017) mesurant le risque pour 171 pays d'être touchés par un désastre naturel. L'indicateur s'appuie sur leur degré d'exposition à des phénomènes climatiques ou sismiques extrêmes, couplé à leur taux de vulnérabilité.

Les inondations touchent tous les pays du globe mais avec des effets très diversifiés. Ces catastrophes naturelles ont un impact important sur notre société. En 2011, elles représentaient 1 désastre naturel sur 2 et ont causé 57,1 % du total de victimes de catastrophes naturelles dans le monde. Il est donc primordial d'analyser leurs impacts sur la vie et la santé, sur l'économie, mais aussi sur l'environnement et l'écologie.

Les pays qui sont au croisement de fissures sismiques , où il y a eu des tremblements de terre (cas de l'Algérie) ou des volcans en activité dans les dernières décennies ,ou dans des zones de passage d'importantes tempêtes tropicales, sont les plus à risque .

Mais le caractère « extrême » des phénomènes climatiques n'est pas l'unique facteur des catastrophes naturelles. Les conditions de vulnérabilité et les facteurs d'exposition doivent également être pris en considération. Vous pouvez être vulnérable, mais si vous n'êtes pas exposé, vous n'êtes pas nécessairement à risque, et vice-versa.

Si les pays en développement ne peuvent pas investir des sommes colossales pour construire des digues et des tunnels pour se protéger des inévitables inondations ni exproprier des millions de personnes déjà installées dans des zones inondables, ils peuvent par contre mettre en place des plans d'urgence pour diminuer leur vulnérabilité.

Lors de la période d'urbanisation et de l'occupation du sol effrénées et anarchiques, on se préoccupait très peu de l'éventualité d'une inondation. L'augmentation de la taille du tissus urbain fait accélérer le ruissellement et limite considérablement l'infiltration dans le sous-sol,

Introduction générale

d'où une forte probabilité d'accumulation des quantités d'eau qui peut provoquer des inondations.

Il faut rappeler que la prévention est le principal outil dont disposent les pays pour réduire les impacts d'un éventuel événement climatique ou sismique extrême.

Il faut également des campagnes de sensibilisation et d'éducation, surtout en ce qui concerne la construction dans les zones inondables, qui permettront de réduire considérablement le nombre de morts et l'ampleur des dégâts matériels lors des inondations.

Pour cela, on se pose les questions pertinentes suivantes auxquelles il faut répondre dans notre présente étude :

- ✓ *Quelles sont les zones susceptibles d'être inondées ?*
- ✓ *Quels sont les facteurs aggravants des inondations ?*
- ✓ *Quel est l'effet de l'occupation du sol sur le phénomène d'inondation ?*
- ✓ *Quelles sont les solutions adéquates à apporter au problème ?*

Chapitre 1

Chapitre I. COMPRENDRE LE PHENOMENE "INONDATION"

I. Introduction

La problématique des risques naturels en général et des inondations en particulier est un sujet d'actualité qui marque une action mémorable dans le monde entier et spécifiquement en Algérie, notamment au regard des dernières grandes crues catastrophiques. En effet, la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et tous les moyens disponibles possibles.

II. Le risque d'inondation

II.1. Définition du risque

Comme définition générale le risque est la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition à un danger, c'est la composante de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté (incident ou accident) et la gravité de ses conséquences.

Dans notre cas "*le risque d'inondation*" est la conséquence de deux composantes que sont : "*la vulnérabilité*" et "*l'aléa*".

Il y a risque lorsque nous sommes sur une parcelle avec une occupation du sol incompatible avec l'aléa. Le risque étant déterminé par le croisement entre l'aléa et la vulnérabilité, il faut être capable de les comparer. Ceci est possible avec les modèles hydrologique en débit, durée et fréquence qui permettent de traduire dans la même unité les deux facteurs.

Si la vulnérabilité est plus faible que l'aléa, nous considérons la parcelle comme ne présentant pas de risque. Elle est correctement protégée, voire surprotégée. Dans le cas contraire, nous aurons une parcelle à risque qu'il faudra protéger ou évacuer.

II.2. La vulnérabilité

Le fait qu'une rivière cause des dégâts résulte de la sensibilité du lieu où se produit le phénomène ; c'est la composante vulnérabilité

La présence de l'homme, qui s'installe dans l'espace alluvial, pour y implanter toute sorte de constructions, d'équipements ou d'activités, cette occupation humaine joue un double rôle : d'une part elle constitue le risque en exposant des personnes et des biens aux inondations, d'autre part, elle aggrave l'aléa et le risque, en amont comme en aval, en modifiant les conditions d'écoulement de l'eau.

II.3. L'aléa

Une rivière qui déborde traduit un phénomène naturel présentant un caractère aléatoire ; c'est le composant aléa du risque.

L'aléa interpelle deux disciplines principales : l'hydrologie et l'hydraulique fluviale. Dans le cas des inondations, l'hydrologie est la discipline qui permet d'obtenir les débits et leurs

Chapitre I. COMPRENDRE LE PHENOMENE "INONDATION"

périodes moyennes de retour. Tandis que l'hydraulique est la discipline qui permet d'obtenir les niveaux d'eau et accessoirement les vitesses correspondant à ces débits. La combinaison de ces deux disciplines permet donc d'associer des périodes de retour à des niveaux et vitesses d'écoulement en divers points d'un cours d'eau.

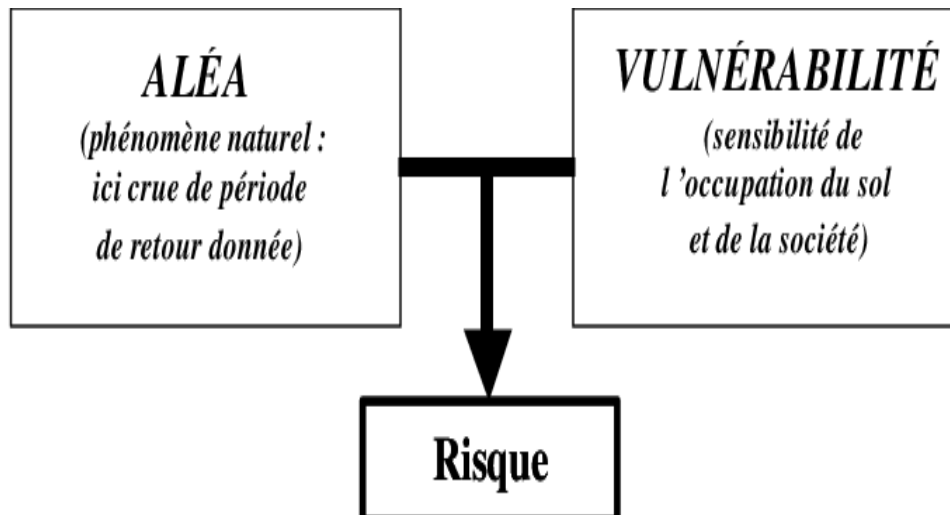


Figure I.1. décomposition du risque d'inondation en aléa et vulnérabilité

II-4-Principaux paramètres spécifiant l'aléa

Les principaux paramètres nécessaires pour l'évaluation de l'aléa sont :

- ✓ La période de retour des crues.
- ✓ La hauteur et la durée de submersion.
- ✓ La vitesse d'écoulement
- ✓ Volume de matières transportées.

II-4-1-Période de retour

La notion de période de retour « T » n'est qu'une autre façon de caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène à un moment donné. Statistiquement, on la définit comme l'inverse de la probabilité d'occurrence de dépassement « p » de ce phénomène :

$$T=1/P$$

Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale. On associe souvent à la notion de crue la

Chapitre I. COMPRENDRE LE PHENOMENE "INONDATION"

notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) ; plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants.

II-4-2- Hauteur et durée de submersion

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. Lorsque la durée de submersion est importante, des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent malpropre, contaminée par les égouts. Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau.

II-4-3-Vitesse du courant

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité, la dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/ vitesse. À titre d'exemple, à partir de 0,5 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure.

II-4-4-Volume de matière transportée

Ce volume est appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des Forces liées au courant. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport solide.

II.5.Les crues

Une crue correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau au delà d'un certain seuil auquel toute analyse doit faire référence. Elle est décrite à partir de trois paramètres : le débit, la hauteur d'eau et la vitesse du courant, en fonction de l'importance des débits, une crue peut être contenue dans le lit mineur du cours d'eau, ou déborder dans son lit moyen ou majeur.

II.6.Les inondations

II.6.1.Etymologie : Le mot inondation vient du latin : «inundatio» qui signifie submersion.

II .6.2.Définition 1 : Une inondation est un débordement d'un cours d'eau, le plus souvent en crue, qui submerge les terrains voisins. C'est-à-dire une augmentation du débit du cours d'eau lorsque ce débit ne peut plus transiter dans le lit mineur, lieu ordinaire des

Chapitre I. COMPRENDRE LE PHENOMENE "INONDATION"

écoulements (débit d'étéage). Ce terme est souvent étendu aux débordements d'ouvrages artificiels tels que retenues ou réseaux d'assainissement, parfois associés à une remontée de la nappe phréatique.

II .6.3.Définition 2

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités.

II .6.4.Définition 3

Selon l'encyclopédie WIKIPEDIA :

Une inondation est une submersion temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace avec de l'eau liquide. Ce terme est fréquemment utilisé pour décrire :

- le débordement d'un cours d'eau, en crue puis en décrue, sur les terrains voisins ; l'eau est répandue dans les talwegs et les dépressions topographiques ;
- le ruissellement très important, soit sur des terres cultivées (inondation boueuse), soit en zone imperméable urbanisée ;
- le débordement ou les conséquences de la rupture d'ouvrages artificiels hydrauliques tels que retenues d'eau, digues, canalisations (agricoles, d'eau potable, d'assainissement) ou la rupture d'une retenue naturelle comme celle d'un lac glaciaire, provoquant une inondation soudaine ;
- la remontée émergente d'une nappe phréatique ;
- l'invasion temporaire par la mer d'une zone côtière lors d'une submersion marine.

II.7.Les causes des inondations

Elles peuvent avoir de nombreuses causes qui peuvent être cumulables :

- ✓ **Causes naturelles** : liées aux aléas climatiques et phénomènes météorologiques attendus.
- ✓ **Causes humaines directes** : établissements d'écluses de barrages permettant certes la navigation et le transport fluvial, mais diminuant la pente naturelle du cours d'eau, absence de gestion et de coordination des barrages à l'approche des crues.

Chapitre I. COMPRENDRE LE PHENOMENE "INONDATION"

- ✓ **Causes humaines indirectes** : liée aux modifications climatiques globales (émissions de gaz à effet de serre qui entraîne la fonte des glaciers et qui provoque une montée du niveau des océans, des cours d'eau ou encore cela pourrait entraîner des cyclones plus intenses.

II.8.Mécanisme des inondations

On définit les types de facteurs influençant sur les inondations comme suit : Facteurs physiques et Facteurs aggravants

II.8.1.Facteurs physiques qui influencent les inondations

- ✓ Le régime des pluies.
- ✓ Le relief.
- ✓ La taille du bassin versant.
- ✓ L'état et l'occupation des sols.

II.8.2.Facteurs aggravants du risque d'inondation

- ✓ L'usage et l'occupation des sols.
- ✓ L'aménagement du territoire.
- ✓ Le manque d'entretien des cours d'eau.
- ✓ L'imperméabilisation des terres par l'urbanisation ou bien le bétonnage.

II.9. Type d'inondations

On distingue plusieurs types d'inondation :

I.9.1.Les inondations des plaines

Elles sont générées par des crues lentes et progressives (l'eau monte de quelques centimètres par heure). Elles se produisent souvent après une longue période de pluies, lorsque les sols sont saturés d'eau, plutôt durant la période des hautes eaux (en hiver). Elles ne créent pas de danger pour les vies humaines, sauf en cas d'imprudence (noyade de petits enfants dans les dépressions, dérapage de véhicules etc.), mais peuvent s'étaler sur plusieurs semaines, et occasionner des dégâts très importants (interruption des communications, dommages aux biens et aux activités).

I.9.2. Les inondations par ruissellement

Chapitre I. COMPRENDRE LE PHENOMENE "INONDATION"

Ce type d'inondation peut se produire en tout point de la zone inondable suite à des pluies particulièrement abondantes (pluies orageuses) ou à des infiltrations dans les habitations construites dans le lit majeur des cours d'eau. Dans les zones urbanisées, les sols imperméabilisés ne permettent pas à l'eau de percoler. Les eaux de pluie ruissellent, s'accumulent dans les points bas, saturent les réseaux d'évacuation, en partie colmatés par la boue, entraînant une remontée d'eaux par les égouts. Elles ont pour conséquence la submersion de la voirie et des constructions.

I.9.3. Les inondations dues à des crues torrentielles

Elles ont pour origine la brusque montée des eaux (plusieurs mètres en quelques heures) de torrents ou de rivières suite à des pluies abondantes. Elles ne peuvent être prévues plusieurs jours à l'avance. Elles concernent plus particulièrement les régions montagneuses. Elles sont souvent dévastatrices et meurtrières.

I.9.4. La remontée de la nappe

Le risque d'inondation dû à une crue peut être accru par un risque de remontée des eaux des nappes phréatiques. Dans certains endroits et sous certaines conditions une élévation exceptionnelle du niveau de ce type de nappe entraîne un type particulier d'inondation dit inondation par remontée de nappe. On admet que ce phénomène est fréquemment observé dans la zone de convergence des écoulements en raison de la présence d'un substratum imperméable. L'excès d'eau ne peut que s'émerger en surface ; d'où l'apparition de zones (étangs, mares temporaires et marécages) dans certaines zones de dépression.

I.9.5. Inondation par rupture d'une protection :

L'inondation consécutive à une rupture de digue est un phénomène très brutal et d'autant plus dommageable que le site étudié est proche de la digue. Une rupture peut provoquer l'entrée d'un mur d'eau de plusieurs mètres de haut. Il est très difficile de prévoir la rupture d'un ouvrage de protection, ce qui rend la prévention de ce type d'accident particulièrement incertaine.

I.9.6. Par débordement direct

Le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur, les sites en bordure de cours d'eau sont le plus souvent inondés par un débordement direct. En fait, une rivière a deux lits : le lit mineur où les eaux s'écoulent en temps ordinaire, et le lit majeur incluant les zones basses situées de part et d'autre du cours d'eau. Après des pluies fortes ou

Chapitre I. COMPRENDRE LE PHENOMENE "INONDATION"

persistantes, les rivières peuvent déborder et s'écouler à la fois en lit mineur et en lit majeur.

I.9.7.Par débordement indirect

Les eaux remontent par effet de siphon à travers les nappes alluviales et les réseaux d'assainissement.

I.9.8.Par stagnation d'eaux pluviales ou ruissellement

Liée à une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau de drainage lors de pluies anormales. Ces inondations peuvent se produire en zone urbanisée, en dehors du lit des cours d'eau proprement dit, lorsque l'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses (orages).

I.9.9. Inondations marines

Il s'agit de phénomènes pour lesquels l'action de la mer est le facteur principal déterminant la survenance des désordres. Ces submersions marines sont associées au franchissement ou à la destruction des digues naturelles ou artificielles d'une côte et peuvent s'accompagner de projection de sédiments sableux ou galets. L'Angleterre et l'Allemagne sont beaucoup plus exposées à ce type de phénomène.

I.9.10.Inondations et coulées de boue

L'expression désignant dans la grande majorité des cas une eau chargée en particules fines. Les laves torrentielles sont des phénomènes physiques très différents des crues torrentielles. Il s'agit de masses boueuses et rocailleuses, généralement canalisées dans le lit d'un torrent, qui comportent en général plus de matériaux solides que d'eau. De tel écoulements ont un pouvoir destructeur plus important qu'une crue torrentielle de débit équivalent, en raison, essentiellement, de la quantité des matériaux charriés ainsi que de densité du fluide qui les transporte (dans une lave torrentielle, il peut y avoir 1 à 4 fois plus de matériaux que d'eau alors que pour un écoulement de type charriage, la part des matériaux ne dépasse pas 25à30%). Ils peuvent atteindre des vitesses allant de 1à10 m/s et avoir un très grand pouvoir abrasif. Si le rapport de la crue torrentielle à la pluie est direct, il est plus flou et imprévu dans le domaine des laves. Le ruissellement direct et l'érosion sur les versants qu'il provoque peuvent déclencher des laves. L'imprégnation lente sur des durées de l'ordre du mois est parfois un paramètre explicatif du déclenchement de la lave.

Chapitre 2

II-1-Introduction

Lors de la période d'urbanisation et de l'occupation du sol effrénées et anarchiques, on se préoccupait très peu de l'éventualité d'une inondation.

Des villes comme Mumbai, Dakar, Port-au-Prince ou Houston ont connu une croissance démographique rapide au cours du dernier siècle, mais ça s'est souvent fait sans planification et sans prendre en compte le risque climatique.

II-2-Un risque accru

Avec les changements climatiques, les phénomènes météorologiques extrêmes sont appelés à se multiplier, préviennent les scientifiques. Il y aura possiblement moins d'ouragans dans certaines régions, mais ils risquent d'être plus puissants et de causer plus de dommages, les épisodes de pluies intenses devraient, pour leur part, augmenter.

Si les pays en développement ne peuvent pas investir des sommes colossales pour construire des digues et des tunnels pour se protéger des inévitables inondations ni exproprier des millions de personnes déjà installées dans des zones inondables, ils peuvent par contre mettre en place des plans d'urgence pour diminuer leur vulnérabilité.

II-3- inondations dans le monde

II-3-1-Répartition des inondations dans le monde

Les mégapoles sont souvent situées sur les zones côtières, près de l'eau, donc extrêmement vulnérables. Jusque dans les années 90, on cherchait avant tout à maîtriser la nature. On a donc bâti des barrages et des digues pour se protéger de la force de l'eau. Plus on va construire dans les plaines, les zones inondables et les marais, plus on va rendre ces surfaces imperméables.

Année après année, les pays du Sud-Est asiatique doivent composer avec les pluies de la mousson. Indispensables pour l'agriculture, elles apportent cependant des déluges d'eau dans un laps de temps très restreint, entraînant régulièrement des inondations majeures.

Cette région est une des plus exposées aux inondations et aux tempêtes. Selon la Base de données internationale des catastrophes du Centre de recherche de l'épidémiologie des désastres de l'Université catholique de Louvain, en Belgique, l'Inde a vécu 192 inondations et 86 tempêtes en 25 ans, tandis que les Bangladais ont connu 60 inondations et 102 tempêtes.

L'été 2017, elles ont déjà fait plus de 1200 morts en Inde, au Népal et au Bangladesh et touché quelque 40 millions de personnes.

Chapitre II Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)

La tempête Harvey et les pluies torrentielles de la mousson ont provoqué des inondations catastrophiques aux États-Unis et en Asie du Sud-Est.

Le 29 août 2017, Mumbai a été paralysée lorsque près de 300 mm d'eau sont tombés en une seule journée. Les rues ont été inondées et les transports publics immobilisés.

Comme Houston, la métropole indienne s'est développée de façon très rapide et chaotique .

L'ancienne partie de la ville, qui se trouve en hauteur, n'a pas été aussi durement touchée par l'ouragan Katrina que les développements plus récents, bâtis dans des secteurs qu'on savait potentiellement inondables.

II-3-2-Les inondations et les tempêtes depuis 1990

En juillet et août 1931, sept cyclones tropicaux frappent la Chine. Dans l'est, les fleuves Yangzi Jiang et Huang He, la rivière Huai He débordent et inondent un vaste territoire (122 000 km² de surface inondée). À Hankou, où se rejoignent plusieurs affluents derrière des digues en amont, le niveau du fleuve dépasse de 1,71 mètre le seuil d'inondation. Entre les inondations et les épidémies (choléra, typhus...), qui ont suivi, près de 4 millions de personnes sont tuées.



Fig II-1:Huang He, le fleuve jaune en Chine(Photo wikimédia commons/ Leruswing)

Chapitre II Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)

Les inondations de l'été 2002 qui se sont produites partout dans le monde entreront dans l'histoire des catastrophes naturelles comme un triste record. A une échelle jamais égalée depuis qu'il existe des archives météo, de vastes territoires ont été inondés simultanément, que ce soit en Europe, en Afrique, en Asie, en Amérique du Nord ou du Sud. Des pluies extrêmes (jusqu'à 600 litres d'eau par mètre carré), des glissements de terrain et des fleuves débordant de leur lit ont détruit les infrastructures de provinces entières, anéantissant les récoltes, faisant des dizaines de milliers de victimes et transformant des millions d'êtres humains en sans-abri.

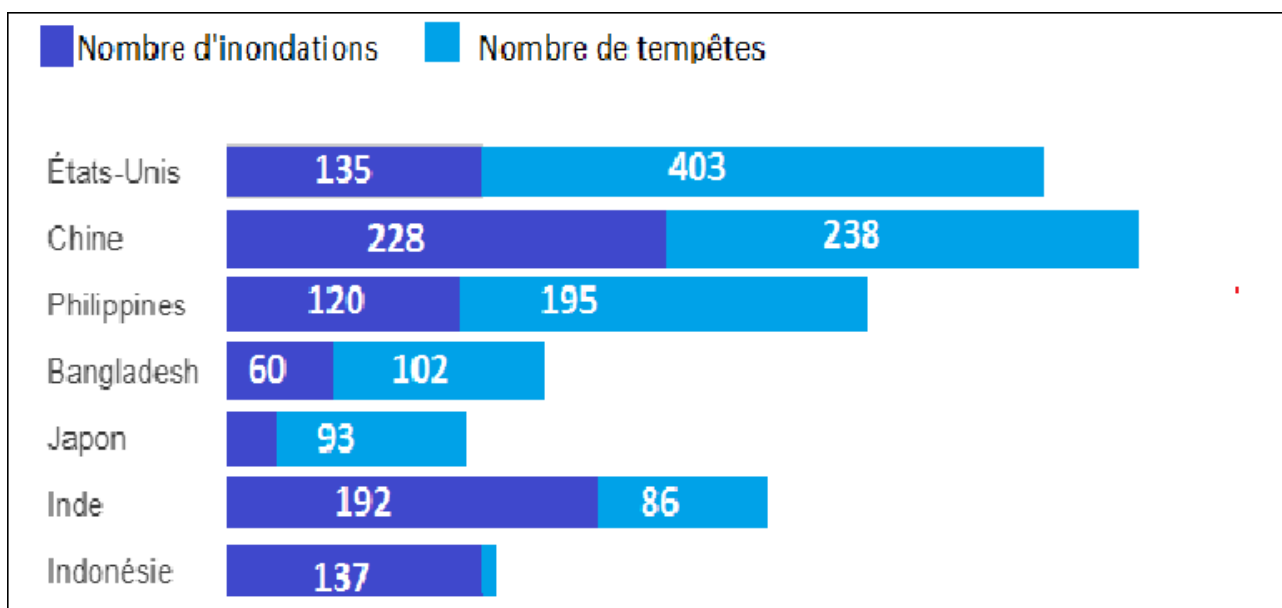


Fig II-2-Pays les plus touchés par les inondations et les tempêtes depuis 1990

Source: Base de données internationale des catastrophes du Centre de recherche de l'épidémiologie des désastres (EM-DAT) - Université catholique de Louvain, Bruxelles

Le Bangladesh, situé au ras de l'eau et très densément peuplé, a souffert dans les années 1970 d'inondations désastreuses qui ont fait des centaines de milliers de morts. En 1970, près de 300 000 personnes sont mortes au Bangladesh lors du passage du cyclone Bhola. En 1991, un autre cyclone a fait 135 000 morts.

Depuis, une stratégie exemplaire a été élaborée. Les Bengalais ont fait également des campagnes de sensibilisation et d'éducation, surtout en ce qui concerne la construction dans les zones inondables, qui ont permis de réduire considérablement le nombre de morts lors des inondations. Et une fois que la stratégie avait été mise en place en 2007, une catastrophe semblable a fait 10 fois moins de victimes, soit 15 000 personnes.

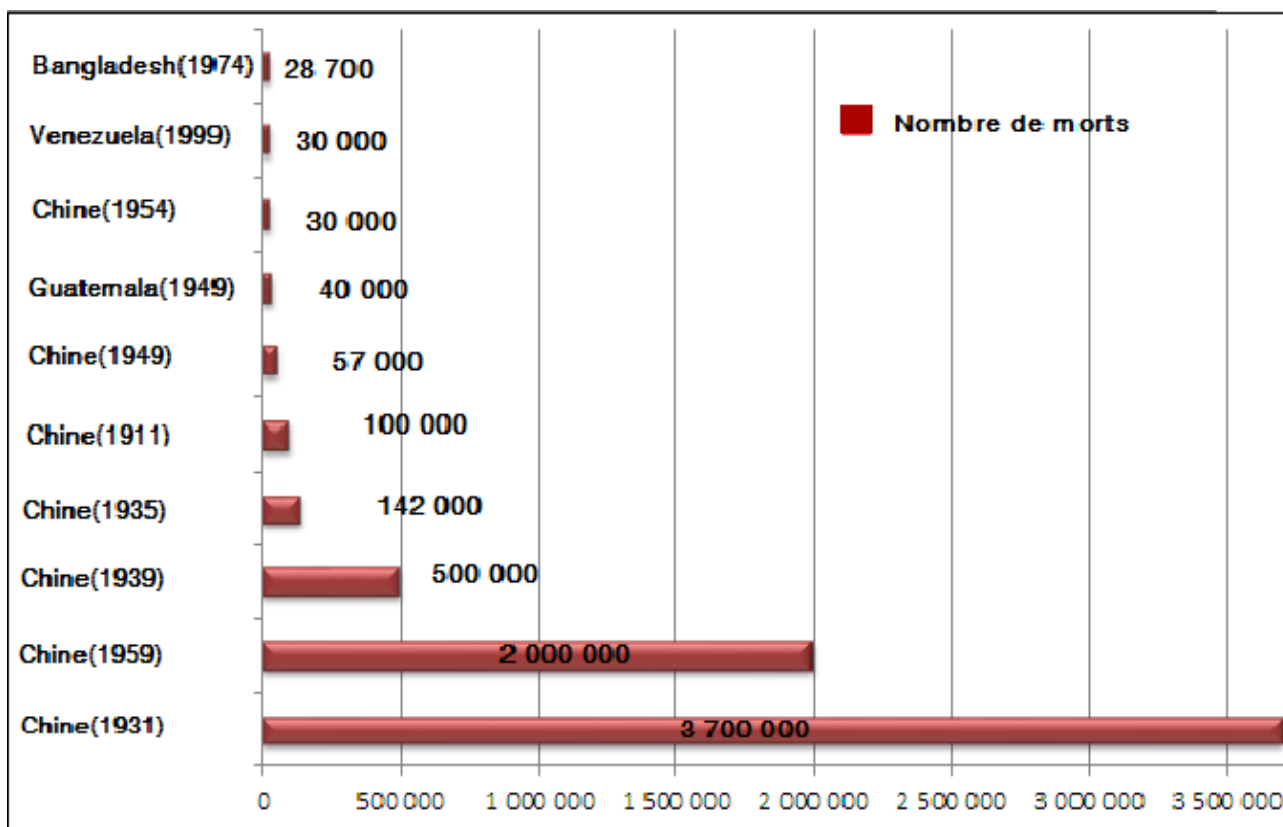


Fig II-3- Nombre de décès dus aux fortes inondations dans le monde entre 1900 et 2016, par pays (source Statista 2018, **présentation modifiée par les auteurs**)

II-3-3-Pays à risque de catastrophes naturelles

L'Institut de l'Université des Nations unies pour l'environnement et la sécurité humaine (IUNU-EHS) a dévoilé ses plus récentes données mesurant le risque pour 171 pays d'être touchés par un désastre naturel. L'indicateur s'appuie sur leur degré d'exposition à des phénomènes climatiques ou sismiques extrêmes, couplé à leur taux de vulnérabilité.

Les pays qui sont au croisement de fissures sismiques , où il y a eu des tremblements de terre ou des volcans en activité dans les dernières décennies ,ou dans des zones de passage d'importantes tempêtes tropicales, sont les plus à risque .

Mais le caractère « extrême » des phénomènes climatiques n'est pas l'unique facteur des catastrophes naturelles. Les conditions de vulnérabilité et les facteurs d'exposition doivent également être pris en considération. Vous pouvez être vulnérable, mais si vous n'êtes pas exposé, vous n'êtes pas nécessairement à risque et vice-versa.

II-3-4-Pays exposé, mais préparé

Chapitre II Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)

L'exemple type serait Le Japon, troisième puissance économique mondiale, se positionne au 17e rang des pays les plus susceptibles d'être la proie d'un désastre naturel. Cet archipel du Pacifique est fortement exposé aux tremblements de terre et aux tsunamis. Or, sur le plan de la vulnérabilité, il arrive 160e sur les 171 pays recensés donc très peu vulnérable.

La stratégie du Japon dans les dernières décennies s'appuie sur le développement d'un système d'alerte précoce. Ils ont par exemple mis des bouées en haute mer pour capter les variations anormales du niveau de la mer suite à un tremblement de terre qui pourrait conduire à un tsunami. On est donc capable d'alerter la population des régions à risque en quelques minutes seulement.

II-3-5-La vulnérabilité de l'Afrique

Au chapitre de la vulnérabilité aux changements climatiques, plusieurs pays africains figurent en tête de liste, particulièrement ceux du Sahel - une bande de terre aride qui s'étend au nord du continent.

Les pays de l'Afrique sont parmi les pays les plus pauvres du monde. Ils ont donc une vulnérabilité socioéconomique beaucoup plus importante que les pays plus riches.

Si les pays africains affichent un indicateur de vulnérabilité élevé selon les données rassemblées par l'ONU, leur degré d'exposition à un possible désastre naturel est relativement faible.

Ils sont plutôt en proie à des crises chroniques. Ce sont des phénomènes climatiques qui, sur le très long terme, auront des conséquences dramatiques aussi importantes qu'un tsunami ou un tremblement de terre.

Leur degré d'exposition est toutefois appelé à augmenter dans les prochaines années. Les pays africains ont une population de plus en plus nombreuse qui se concentre dans les zones urbaines. En campagne, les gens n'ont plus la possibilité économique de faire survivre la population entière compte tenu de la difficulté d'y développer l'agriculture.

II-3-6-Mieux vaut prévenir que guérir

Chapitre II Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)

Des inondations majeures ont affecté de grandes villes plus ou moins préparées à faire face à ces événements météorologiques extrêmes. Comment les villes peuvent-elles s'adapter et réduire l'impact des pluies torrentielles?

Il faut rappeler que la stratégie qui s'appuie sur la prévention est le principal outil dont disposent les pays pour réduire les impacts d'un éventuel événement climatique ou sismique extrême. Il faut aider les pays pauvres à réduire la vulnérabilité de leur système, de leurs infrastructures, qui sont souvent inappropriées pour faire face à une catastrophe naturelle, voire inexistantes.

II-3-7-Du béton qui n'éponge rien

Les villes ont été pensées en fonction du béton et de l'asphalte ; les infrastructures routières n'ont cessés de rattraper les quartiers résidentiels. Beaucoup d'urbanistes développent de nouveaux quartiers dans les marais et dans les zones inondables qui auraient pu vraiment servir d'éponges aujourd'hui pour ces inondations. Ces quartiers ne sont pas construits avec des matériaux permettant à l'eau de s'infiltrer.

C'est des villes vraiment imperméables. Grasse à l'envahissement du béton, on n'a pas favorisé les infrastructures et les espaces verts, les parcs,...etc.

II-3-8- Il y a une réflexion à faire

Les dispositifs de protection donnent aux promoteurs et autres développeurs la fausse assurance qu'ils peuvent urbaniser des parcelles qui vont être toujours plus vulnérables. Aux Pays-Bas et en France parmi tant d'autres pays d'Europe, on a mis des stratégies qui consistent à construire des quartiers justement en acceptant le risque. L'idée est de laisser passer l'eau et de protéger le bassin versant. Les citoyens eux-mêmes doivent être appelés à jouer un rôle en prévoyant sur leurs propres parcelles des systèmes d'absorption de l'eau.

II-4- Les inondations en Algérie

II-4-1-Introduction

Au cours de l'élaboration de ce mémoire, plusieurs inondations ont touché le pays surtout au mois d'Avril et début Mai .Les fortes pluies qui sont abattues sur la presque totalité des wilayas du pays notamment Batna, Tiaret (surtout le Mercredi 25 avril), Sétif (Ain El Kebira le 20 Mai) ont causé d'énormes inondations causant d'énormes dégâts matériels et

Chapitre II Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)

plusieurs pertes humaines dont au moins trois à Tiaret et une à Sétif. Ce qui n'a pas été sans provoquer un vent de panique parmi la population. En effet, en quelques heures de précipitations, plusieurs routes ont été rendues impossibles à la circulation à travers plusieurs wilayas.

L'Algérie est confrontée aux phénomènes de crues et d'inondations qui sont plus fréquents que les séismes et les glissements de terrains. Ces phénomènes provoquent des catastrophes et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Ces crues, variables dans le temps et dans l'espace, sont violentes, parfois rapides et soudaines et surtout imprévisibles. Pour illustrer le caractère catastrophique et la variabilité spatiale et temporelle de ces phénomènes en Algérie, on décrit ci-dessous quelques cas significatifs des inondations.



Fig. II-4 :
Oued BOU-SAADA
en crue le : 11/05/2018

(Photos établie par les auteurs)

II-4-2- Novembre 2001 : hécatombe à Bab el Oued

Entre le 9 et le 11 Novembre 2001, des pluies se sont abattues sur Bab el Oued (Alger) atteignant 262 mm dont 204 mm en 24 heures, elles ont provoqué l'une des inondations les plus dramatiques qu'a connue l'Algérie. Le bilan de la catastrophe s'est soldé par plus de 700 morts, 115 disparus et des milliers de blessés. Les dommages aux biens (effondrement des constructions, coupures des routes et de l'électricité, renversement de voitures, arbres et poteaux électriques arrachés, liaisons ferroviaires interrompues entre

Chapitre II Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)

Alger et les autres villes) ont été estimés à 30 milliards de dinars algériens (environ 300 millions de dollars).

D'autres villes du nord ont été touchées par ce phénomène, nous citerons :

- 12 Octobre 1971 a Azzazga (pluie journalière de 182.6 mm) Dégâts: 40 morts
- Tizi Ouzou (688 mm au en 04 jours et 381 mm en 01 journée au Col de Sakamody) 52 morts et 4570 maisons détruites
- 01 Septembre 1980 à EL EULMA: 44 morts, 50 blesses et 365 familles sinistrées
- 22 Aout 1983 à Birrine (W.Djelfa): 10 morts, 10 blesses.
- 03 Février 1984 - Est Algérien. Dégâts: Jijel: 20 morts, Constantine: 1140 familles sinistrées, Guelma : 03 disparus, 157 familles sinistrées
- Oued R hiou (le 20 octobre 1993) :23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus
- 23 Septembre 1994 les régions les plus touchées sont: Bordj Bou Arréridj, Msila, Djelfa, Medea, Bouira, Ain Defla et Tiaret. Bilan national: 27 morts, 84 blessés et 941 familles sinistrées.
- 29 Septembre au 02 Octobre 1994 : Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays (Mascara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbés). Dégâts: Mascara: 02 morts. Tissemsilt: 09 morts. Sidi Bel Abbés: 02 morts.

II-4-3- Villes du Sud et inondations

De multiples inondations de grandes envergures ont toujours marqué le Sud du pays et les dégâts, tant matériels qu'humains, ont été toujours importants.

Des averses torrentielles et brèves engendrent une concentration des eaux ruisselées dans les lits d'oueds et torrents, le plus souvent à sec, et peuvent provoquer des débordements particulièrement destructeurs. A Ghardaïa en Octobre 2008 des pluies torrentielles ont fait 34 personnes mortes en plus des dégâts matériels importants.

Par ordre chronologique nous citerons quelques-unes à titre d'exemple :

- 01 Septembre 1989 à BISKRA: 02 morts et 35 blessés.
- 03 Juin 1991 à Ghardaia: 09 morts
 - 29 Septembre au 02 Octobre 1994 (Ghardaia, Laghouat, Biskra,). Dégâts: Biskra: 08 morts, 22 familles sinistrées.
- 14 Janvier 1999 à Adrar. Dégâts: 12 morts et plusieurs disparus.
- Illizi, Adrar et Tamanrasset en Mars 2005
- Tindouf en Février 2006
- Béchar en Octobre 2007 et 2008 (8 morts)

En Algérie le Plan National de l'Eau (PNE) établi en Septembre 2015 prévoit des travaux de protection de 200 localités contre les inondations et l'aménagement de 300 km de lit d'oued.

Chapitre II Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)

Une étude sur la stratégie nationale de lutte contre les inondations à l'horizon 2030 révèle que l'Algérie totalise 689 sites à risques d'inondations, dont 50 à haut risque parmi lesquels 24 impliquent une intervention prioritaire.

Le ministre des ressources en eau a annoncé, le 29/05/2018 lors du forum du quotidien Echaab, que son département a acquis des radars ultra modernes, performants et sophistiqués qui seront installés dès le mois de Juin au niveau des zones à grands risques et des villes menacées par les inondations. Selon lui l'Algérie a mis en point une stratégie nationale de lutte contre les inondations avec l'aide et l'appui d'experts de l'Union Européenne. En aval de ce nouveau système d'alerte, Le ministre a évoqué le recours aux images satellitaires après la convention signée avec l'Agence Spatiale Algérienne.

II-5-Gestion des inondations

Toute stratégie de gestion des inondations doit répondre aux critères suivants :

- rétablir ou améliorer des capacités d'écoulement (entretien des berges, élimination des embâcles et obstacles, curage des cours d'eau...);
- limiter l'imperméabilisation des sols en milieu urbain (infiltration des eaux de toitures et de ruissellement (après dépollution le cas échéant), création de joints et d'espaces verts susceptibles de servir de zone tampon).
- favoriser la rétention et l'infiltration en amont, par la préservation et la restauration de zones humides, par des pratiques culturelles plus adaptées et une gestion d'anticipation du ruissellement visant à stocker l'eau dès le haut du bassin versant, en freinant son écoulement et en l'infiltrant mieux dans les sols via un réseau de marais, de mares, de fossés, talus, haies, noues, prairies et herbages inondables évitant de grossir les inondations en aval.

L'approche méthodologique à définir de la cartographie des zones inondables repose essentiellement sur la démarche suivante:

- Répertorier les zones inondables par des investigations sur terrain, l'utilisation de la photographie aérienne et des enquêtes auprès des riverains.
- Reconstituer les données historiques relatives aux crues et évaluer les fréquences d'occurrence de ces événements.
- Etudier les caractéristiques hydroclimatologiques et topographiques des bassins versants sujets à des inondations.
- Utiliser les outils de cartographie automatique pour superposer l'ensemble de couches et élaborer des cartes définissant les degrés du risque pour chaque région.

II-6-Outils informatiques :

En plus des outils informatiques (différents logiciels, cartographie numérisée ...etc) que nous aurons à utiliser pendant ce mémoire (Arc gis, Hec Hms, Hec Ras, ...), d'autres outils et méthodes sont pratiqués à travers le monde nous citerons à titre d'exemple l'assureur

Chapitre II Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)

spécialisé en dommages FM Global qui a proposé une cartographie mondiale en ligne des zones inondables. Une version allégée et gratuite de cet outil est mise à la disposition des entreprises et du grand public.

Comment savoir si un site industriel, résidentiel ou autre se trouve-t-il en zone inondable ? Une question cruciale quand on sait que ce type de sinistre a été la catastrophe naturelle la plus coûteuse dans le monde en 2016, et ce, pour la quatrième année consécutive. Grâce à ce nouvel outil, fiable et cohérent, les spécialistes peuvent désormais déterminer rapidement le risque inondation qui pèse sur chacun de leurs sites.

Utilisant des modèles hydrologiques et hydrauliques et prenant en compte des informations telles que les précipitations, l'évaporation, la fonte des neiges et la topographie et s'appuyant sur les connaissances et données collectées par plus d'une dizaine d'organismes scientifiques, universitaires et gouvernementaux, cette carte permet d'identifier les zones présentant un risque d'inondation, même dans des régions du monde pour lesquelles on disposait jusqu'à présent de données peu fiables, incohérentes, voire inexistantes. Elle couvre en effet la grande majorité des terres émergées de la planète, dont des territoires jusqu'ici non cartographiés en Afrique, en Amérique du Sud, en Asie et en Europe.

II-7-Conclusion

L'inondation est un des principaux risques naturels en Algérie et dans le monde, et est la catastrophe naturelle causant le plus de dégâts. Pour la période 1996-2005, environ 80 % des catastrophes naturelles mondiales étaient d'origine météorologique ou hydrologique.

L'inondation est l'une des causes de sinistres dommages aux biens les plus coûteuses, et la situation ne cesse de se détériorer en raison du changement climatique, de la mondialisation et de l'urbanisation.

L'inondation est considérée comme un événement climatique extrême. Souvent qualifiée de risque naturel, elle est lourde de conséquences (pertes humaines, sociales, économiques et environnementales) tant pour les pays développés que pour les nations en développement bien que tous ne soient pas affectés de la même manière. La capacité à gérer l'impact de l'inondation varie également d'un pays, d'une région, d'une communauté et d'un groupe de population à l'autre.

Pour remédier à cette situation, l'amélioration de la prévision et de la prévention des inondations reste un outil essentiel. Une meilleure information des populations exposées et la diminution de la vulnérabilité des biens situés dans les zones inondables sont à privilégier. Cependant, si l'État et les communes ont des responsabilités dans ce domaine, chaque citoyen doit aussi contribuer à se protéger efficacement et diminuer sa propre vulnérabilité.

Mais, ce qu'il faut, par-dessus tout, c'est un changement de règles pour transformer complètement nos façons de concevoir nos quartiers et nos villes. Il faut arrêter de construire en zone inondable (notre cas d'étude), arrêter de bâtir sur les marais et les parcs, sur les zones quasi naturelles (cas des autres villes et autres pays) et plutôt les protéger.

Chapitre II Les inondations dans le monde et en Algérie (Enjeux et stratégies)

En plus des autorités et des spécialistes, les citoyens ont, eux aussi, un rôle majeur à jouer. Ainsi, ils peuvent choisir des pavés filtrants plutôt que du bitume pour leur terrain, aménager des toits verts et choisir des matériaux qui permettront l'absorption de l'eau. L'implication de la société civile est essentielle.

Chapitre 3

III.1.Introduction

Le présent mémoire a pour objet l'étude des RISQUES D'INONDATION ET OCCUPATION DES SOLS en prenant comme cas d'étude la ville d'Ain El Melh.

L'étude du site constitue un volet très important et prépondérant dans le choix futur des variantes d'aménagement et de protection de cette zone.

III.2.situation géographique et organisation administrative

III .2 .1.Situation géographique

Ain El Melh est une commune de la wilaya de M'Sila. L'agglomération, chef-lieu de commune, située à 45 km au Sud de Bou-Saâda et à 115 Km au Sud de M'Sila, est également siège de daïra.

Elle se trouve à l'intersection de deux routes nationales importantes à savoir la RN 89 et la RN 70.

La ville d'AIN EL-MELH est dans les monts des Ouled Naïl et du Zab. Ici l'Atlas Saharien, bien qu'il ait parfois plus de 1 500 m de hauteur, ne dépasse pas les hautes plaines de 100 à 200 m.

Ain El Melh est située à une altitude de 900 m dans une plaine à caractère désertique, caillouteuse.

La ville d'Ain El Melh se situe à l'extrémité Nord de la commune, sur un plateau limité par l'oued Betsaa et dominée au Nord par Djebel Lahdjar et au Sud- Ouest par le djebel Harasa.

Le périmètre de l'agglomération qui s'étend de part et d'autre de l'oued Betsaa, se compose de deux unités spatiales distinctes.

III.2.2.Délimitation de la commune

La ville de AIN ELMELH est située dans la partie Sud de la wilaya de M'sila. Elle est limitée comme suit :

- ✓ Au NORD : Commune de DJEBEL MESSAAD
- ✓ Au SUD : Communes de AIN ERRICH et SIDI M'HAMMED
- ✓ A l'EST : Commune de SIDI M'HAMMED
- ✓ A L'OUEST : Communes de AIN ERRICH, SLIM et BIR FADHA

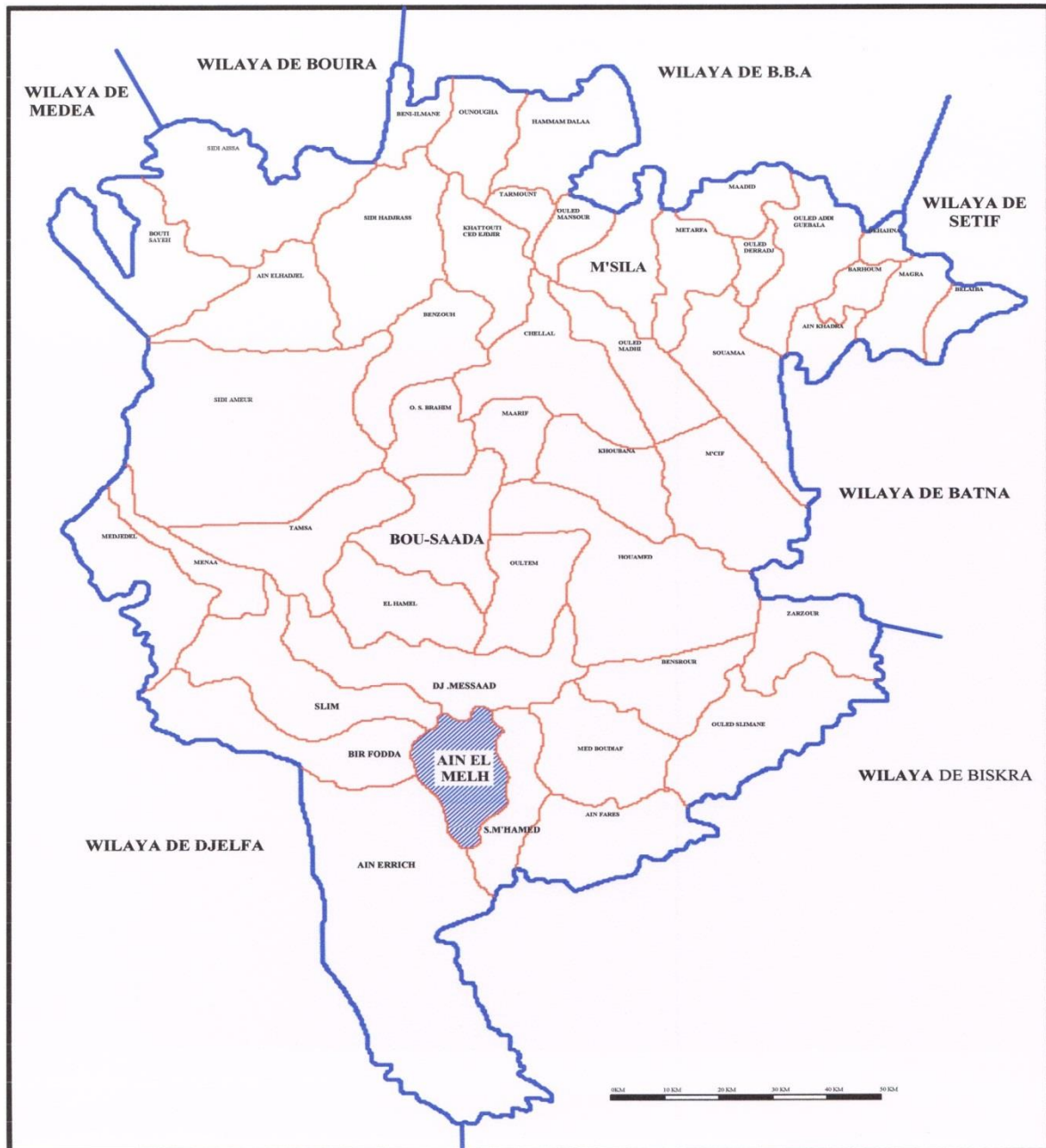


Fig. III -1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA COMMUNE DE AIN EL MELH

III.3. Superficie et Densité

La ville d'AIN EL-MELH s'étend sur une superficie d'environ **6,62 km²**.

La population totale de AIN EL-MELH en 2015 s'élève à 31350 habitants ce qui représente une densité de **4733 hab/km²**.

III.4. Présentation générale et étude topographique

III.4.1. Relief

Chapitre III : PRESENTATION DU SITE DE L'ETUDE

L'influence du relief sur les écoulements des surfaces se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrologiques varient avec l'altitude, la topographie (précipitation, température...etc.) et la morphologie du terrain en autres.

Le centre - ville d'Ain El Melh est urbanisé et présente une pente moyenne. Le côté Nord-Ouest de La ville est de part et d'autre de la route menant vers Bou-sâda, où se trouve la zone d'extension de la ville dans laquelle sont implantés la ZHUN et les équipements collectifs (hôpital, écoles, lycée, tribunal, daïra, sûreté nationale, administrations ...etc.). La ville d'Ain El Melh se trouve entre deux grands oueds (oued Betsaa et oued Ouarir) et qui présentent une menace pour la ville en cas de crues d'eaux pluviales.

Au Sud – Est de la ville d'Ain El Melh se trouve aussi une grande agglomération s'appelant Bassatines (jardins) et qui constitue à elle seule les 40% de la ville, elle est très équilibrée et nom urbanisée à part les lotissements et l'auto – construction. Elle est séparée de l'ancienne ville par l'oued Betsaa.

III.4.2.Climat :

On remarque deux saisons bien distinctes :

- ✓ très chaud et sec en été.
- ✓ très froid et légèrement pluvieux en hiver.

Le climat de la ville d'Ain El Melh est identique à celui d'Ain Rich à 30 km et d'après l'analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie par K. Body (1981) le climat est semi-aride sec et froid.

III.4.3.Couvert végétale

Nonobstant la forêt située au Nord-Est, les cultures céréales et les exploitations agricoles aux abords des oueds, notamment Ouarir (traversant les communes : Ain el Meh et Djebel Messaad), Hassi Oudhene (C/Slim), Tikrazine (C/Bir Fodha), le reste du bassin versant surplombant la ville de Ain El Melh est composé d'une plaine à caractère désertique, caillouteuse. L'alfa, le chih et les autres herbes steppiques y occupent des surfaces considérables.

III.4.4.Pente du Terrain:

Le terrain formant notre zone d'étude est constitué par des pentes allant de 0,1 % (terrain presque plat) à 10 % (au niveau des pieds de montagnes).

III.5. Etude géologique

III.5.1. Géologie

Le sol est généralement constitué de tuf argileux à calcaire de couleur jaunâtre à blanchâtre dans la couche supérieure et de calcaires et de marnes en profondeur, renfermant des traces de gypse

Sur le plan structural, la zone étudiée s'inscrit dans le domaine atlasique proprement dit, à structures complexes et où s'observent une succession de plis typiques de l'Atlas saharien : prédominance des synclinaux, à fonds parfois larges, encadrant des anticlinaux relativement allongés.

III.5.2. Sismicité du site

Le Nord de l'Algérie est associé à une activité sismique superficielle modérée, liée aux mouvements des plaques parasismiques algériennes, le territoire algérien est divisé en quatre zones sismiques:

- ❖ Zone O : sismicité négligeable.
- ❖ Zone I : sismicité faible.
- ❖ Zone II : sismicité moyenne.
- ❖ Zone III : sismicité forte.

D'après les Règles Parasismiques Algériennes (RPA99), le terrain en question est situé dans une zone de faible sismicité (zone I).

L'analyse des secousses sismiques recensées pour la région du site et ses environs, montre que quelques tremblements de terre s'y sont produits avec des épicentres plus ou moins proches de la ville de Slim (distante du site d'environ 39.4 kms à l'ouest à vol d'oiseau) avec de faibles magnitudes.

III.5.3. Perméabilité

Comme cité auparavant et vu la qualité du sol du bassin versant on peut classer le terrain comme étant moyennement perméable à peu perméable.

III.6. Etude climatique

III.6.1. Précipitation

Ain El Melh est caractérisé par un climat semi-aride avec une précipitation moyenne environ de 260 mm. Les pluies sont faibles :

Chapitre III : PRESENTATION DU SITE DE L'ETUDE

P en mm : pluie moyenne annuelle 260 mm.

P_{Jmax} en mm : moyenne des pluies journalières maximales annuelles = 32,2 mm

Pour les besoins de notre étude nous allons exploiter deux séries d'observations.

N.B : Une étude plus détaillée sera présentée dans le chapitre « Hydrologie »

III.6.2.Température

Les données concernant les températures relèvent de la station de Bou Saada (AIN EDDIS-AEROPORT)

CODE STATION 60 515

LONGITUDE 04° 12 ' ' Est LATITUDE 35° 20'' Nord ALTITUDE 459 m

- période d'observation 2001/2015, recueillie auprès de la circonscription des forêts de la daïra de Bou-Saada.
- période d'observation 2011/2016 (plus détaillée), recueillie auprès de la circonscription de l'Office National de Météorologie

Pour les valeurs des températures (TMAX - T_{MOY} - T_{MIN}) : voir Annexe I

III.6.3.Le Vent

Notre site est traversé par des vents dominants d'orientation NORD-OUEST, alors que les vents (de type SIROCCO) d'orientation SUD-EST le traverse pendant la période d'été (juillet-aout).

La vitesse moyenne annuelle va de 08 à 20 Kms/h, alors que la vitesse maximum peut atteindre 30 à 40 Kms/h avec des pics allant jusqu'à plus de 100 Kms/h.

III.6.4.Evaporation

Tab. III-1 : Evaporation

Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
2011	56,6	73,3	87,9	106,4	106,4	144,5	201,6	304,1	190,4	99,6	63,1	46,9	138
2012	57,2	63,6	94,6	115,5	185,7	272,1	328,6	301,5	190	125,3	54,2	56,1	153,7
2013	85	69,7	129,9	139	161,6	214,4	277,5	227,5	153	133,1	71,8	36,7	141,6
2014	65,8	87,3	96,5	162,7	180,9	218,6	277,7	276,5	193,3	154,5	81,1	59,5	154,5
2015	71,6	71,6	146,4	195	286,1	339,4	315,8	206,2	111	82,1	36,8	36,8	169,3
2016	73,3	114,1	160,8	171,8	221,1	249,3	344,6	312,7	223,2	169,8	34,7	36,8	188,7

Chapitre III : PRESENTATION DU SITE DE L'ETUDE

III-7-L'urbanisation selon le PDAU

Dans le PDAU de 1996, seize Plan d'Occupation des Sols (POS) ont été agréés dont deux (N°07 et 11) ont été, depuis, étudiés et le troisième (04) était, en 2015, dans la phase finale.

Tab.III- : Etat des POS en 2015 proposés dans le PDAU

N° du POS	SUPERFICIE (Ha)	OPERATION	OBSERVATION
01	56.72	AMENAGEMENT	Non étudié
02	59.00	AMENAGEMENT	Non étudié
03	83.80	AMENAGEMENT+RESTRUCTIRATION	Non étudié
04	33.87	AMENAGEMENT+RESTRUCTIRATION	En cours
05	32.22	AMENAGEMENT	Non étudié
06	48.05	RESTRUCTIRATION	Etudié
07	69.65	RESTRUCTIRATION	Non étudié
08	53.60	AMENAGEMENT	Non étudié
09	78.07	RESTRUCTIRATION	Non étudié
10	33.22	RESTRUCTIRATION	Non étudié
11	68.42	AMENAGEMENT	Etudié
12	104.67	RESTRUCTIRATION	Non étudié
13	77.52	RESTRUCTIRATION	Non étudié
14	113.45	RESTRUCTIRATION	Non étudié
15	87.05	AMENAGEMENT	Non étudié
16	141.37	AMENAGEMENT	Non étudié

De ce qui précède on peut conclure que les études préconisées dans le PDAU n'ont pas été réalisées alors qu'aucune action de réalisation n'a été mise en œuvre dans le terrain.

III-8-CONCLUSION :

Après avoir cerné, dans ce chapitre, les données concernant notre site d'étude, notamment le côté géographique, topographique, géologique, climatologique, ressources hydriques, nous pouvons entamer l'étude hydrologique dans le chapitre suivant.

Chapitre 4

IV.1.Introduction

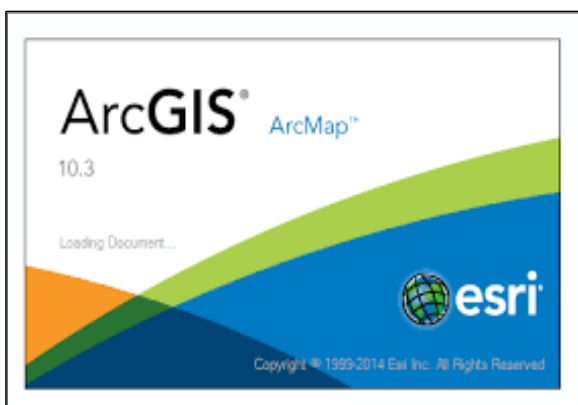
L'hydrologie est définie comme étant la science qui étudie le cycle de l'eau et son évolution dans la nature. De ce fait, le but d'une étude hydrologique est donc de mettre en évidence les paramètres hydrologiques du talweg qui traverse la ville tels que les débits de crues, les apports du bassin (apports liquides et solide) qui constituent la base de dimensionnement des ouvrages d'aménagement hydraulique.

L'étude des averses revêt une importance capitale en hydrologie non seulement dans l'aménagement des cours d'eau mais aussi dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques qui protègent les contre les différents types d'inondation. La connaissance de la pluie probable est indispensable voir obligatoire pour la détermination des eaux du ruissellement.

IV-2-Présentation et Exploitation du logiciel Arc GIS 10.3

IV-2-1-Présentation du logiciel Arc GIS 10.3

Elaboré par ESRI (pour Environmental Systems Research Institute), il s'agit d'un logiciel qui compte parmi les produits les plus utilisés dans le domaine de la gestion de l'information dans l'espace géographique, offrant une multitude d'options et de possibilités d'analyse et de traitement de données via des extensions assez riches : spatiale Analyste, 3D, Analyste....Il faut signaler ici que nous avons utilisé la version 10.3. Arc GIS est un système composé de différentes plateformes qui permettent aux utilisateurs SIG de collaborer et partager des informations géographiques. Cet outil va nous permettre de délimiter les bassins versants et de calculer la superficie et le périmètre de ces bassins. Il va nous permettre également d'élaborer les cartes de pentes et hypsométriques.



Arc GIS est constitué d'une interface Arc Map et d'une interface Arc Catalog. La version 10.3 apporte la possibilité de gérer Arc Catalog et ArcToolBox directement depuis l'interface d'Arc Map.

IV-2-2-Présentation de l'interface Arc Map :

Arc Map représente les informations géographiques sous forme d'un ensemble de couches et les autres éléments sous forme d'une vue de carte. Il y a deux vues cartographiques principales dans Arc Map : « le mode Données » et le « mode Mise en page ».

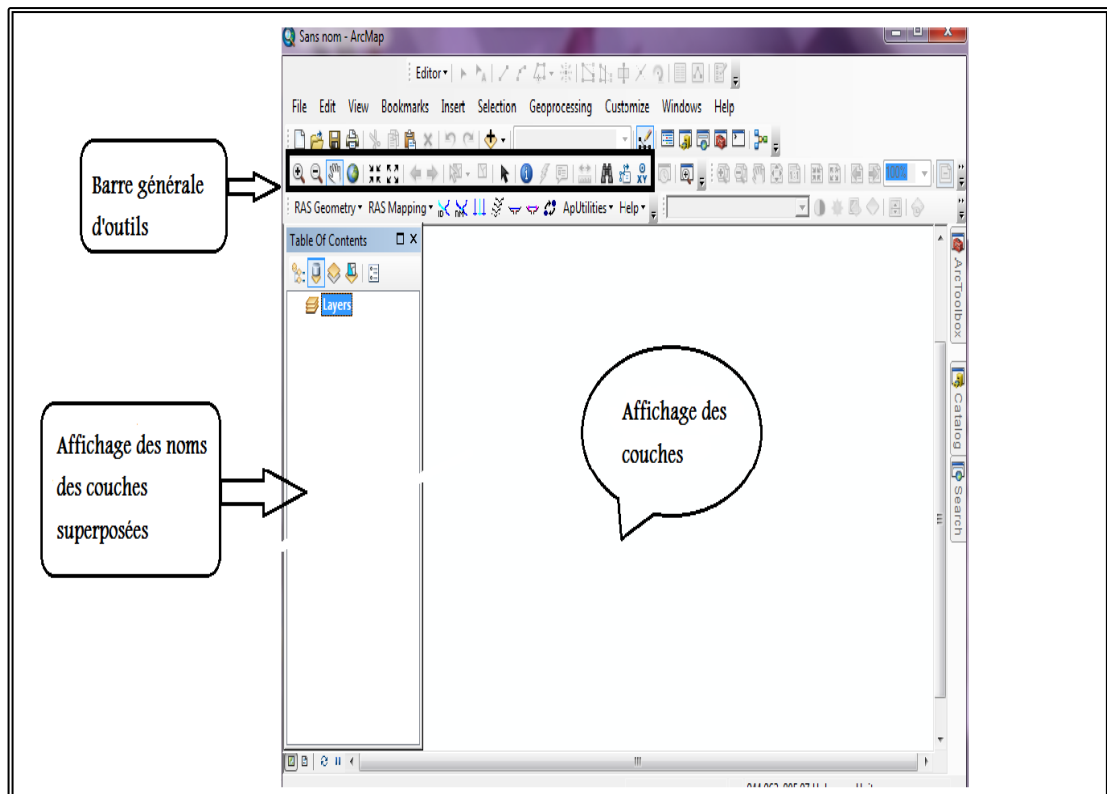


Fig.IV-1 : Interface de ArcMap (Etablie par les auteurs)

IV-2-3-Présentation de l'interface ArcCatalog :

L'une des premières applications à être utilisée dans ArcGIS, est ArcCatalog. D'abord, pour créer les fichiers dont vous avez besoin et les organiser mais aussi pour les prévisualiser dans leurs formes graphiques ou tabulaires. Par ailleurs c'est dans cette application qu'on édite les métadonnées d'un fichier de données géographiques.

L'interface d'ArcCatalog présente deux grandes fenêtres principales.

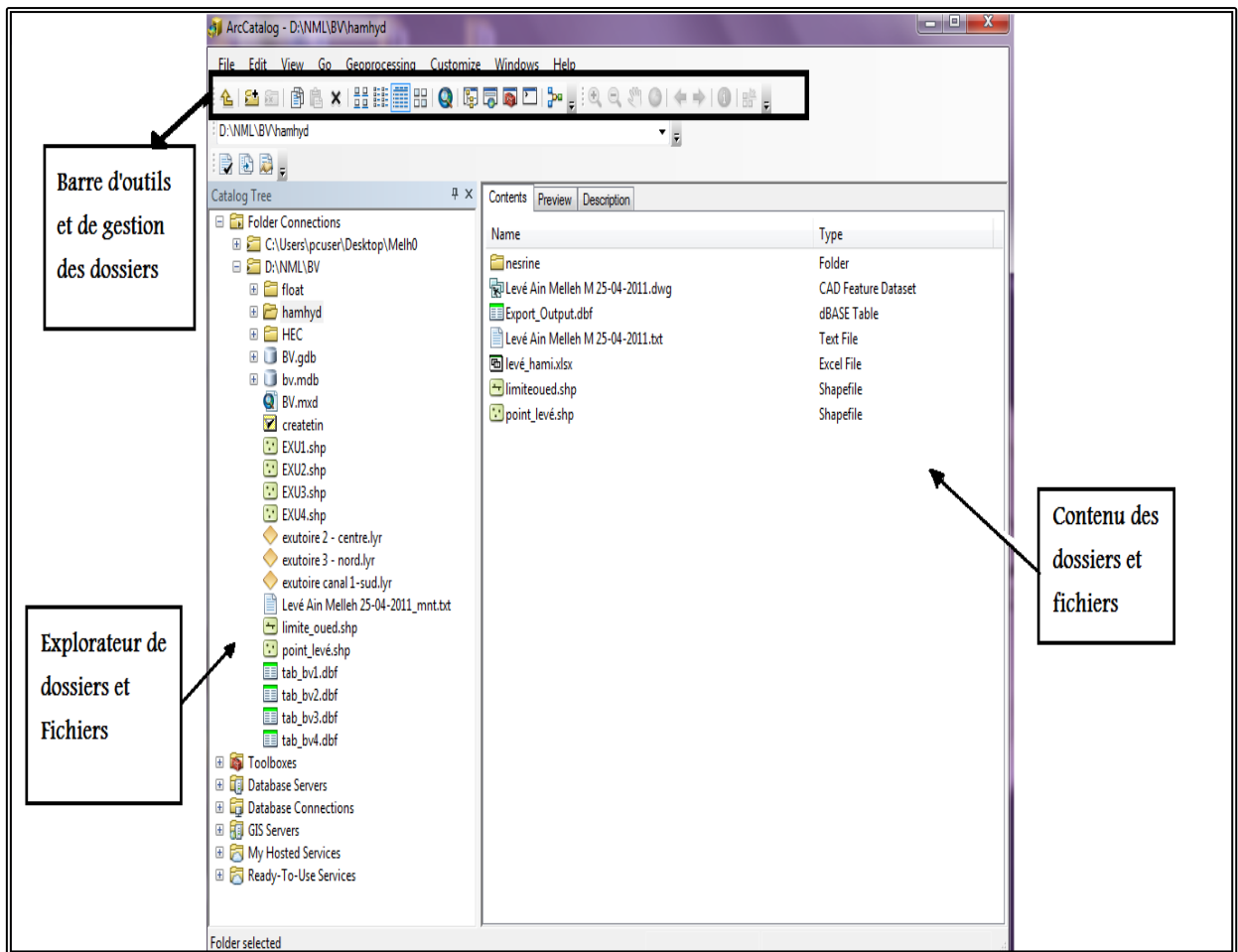



Fig.IV-2 :Interface de Arc Catalogue (Etablie par les auteurs)

IV-2-4-Présentation de l'interface ArcToolBox

Dans toute application ArcGIS Desktop, vous pouvez ouvrir la fenêtre ArcToolbox à l'aide du bouton Afficher/Masquer la fenêtre ArcToolbox  qui se trouve sur la barre d'outils standard ou en sélectionnant **Géotraitement** > **ArcToolbox**.

ArcToolbox est le module dans ArcGIS 10.3 qui permet d'accéder à toutes les fonctionnalités puissantes de traitement et d'analyse. La boîte à outils fournit un ensemble très riche de fonctions de géotraitement. Il convertit aussi les formats de données pour l'importation ou l'exportation de fichiers, ainsi que les changements de projection.

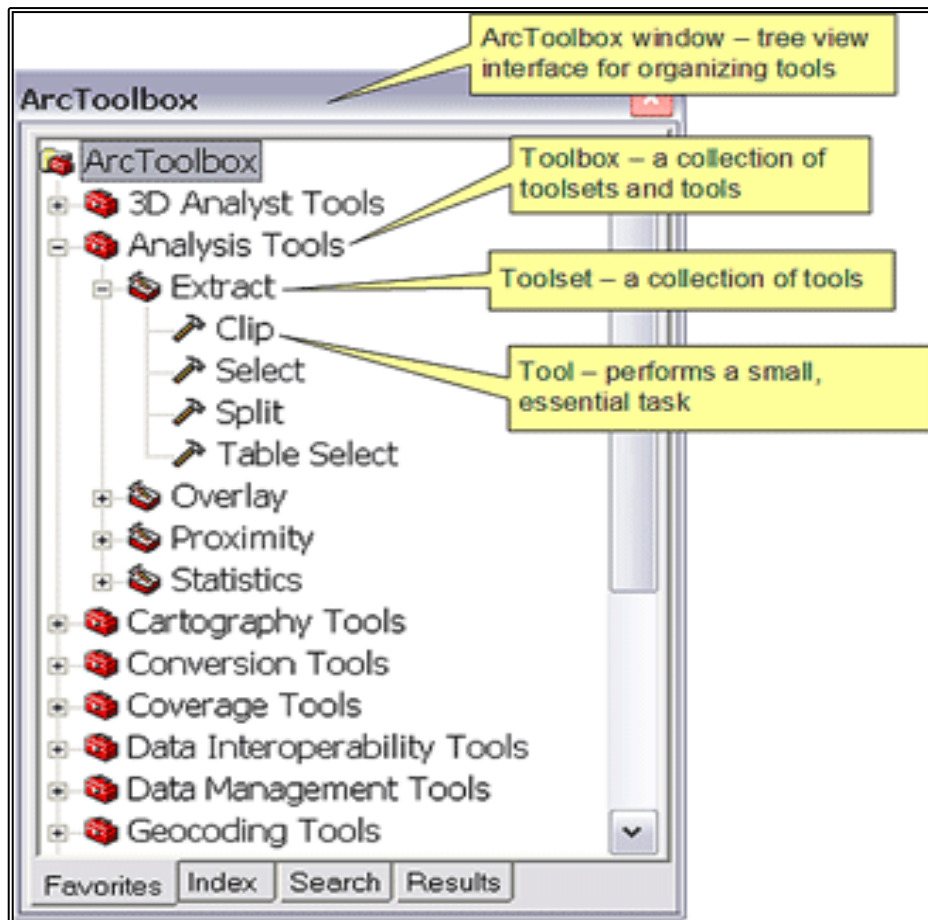


Fig.IV-3 : Interface d’ArcToolbox

IV-3-DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS

Procédure

Les instructions suivantes fournissent un workflow pour créer un modèle de bassin versant à l'aide du jeu d'outils Hydrologie de la boîte à outils Spatial Analyst et convertir le modèle en polygones de délimitation de bassin versant.

1. Exécutez l'outil Remplissage.
2. Exécutez l'outil Direction du flux.
3. Exécutez l'outil Accumulation de flux.
4. Exécutez l'outil Snap Point pour localiser les points d'écoulement vers les cellules de fort débit accumulé.
5. Exécutez l'outil Bassin versant.
6. Exécutez l'outil 'Raster vers polygone' pour créer des entités surfaciques à partir du raster de bassin versant.

Chapitre IV : Etude hydrologique

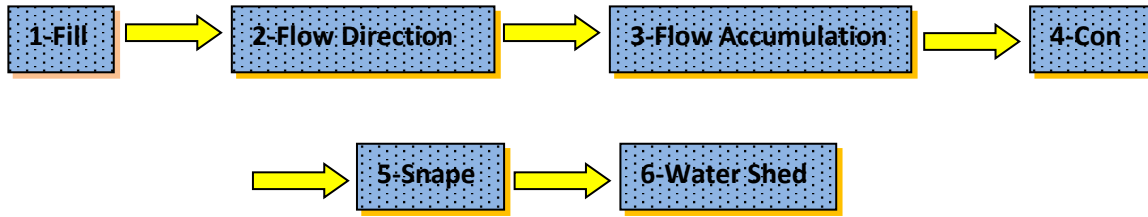


Fig.IV-4 : Etapes de délimitation d'un Bassin Versant (Etablie par les auteurs)

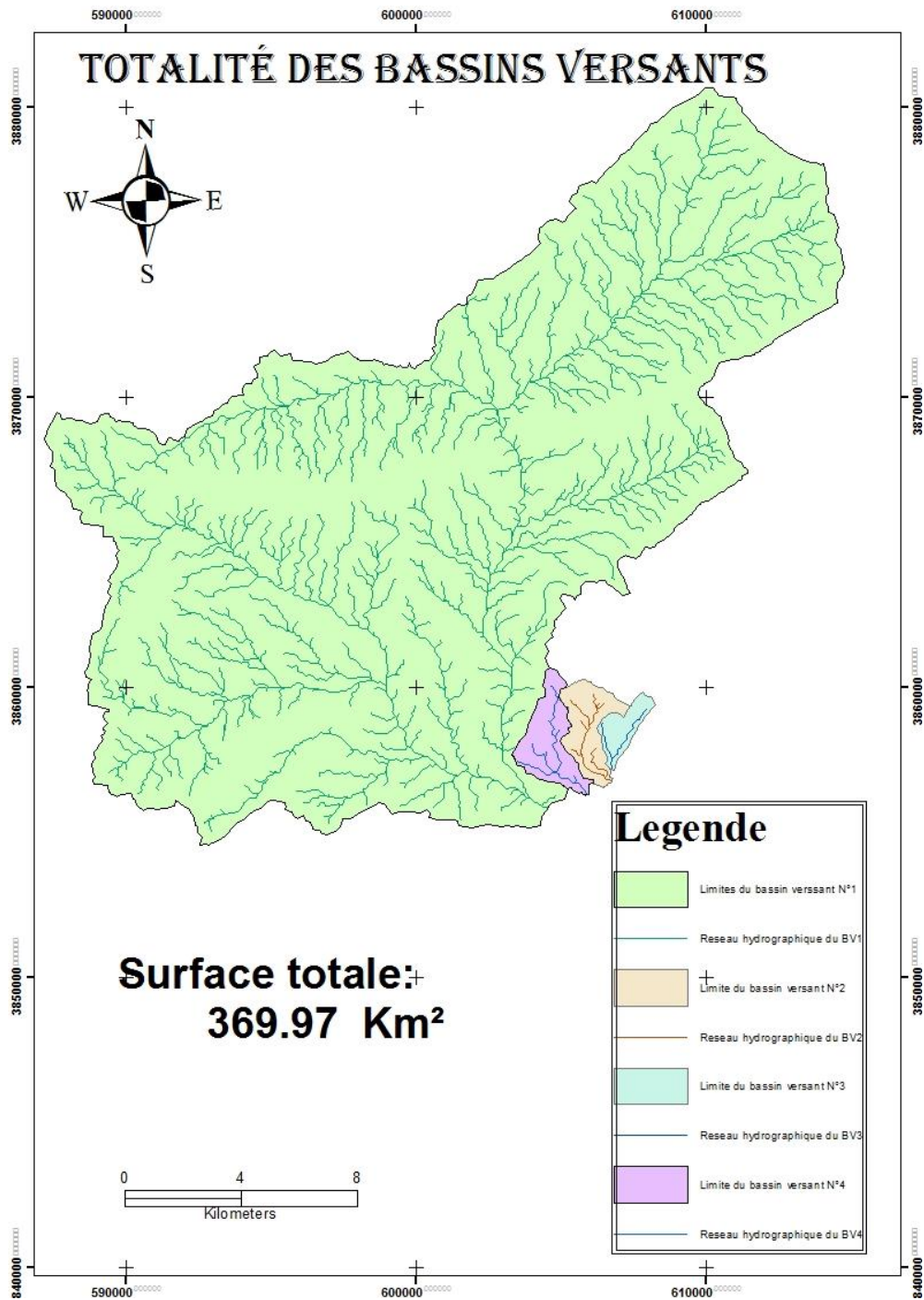


Fig .IV-5 : Totalité des Bassins Versants

IV-4-HYDROLOGIE

IV-4-1-Introduction

Le but de cette partie du mémoire est de mettre en évidence les paramètres hydrologiques du talweg qui traverse la ville tels que les débits de crues, les apports du bassin (apports liquides et solide) qui constituent la base de notre étude.

IV-4-2-Définition du bassin versant

On appelle « bassin versant » une surface délimitée par la ligne de partage des eaux et telle que la pluie tombant sur cette surface passe à un moment donné par l'exutoire du cours d'eau.

IV-4-3-La surface

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologique (apport ; volume de précipitation ou infiltration) .

IV-4-4-Le périmètre

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. Le bassin réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonction d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son propre milieu physique.

IV-4-5-Indice de compacité de Gravelius

L'indice de Gravelius « K_c » appelé aussi indice de forme, cet indice caractérise la forme et l'allongement du bassin versant.

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

Avec :

P: Périmètre du bassin versant,

S: Surface du bassin versant,

Plus le K_c sera proche de 1, plus le bassin aura une forme ramassé et plus le temps de concentration sera court.

Si K_G est proche de 1 le BV est de forme circulaire

Si $K_G \geq 1$ le BV est de forme allongée

Si $K_G = 1,12$ le bassin versant est carré

IV-4-6-Le rectangle équivalent

Afin de faciliter la comparaison entre les bassins versants, les hydrologues ont introduit la notion du rectangle équivalent. C'est une pure transformation géométrique du bassin versant, il est modélisé par un bassin de forme rectangulaire qu'on appelle rectangle équivalent, tels qu'il a les mêmes caractéristiques géométriques : la même superficie, le même périmètre, le même indice de forme et les mêmes caractéristiques climatiques. Les courbes de niveau dans le bassin modèle sont parallèles.

Si L et l représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors le périmètre du rectangle équivalent vaut : $P = 2(l + L)$

La surface du rectangle équivalent vaut : $S = L * l$

- La longueur du rectangle équivalent :

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

- La largeur du rectangle équivalent :

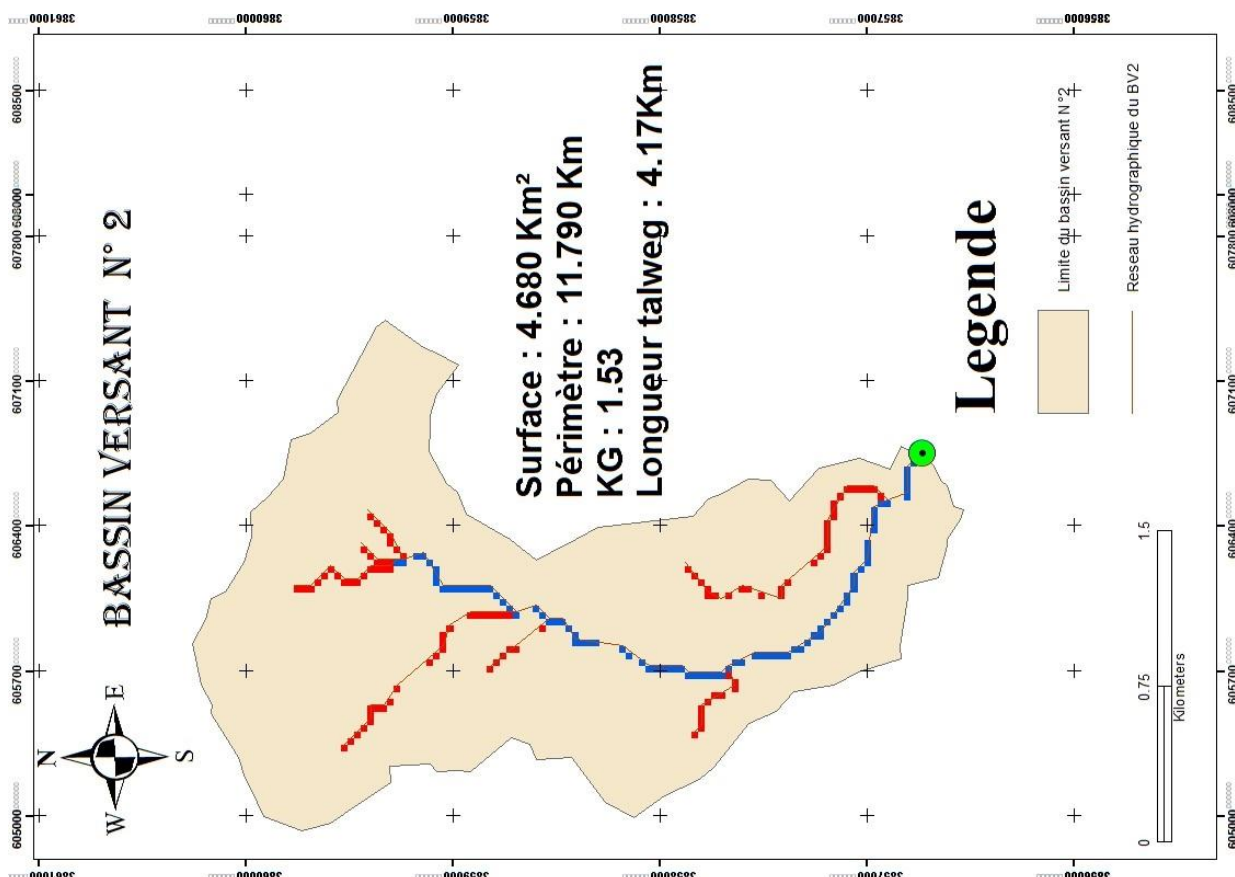
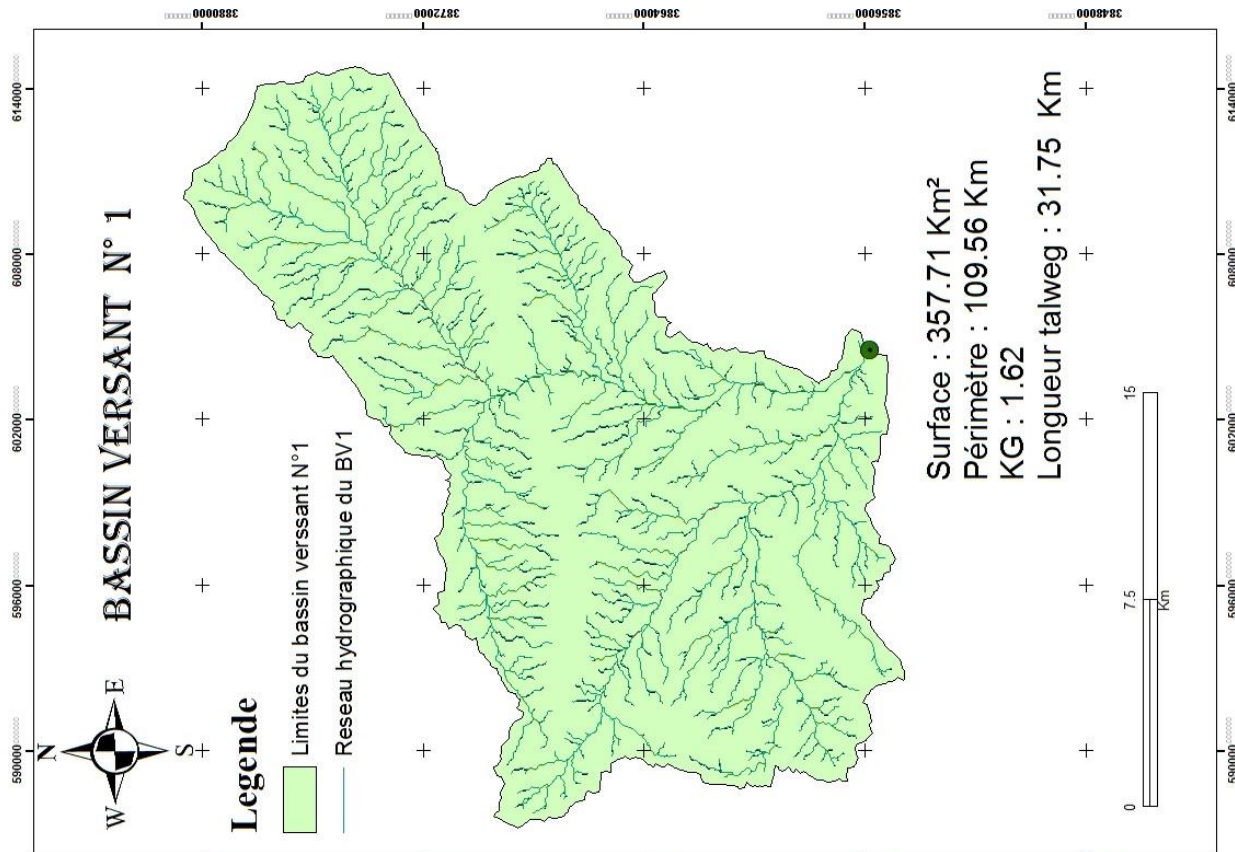
$$l = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_G}\right)^2} \right)$$

Les résultats des paramètres morpho-métriques des quatre bassins versants sont résumés dans le tableau suivant :

Bassin versant	S (km ²)	P (km)	KG	LONGUEUR (km)	LARGEUR (km)
B V 1	357.71	109.56	1.62	47.20	7.58
B V 2	4.68	11.79	1.53	4.95	0.95
B V 3	2.31	7.97	1.47	3.28	0.70
B V 4	5.27	12.97	1.58	5.53	0.95

Tab.IV-1 : Paramètres morpho-métriques des quatre bassins versants

Chapitre IV : Etude hydrologique



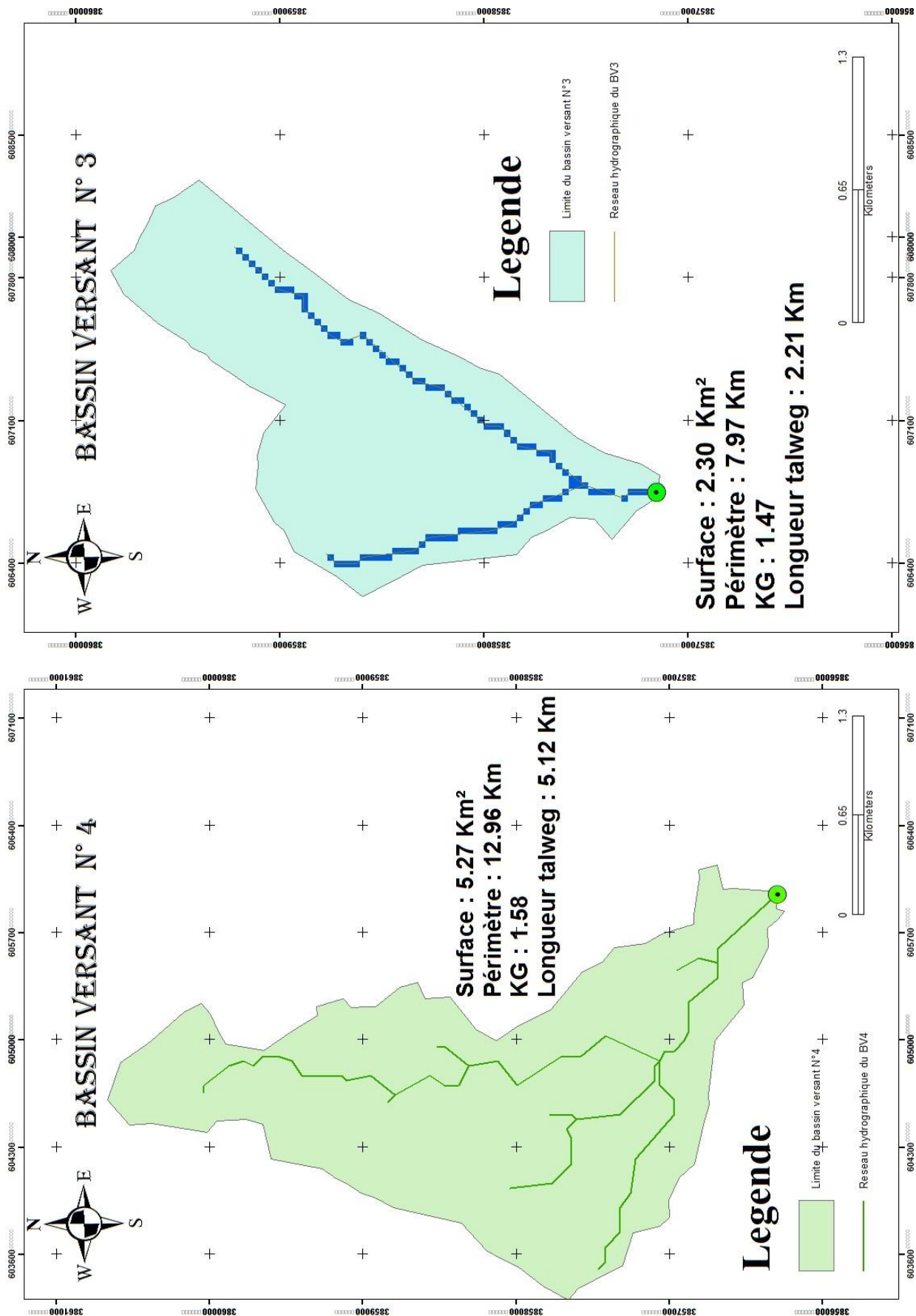


Fig.IV-6 : Bassins Versants a)BV1 b)BV2 c)BV3 d)BV4

Les reliefs :

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures... etc.) Et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

IV-5-Répartition des surfaces et courbes hypsométriques :

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du sous bassin en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

La courbe hypsométrique demeure un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elle peut en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donne des indications sur le comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

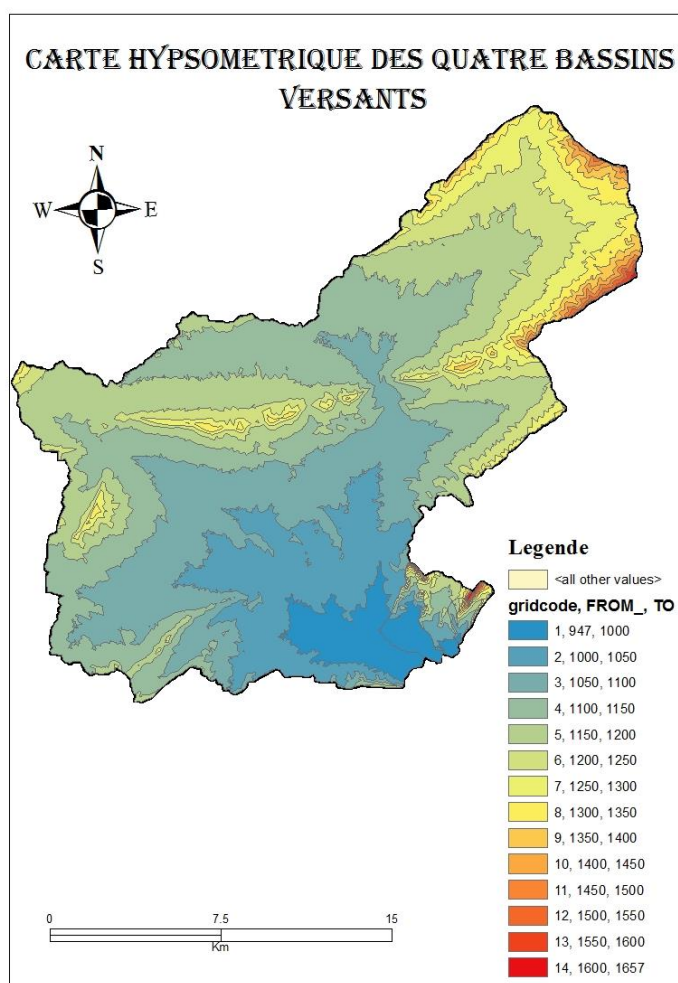


Fig.IV-7 : Carte Hypsométrique des quatre Bassins Versants

Chapitre IV : Etude hydrologique

Les résultats des surfaces partielles du bassin par tranche d'altitudes sont représentées dans le tableau suivant :

IV-5-1-Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin versant N°1 :

Tab.IV-2 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant N°1

Altitude (m)		Hmoy(m)	Si(Km ²)	∑Si(Km ²)	Si(%)	Si(cumu%)	Si,Hi(Km ² .m)
947	1000	973.5	13.15	13.15	3.67	3.67	12797.68
1000	1050	1025.0	43.87	57.02	12.26	15.94	44968.67
1050	1100	1075.0	67.42	124.44	18.84	34.78	72476.22
1100	1150	1125.0	84.45	208.89	23.60	58.38	95003.65
1150	1200	1175.0	70.05	278.94	19.58	77.96	82314.09
1200	1250	1225.0	35.98	314.92	10.06	88.02	44078.95
1250	1300	1275.0	24.20	339.12	6.76	94.78	30854.08
1300	1350	1325.0	10.48	349.60	2.93	97.71	13887.87
1350	1400	1375.0	4.18	353.78	1.17	98.88	5745.11
1400	1450	1425.0	2.05	355.83	0.57	99.45	2915.01
1450	1500	1475.0	1.10	356.93	0.31	99.76	1623.39
1500	1550	1525.0	0.60	357.53	0.17	99.93	921.20
1550	1600	1575.0	0.21	357.74	0.06	99.99	329.74
1600	1657	1628.5	0.05	357.79	0.01	100.00	78.73

La courbe hypsométrique est représentée dans la figure suivante :

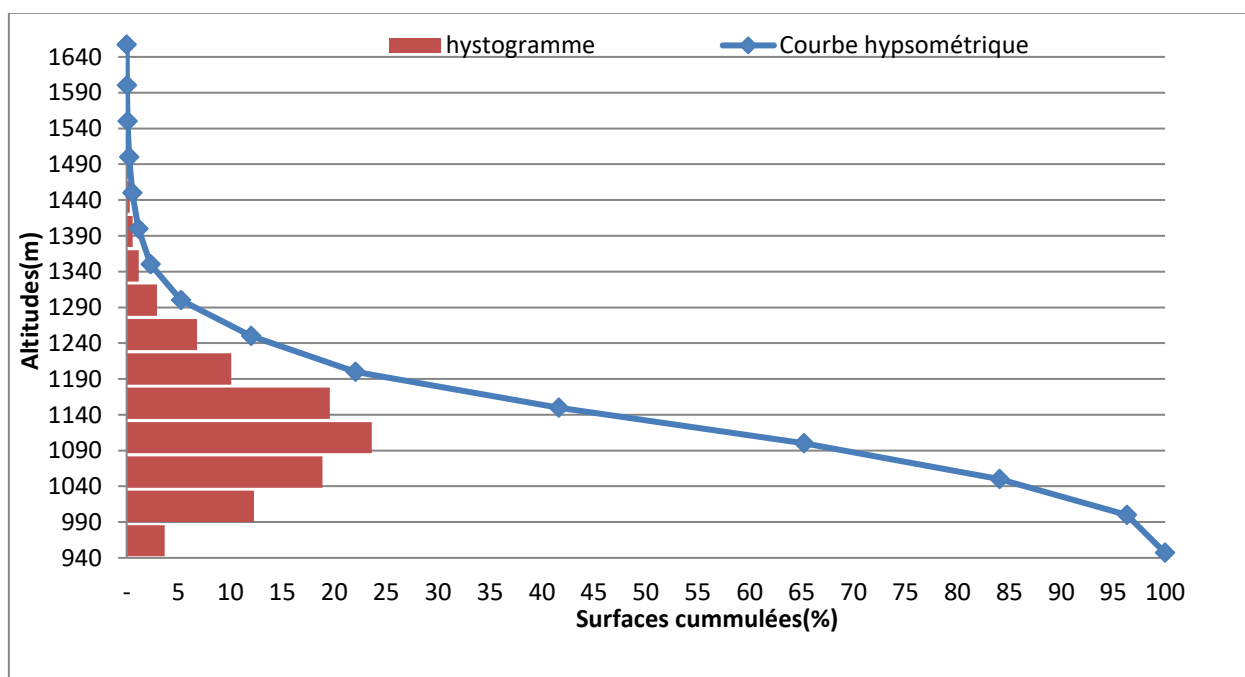


Fig.IV-8 : Courbe hypsométrique du bassin versant N°1

Chapitre IV : Etude hydrologique

IV-5-2-Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin versant N°2 :

Tab.IV-3: Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant N°2

Altitude (m)		Hmoy (m)	Si(Km ²)	∑Si(Km ²)	Si(%)	Si(cumu%)	Si,Hi(Km ² .m)
932	950	941	0.48	0.483	10.39	10.39	454.04
950	970	960	1.00	1.485	21.58	31.97	962.00
970	990	980	1.29	2.777	27.83	59.80	1266.70
990	1010	1000	1.26	4.033	27.04	86.84	1255.86
1010	1030	1020	0.39	4.425	8.44	95.28	399.64
1030	1050	1040	0.09	4.519	2.03	97.30	97.87
1050	1070	1060	0.04	4.562	0.92	98.22	45.21
1070	1090	1080	0.03	4.595	0.72	98.94	35.91
1090	1110	1100	0.01	4.608	0.28	99.22	14.55
1110	1139	1124.5	0.04	4.644	0.78	100	40.70

La courbe hypsométrique est représentée dans la figure suivante :

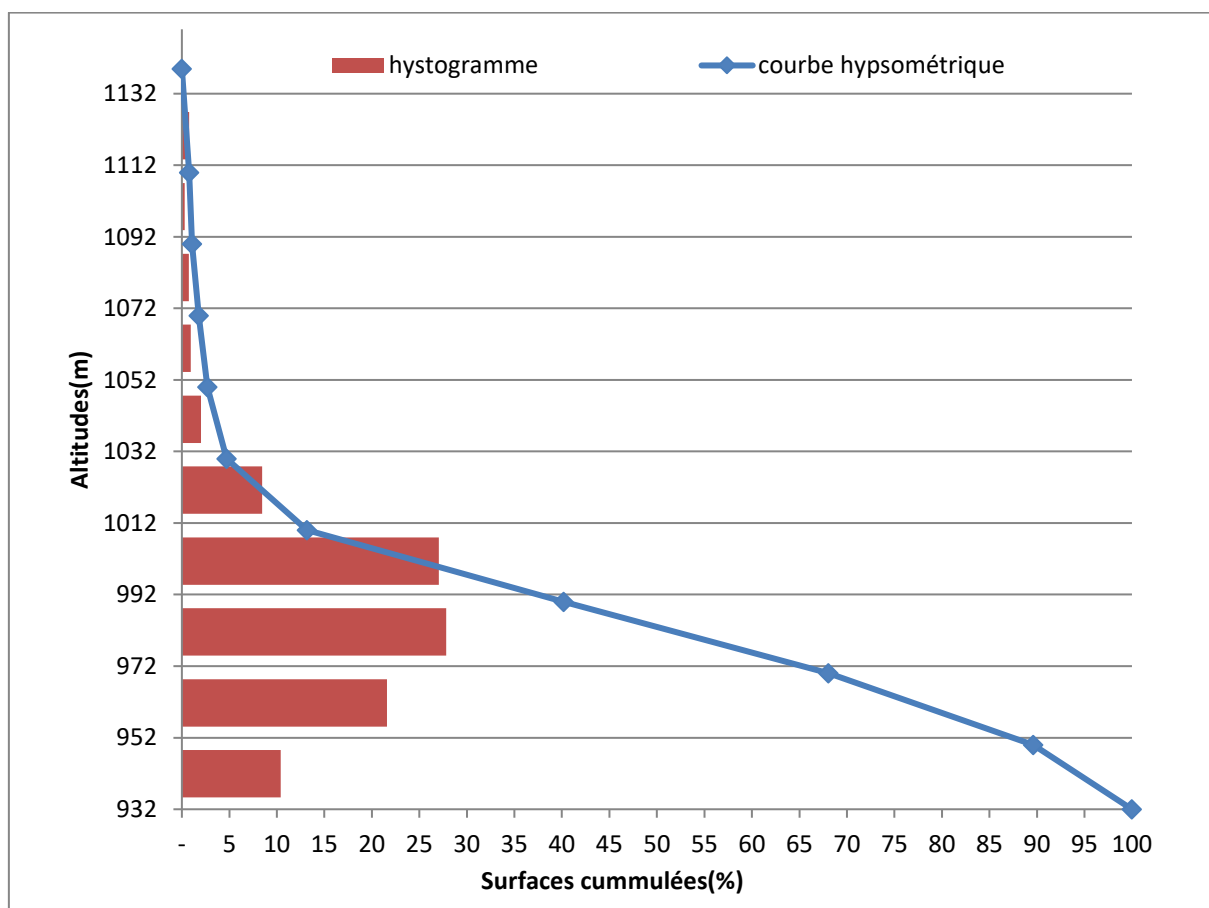


Fig.IV-9 : Courbe hypsométrique du bassin versant N°2

Chapitre IV : Etude hydrologique

IV-5-3-Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin versant N°3 :

Tab.IV-4 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant N°3

Altitude (m)	Hmoy(m)	Si(Km ²)	∑Si(Km ²)	Si(%)	Si(cumu%)	Si,Hi(Km ² .m)
937	950	943.5	0.07	0.07	3.06	65.04
950	970	960	0.29	0.36	12.79	276.38
970	990	980	0.50	0.86	22.43	494.59
990	1010	1000	0.39	1.26	17.51	394.07
1010	1030	1020	0.32	1.58	14.42	331.00
1030	1050	1040	0.25	1.83	10.93	255.74
1050	1070	1060	0.14	1.97	6.24	148.75
1070	1090	1080	0.10	2.07	4.54	110.24
1090	1110	1100	0.08	2.15	3.43	84.81
1110	1130	1120	0.07	2.22	3.20	80.67
1130	1142	1136	0.03	2.25	1.45	37.03

La courbe hypsométrique est représentée dans la figure suivante :

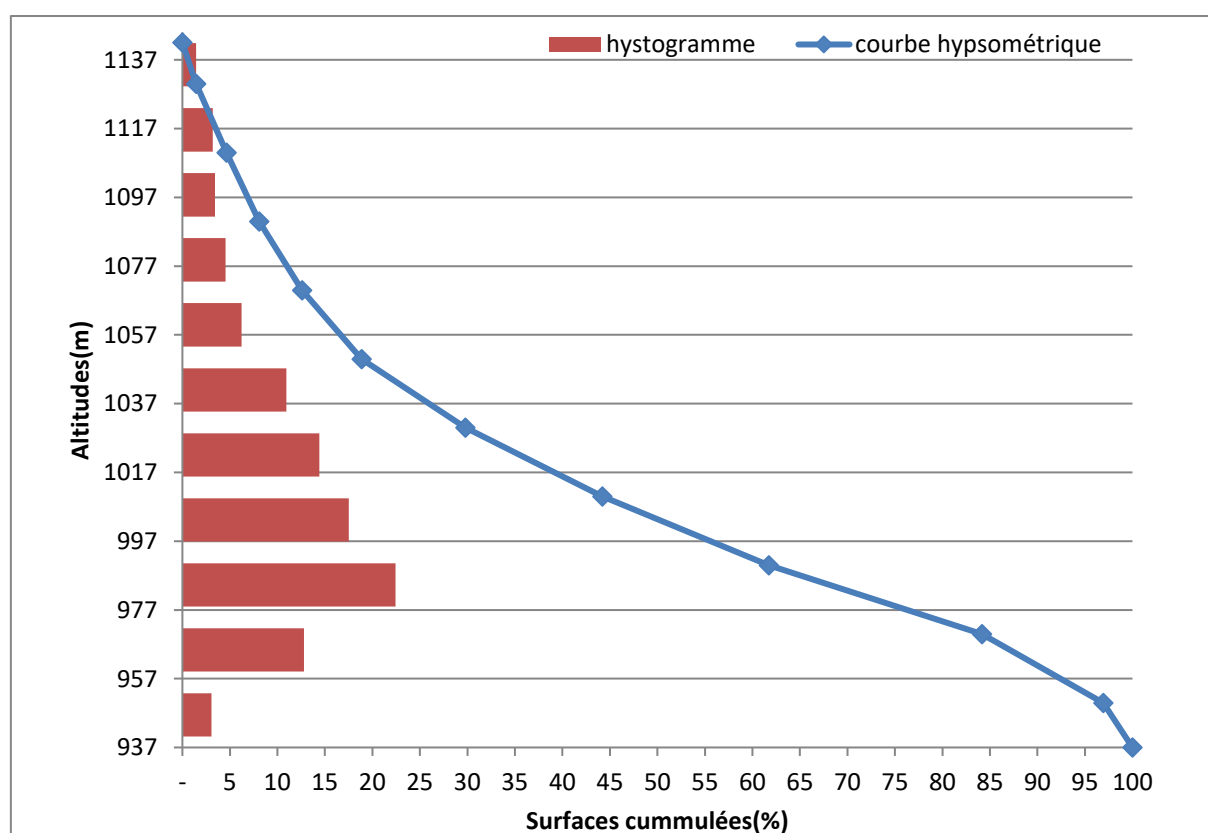


Fig.IV-10 : Courbe hypsométrique du bassin versant N°3

Chapitre IV : Etude hydrologique

IV-5-4-Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin versant N°4 :

Tab.IV-5 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant N°4

Altitude (m)		Hmoy(m)	Si(Km ²)	∑Si(Km ²)	Si(%)	Si(cumu%)	Si,Hi(Km ² .m)
938	990	964	3.42	3.42	65.02	65.02	3293.44
990	1000	995	0.55	3.96	10.41	75.42	544.12
1000	1010	1005	0.45	4.41	8.60	84.02	453.92
1010	1020	1015	0.32	4.73	6.01	90.03	320.72
1020	1030	1025	0.17	4.90	3.19	93.22	171.79
1030	1040	1035	0.12	5.02	2.22	95.44	120.89
1040	1050	1045	0.07	5.09	1.34	96.78	73.53
1050	1060	1055	0.04	5.13	0.85	97.64	47.34
1060	1070	1065	0.04	5.17	0.73	98.37	41.09
1070	1080	1075	0.04	5.21	0.71	99.08	40.08
1080	1090	1085	0.02	5.23	0.42	99.50	23.93
1090	1100	1095	0.03	5.25	0.50	100.00	28.73

La courbe hypsométrique est représentée dans la figure suivante :

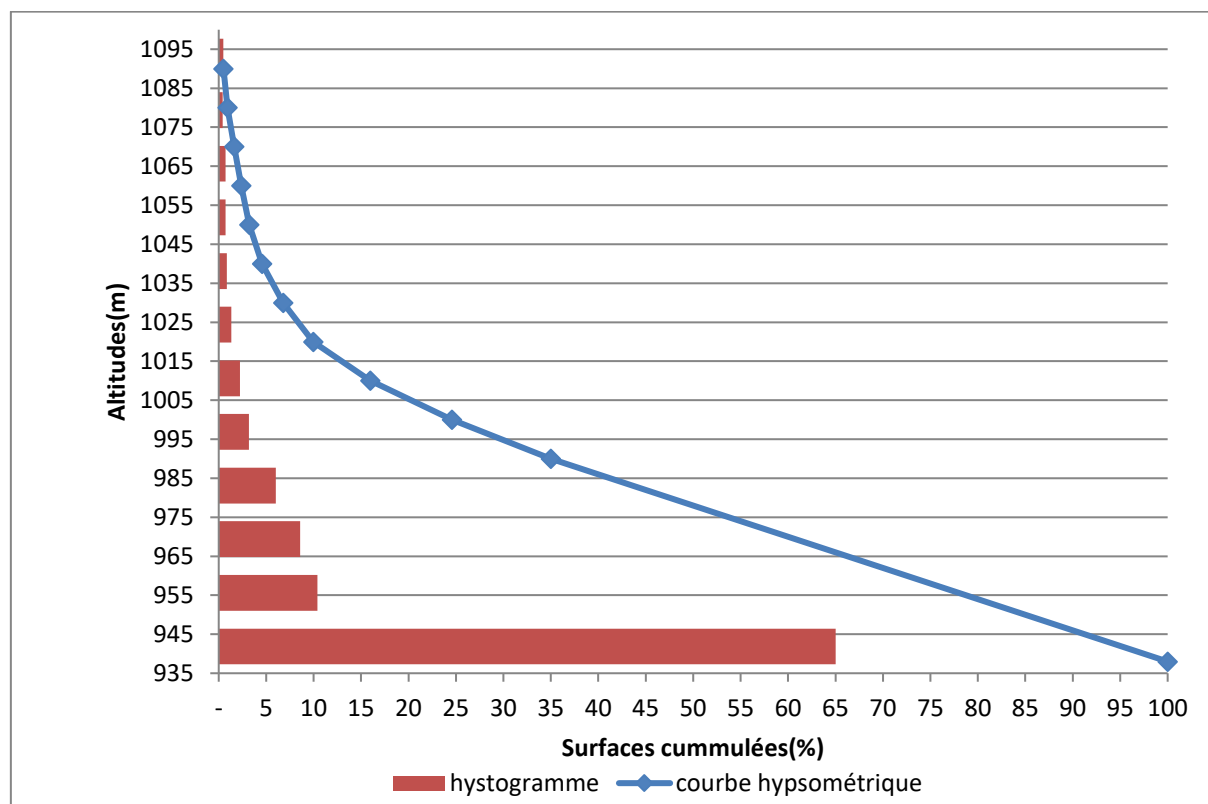


Fig.IV-11 : Courbe hypsométrique du bassin versant N°4

IV-6-Les altitudes caractéristiques

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale est le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

L'altitude médiane ou H50% est déterminée sur la courbe hypsométrique.

L'altitude moyenne **Hmoy** est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot H_i}{S}$$

Avec :

$$H_i = \frac{H_{i+n} + H_n}{2}$$

Avec :

H_i : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives en m.

S_i : surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en km²

S : surface totale du sous bassin en km²

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

	Hmax	Hmin	Hmoy	H 50
BV1	1657	947	1300.3	1300
BV2	1139	932	1031.3	1030
BV3	1142	937	1039.9	1040
BV4	1100	938	1036.8	1040

Tab.IV-6 : Hauteurs caractéristiques des quatre BV

IV-7--La pente moyenne du bassin versant :

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante, et elle donne une bonne indication sur le temps du parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration t_c et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin, elles se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative. La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

où :

$$I_m = \frac{D * L}{S}$$

I_m : pente moyenne [%].

L : longueur totale de courbes de niveau [km].

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m].

A : surface du bassin versant [km²].

Cette méthode de calcul donne de bons résultats dans le cas d'un relief modéré et pour des courbes de niveaux simples et uniformément espacées. Dans les autres cas, il convient de styliser les courbes de niveau pour que leur longueur totale ait un sens réel vis-à-vis de la pente.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

	D	L1	S	Im(%)
BV1	50	661.94	357.71	9.25
BV2	20	10.18	4.68	4.35
BV3	20	8.57	2.31	7.42
BV4	10	8.57	5.27	1.63

Tab.IV-7 : Pentés Moyennes

IV-8-Indice de pente globale I_g :

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. On prend deux points S_1 , S_2 sur l'axe des abscisses tels que 90% de la surface du bassin soit comprise entre ces deux valeurs et que 5% de la surface totale du sous bassin soit inférieure à S_1 et 5% soit supérieure à S_2 .

Les altitudes correspondantes sont lues sur la courbe hypsométrique, L'indice de pente global est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_5 - H_{95}}{L}$$

Avec :

D : Dénivelée entre $H_5\%$ et $H_{95}\%$ (m).

L : longueur du rectangle équivalent (m).

$H_5\%$ et $H_{95}\%$ sont respectivement les altitudes correspondantes à $S_{50\%}$ et $S_{95\%}$.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Chapitre IV : Etude hydrologique

	H5%	H95%	L (m)	D	Ig(%)
BV1	1310	1015	47203.78	295.00	0.006
BV2	1030	941	4949.45	89.00	0.018
BV3	1117	952	3282.95	3.28	0.050
BV4	1040	943	5529.55	5.53	0.017

Tab.IV-8 : Indice de pente globale

Les reliefs des bassins versants sont classés d'après cet indice suivant la classification de l'ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer)

- $I_g < 0.002$ relief très faible.
- $0.002 < I_g < 0.005$ relief faible.
- $0.005 < I_g < 0.010$ Relief assez faible.
- $0.010 < I_g < 0.020$ Relief modéré.
- $0.020 < I_g < 0.050$ Relief assez fort.
- $0.050 < I_g < 0.100$ Relief fort.
- $0.100 < I_g$ Relief très fort

	BV1	BV2	BV3	BV4
Type de relief	Relief assez faible	Relief modéré	Relief fort	Relief modéré

Tab.IV-9 : Type de relief des bassins versants

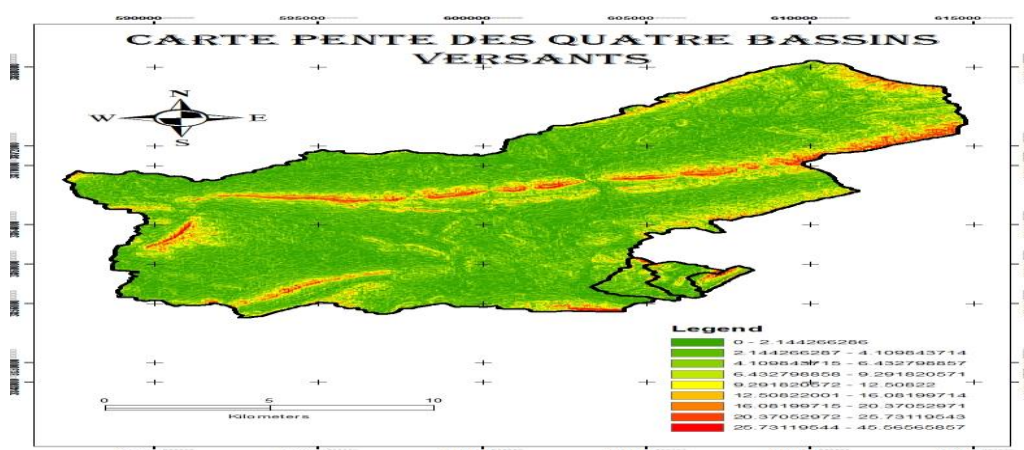


Fig.IV-12 : Carte pente des quatre B V

IV-9-Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau

Chapitre IV : Etude hydrologique

hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin; Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes.

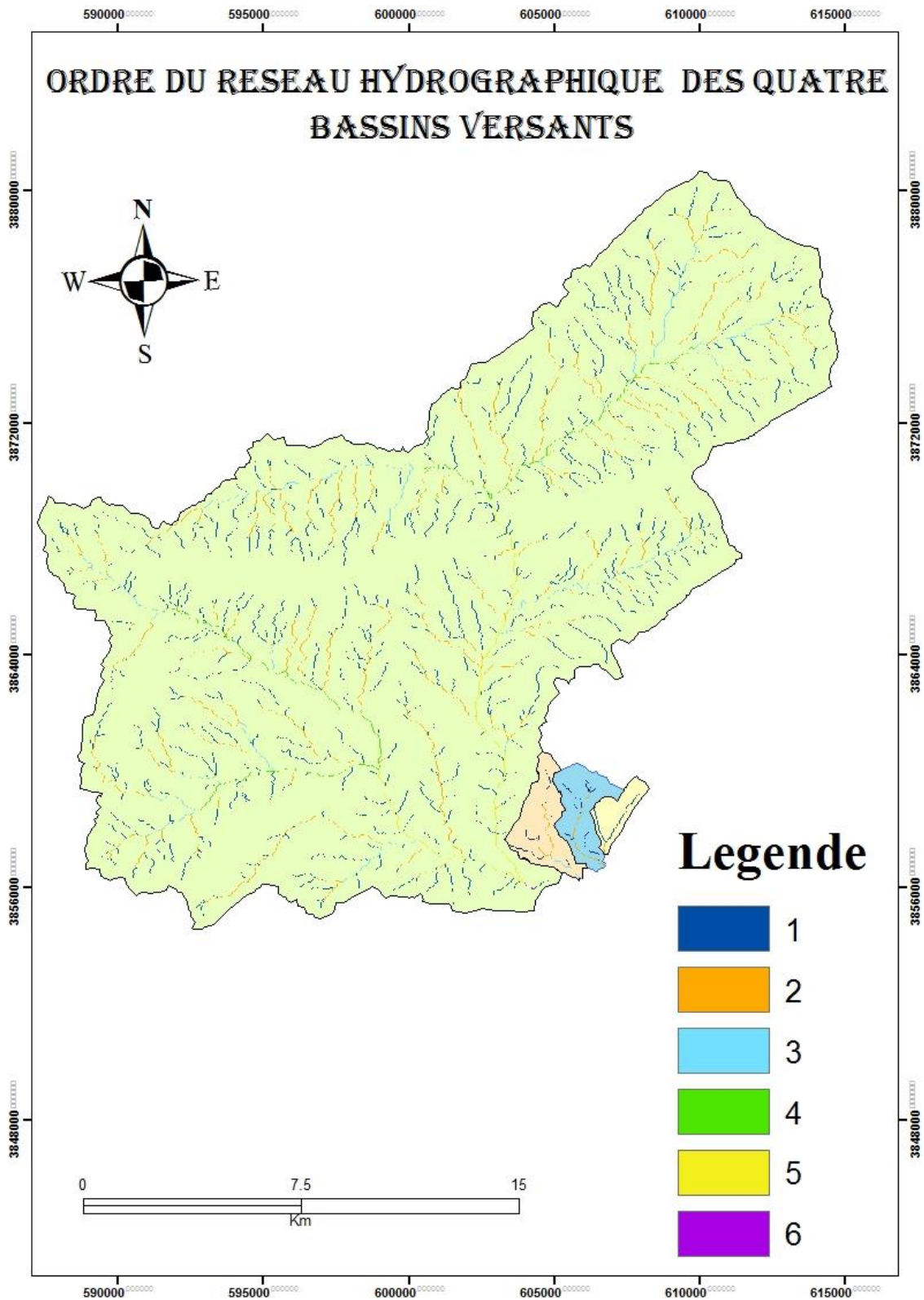


Fig.IV-13 : Réseau hydrographique des quatre BV

IV-9-Vitesse moyenne de ruissellement

Cette vitesse est donnée par la formule :

$$Vr = \frac{L}{Tc}$$

Avec :

L : Longueur du talweg principal en [Km].

Tc : temps de concentration en [heure].

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

	L (km)	Tcmoy (h)	Vr (km/h)
BV1	47.20	9.11	5.18
BV2	4.95	1.71	2.89
BV3	3.28	0.96	3.41
BV4	5.53	2.05	2.69

Tab.IV-10 : Vitesse moyenne de ruissellement

IV.10. Analyse des données pluviométriques

IV.10.1. Précipitations maximales journalières :

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour donnée.

Pour notre étude on passe par les étapes suivantes :

- Classer la série des précipitations par ordre croissant.
- Calcul de la fréquence expérimentale.
- Calcul des caractéristiques empiriques de la série de données.
- Ajuster graphiquement la loi choisie.
- Calculer le quantile et son intervalle de confiance.

Pour notre cas on a 47 observations :

IV.10.2 Choix de la loi d'ajustement

a) Introduction

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toutefois, de nombreuses études comparatives, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée.

L'ajustement des pluies maximales journalières sera traité par le logiciel "**Hyfran**".

b) Présentation du logiciel Hyfran

HYFRAN est un logiciel permettant d'ajuster différentes lois statistiques à un échantillon d'observations indépendantes et identiquement distribuées.

Ce logiciel a été développé par l'équipe de la Chaire CRSNG/Hydro-Québec en hydrologie statistique, de l'Institut national de la recherche scientifique (Québec).

c) Objectif de l'analyse hydrologique

L'objectif de l'analyse hydrologique est de déterminer la relation entre les événements hydrologiques extrêmes (crue, étiage) qui peuvent engendrer un risque et leur probabilité au dépassement ou d'une manière équivalente leurs périodes de retour.

d) Choix de la loi d'ajustement

Pour l'ajustement nous avons choisis la loi de Gumbal pour les raisons suivantes :

- Les caractéristiques de la loi sont les même que l'échantillon.
- L'ajustement effectué estime les valeurs de faible et grande fréquence.
- Le test de χ^2 montre que la loi est adéquate à l'échantillon.

Par contre les ajustements effectués par lois (Galton et GAUSS) surestiment les valeurs de faibles fréquences et sous-estiment les valeurs de grandes fréquences.

Les caractéristiques empiriques de la série sont représentées dans le tableau ci-après :

Chapitre IV : Etude hydrologique

Tableau IV-11 : Caractéristiques empiriques de la série avec N=47ans

Caractéristiques	Formules	Valeurs
La somme des P _{maxj} en (mm)	$\sum_{i=1}^{N=47} X_i$	1183,72 mm
La moyenne des P _{max j} en (mm)	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N=47} X_i}{N}$	25,19 mm
L'écart type « σ_x » ; Pour n > 30 ans	$\sigma_x = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{47} (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \right]$	15,97
Coefficient de variation « Cv » :	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$	0,63
Coefficient d'asymétrie « Cs » :	$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{N=47} \left(\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right)^3}{N}$	1.11
L'exposant climatique :	b=0,2 (donnée ANRH)	

Tableau IV-12 : Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel

Période de retour (T)	Probabilité(q)	Pluies max(mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	128	13.5	102	155
2000.0	0.9995	109	11.2	86.9	131
1000.0	0.9990	101	10.3	80.4	121
200.0	0.9950	81.3	8.10	65.4	97.1
100.0	0.9900	72.9	7.16	58.9	86.9
50.0	0.9800	64.5	6.23	52.3	76.7

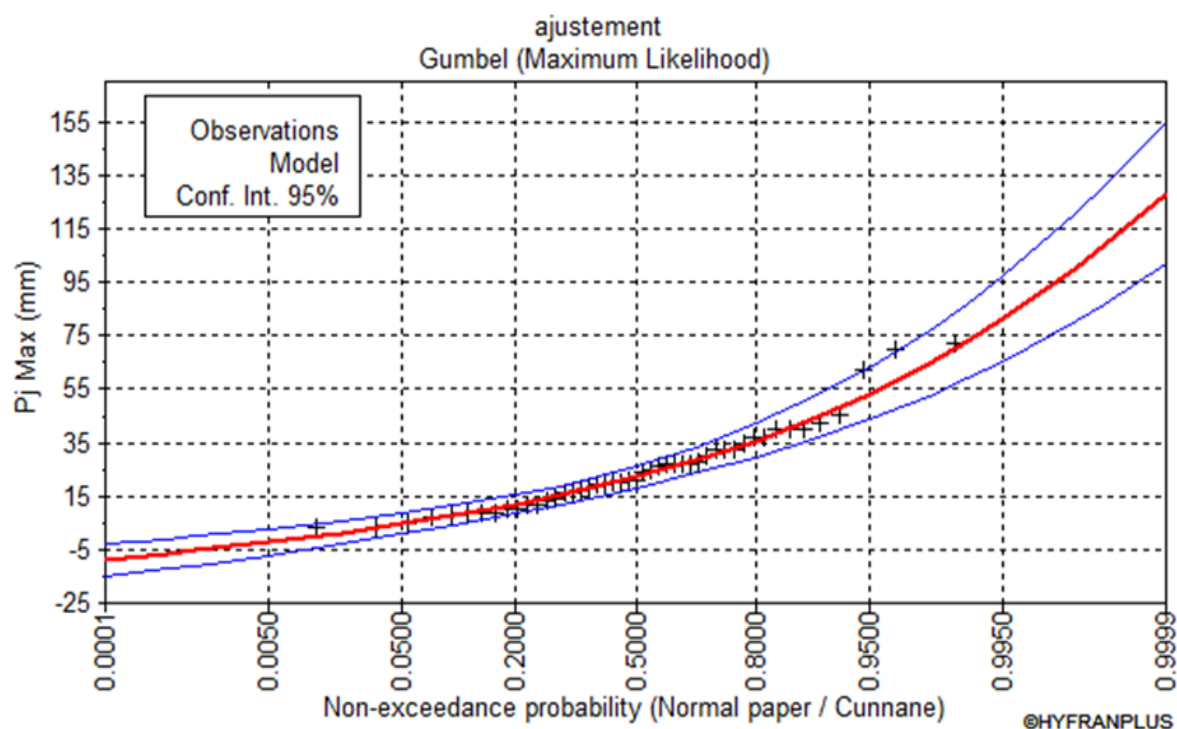


Fig. IV-14 : représentation graphique de l'ajustement par la loi de Gumbel

On constate que la droite d'ajustement est bien ajustée par rapport au nuage de points expérimentaux.

d) Test de Ki deux Carré (X^2) :

Hypothèses :

H_0 : L'échantillon provient d'une loi Gamma inverse

H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gamma inverse

Résultats :

Résultat de la statistique	$\chi^2 = 3.74$
p-value	$p = 0.7112$
Degrés de liberté	6
Nombre de classes	9

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5 %

e) Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon :

La comparaison entre les caractéristiques de la loi de Gumbel et celles de l'échantillon est résumée dans le tableau suivant :

Tab. IV-13 : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon.

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	None	3.00
Maximum	None	72.0
Moyenne	24.6	24.9
Ecart-type	15.4	16.0
Médiane	22.1	21.0
Coefficient de variation (Cv)	0.625	0.644
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.14	1.16
Coefficient Kurtosis (ck)	2.40	4.11

IV.10.3. Les pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités :

Pour une période donnée (24 h) et une fréquence donnée, on peut estimer les pluies de courtes durées par la formule de Montanami

$$P_{\max, t-p\%} = P_{\max, j-p\%} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

Avec :

$P_{\max t p\%}$: Pluie de courte durée de même fréquence que $P_{\max, j, p\%}$ (mm).

$P_{\max j p\%}$: Pluie maximale journalière pour une fréquence donnée (mm).

t : Temps [heure].

b : Exposant climatique, pour notre région $b = 0,2$.

L'intensité : $I_0 = P_{\max, t-p\%} / t$

Chapitre IV : Etude hydrologique

Les graphiques de pluies de courtes durées et l'intensité-durée-fréquence (IDF) sont donnés comme suit :

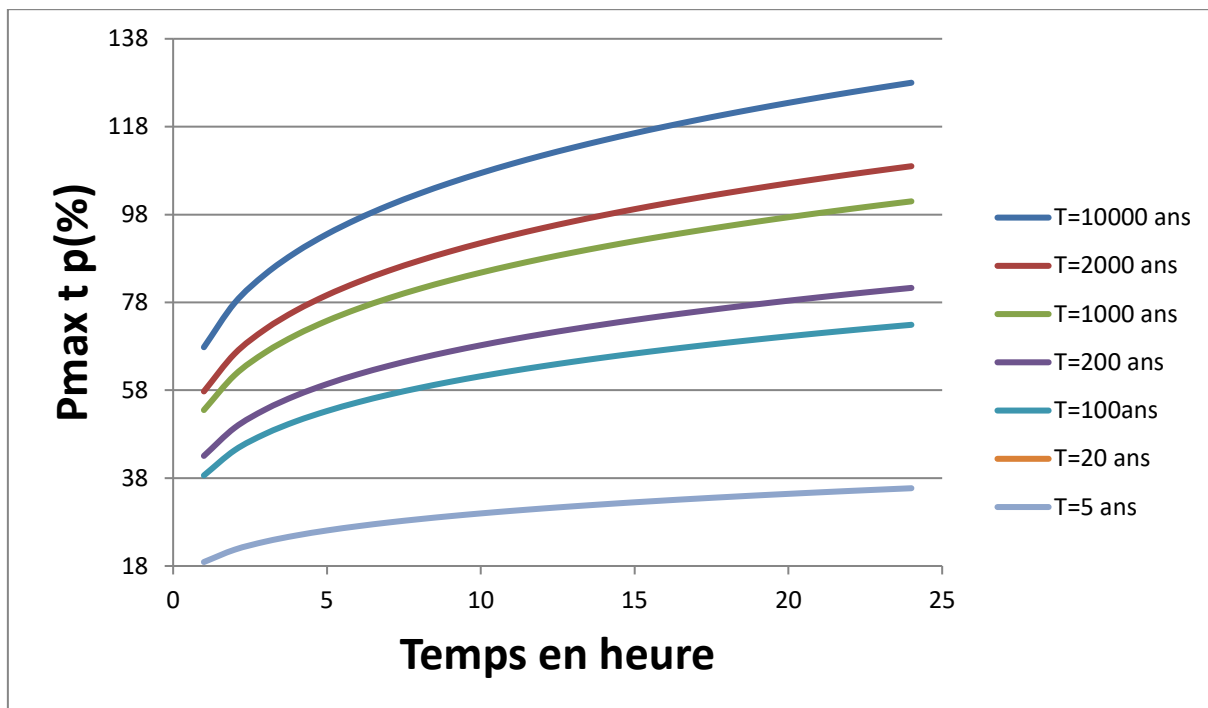


Fig. IV-15 : Pluies de Courtes durées

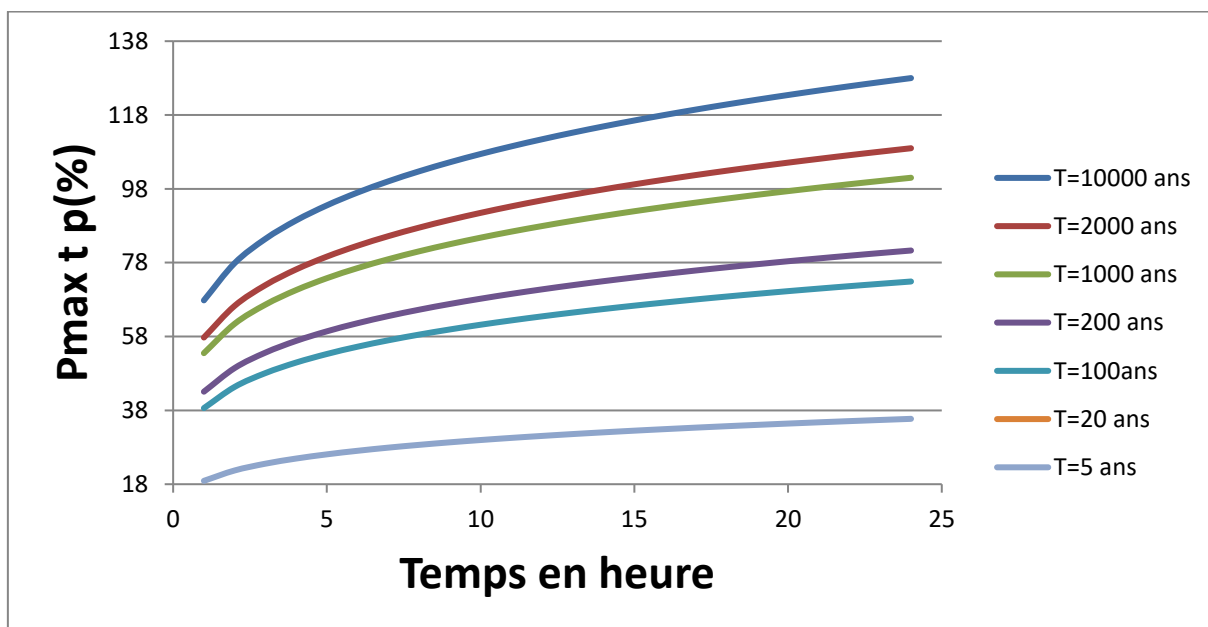


Fig.IV-16 : Intensité –Durée –Fréquence.

IV.11. Etude des crues

Le but de cette étude est la détermination des crues qui permettront de délimiter les zones inondables et de dimensionner des différents ouvrages de protection. L'absence des données hydrométriques nous a obligés de s'orienter vers les formules empiriques qui sont valables en Algérie.

IV-11-1. Temps de concentration :

C'est le temps que met une goutte d'eau pour atteindre l'exutoire en suivant le chemin hydrologique le plus long dans le bassin versant. Il est considéré comme un temps caractéristique du bassin versant, il dépend des caractéristiques physiques de ce dernier.

Nous avons évalué ce paramètre par différentes formules empiriques dans ce qui suit :

1- Formule de GIANDOTTI :

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

Avec :

S : Surface du bassin versant en [Km²];

L : Longueur du talweg principal en [Km];

H_{moy}, H_{min} : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m].

2- Formule CALIFORNIA CULVERT PRACTICE(C.C.P):

$$T_c = \left[\frac{0.87L^3}{H_{max} - H_{min}} \right]^{0.385}$$

Avec :

L: longueur du talweg principal en [Km];

H_{max}, H_{min}: respectivement la hauteur maximale et minimale du B.V en [m].

3- Formule de KIRPICH :

$$T_c = 0,6651(L_T)^{0,77} (I_g)^{-0,385}$$

Chapitre IV : Etude hydrologique

Avec :

L: longueur du talweg principal en [m];

Ig : pente global du bassin ;

4- La formule algérienne :

$$Tc = 0.3 \left(\frac{L}{I_{moy}^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.76}$$

Avec :

L: longueur du talweg principal en [Km];

I_{moy} : la pente moyenne du bassin ;

Les résultats des différentes formules sont représentés dans le tableau suivant :

	Tc (h)				Tc moy (h)
	GIANDOTTI	CALIFORNIA (c.c.p)	KIRPIC H	Algerienne	
BV1	8.18	4.11	1.12	23.02	9.11
BV2	1.83	0.63	0.16	4.23	1.71
BV3	1.16	0.31	0.06	2.32	0.96
BV4	2.34	0.31	0.18	5.38	2.05

Tab.IV-14 : Temps de concentration des bassins versants

IV-11-2. Détermination des débits maximums fréquentiels par les formules empiriques :

1. Formule de SOKOLOVSKY :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{max} = \frac{0.28 P_t \cdot S \cdot F \cdot \alpha}{Tc}$$

Avec :

Q_{max} : Débit de crue fréquentielle (m³/s)

P_t: pluie correspondant au temps de concentration

S: Superficie du bassin versant

Chapitre IV : Etude hydrologique

F: Coefficient de forme $F=1,20$ (A.N.R.H)

Tc: Temps de concentration.

2. Formule de TURRAZA:

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant.

$$Q_{\max} = \frac{C_r \cdot P_{t_c} \cdot S}{3,6 \cdot T_c}$$

Avec :

Q_{\max} : Débit max fréquentielle (m^3/s)

P_{t_c} : pluie correspondant au temps de concentration

S: Superficie du bassin versant

Tc: Temps de concentration

C_r : Coefficient de ruissellement de la crue considérée ;

$C_r=0.7$ pour $T=100$ ans

$C_r=0.6$ pour $T= 50$ ans

$C_r=0.55$ pour $T=20$ ans

$C_r= 0.5$ pour $T= 10$ ans

3. Formule de GIANDOTTI :

$$Q_{\max} = \frac{P_{t_c} \cdot C \cdot S \cdot \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5L}$$

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum H_i \cdot x S_i}{\sqrt{S_i}} (m)$$

Avec :

Pt: pluie correspondant au temps de concentration

S :Superficie du bassin versant (km^2)

L: Longueur du thalweg principal (km)

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant (m)

Chapitre IV : Etude hydrologique

H_{\min} : Altitude à l'exutoire (m)

C: Coefficient topographique variant entre 66 et 166

Pour notre cas C= 130

4. Formule de POSSENTI

$$Q_{\max, p\%} = \frac{\mu \cdot P_{\max j, p\%} \cdot S}{L_p}$$

Avec :

$P_{\max, p\%}$: Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée (m)

S : Superficie du bassin versant (Km²).

μ : Coefficient compris entre 700 – 800 ; On prend $\mu = 760$.

L_p : Longueur du cours d'eau principal (Km).

Les résultats des débits pour chaque période de retour sont présentés dans le tableau suivant :

		Débits (m ³ /s)			
		SKOLOVSKY	TURAZA	GIANDOTTI	POSSENTI
T=100 ans	BV1	506.92	419.08	287.93	469.78
	BV2	25.64	21.20	10.94	34.01
	BV3	19.64	16.24	7.84	27.61
	BV4	23.94	19.79	10.26	31.04
T= 50 ans	BV1	384.44	317.82	254.75	415.65
	BV2	19.44	16.07	9.68	30.09
	BV3	14.89	12.31	6.93	24.43
	BV4	18.16	15.01	9.08	22.70
T=20 ans	BV1	291.21	319.90	210.52	456.40
	BV2	14.73	16.73	8.00	34.18
	BV3	11.28	10.70	5.73	20.19
	BV4	13.75	9.98	7.50	22.70
T= 10 ans	BV1	222.02	183.55	176.55	288.05
	BV2	11.23	9.28	6.71	20.86
	BV3	8.60	7.11	4.80	16.93
	BV4	10.49	8.67	6.29	19.03

Tab.IV-15 : Débits pour chaque période de retour

Commentaires sur les résultats :

Sur la base de ces résultats, les valeurs adoptées sont celles de la formule de Skolovsky , du fait que cette méthode donne la plus grande valeur et c'est une formule qui est d'usage très répandu chez les hydrologues du Nord d'Afrique, celle-ci tient compte de plusieurs paramètres caractérisant le bassin versant (la pluie moyenne, caractéristiques climatiques, la surface du bassin versant) et c'est pour cette raison qu'on a adopté la méthode Skolovsky.

Notre étude est basée sur les débits maximaux (formule de skolovsky) pour une période de retour T= 100 ans :

Tab.IV-16 : Débit maximales (formule de Skolovsky)

Période de retour	SKOLOVSKY			
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
bv1	222.02	291.21	384.44	506.92
bv2	11.23	14.73	19.44	25.64
bv3	8.60	11.28	14.89	19.64
bv4	10.49	13.75	18.16	23.94

IV-12-Hydrogrammes des crues

L'hydrogramme des crues $Q = f(t)$ exprime la variation du débit maximum en fonction du temps pour une période donnée. Il permet d'estimer les caractéristiques de la crue à savoir : le volume, la forme, les temps de montée et de base.

Les Hydrogrammes de crues pour diverses fréquences sont évalués par la méthode de Sokolowski qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques :

- ❖ La montée de la crue :

$$Q_{\max} = Q_{\max, p\%} \left[\frac{t}{t_m} \right]^n$$

- ❖ La décrue :

$$Q_{\max} = Q_{\max, p\%} \left[\frac{t_d - t}{t_d} \right]^m$$

Avec :

t_m : temps de montée de la crue ;

Chapitre IV : Etude hydrologique

td: temps de la décrue;

m, n : puissance des équations $m = 2$, $n = 3$;

$t_m = t_c$ et $t_d = \gamma.t_c$, On prend $\gamma = 2$.

Tab.IV-17 : Hydrogramme des crues de différentes périodes de retour BV 3

Q max	8.60	11.28	14.89	19.64
t	10	20	50	100
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.100	0.09	0.11	0.15	0.20
0.200	0.34	0.45	0.60	0.79
0.300	0.77	1.02	1.34	1.77
0.400	1.38	1.80	2.38	3.14
0.500	2.15	2.82	3.72	4.91
0.600	3.10	4.06	5.36	7.07
0.700	4.21	5.53	7.30	9.62
0.800	5.50	7.22	9.53	12.57
0.900	6.97	9.14	12.06	15.91
1.000	8.600	11.280	14.890	19.640
1.100	7.61	9.98	13.17	17.38
1.200	6.70	8.78	11.59	15.29
1.300	5.86	7.69	10.15	13.38
1.400	5.10	6.69	8.83	11.64
1.500	4.40	5.78	7.62	10.06
1.600	3.78	4.95	6.54	8.62
1.700	3.21	4.21	5.56	7.33
1.800	2.70	3.55	4.68	6.18
1.900	2.25	2.96	3.90	5.15
2.000	1.86	2.44	3.22	4.24
2.100	1.51	1.98	2.61	3.45
2.200	1.21	1.59	2.09	2.76
2.300	0.95	1.25	1.65	2.17
2.400	0.73	0.96	1.27	1.67
2.500	0.55	0.72	0.95	1.26
2.600	0.40	0.53	0.69	0.92
2.700	0.28	0.37	0.49	0.64
2.800	0.19	0.25	0.33	0.43
2.900	0.12	0.16	0.21	0.27
3.000	0.07	0.09	0.12	0.16
3.100	0.04	0.05	0.06	0.08
3.200	0.01	0.02	0.03	0.03
3.300	0.00	0.01	0.01	0.01
3.400	0.00	0.00	0.00	0.00

N.B : Pour les autres Bassins Versants, voir [Annexe I](#)

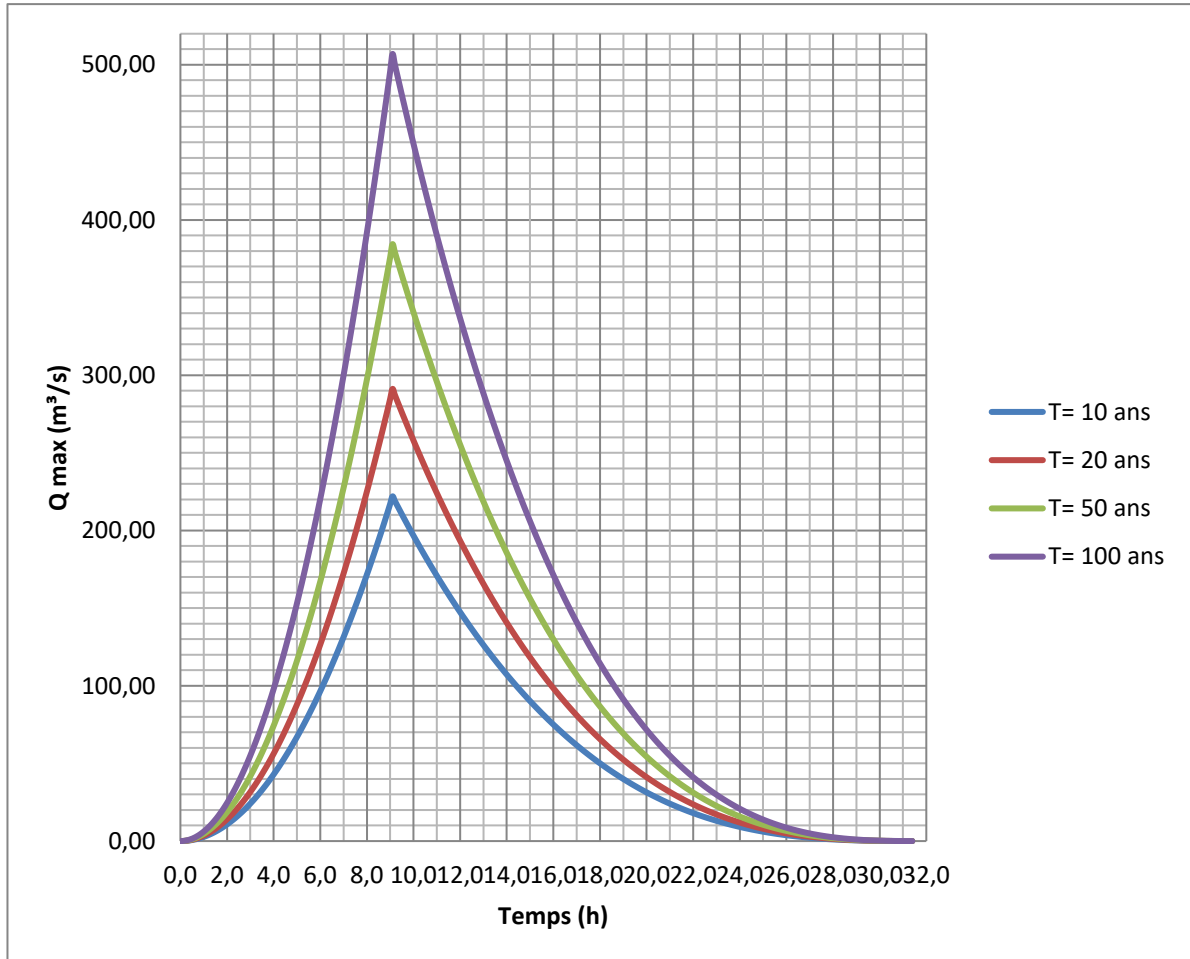


Fig.IV-17 : Hydrogrammes des crues du BV1 pour différentes périodes de retour.

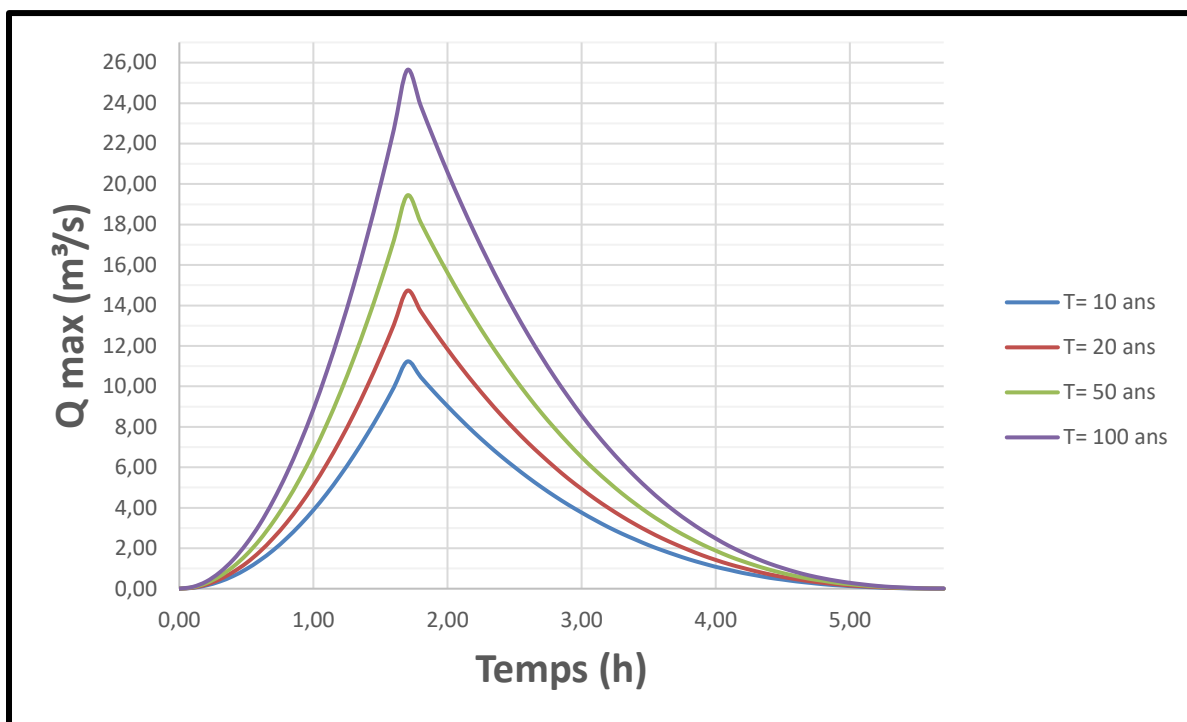


Fig.IV-18 : Hydrogrammes des crues du BV2 pour différentes périodes de retour.

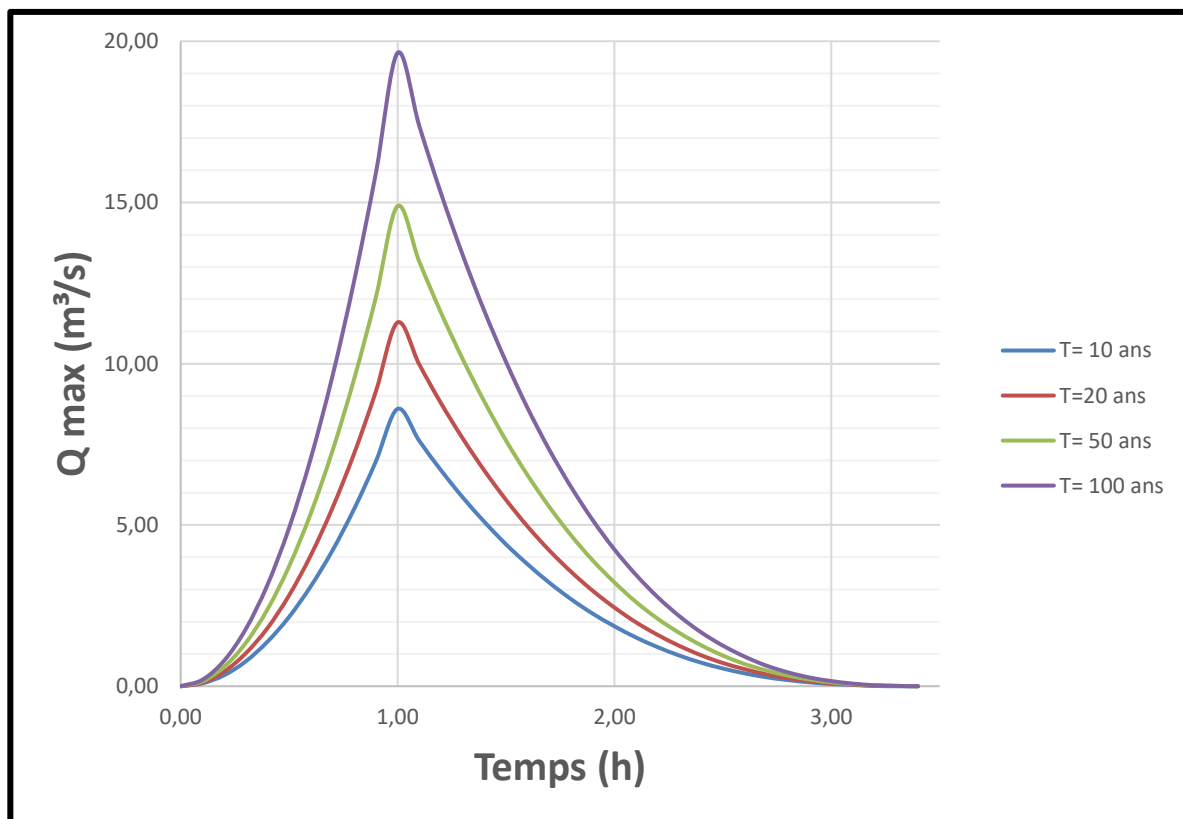


Fig.IV-19 : Hydrogrammes des crues du BV3 pour différentes périodes de retour.

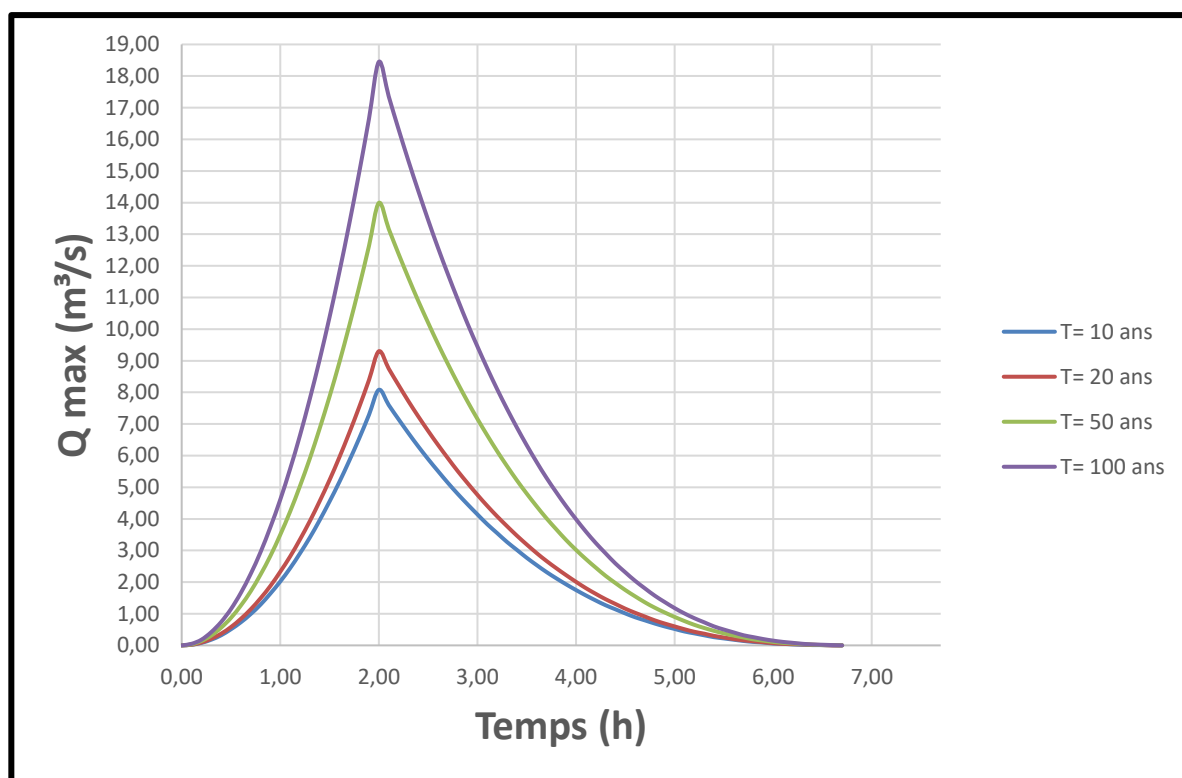


Fig.IV-20 : Hydrogrammes des crues du BV4 pour différentes périodes de retour.

Conclusion

Le présent chapitre a eu pour résultat la détermination des caractéristiques morphologiques et hydrologiques des bassins versants étudiés. Les hydrogrammes des crues établis nous permettront de voir l'évolution des crues dans le temps et fixer ainsi les valeurs des débits traversant la ville de Ain El Melh. Ce qui nous permettra d'entamer la partie simulation du phénomène des crues, déterminer les zones à risque d'inondation et dimensionner les ouvrages qui permettront d'assurer la protection de la population et leurs biens contre les inondations.

Chapitre 5

V-1-Définition

La modélisation est la représentation d'un système par un autre, plus facile à appréhender. Il peut s'agir d'un système mathématique ou physique. Le modèle sera alors numérique ou analogique.

Le dictionnaire Larousse, quant à lui, donne la définition suivante : « Représentation du comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié. (Les modèles de simulation prennent le plus souvent la forme de programmes d'ordinateurs auxquels sont parfois associés des éléments de calcul analogique) ».

Au cours de ces dernières années, les efforts de la recherche pour la compréhension du cycle de l'eau dans les milieux naturels (bassins versants, rivières, nappes, etc.), associés aux développements de l'informatique, se sont concrétisés par l'apparition d'une multitude de modèles mathématiques.

La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants est incontournable chaque fois qu'on s'intéresse à des problèmes liés à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire et aux différents risques hydrologiques (sécheresse, inondation. ...). Cette modélisation doit décrire de manière fidèle et réaliste les différentes étapes liées à la transformation de la pluie en débit. On l'utilise aussi pour obtenir des informations intéressantes pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

Les modèles hydrologiques peuvent être classés comme suit :

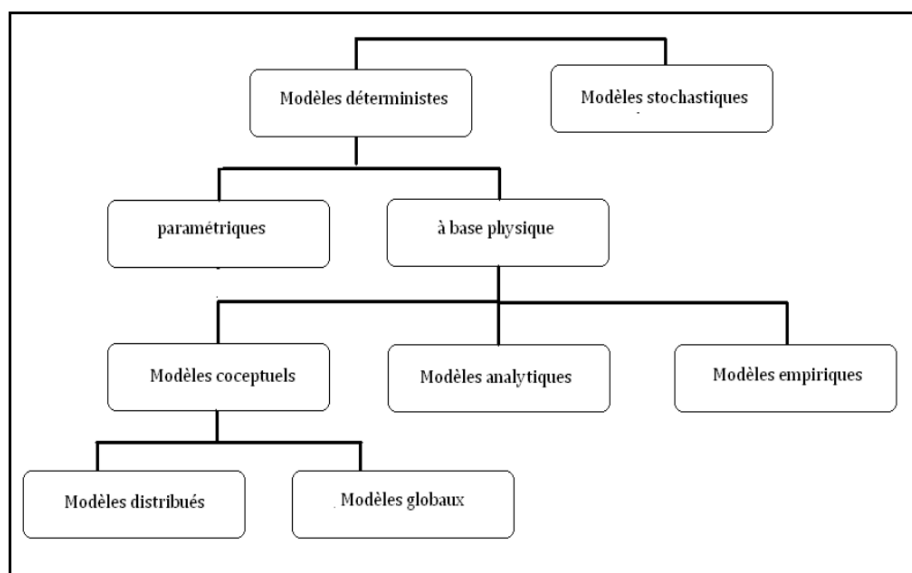


Figure V-1 : Classification des modèles hydrologiques

Le laminage hydrologique (Flood Routing) est souvent utilisé pour étudier la propagation du débit dans un cours d'eau. Dans certaines circonstances, les niveaux d'eau constituent un élément primordial pour la prévision des inondations, la gestion des cours d'eau et des plaines inondables, ainsi que pour la conception de certains ouvrages hydrauliques. L'approche hydraulique, devient alors incontournable et

nécessaire pour le calcul des hauteurs d'eau atteintes par l'écoulement sous des conditions bien spécifiques.

Les modèles hydrauliques utilisent pour la résolution des problèmes d'écoulements à surface libre dans les rivières naturelles. Ceux utilisés ici sont des modèles déterministes, distribués et mécanistes :

- déterministes dans le sens que les paramètres du système sont supposés connus exactement. Ne pas confondre avec les modèles stochastiques, qui tiennent compte des incertitudes sur les paramètres en le représentant comme des variables aléatoires,
- distribués puisque les paramètres peuvent varier dans l'espace, contrairement aux modèles globaux,
- mécanistes (ou physiques) parce que les mécanismes internes du système sont décrits en se basant sur les équations de base régissant les lois physiques (conservation de la masse, de la quantité de mouvement, et de l'énergie . . .).

La résolution d'un modèle hydraulique pour les écoulements à surface libre nécessite des données concernant :

- la géométrie (longueur du tronçon étudié, sa largeur, la forme du lit, mais également la morphologie du cours d'eau : réseau simple, ramifié, maillé, présence de méandres, etc.),
- l'hydraulique (hauteur d'eau, vitesse et/ou débit dans les sections amont et aval du tronçon de calcul, rugosité en chaque point de calcul).

Le modèle hydrologique déterministe et conceptuel HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) est un modèle essentiellement appliqué à la simulation des événements hydrologiques donnés. Il est particulièrement bien adapté pour simuler le comportement hydrologique de bassins versants non urbanisés.

Le modèle hydraulique HEC-RAS est un modèle d'analyse et la simulation hydraulique des écoulements à surface libre. Il remplace une ancienne version connue sous le nom de HEC-2.

. Les deux modèles ont été conçus par le Hydrologic Engineering Center du U.S Army Corps of Engineers

Ce chapitre est consacré à la modélisation, la première partie est consacrée à la modélisation hydrologique en utilisant le modèle HEC-HMS ajusté aux bassins versants drainant dans la ville d'Ain El-Melh, et la deuxième partie est consacrée à la modélisation hydraulique en utilisant le modèle HEC-RAS 2D ajusté à la ville Ain El-Melh, pour prédire ses réponses aux précipitations fréquentielles prédéterminées.

V-2- Modèle hydrologique « précipitations - débits liquides » par Hec Hms

V-2-1- Présentation du logiciel HecGeoHMS

V-2-1-1- Methode de travail

Dans notre cas on va procéder à la modélisation pluie - débit dans les quatre bassins drainants dans la ville d'Ain El-Melh par le logiciel Hec HMS version 4.2 en prenant en considération quatre périodes de retour. Pour cela on a fait appel au logiciel Hec Geo HMS pour transférer les données de Arc Gis vers Hec HMS.

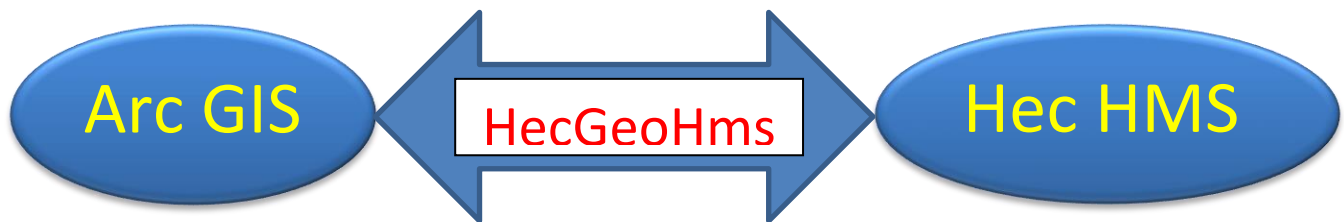


Fig.V-2 : Liaison Arc GIS- HecGeoRas- HEC RAS

V-2-1-2-Présentation et exploitation du logiciel HecGeoHMS

Le logiciel HecGeoHMS va nous permettre de transférer les bassins versants avec leurs réseaux hydrographiques ainsi les caractéristiques des sols de l'ArcGis vers Hec Hms.

V-2-2- Présentation du logiciel Hec HMS

Ce logiciel permet de calculer des hydrogrammes de crues pour plusieurs objectifs à savoir les études de drainage urbain, la prévision des crues, la conception des réservoirs et la réduction des effets des inondations.

Les modules modèles développés sous HEC-HMS permettent la prise en charge des quatre processus hydrologiques essentiels : Modèles pour le calcul des précipitations, du volume de ruissellement, du ruissellement direct et des écoulements souterrains.

Il comprend une interface graphique conviviale, des capacités pour la manipulation des données, résultats et graphiques, un système spécifique de gestion et de stockage de données, ainsi que des possibilités d'affichage et d'impression de résultats, et des outils de gestion.

V-2-2-1- La structure du modèle HEC-HMS choisie et les données d'entrée du modèle

Cette description portera sur la combinaison modulaire choisie pour modéliser les bassins drainants dans la ville Ain El-Melh, en expliquant ses concepts de base, en citant ses variables et ses paramètres et la façon dont nous allons les estimer et en listant ses avantages et ses

limites, sans oublier la justification du choix à la fois du modèle et de la combinaison modulaire.

V-2-2-1- 1- Justification du choix du modèle

Le choix du modèle a été dicté par plusieurs contraintes de moyens et facteurs de privilège qui font de ce modèle un bon choix. Parmi ceux les plus importants :

* Les données exigées par le modèle sont plus ou moins simples, accessibles et disponibles. Donc, le modèle peut donc tourner sans soucis.

* Possibilité d'intégrer les majeurs facteurs affectant la transformation pluie-débit (morphométrie du bassin versant, occupation du sol, types de sols et humidité antérieure) et donc les résultats seront plus réalistes.

* La NRCS CN (Natural Resources Conservation Service) a été validée sur plusieurs bassins versants dans le monde et dans l'Algérie et plus précisément dans le bassin versant d'oued Labiod appartenant au même grand bassin versant Chot Melghigh et ayant les mêmes caractéristiques (zones semi-arides), et ses résultats sont fiables et similaires aux modèles complexes.

V-2-2-1-2- La fonction de production : la fonction utilisée est celle de type NRCS CN

V-2-2-1-2-1- Le concept de base

Cette fonction de production apparue en 1950 et surnommée autrefois la SCS CN (Soil Conservation Service) est le fruit de plus de deux décennies d'analyses des relations pluies-débits sur des petits bassins. Elle relie la pluie nette participante au ruissellement à trois facteurs fondamentaux : l'occupation du sol, le type de sol et l'humidité antécédente, selon l'équation suivante :

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (VI-1)$$

Avec : Pe : les précipitations nettes au temps t ;

P : les précipitations brutes au temps t ;

Ia : l'abstraction initiale ;

S : le potentiel maximum de rétention.

Le NRCS a proposé une relation empirique supplémentaire liant l'abstraction initiale d'un bassin versant au potentiel maximum de rétention :

$$Ia = 0,2 \times S \quad (VI-2)$$

Ainsi, la première équation devient :

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (VI-3)$$

Pour chaque pas de temps, la pluie nette est la différence de la valeur de Pe au début et à la fin du pas de temps. L'influence des deux premiers facteurs susmentionnés est estimée par le paramètre CN qui est relié à S par l'équation :

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (VI-4)$$

V-2-2-1-2-2- Les variables

a- Découpage des bassins : Le bassin doit être découpé en sous bassins plus ou moins homogènes des points de vues des différents facteurs exigés par le modèle (lithologique, hydrologique). Pour notre cas, les bassins drainants dans la ville forment des unités plus ou moins homogènes.

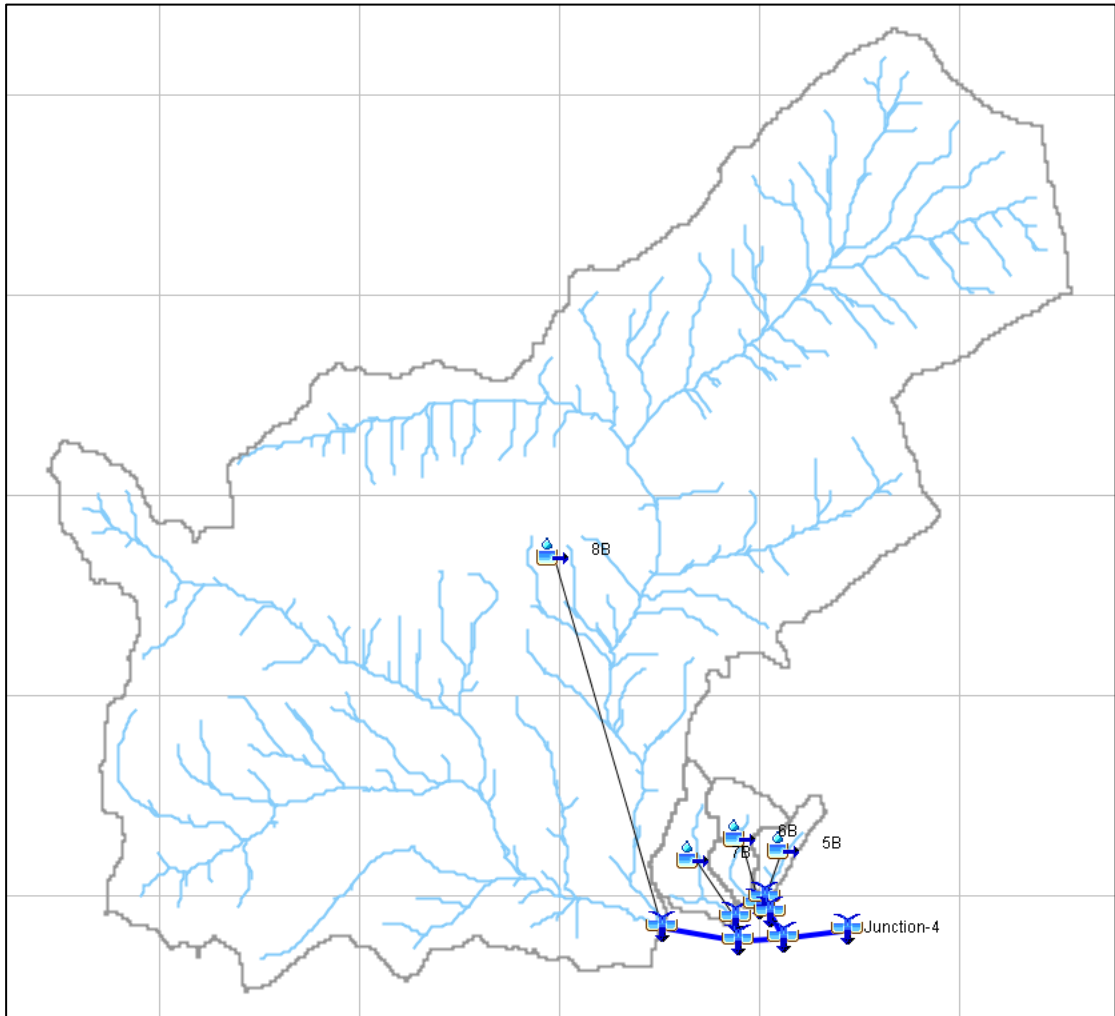


Fig. V-3 : Les bassins versants drainants dans la ville (dressés par Hec Hms).

Tableau V-1 : Caractéristiques topographiques des bassins

N°	S/Bassin	Surface	Pente	Longueur du talweg (km)
BV 1	8B	357.71	8.62	10.26
BV 2	6B	4.68	9.46	19.31
BV 3	7B	2.31	12.57	10.91
BV 4	5B	5.27	4.52	9.26

Ces sous bassins sont drainés par un réseau hydrographique de caractéristiques suivantes :

Tableau V-2 : Caractéristiques topographiques du réseau hydrographique

Talweg	N° amont	N° aval	Longueur (m)	Pente (m/m)
Reach 01	13 C	Junction 02	2470	0.007
Reach 02	12 C	Junction 02	200	0.080
Reach 03	11 C	Junction 01	35	0.080

Reach 04	10 C	Junction 01	40	0.080
Reach 05	Junction 02	Junction 03	1226	0.009
Reach 06	Junction 01	Junction 03	50	0.080
Reach 07	Junction 03	Junction 04	2536	0.006

b- La carte des sols : cette donnée sert en combinaison avec la carte d'occupation des sols à déterminer la valeur de CN normal pour chaque composé hydrologique de sol. Elle doit être conforme à la classification NRCS qui définit les classes d'occupation du sol en quatre grands groupes.

Cette classification est la suivante :

- Groupe "A" : sols à faible potentiel de ruissellement.

Les sols appartenant à ce groupe sont des sols de grande perméabilité, à vitesse d'infiltration rapide, même lorsqu'ils sont saturés. Relativement épais, ils sont généralement sableux ou graveleux. Ces sols possèdent le plus souvent une grande transmissivité ;

- Groupe "B" : sols présentant une vitesse d'infiltration modérée et une transmissivité moyenne ; d'épaisseur moyenne, ils ont, en général, une texture moyennement fine à grossière ;

- Groupe "C" : sols à vitesse d'infiltration lente et de transmissivité faible. Ils ont souvent de faible épaisseur, limitant les mouvements d'eau et à texture assez fine à fine ;

- Groupe "D" : sols à fort potentiel de ruissellement. Ce sont des sols à vitesse d'infiltration très lente et de transmissivité excessivement faible. Ils sont en général argileux, peu épais, reposant sur une couche imperméable et possèdent une nappe phréatique proche de la surface.

La Fig.VI-2 représente la projection de cette classification sur la carte lithologique des bassins

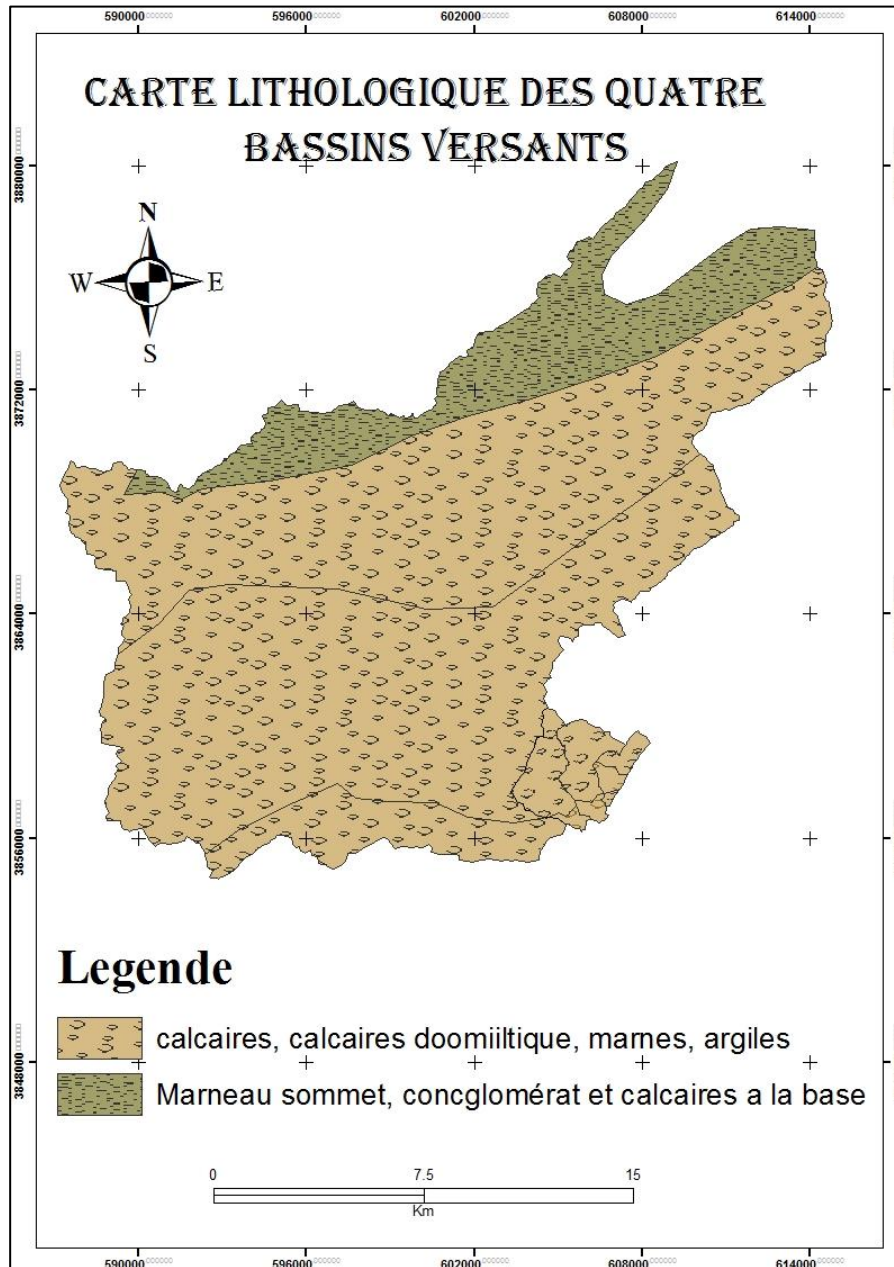


Fig. V-4 : Carte lithologique des bassins extraite de la carte géologique.

Les sols couvrant la totalité des bassins appartiennent au groupe D.

NB : La nature de la roche (Lithologie) joue un double rôle : Son influence se fait sentir, d'une part, sur le régime du cours d'eau, et d'autre part, sur l'érosion et le transport solide.

c- La carte d'occupation du sol ou du couvert végétal : Vu les exigences particulières de la combinaison modulaire choisie, plus précisément la méthode NRCS CN comme fonction de production, l'établissement d'une carte d'occupation du sol sur l'ensemble de la zone d'étude est indispensable. Toutefois, l'information supposée contenue dans cette carte devrait être authentique à la classification reconnue par le NRCS.

Il est à signaler que les valeurs de ce paramètre peuvent être calibrées par le modèle HEC-HMS.

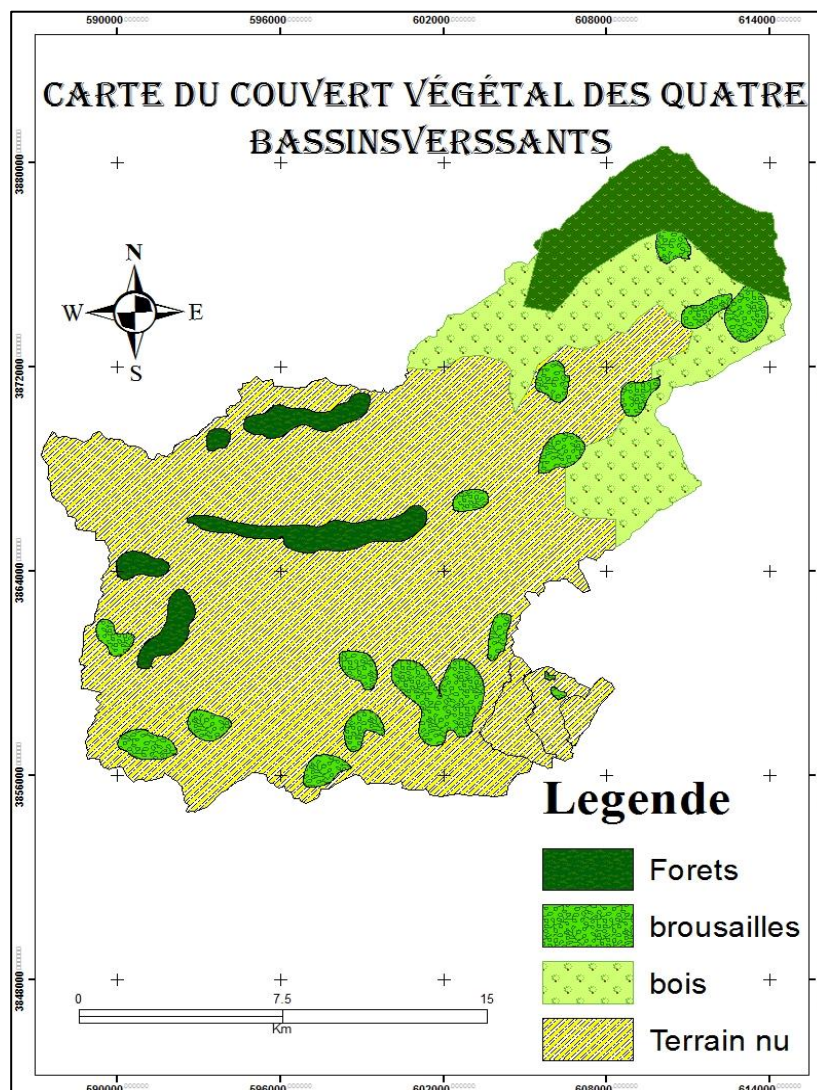


Figure V-5 : Carte du couvert végétal des bassins.

d- Le pourcentage d'imperméable : il désigne la portion de la surface du bassin considérée comme étanche et directement connectée au réseau de drainage. Ce pourcentage est déduit lors de l'élaboration de la carte d'occupation du sol.

V-2-2-1-2-3- Les paramètres

a- Curve Number CN : sa valeur varie entre 100 (surface d'eau) et 30 pour des sols très perméables à haut potentiel d'infiltration. Il est déterminé pour un composé hydrologique de sol à partir de tables NRCS (Tableau VI-3), avec la combinaison des facteurs de la nature de l'utilisation du sol, de son traitement, des conditions hydrologiques avec le type de sol pour trouver la valeur de CN normal.

Pour un bassin versant composé de plusieurs classes d'occupation du sol et de types de sols, un CN composite doit être calculé par la formule :

$$CN_{composite} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (VI-5)$$

Où : $CN_{composite}$: le CN utilisé pour l'ensemble du bassin par la fonction de production ;

CN_i : le CN d'un composé hydrologique du sol (classe d'occupation du sol + classe de sol) ;

A_i : surface de drainage du composé hydrologique du sol.

Tab. V-3 : Valeurs de CN en fonction des classes d'occupation de sol type NRCS

Code	Description de l'occupation du sol			CN pour HSG ¹			
	Type d'occupation	Traitement	Condition hydrologique	A	B	C	D
11	Zone urbanisée	-	-	77	86	91	94
200	Jachère	Sol nu	-	77	86	91	94
210	Arboricultures	Lignes droites	Mauvaise ²	72	81	88	91
225	céréalicultures	C+T+CR	Mauvaise ²	60	71	78	81
323	Matorral	-	Mauvaise ³	48	67	77	83
343	Forêt claire	-	Mauvaise ⁴	45	66	77	83
342	Forêt moyenne	-	Moyenne ⁴	36	60	73	79
341	Forêt dense	-	Bonne ⁴	30	55	70	77
423	Chêne clair	-	Mauvaise ⁵	45	66	74	79
422	Chêne moyen	-	Moyenne ⁵	30	48	57	63
421	Chêne dense	-	Bonne ⁵	30	30	41	48
433	Genévrier clair	-	Mauvaise ⁵	55	75	85	89
432	Genévrier moyen	-	Moyenne ⁵	36	58	73	80
431	Genévrier dense	-	Bonne ⁵	30	41	61	71

C : selon les courbes de niveau ;

T : en terrasses ;

CR : couverture de résidus de collecte.

(1) : Ruissellement en condition normal, et $I_a = 0.2S$.

(2) : Combinaison des facteurs qui affectent l'infiltration et le ruissellement, comme : la densité de la végétation, pourcentage de résidus de collecte,...etc.

Mauvaise : facteurs encourageant l'infiltration et tend à diminuer le ruissellement.

(3) : Mauvaise : < 50 % de couverture.

(4) : Mauvaise : litière de forêt, petits arbres, les arbustes sont détériorés régulièrement par le pâturage et l'incinération.

Moyenne : Bois coupé mais pas brûlé, et quelques plantes couvrent le sol.

Bonne : Bois protégé contre le pâturage, et la litière et les plantes recouvrent le sol.

(5) : Mauvaise : < 30 % de couverture.

Moyenne : 30 à 70 % de couverture.

Bonne : > 70 % de couverture.

b- Abstraction Initiale Ia : abstraction initiale en mm, elle correspond aux pertes initiales provenant durant la première phase de l'événement pluvieux, dû aux interceptions, au stockage naturel dans les dépressions,...etc. L'écoulement ne débute qu'une fois la pluie brute dépasse la valeur de Ia. On estime sa valeur le plus souvent par calibration, cependant il existe des tableaux qui donnent des ordres de grandeur de ce paramètre.

Tab.V- 4 : Valeurs usuelles de l'abstraction initiale Ia et du coefficient CN
(D'après SAGE INGENIERIE)

CN normal	Ia (mm)	Nature
75	9	Bois
80	8	Broussailles
85	5	Vergers
85	8	Labour ou nu
89	3	urbain

c- La pluie

Pour chaque événement, la pluie devrait être saisie sous forme de la hauteur de pluie tombée sur le bassin pendant le jour où cet événement est survenu, au quelle nous associons la distribution NRCS type IA.

Nous appliquerons les pluies maximales journalières fréquentielles estimées aux bassins à partir des celles enregistrées dans la station de Ain Rich.

V-2-2-1-3- La fonction de transfert : l'hydrogramme unitaire de la NRCS

La fonction de transfert choisie dans cette étude est l'hydrogramme unitaire de la NRCS.

a- Le concept de base

Cet hydrogramme développé par le NRCS exprime le débit U_t comme proportionnel au débit de pointe U_p , pour chaque temps t , fraction du temps de pointe T_p .

$$U_p = C \frac{A}{T_p} \quad (\text{VI-7})$$

Avec, A : surface du bassin versant ;

C : constante de conversion (2.08 pour le système international).

Le temps de pointe T_p est relié à la durée de la pluie nette par la formule :

$$T_p = T_{\text{lag}} \frac{\Delta t}{2} \quad (\text{VI-8})$$

Où : Δt : la durée de la pluie nette (c'est le pas de temps de simulation) ;

T_{Lag} : le Lag du bassin (différence entre le pic de la pluie nette et le pic de l'hydrogramme).

Une fois le T_{Lag} calculé, le modèle résout les deux équations citées auparavant pour trouver successivement le temps et le débit de pointe de l'hydrogramme, qui vont permettre de concevoir l'hydrogramme de simulation en reposant sur le principe de linéarité de la réponse.

b- Les paramètres

Le seul paramètre de cette méthode est le T_{Lag} , il sera calculé directement par la formule NRCS définie comme suit :

$$T_{\text{lag}} = L^{0.8} \times \left(\left(\left(\frac{1000}{\text{CN}} \right) - 10 \right) + 1 \right)^{0.7} / (1900 \times \sqrt{Y}) \quad (\text{VI-8})$$

Avec, T_{Lag} : le lag en heures ;

L : la longueur depuis l'exutoire jusqu'à l'amont du plus grand cours d'eau en pied ;

CN : le curve number composite du bassin ;

Y : pente du bassin en %.

V-2-2-1-4- Les avantages de la combinaison modulaire choisie

* Le module météorologique adopté a permis de surmonter le problème d'absence des données de pluviographe.

* La méthode NRCS CN est simple, fidèle, ne nécessite pas d'énormes quantités de données, et dépend directement d'un seul paramètre qui renferme trois facteurs de base dans la modélisation pluie-débit (l'occupation du sol, les sols et l'humidité antécédente).

* La fonction de transfert sélectionnée n'exige pas beaucoup de données, et montre des résultats satisfaisants.

* Le module de débit de base est le mieux adapté au contexte semi-aride, et va aider à mieux restituer les hydrogrammes de crues.

*La combinaison ne contient que peu de paramètres ce qui diminue les erreurs causées par les phénomènes de compensation entre les paramètres et d'équi-finalité.

V-2-2-2- Synthèse sur la structure choisie

Les résultats de la simulation découlent directement des données d'entrée que l'en lui introduit, et des méthodes des différentes étapes du transfert pluie – débit.

a) Les entrées du modèle

Les données fournies doivent être représentatives, dans ce travail, la combinaison modulaire utilisée était la moins exigeante parmi celles offertes par le modèle HEC-HMS.

HEC HMS est un modèle à caractère global qui ne nécessite pas une grande précision dans la description du bassin, les données nécessaires pour ce modèle sont :

- ✓ MNT créée à partir des images LANDSAT de précision 30 x 30m.
- ✓ Carte du couvert végétal élaborée à partir des cartes d'état-major et des images satellitaires adaptée à la classification reconnue par le NRCS.
- ✓ Carte des sols type NRCS des bassins versants élaborée à partir de la carte lithologique élaborée également à partir de la carte géologique du centre de l'Algérie.
- ✓ La variable pourcentage d'imperméable déterminée à partir de la carte lithologique.

b) Les modules

b-1) Le module météorologique : l'utilisation d'averses NRCS destinées essentiellement à la détermination des débits de projet a permis la restitution des débits de pointe.

b-2) Le module de la fonction de production : le module de la fonction de production NRCS CN dépend du paramètre CN et de la répartition spatio-temporelle de la pluie.

Le premier paramètre CN a été calculé en adoptant les cartes du couvert végétal à la classification reconnue par le NRCS.

Les pluies fréquentielles dans les bassins ont été estimées par analyse statistiques des pluies maximales journalières enregistrées au niveau de la station pluviométrique d'Ain Rich.

b-3) Le module de la fonction de transfert : la fonction de transfert choisie « l'hydrogramme unitaire de la NRCS », est très utilisée dans la simulation du débit dans des contextes où l'occupation du sol et la topographie sont complexes, et elle donne de bons résultats.

V-2-2-3- Estimation des débits liquides des averses de différentes périodes de retour par HEC HMS

Dans cette partie, nous allons simuler l'effet des averses de différentes périodes de retour sur les hydrogrammes des crues produites par chaque sous bassin.

V-2-2-3-1- Les données

Avant de lancer la simulation, nous avons préparé tous les fichiers de simulation des quatre évènements (pluies des périodes de retour 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans), en prenant en compte le type d'averse NRCS 1A (résultat de la calibration du modèle pour le bassin versant Oued Labiod). Ainsi, nous avons 04 fichiers de simulation.

Pour chacun des 04 fichiers de simulation, on aura les données suivantes :

Tab. V-5 : Les entrées à saisir pour chaque fichier de simulation

Module du modèle	Entrée	Unité
Module bassin	La surface du sous bassin Le talweg : Longueur, pente, coef de Maning La forme de la section moyenne Les dimensions de la section	km ² m m/m, - - m
Module météorologique	Pluie Le type d'averse $\uparrow A$ Affectation des pluies aux sous bassins	mm - -
Contrôle spécifications	Date et heure du début et la fin de l'événement	-
Séries de données pluviométriques	Pluie enregistrée ou estimée pour chaque sous bassin	mm
Module de la fonction de production CSCN	Abstraction initiale « Ia » Curve Nombre «CN» Le pourcentage d'imperméable	mm - -
SCS unit hydrographe	Lag time	mm
Débit de base	Débit initial Récession Ratio	m ³ /s - -

Le tableau VI-6 résume les valeurs estimées de la pluie pour les différentes périodes de retour qui seront utilisées dans les simulations ainsi que la valeur de C.

Chaque hauteur de pluie sera additionnée au reste de données définies auparavant pour configurer un fichier de simulation distinct pour chaque bassin.

Tab. V-6 : Hauteurs de pluies de différentes fréquences

Période de retour (T)	Pluies max (mm)
10	44.7
20	53.3
50	64.5
100	72.9

V-2-2-3-2- Résultats de la simulation et discussions

CHAPITRE v : MODELISATION

Les résultats résumés dans le tableau VI-7 et les graphes N° : 4 à 19 , présentent les valeurs estimées par le modèle HEC-HMS aux quatre bassins en termes du pic de l'hydrogramme et du volume du ruissellement jusqu'aux exutoires des principaux oueds drainant les bassins.

Tab . V-7 : les valeurs simulées du débit de pointe et du volume d'eau pour les averses quantiles

	T = 10 ans	T = 20 ans	T = 50 ans	T = 100 ans
BV 1 (8B)				
Q_p(m³/s)	287,6	349,2	429,8	490,5
Volume (10³ m³)	14136,3	17091,4	20960,4	23872,3
BV 2 (6B)				
Q_p(m³/s)	6,5	7,7	9,4	10,7
Volume (10³ m³)	177,4	212,7	258,7	293,4
BV 3 (7B)				
Q_p(m³/s)	8,1	9,8	11,9	13,5
Volume (10³ m³)	223,6	268,1	326,1	369,8
BV 4 (5B)				
Q_p(m³/s)	3,7	4,4	5,3	6,1
Volume (10³ m³)	100,4	120,4	146,4	166,1

CHAPITRE v : MODELISATION

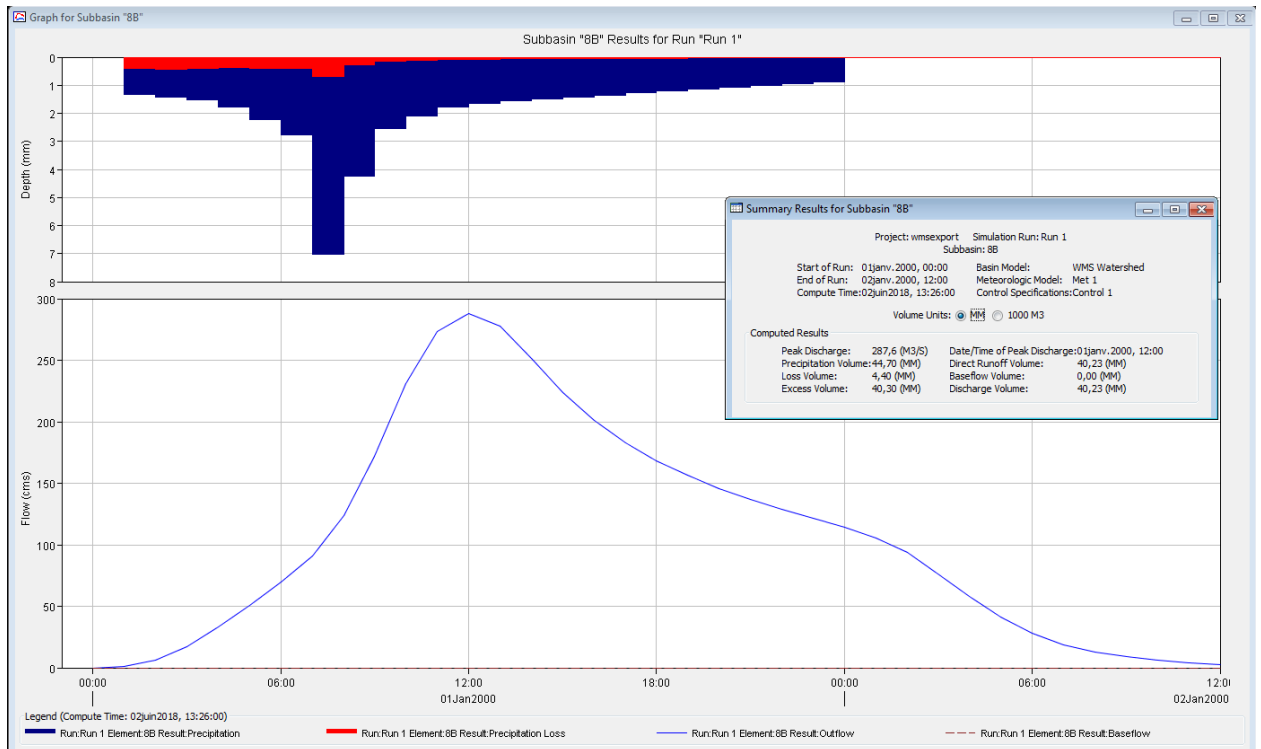


Fig. V -6 : Hydrogramme de la crue de période de retour 10 ans simulée à l'exutoire du BV 1 (8B)

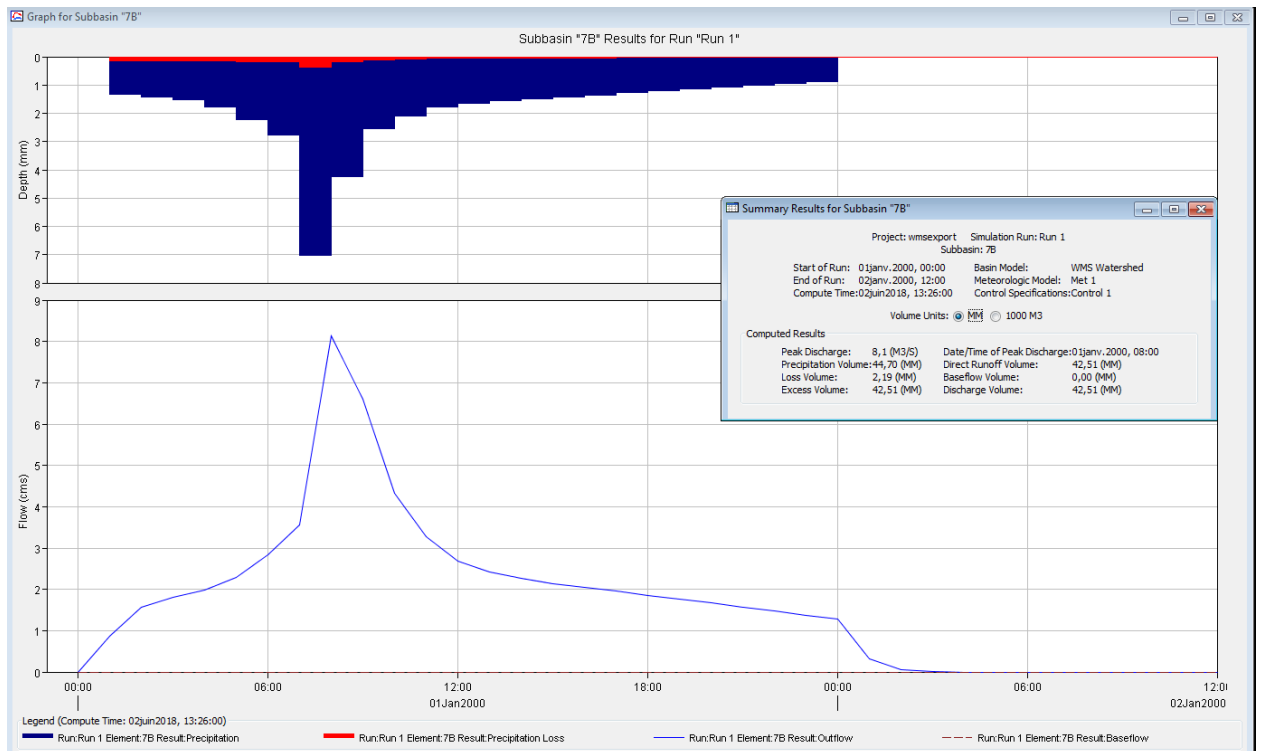


Fig. V -7 : Hydrogramme de la crue de période de retour 10 ans simulée à l'exutoire du BV 3 (7B)

CHAPITRE v : MODELISATION

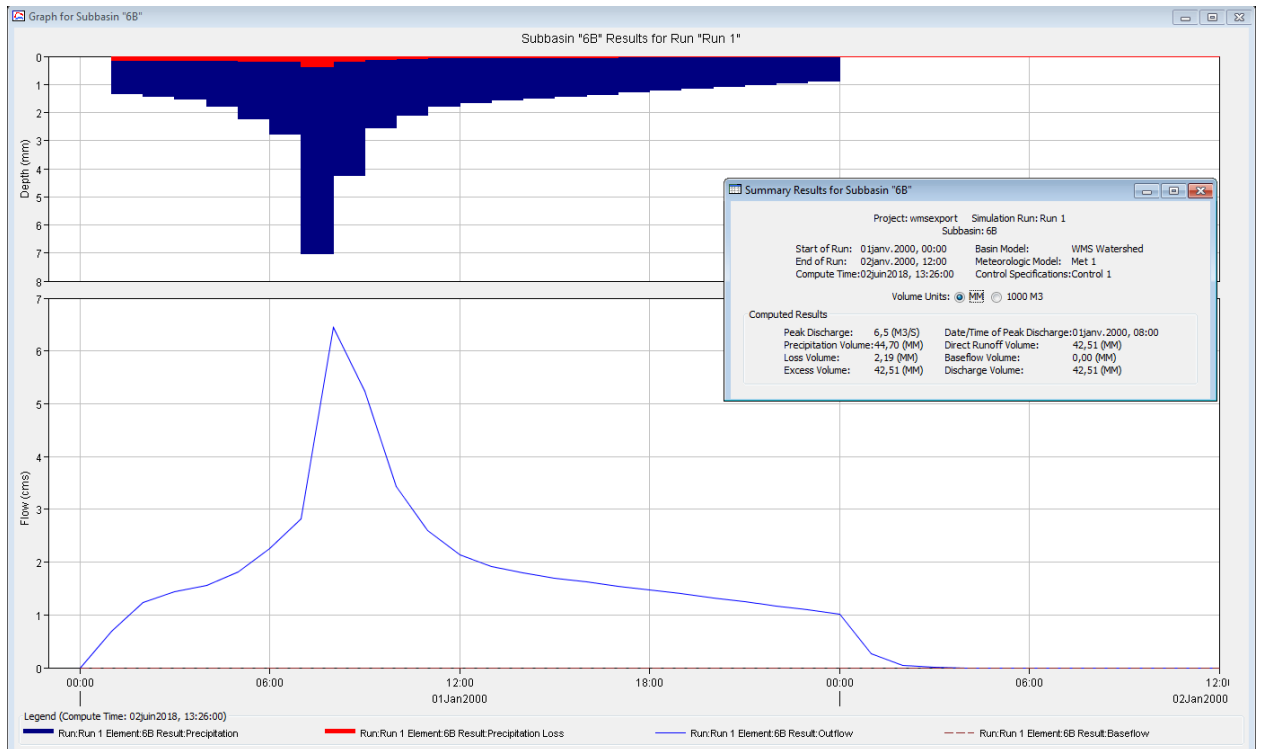


Fig. V -8 : Hydrogramme de la crue de période de retour 10 ans simulée à l'exutoire du BV 2 (6B)

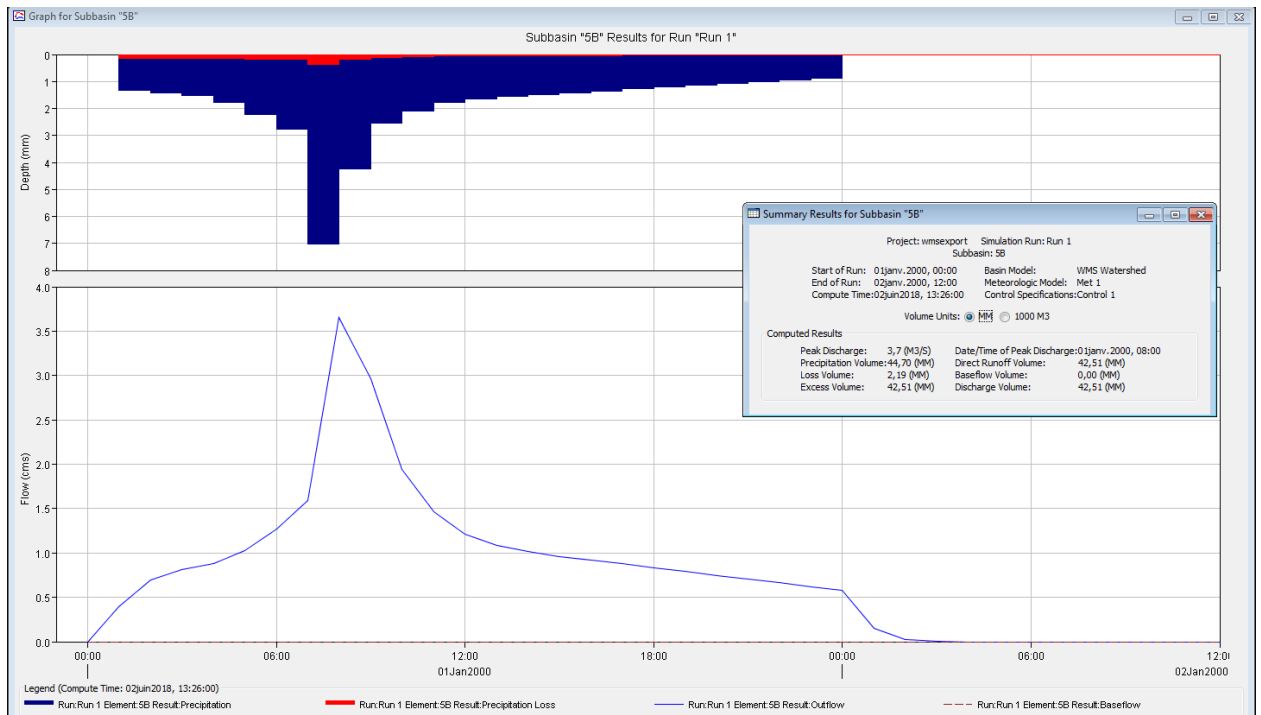


Fig. V -9 : Hydrogramme de la crue de période de retour 10 ans simulée à l'exutoire du BV 4 (5B)

CHAPITRE v : MODELISATION

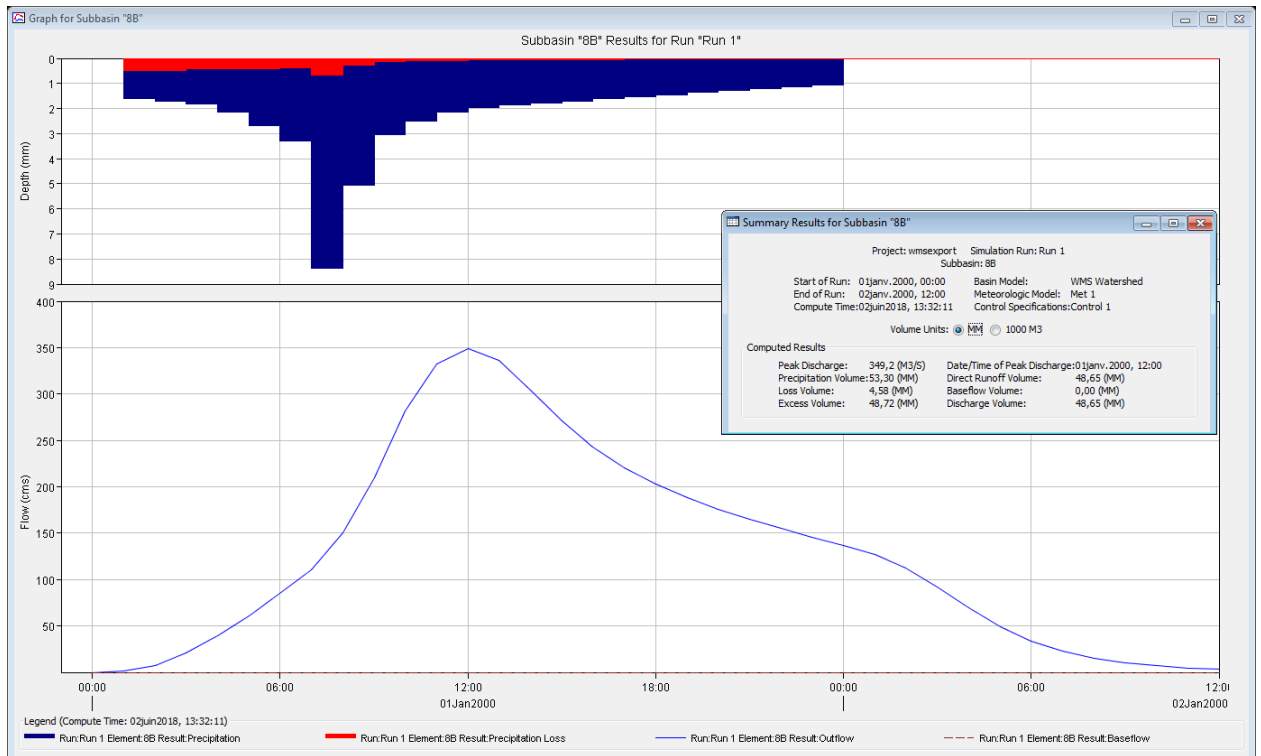


Fig. V-10: Hydrogramme de la crue de période de retour 20 ans simulée à l'exutoire du BV 1 (8B)

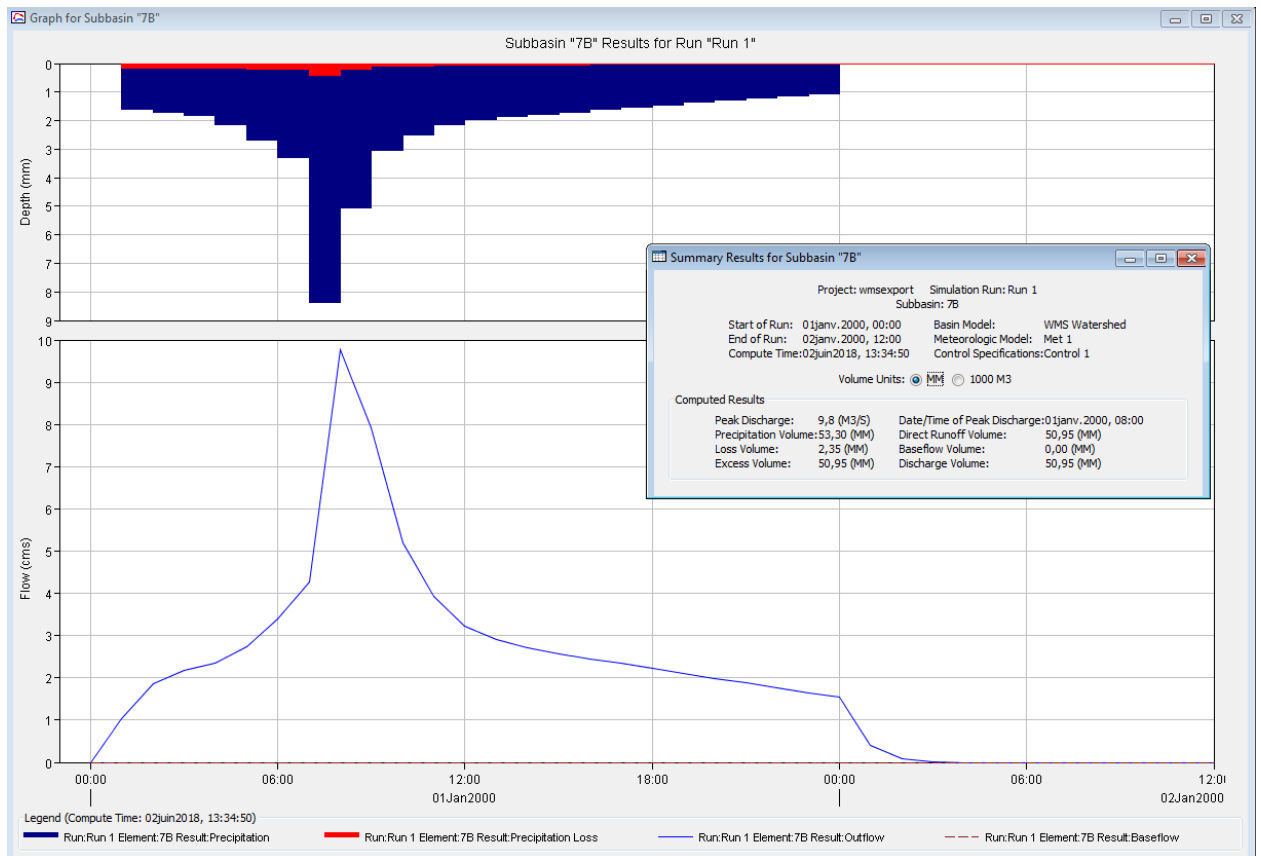


Fig. V -11 : Hydrogramme de la crue de période de retour 20 ans simulée à l'exutoire du BV 3 (7B)

CHAPITRE v : MODELISATION

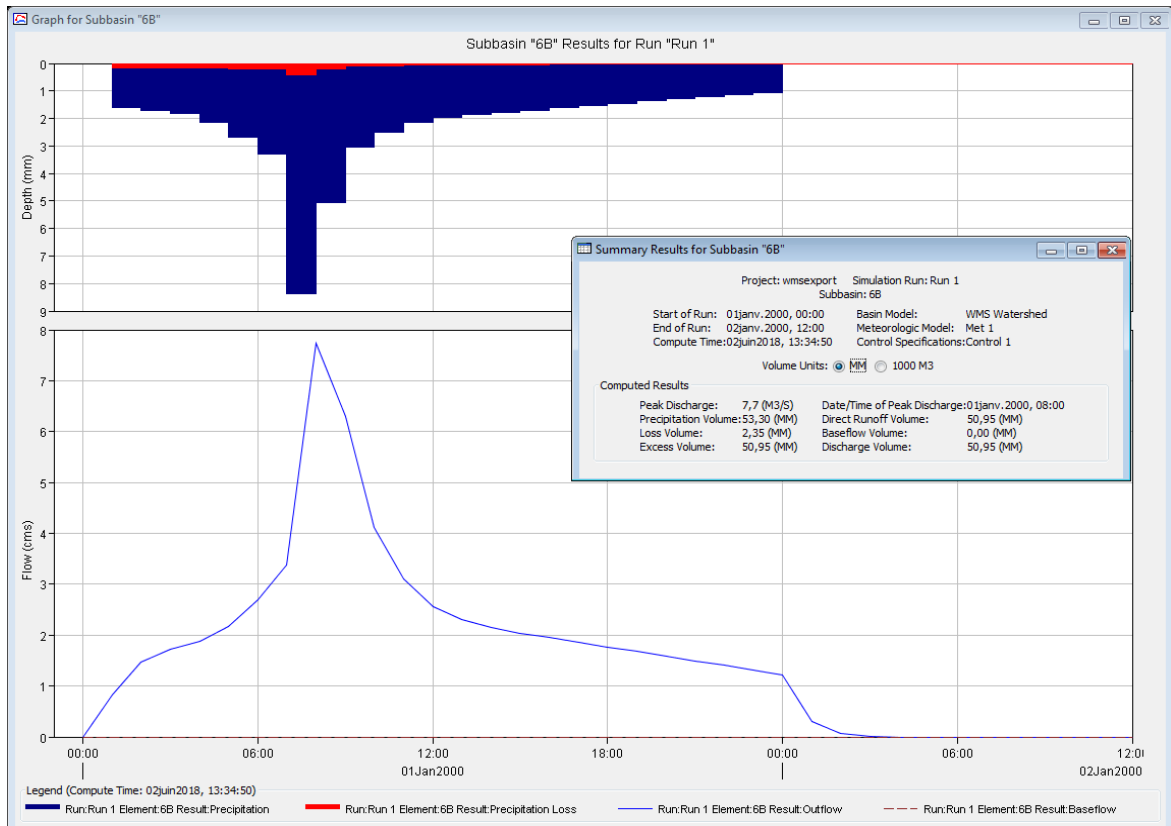


Fig. V -12 : Hydrogramme de la crue de période de retour 20 ans simulée à l'exutoire du BV 2 (6B)

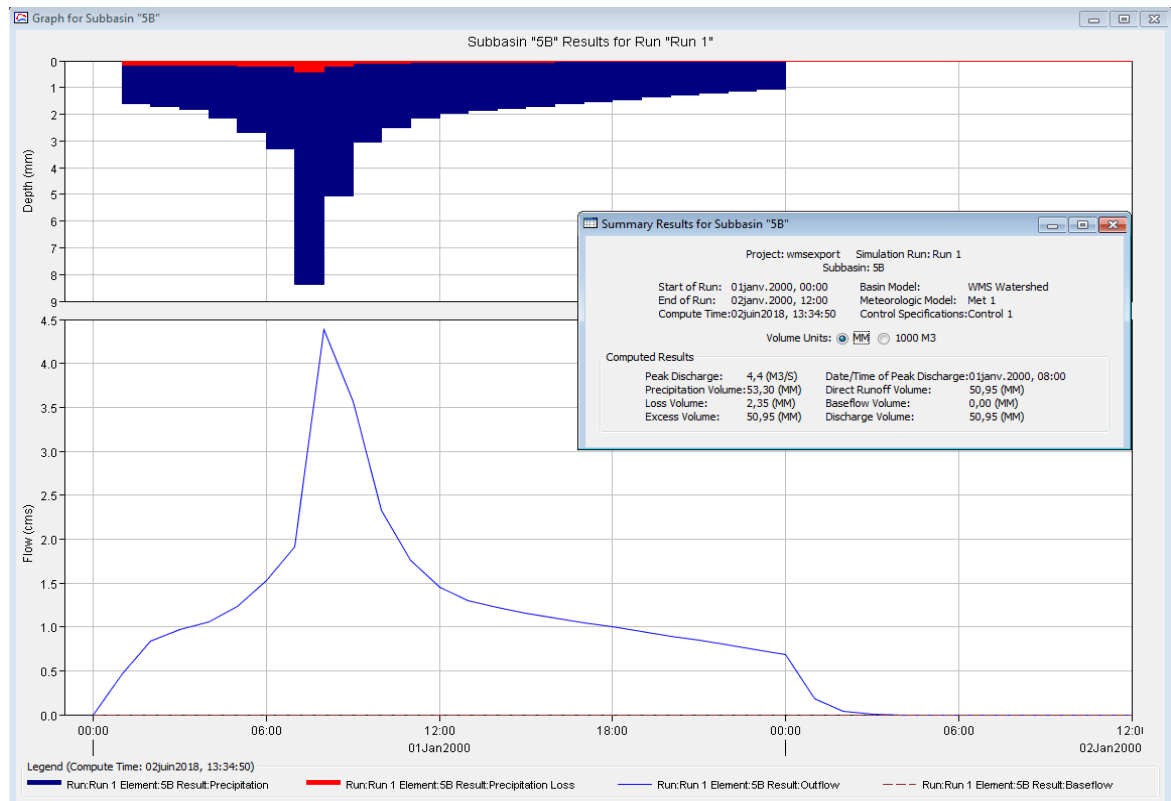


Fig. V -13 : Hydrogramme de la crue de période de retour 20 ans simulée à l'exutoire du BV 4 (5B)

CHAPITRE v : MODELISATION

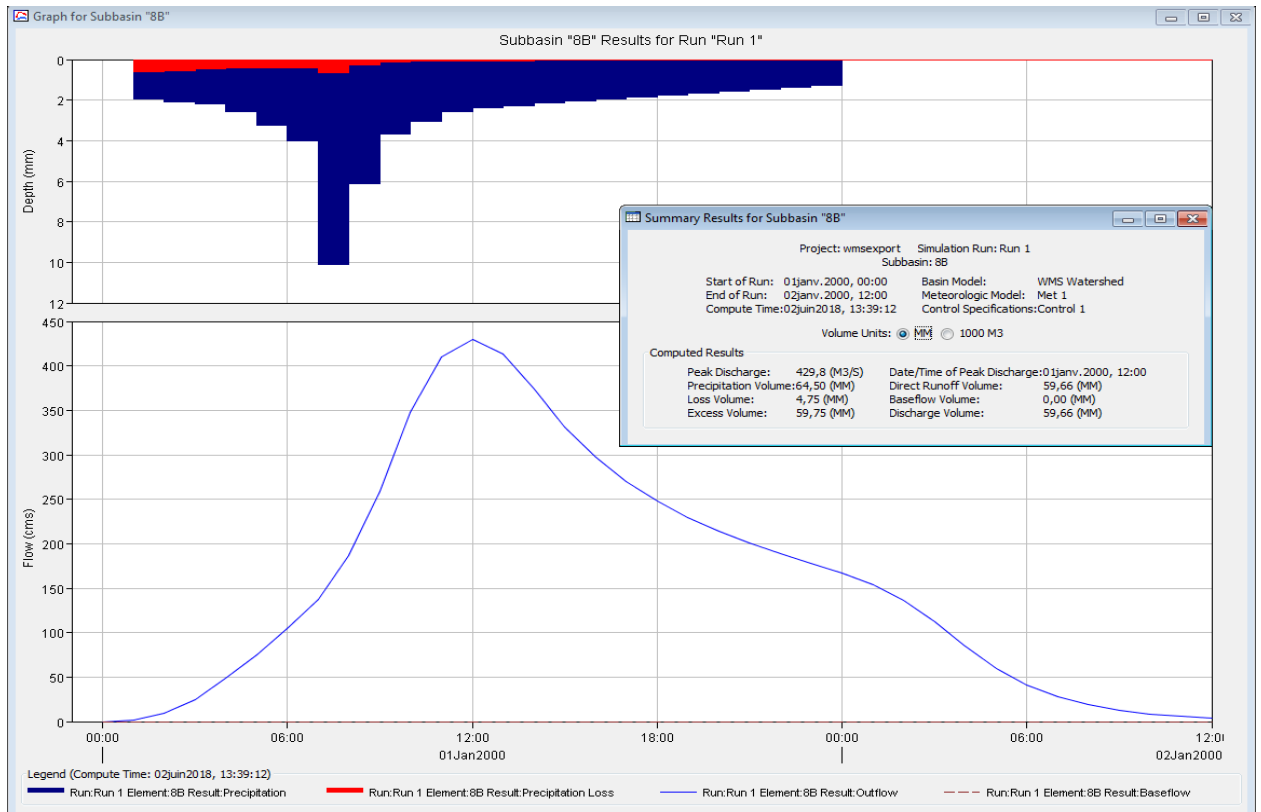


Fig. V -14 : Hydrogramme de la crue de période de retour 50 ans simulée à l'exutoire du BV 1 (8B)

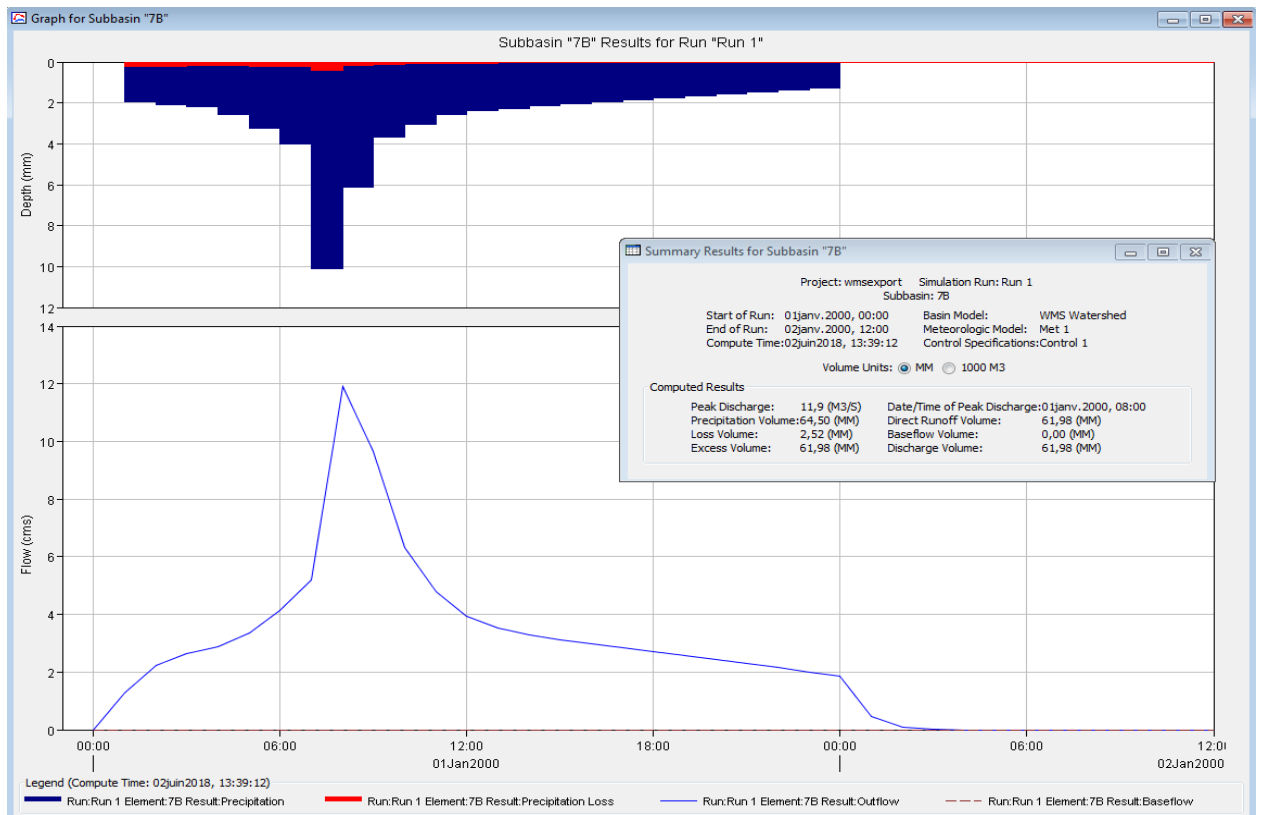


Fig. V -15 : Hydrogramme de la crue de période de retour 50 ans simulée à l'exutoire du BV 3 (7B)

CHAPITRE v : MODELISATION

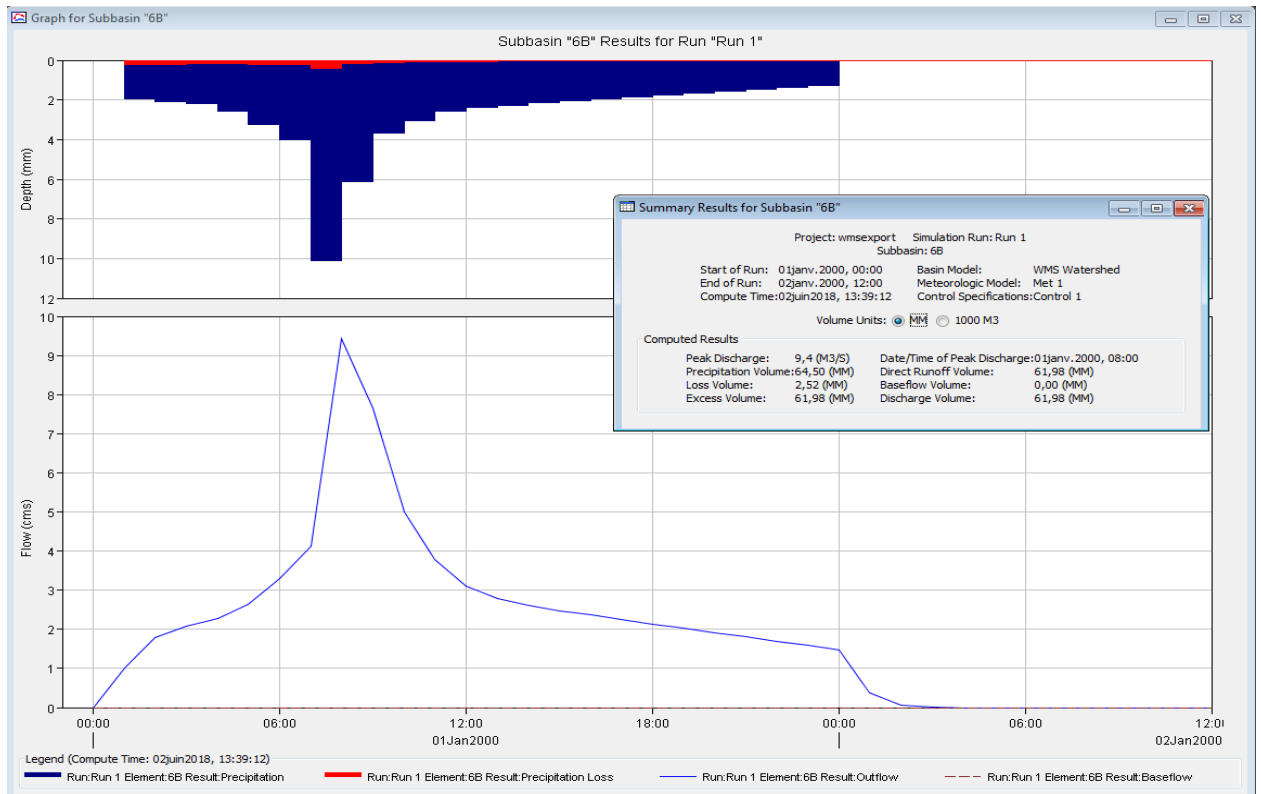


Fig. V -16 : Hydrogramme de la crue de période de retour 50 ans simulée à l'exutoire du BV 2 (6B)

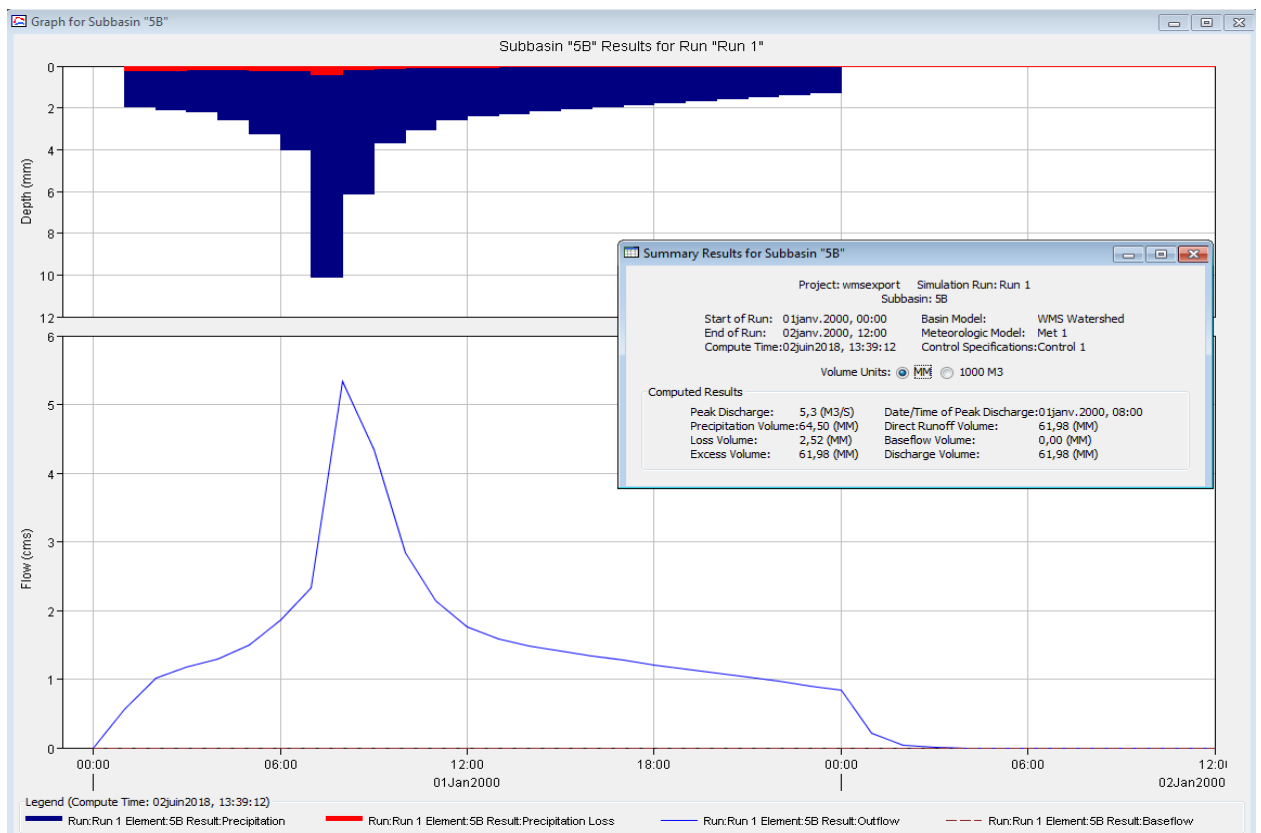


Fig. V -17 : Hydrogramme de la crue de période de retour 50 ans simulée à l'exutoire du BV 4 (5B)

CHAPITRE v : MODELISATION

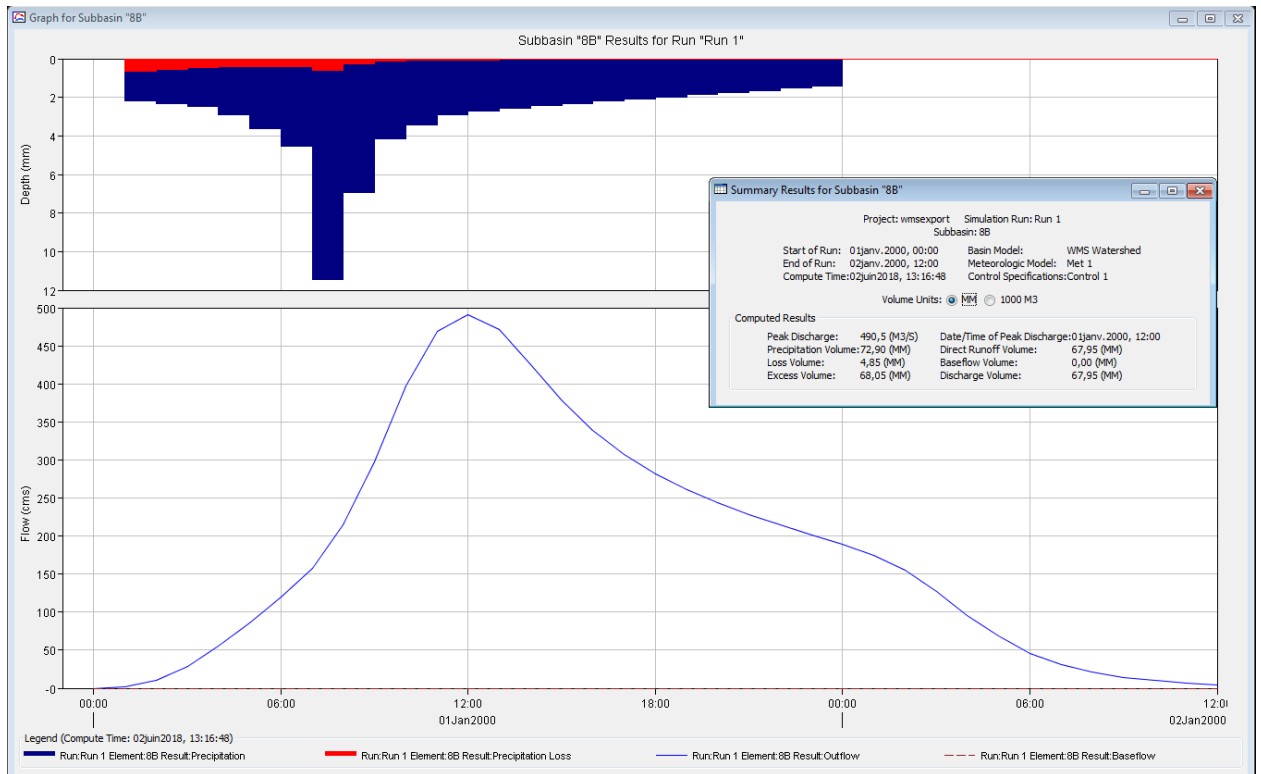


Fig. V -18 : Hydrogramme de la crue de période de retour 100 ans simulée à l'exutoire du BV 1 (8B)

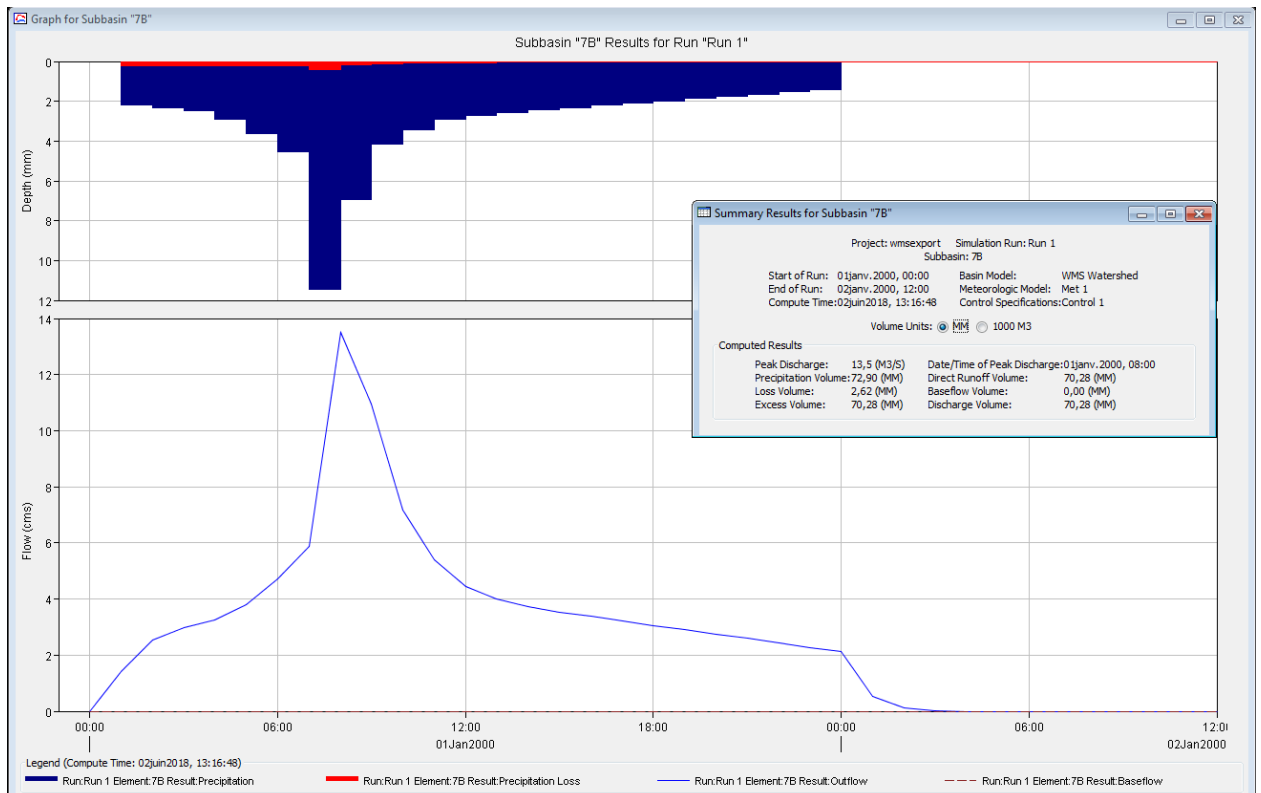


Fig. V -19 : Hydrogramme de la crue de période de retour 100 ans simulée à l'exutoire du BV 3 (7B)

CHAPITRE v : MODELISATION

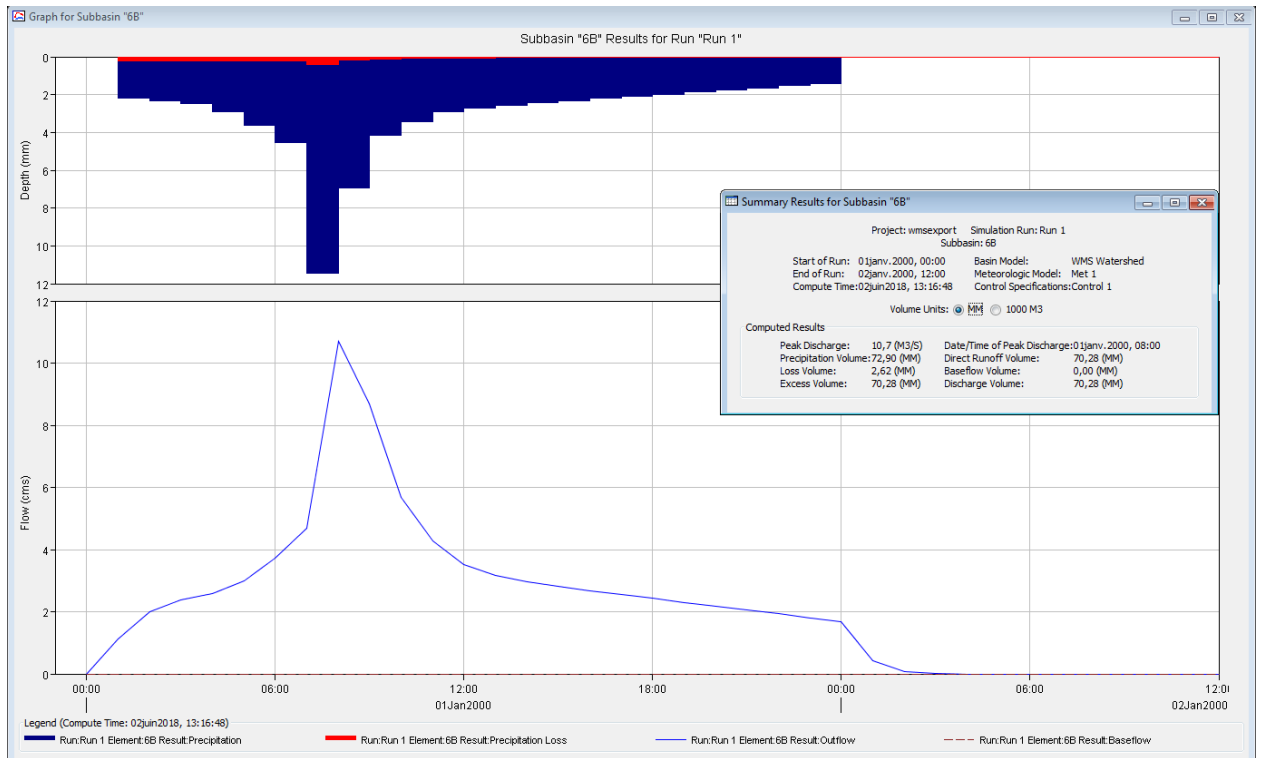


Fig. V -20 : Hydrogramme de la crue de période de retour 100 ans simulée à l'exutoire du BV 2 (6B)

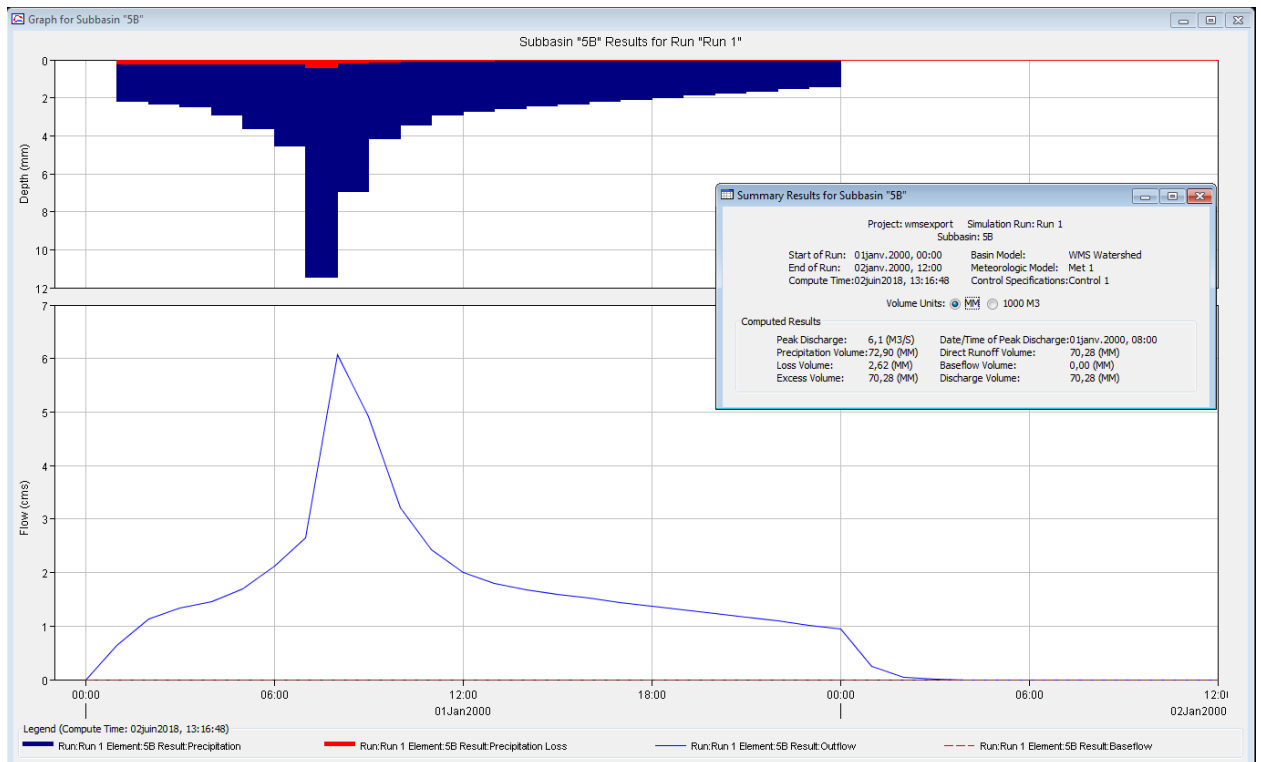


Fig. V -21 : Hydrogramme de la crue de période de retour 100 ans simulée à l'exutoire du BV 4 (5B)

Tab. V-8 : les valeurs calculées par les formules empiriques et simulées par HEC-HMS du débit de pointe pour les averses quantiles

		Débits (m3/S)				
		SKOLOVSKY	TURAZA	GIANDOTTI	POSSENTI	Simulé par HEC-HMS
T= 100 ans	BV1	506.92	419.08	287.93	469.78	490.5
	BV2	25.64	21.20	10.94	34.01	13.5
	BV3	19.64	16.24	7.84	27.61	6.1
	BV4	23.94	19.79	10.26	31.04	10.7
T= 50 ans	BV1	384.44	317.82	254.75	415.65	429.8
	BV2	19.44	16.07	9.68	30.09	11.9
	BV3	14.89	12.31	6.93	24.43	5.3
	BV4	18.16	15.01	9.08	22.70	9.4
T= 20 ans	BV1	319.90	291.21	210.52	456.40	349.2
	BV2	16.73	14.73	8.00	34.18	9.8
	BV3	11.28	10.70	5.73	20.19	4.4
	BV4	13.75	9.98	7.50	22.70	7.7
T= 10 ans	BV1	222.02	183.55	176.55	288.05	287.6
	BV2	11.23	9.28	6.71	20.86	8.1
	BV3	8.60	7.11	4.80	16.93	3.7
	BV4	10.49	8.67	6.29	19.03	6.5

V-2-2-4- Conclusion

Les valeurs des débits de pointes obtenues, malgré leur apparente hétérogénéité, sont proches de celles calculées par les deux formules empiriques de POSSENTI et de SKOLOVSKY pour le premier bassin de surface 357 km², tandis qu’elles sont proches de celles trouvées par la formule empirique de GIANDOTTI pour le reste des bassins ayant des petites surfaces (inférieures à 6 km²).

V-3- Modèle hydraulique : Délimitation des zones inondables par Hec Ras 2D

V-3-1-Présentation et exploitation du logiciel HecGeoRAS

V-3-1-1-Methode de travail

Dans notre cas on va procéder à une modélisation de l’inondation de la ville de Ain el Melh par le logiciel Hec RAS version 5.03 en prenant en considération trois périodes de retour. Pour cela on a fait appel au logiciel Hec Geo RAS pour transférer les données de Arc Gis vers Hec RAS.

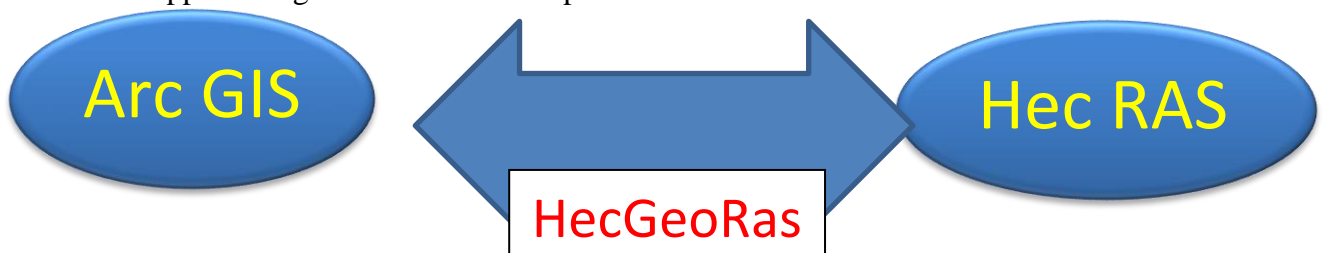


Fig.V-22 : Liaison Arc GIS- HecGeoRas- HEC RAS

V-3-1-2-Présentation et exploitation du logiciel HecGeoRAS

Le logiciel HecGeoRAS va nous permettre de définir la géométrie de la rivière sur ArcGis. Intégré à ArcGis, il suffit de définir une base d'altitudes (fichier GRID ou TIN) pour pouvoir l'utiliser. Il permet différentes manipulations telles que :

Créer les rivières. Pour cela, il est possible d'utiliser en fond une couche déjà existante,

- ✓ Créer les berges gauches et droites,
- ✓ Créer les voies de passage de l'eau gauches et droites,
- ✓ Créer les ponts,
- ✓ Créer les zones d'eaux stagnantes,
- ✓ Créer des obstacles,
- ✓ Créer les digues,
- ✓ Créer les lignes pour la simulation.

Pour cela, il suffit d'aller dans l'éditeur de ArcGis, sélectionner l'outil lignes et de tracer, d'après un fond de photos aériennes ou autre. Ensuite , convertir cette géométrie au bon format et de l'importer dans HEC RAS.

Il permet d'une part, la préparation des données géométriques à exporter vers HecRAS, et la récupération des résultats de simulation effectuée par HEC-RAS. Les données résultant de la simulation par HecRAS, peuvent être exploitées par HecGeoRAS sous ArcGIS pour analyser et cartographier les zones inondables, en plus d'autres possibilités.

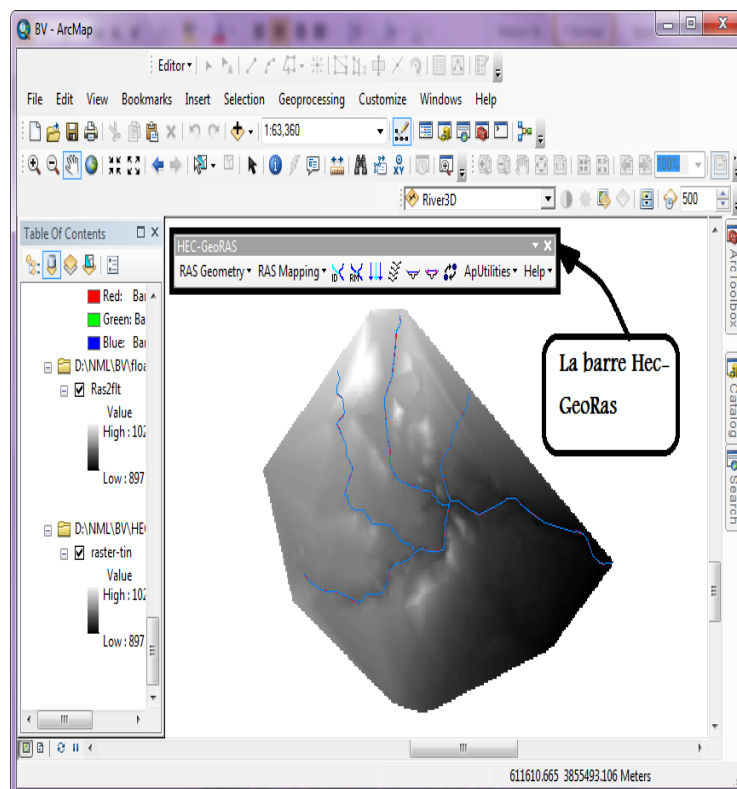


Fig.V-23 : Extension HecGeoRas sur l'interface ArcMap

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

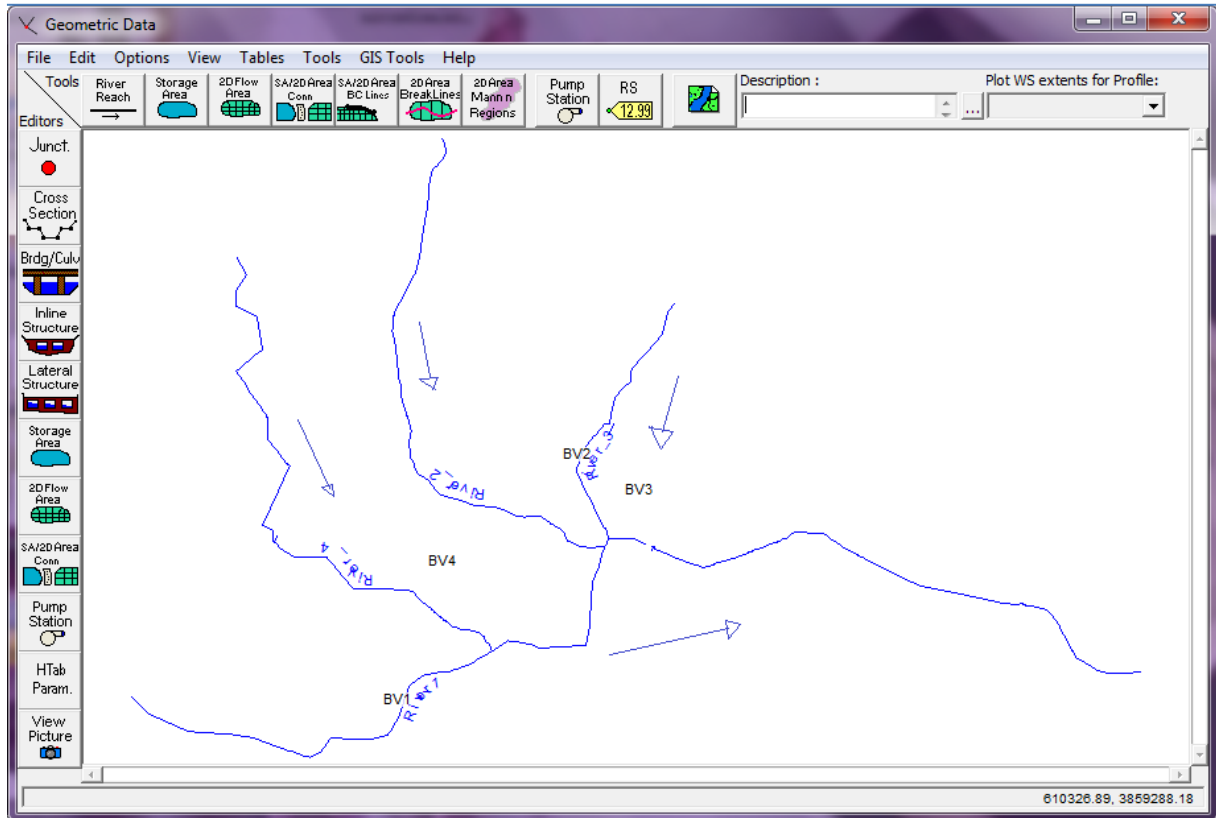


Fig.V-24 : Entités géométriques numérisées sur ArcMap à l'aide de l'extension HecGeoRas

V-3-2- Présentation du logiciel HEC RAS

V-3-2-1- Introduction

Nous nous intéressons dans ce travail au code HEC-RAS qui est une abréviation de « HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER'S RIVER ANALYSIS SYSTEM ». C'est un code 1D 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 cas de régimes rapidement variés tels 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.

V-3-2-2-Description du modèle

Le modèle HEC- RAS est un modèle Saint- Venant unidimensionnel et 2D dans la simulation hydraulique qui permet d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière et la détermination des limites du champ d'inondation de crues de référence à partir d'une étude topographique qui a pour but de décrire la géométrie du terrain pour le dimensionnement de l'ouvrage de protection.

Il utilise des équations d'hydrauliques à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning-Strickler...) et des modèles pour les seuils, le frottement etc.

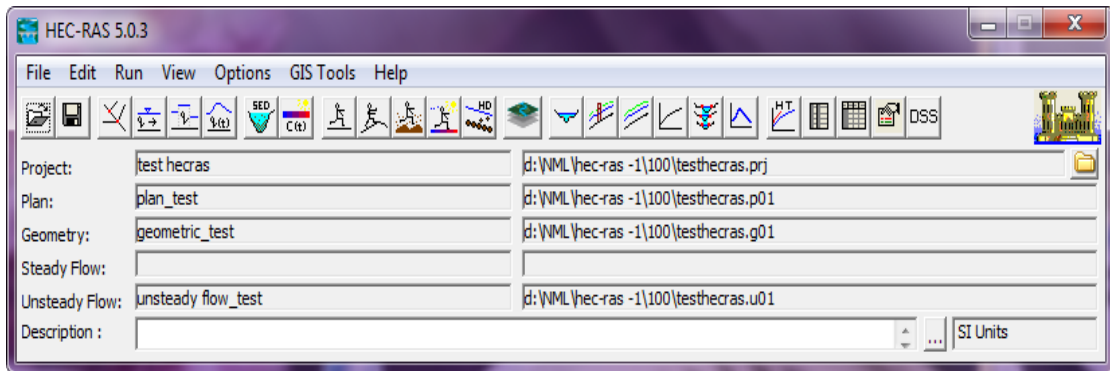


Fig.V-25 : Interface de HEC-RAS 5.03

V-3-2-3 –Equations de Barré Saint Venant bidimensionnelles :

L'équation de continuité et les équations de quantité de mouvement constituent les équations de Barré de Saint-Venant bidimensionnelles dérivées des équations de Navier-Stokes :

Equation de Continuité :

$$\frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv) + \frac{\partial Z_s}{\partial t} = 0$$

Equations de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + f(hv) + A_H \Delta(hu) + \frac{\tau_{xx}}{\rho} - \frac{\tau_{fx}}{\rho}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial x}(huv) + \frac{\partial}{\partial y}(hv^2) = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} - f(hu) + A_H \Delta(hv) + \frac{\tau_{yy}}{\rho} - \frac{\tau_{fy}}{\rho}$$

V-3-2-4- Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC RAS 2D :

L'application du modèle Hec RAS nécessite une banque de données concernant le site étudié :

1-Les données géométriques relatives à chaque section

Les données géométriques nécessaires, consistent à l'établissement de la connectivité de l'information pour le système de rivière (schéma de système de rivière), les données des sections transversales, et les données d'ouvrage hydrauliques existants ou projetés (ponts, levées, structures latérales, déversoirs, etc.).

2- les conditions aux limites :


Les données de l'écoulement et les conditions aux limites

Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS est de spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du système de rivière.

V-3-2-5-Application du logiciel HEC-RAS Cas régime non permanent 2D

Les différentes étapes de simulation de la propagation d'une crue dans une rivière à l'aide de la plateforme 2D RAS Mapper du logiciel HEC-RAS 5.03 :

1. Préparation du model terrain

➤ Créer un nouveau projet HEC-RAS. Cliquer ensuite sur l'icône RAS Mapper.  Dans la fenêtre RAS Mapper, cocher l'option terrain et faire un clic droit. Choisir l'option *Create a new terrain*. Ceci apportera une fenêtre pour créer un système de référence spatiale comme suit :

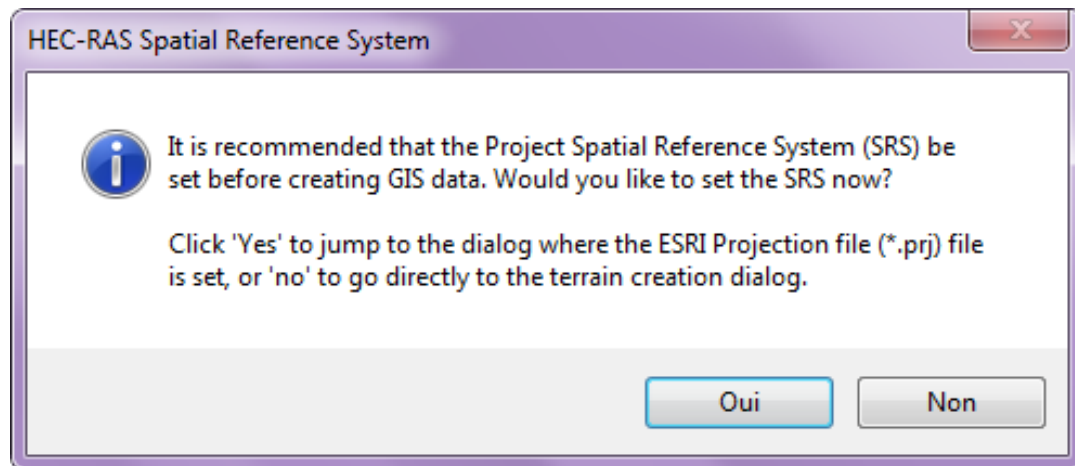


Fig.V-26 : Fenêtre système de référence spatiale

Choisir l'option **oui** pour la projection du projet. Ceci fait apparaître la fenêtre suivante :

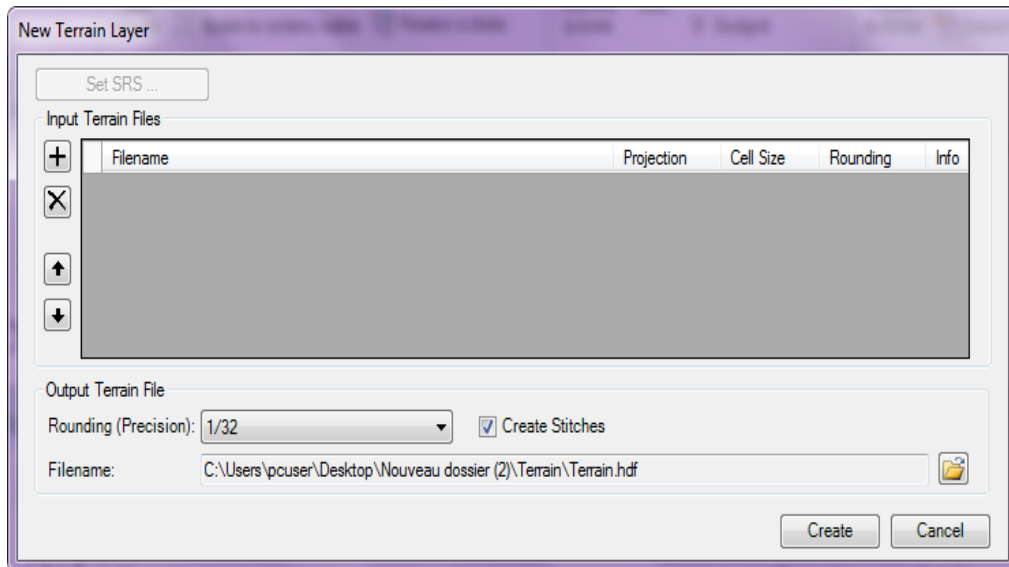


Fig.V-27 : Fenêtre de l'option Create a new terrain

- Ouvrir le répertoire terrain et cliquer sur le fichier w001001.adf Cela va encore apporter une fenêtre
- Maintenant sur le bouton Create comme suit :

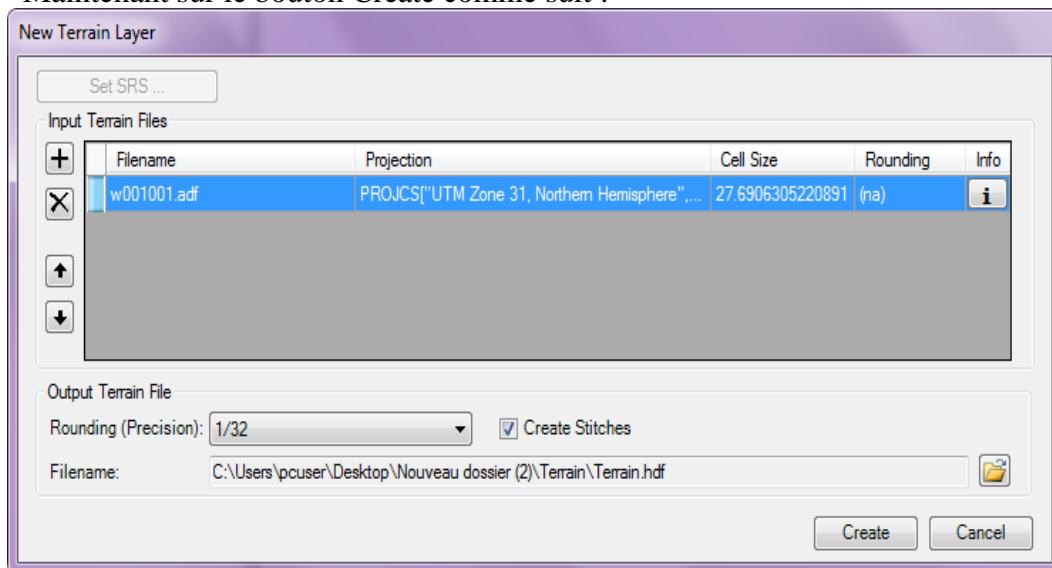


Fig.V-28 : Fenêtre de choix du fichier w001001.adf

- Cocher la boîte de Terrain pour visualiser le terrain, comme suit :

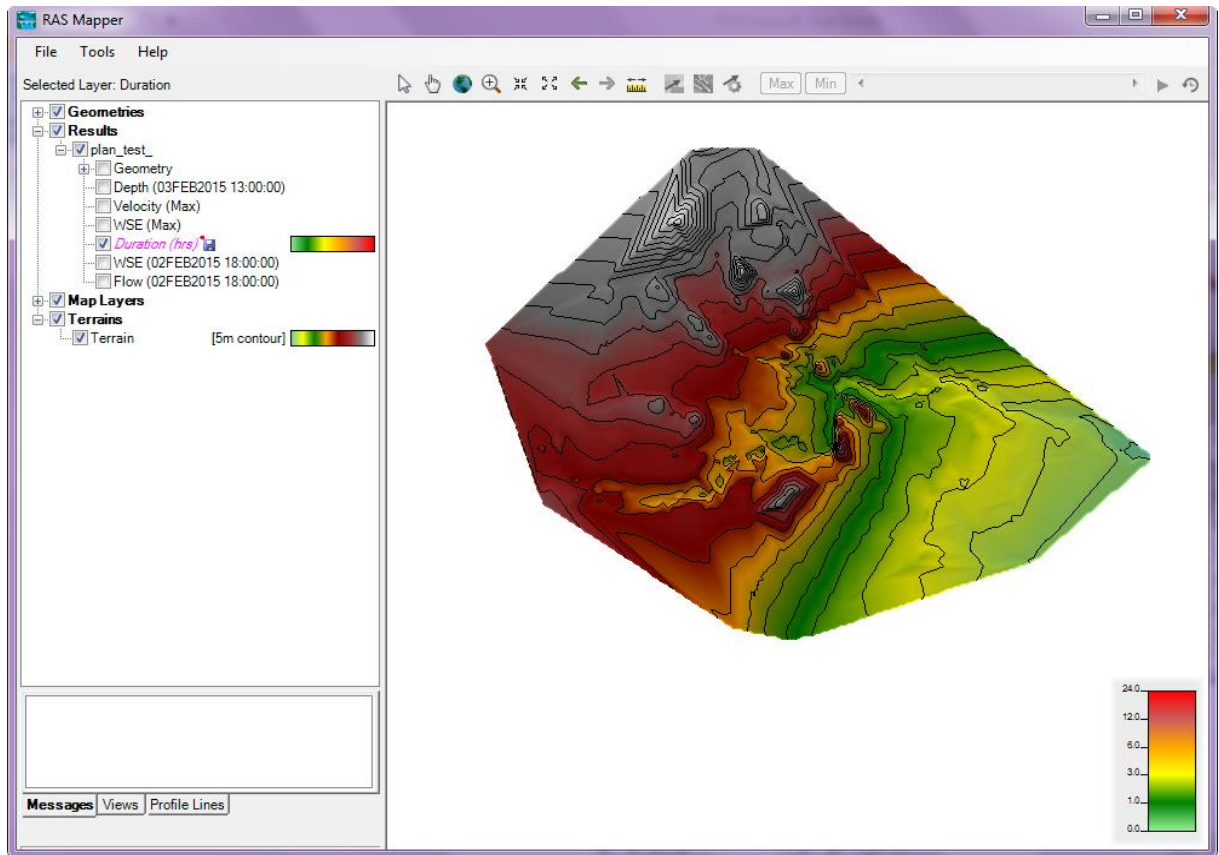



Fig.V-29: Représentation du terrain sur Ras Mapper

2-Création du maillage :

Enregistrer notre projet HEC-RAS et ouvrir l'onglet Géométrie , après vérifier la photo et nous devons pouvoir voir le terrain comme suit:

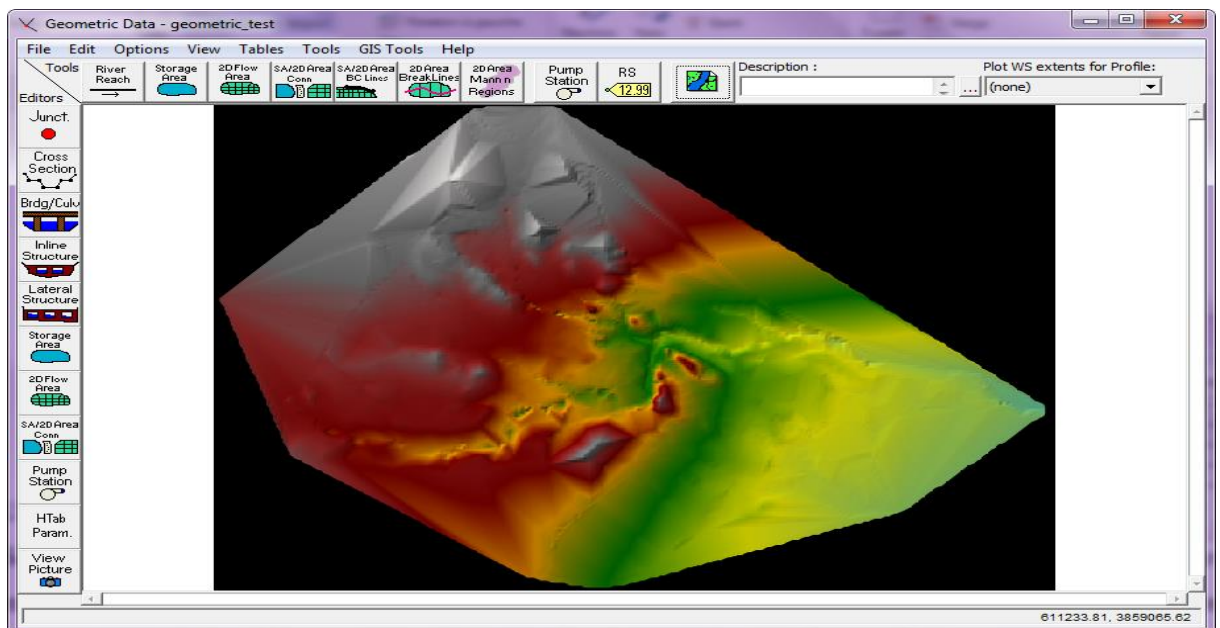



Fig.V-30: Fenêtre de Géométric Data



- Utilisez l'icône 2DFlow Area , qui est située au-dessus de la fenêtre de la géométrie.
- Sélectionner la surface de votre domaine et lui donner un nom. Cliquer OK et vous avez maintenant la surface 2DFlow qui sera le domaine pour la simulation en 2D.
- Après, sélectionnez la surface 2D que vous avez créé et faites un clic droit, puis choisir Edit 2DFlow Area.
- Puis, cliquer sur Generate Computation Points On regular Interval...
- Choisir un Dx et un Dy égaux à 200 ou à 500. Cliquer sur Generate Points in 2D Flow .

Area et le maillage sera créé. Maintenant, vous pouvez commencer à ajouter des sections transversales et d'autres paramètres que vous avez appris dans le prétraitement de HEC-RAS

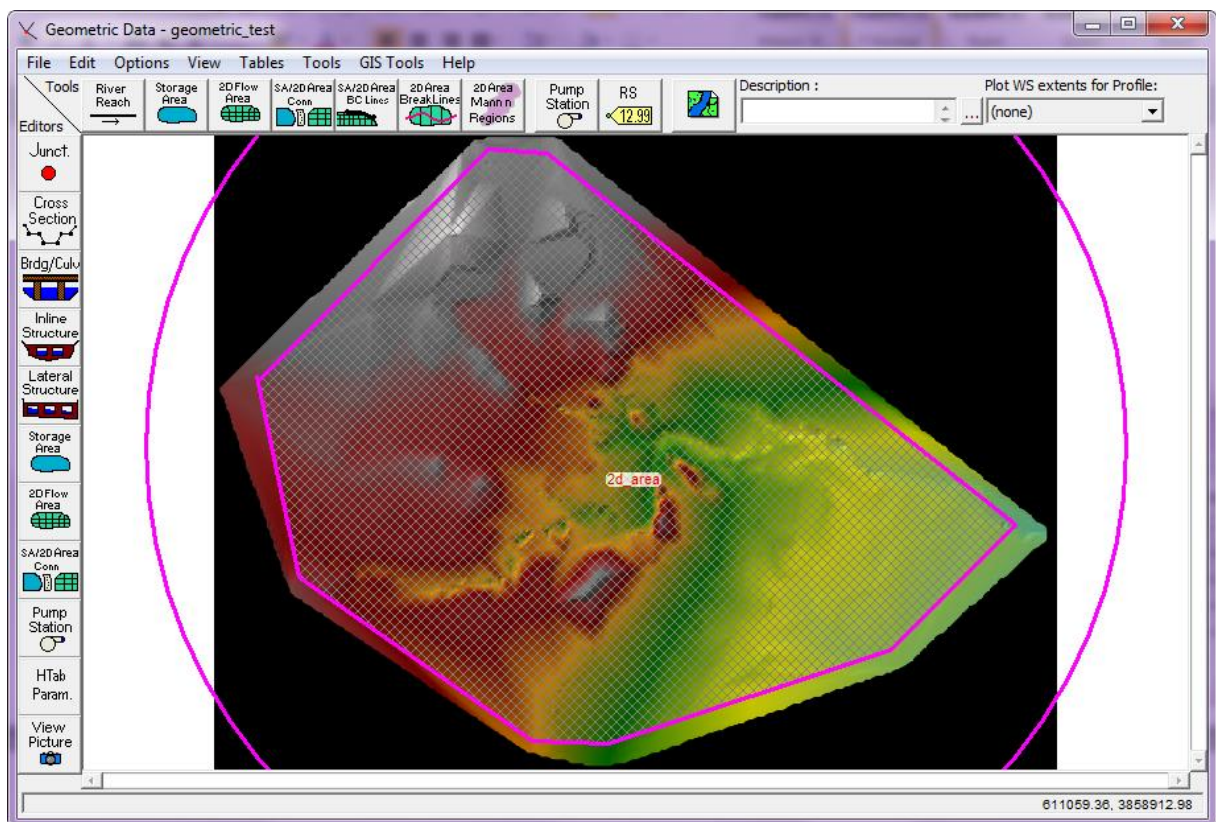




Fig-31: Fenêtre du maillage

3-Les conditions aux limites

On délimite les frontières des limites amont et aval de la surface d'écoulement par 2DArea BC

Lines  .

Pour introduire les conditions aux limites on ouvre EDIT Unsteady Flow Data .

Dans la case réservée à la frontière amont on choisit Flow Hydrograph et on introduit les valeurs de débit (résultat de la simulation Hec Hms). Dans la case qui correspond au frontière aval, on choisit Normal Detphet et on introduit la valeur de la pente (0.001).

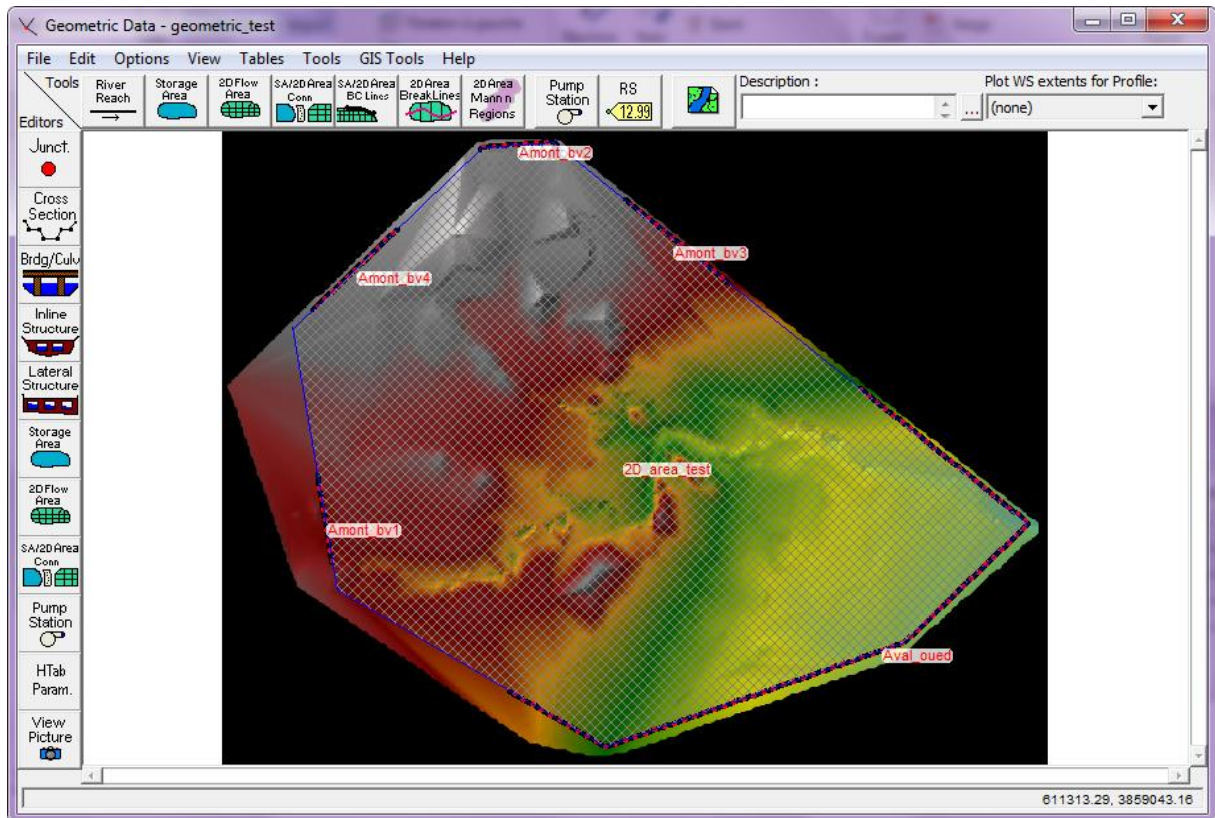


Fig.V-32 : Les frontières des limites amont et aval de la surface d'écoulement

Une fois que nous avons modifié les limites, on peut reconstruire notre maillage. Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements. Dans ce dernier cas, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel - fluvial, caractérisés par un ressaut.

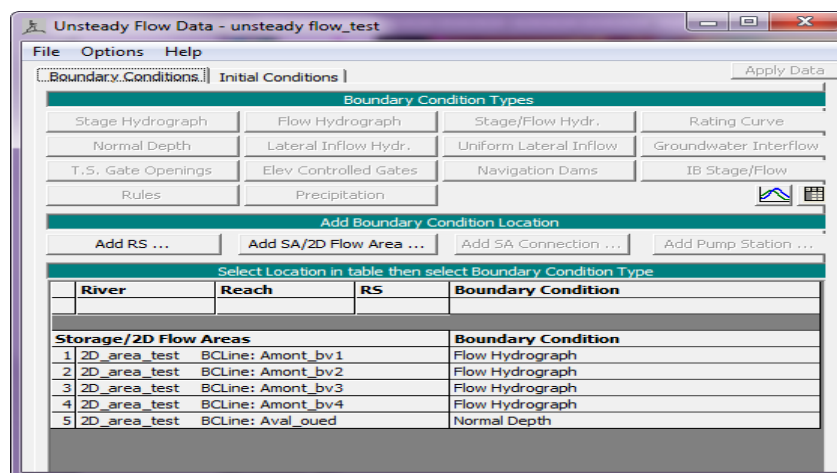


Fig.V-33 : interface unsteady Flow Data

Flow Hydrograph

SA: 2D_area_test BCLine: Amont bv1

Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

Enter Table Data time interval: 6 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 02FEB2015 Time: 1800

Fixed Start Time: Date: 03FEB2015 Time: 2000

No. Ordinates | Interpolate Missing Values | Del Row | Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	02Feb2015 1800	00:00	0.
2	02Feb2015 1806	00:06	0.06
3	02Feb2015 1812	00:12	0.24
4	02Feb2015 1818	00:18	0.55
5	02Feb2015 1824	00:24	0.98
6	02Feb2015 1830	00:30	1.53
7	02Feb2015 1836	00:36	2.2
8	02Feb2015 1842	00:42	3.
9	02Feb2015 1848	00:48	3.92
10	02Feb2015 1854	00:54	4.96
11	02Feb2015 1900	01:00	6.12
12	02Feb2015 1906	01:06	7.41
13	02Feb2015 1912	01:12	8.81

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow: Multiplier: EG Slope for distributing flow along BC Line: 1

Plot Data | OK | Cancel

Fig.V-34 : interface Flow hydrograph

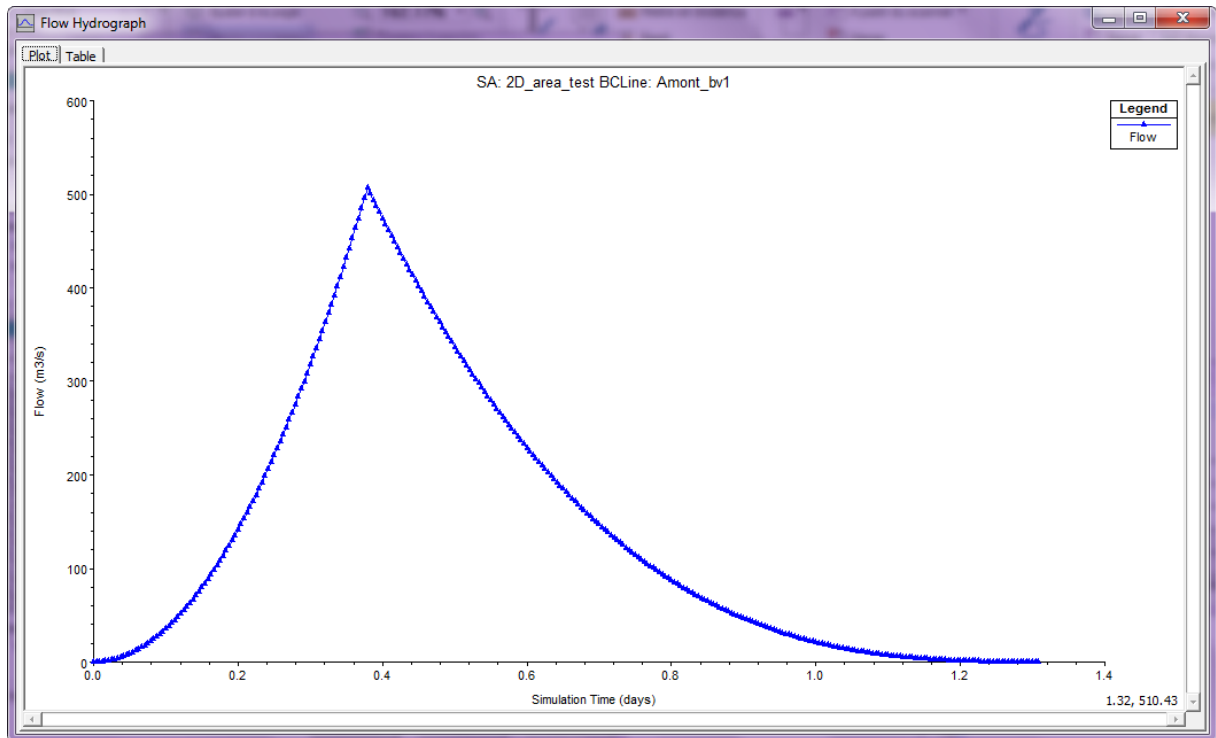


Fig.V-35 : Fenêtre des données de l'hydrogramme.

4-Simulaion

En cas instationnaire « Unsteady flow », on utilise la fenêtre « Unseady Flow Analysis » (Figure 8). Il faut saisir les dates et heures du début et fin de simulation. Avant de cliquer sur « Compute », il faut choisir le pas de simulation « Computation interval » et les intervalles de temps pour l'affichage des résultats. En fin on clique sur « Compute ».

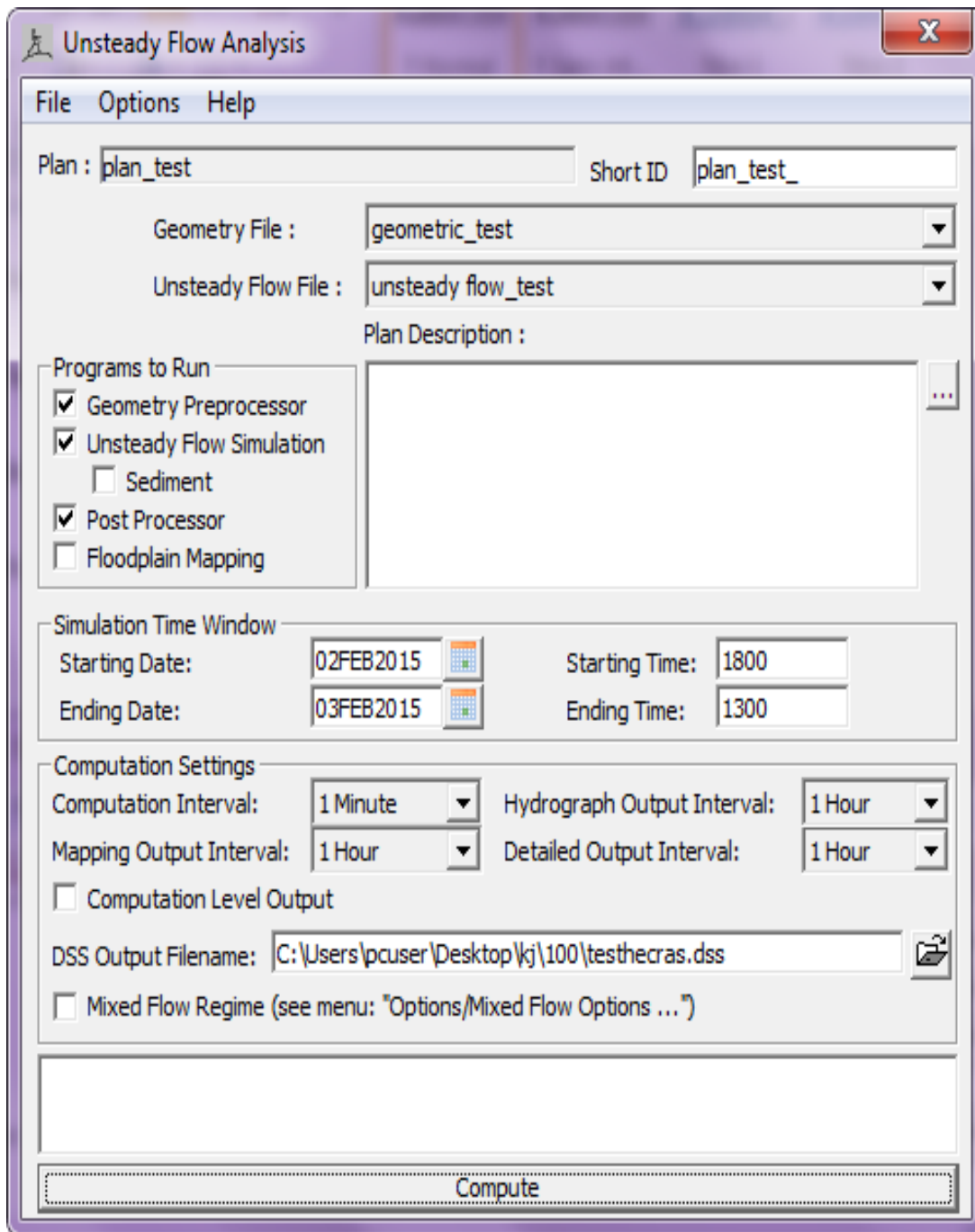


Fig.V-36 : Données de la simulation instationnaire

Maintenant, nous devons pouvoir exécuter le modèle :

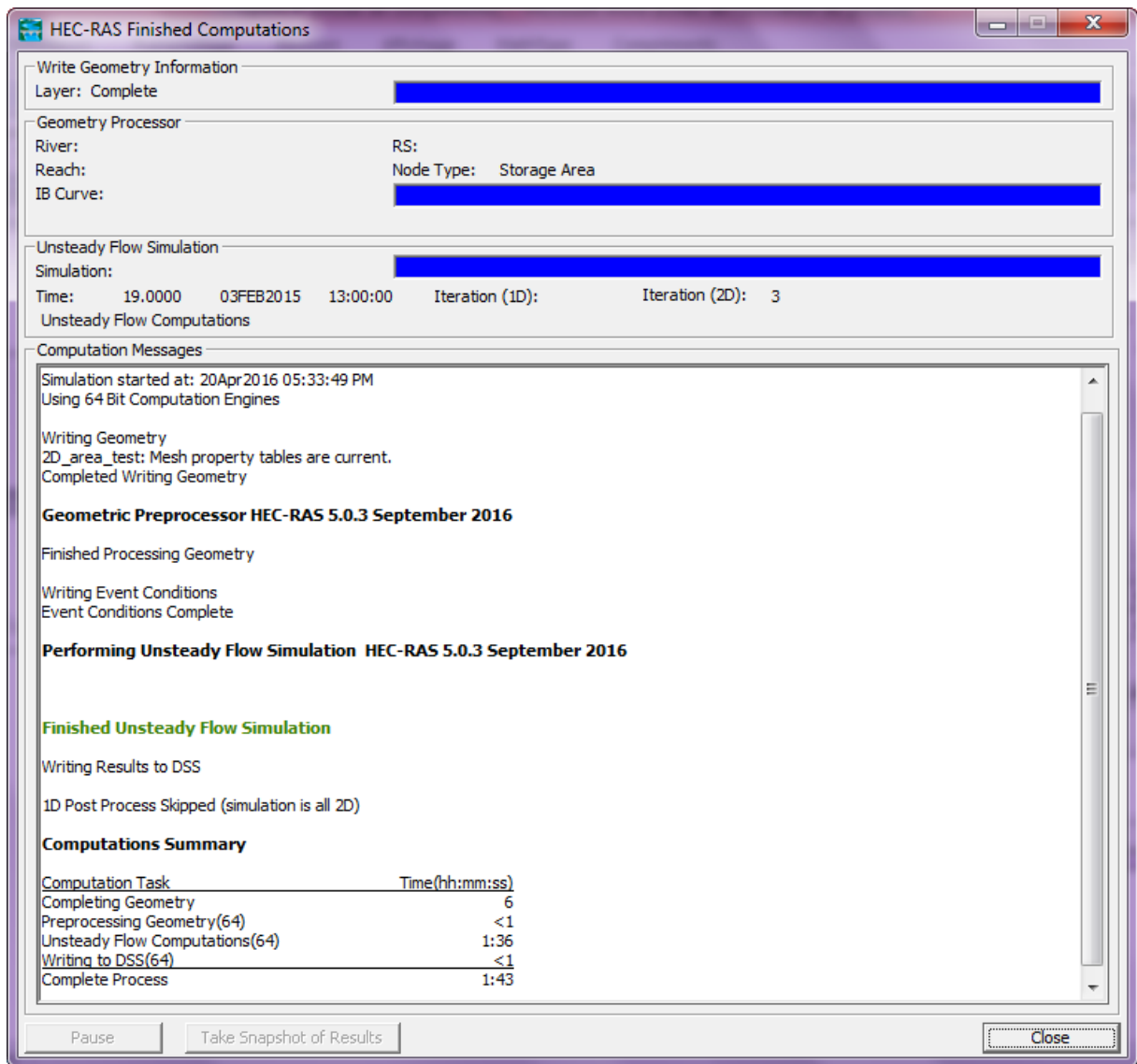


Fig.V-37 : Données de la simulation instationnaire

5. Visualisation des résultats :

Après que le modèle soit couru, la visualisation est faite dans le cartographe de RAS en vérifiant les résultats de boîte. Nous pouvons animer la profondeur d'eau, la vitesse ou l'altitude de surface de l'eau. Les résultats à différentes heures peuvent être visualisés en mettant en rouleau l'étiquette suivante vers le bouton gauche ou droit.

La figure ci-dessous montre une représentation instantanée des profondeurs de l'eau dans la rivière.

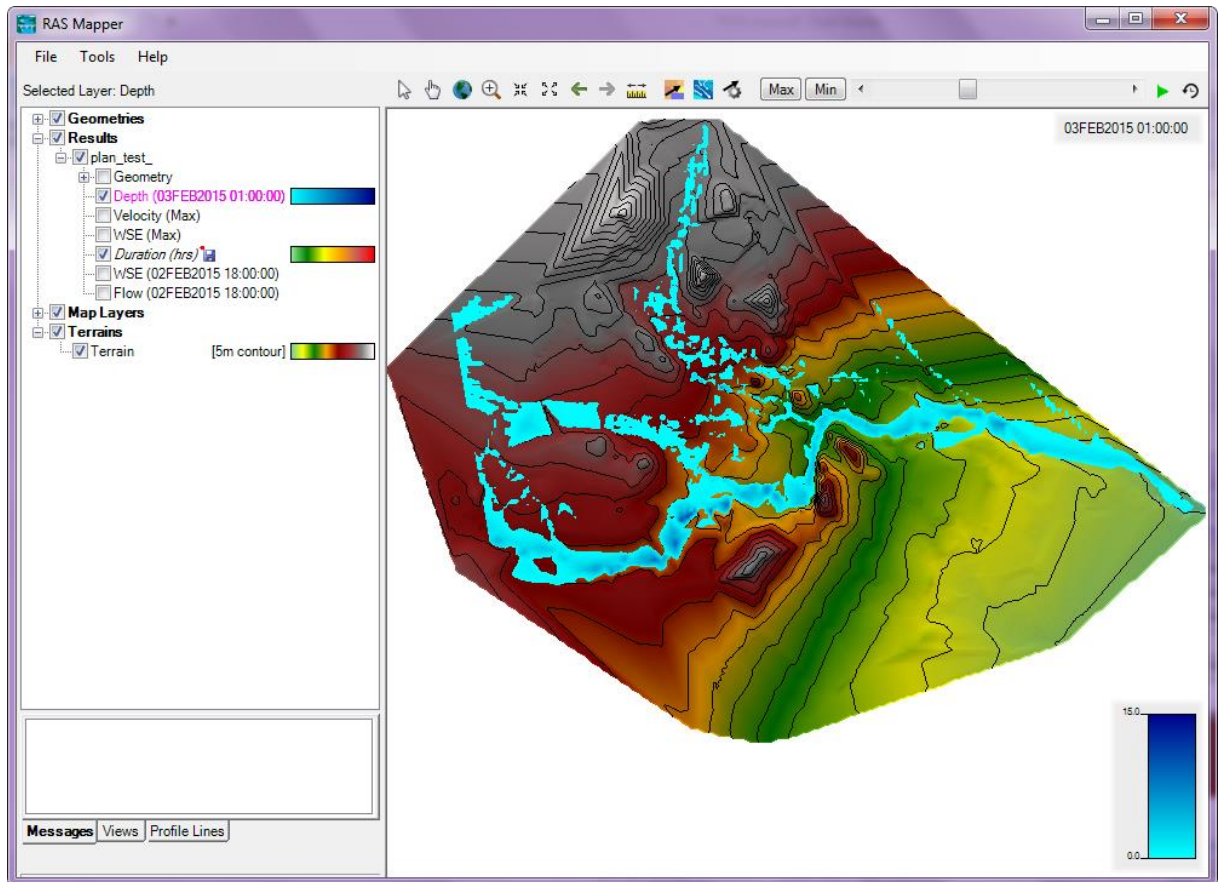


Fig.V-38: Profondeur d'eau dans la rivière

sur les figures suivantes on peut voir l'évolution temporelle de la profondeur d'eau en un point donnée de la rivière

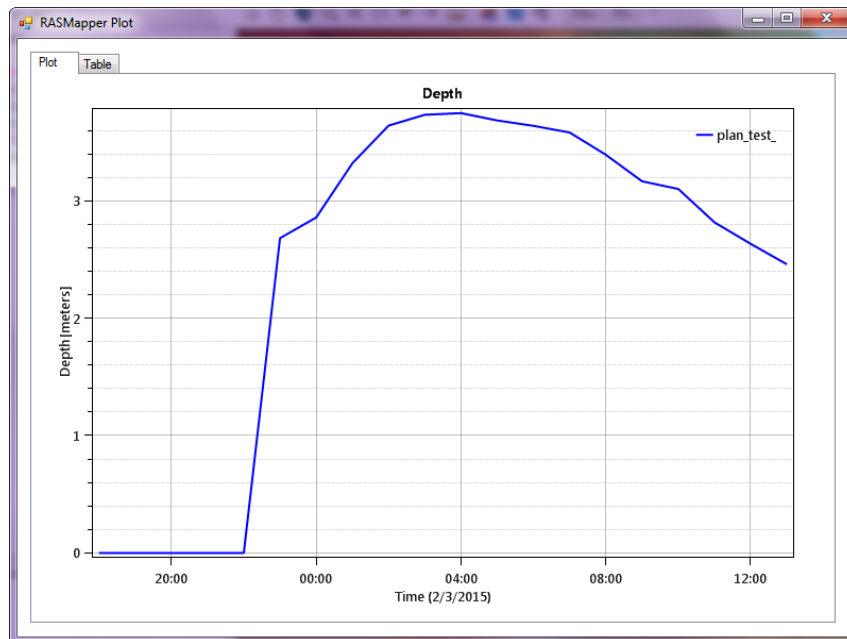


Fig.V-39 : Graphe de la variation de la hauteur pour un point spécifiée en fonction du temps

	Time (2/3/2015)	Depth (meters)
1	02Feb2015 18:0...	0
2	02Feb2015 19:0...	0
3	02Feb2015 20:0...	0
4	02Feb2015 21:0...	0
5	02Feb2015 22:0...	9.5874
6	02Feb2015 23:0...	10.1776
7	03Feb2015 00:0...	10.3273
8	03Feb2015 01:0...	10.4703
9	03Feb2015 02:0...	10.6166
10	03Feb2015 03:0...	10.7631
11	03Feb2015 04:0...	10.756
12	03Feb2015 05:0...	10.6737
13	03Feb2015 06:0...	10.5933
14	03Feb2015 07:0...	10.5129
15	03Feb2015 08:0...	10.4397
16	03Feb2015 09:0...	10.3702
17	03Feb2015 10:0...	10.2965
18	03Feb2015 11:0...	10.2234
19	03Feb2015 12:0...	10.1535
20	03Feb2015 13:0...	10.0769

Fig.V-40 : Tableau de variation de la hauteur pour un point spécifié en fonction du temps

les figures suivantes présentent l'évolution temporelle des vitesses d'eau en un point donnée de la rivière :

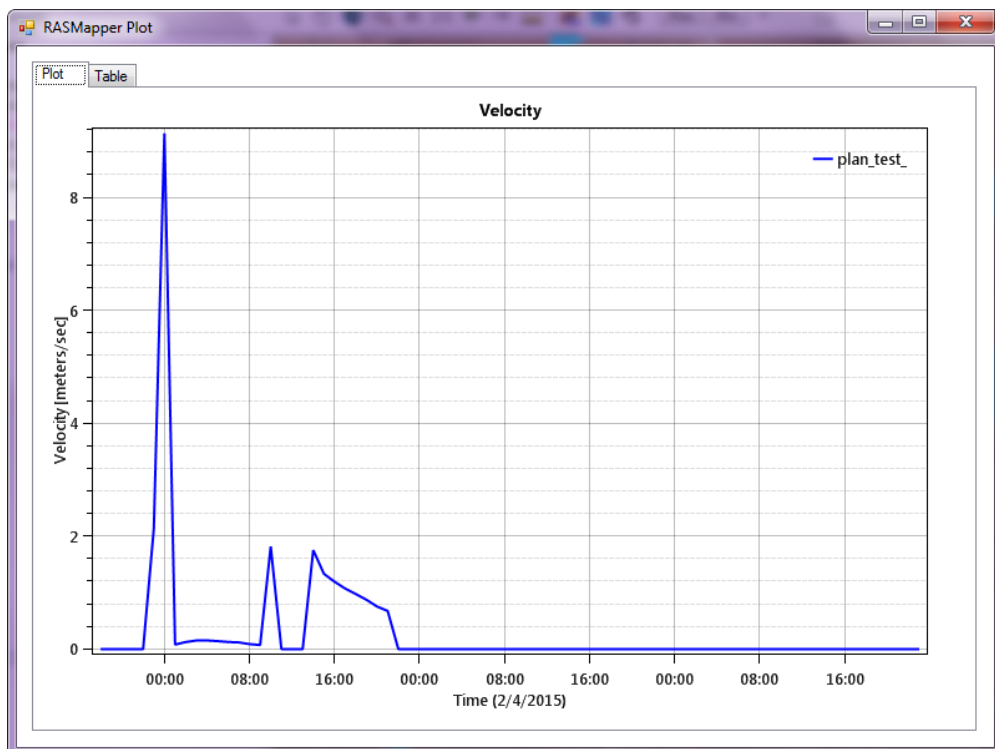


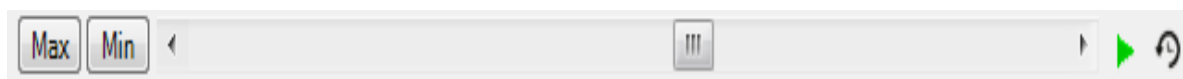
Fig.V-41 :Graphe de variation de la vitesse pour un point spécifié en fonction du temps

	Time (2/4/2015)	plan_test_ (meters/sec)
1	02Feb2015 18:0...	0
2	02Feb2015 19:0...	0
3	02Feb2015 20:0...	0
4	02Feb2015 21:0...	0
5	02Feb2015 22:0...	0
6	02Feb2015 23:0...	2.1333
7	03Feb2015 00:0...	9.1355
8	03Feb2015 01:0...	0.0794
9	03Feb2015 02:0...	0.1244
10	03Feb2015 03:0...	0.1514
11	03Feb2015 04:0...	0.1535
12	03Feb2015 05:0...	0.1405
13	03Feb2015 06:0...	0.1257
14	03Feb2015 07:0...	0.1175
15	03Feb2015 08:0...	0.0876
16	03Feb2015 09:0...	0.072
17	03Feb2015 10:0...	1.8161
18	03Feb2015 11:0...	0
19	03Feb2015 12:0...	0
20	03Feb2015 13:0...	0
21	03Feb2015 14:0...	1.7525

Fig.V-42 : Tableau de variation de la vitesse pour un point spécifique en fonction du temps

Les résultats à différents moments peuvent être visualisés en faisant défiler l'onglet suivant vers la gauche ou vers la droite.

L'onglet ci-dessus se trouve dans le coin supérieur droit de la fenêtre du Mappeur RAS. Les deux figures ci-dessous montrent des instantanés de profondeur d'eau et de vitesse, respectivement.



Conclusion :

Les résultats obtenus par le modèle HEC-RAS nous a permis d'analyser les limites des zones d'inondation pour différents débits de crue. L'extension spatiale des crues les hauteurs d'eau et les vitesses tous ces paramètres trouvés sont indispensable dans toute étude de protection contre les inondations.

Notre travail représenté par la cartographie de l'aléa inondation par approche de modélisation hydraulique dans la ville d'Ain El-Melh, montre une vision claire et simple afin de projeter les différents projets et scénarios d'aménagement de protection à réaliser et fournit un document de base pour toute décision d'urbanisme.

Chapitre 6

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

VI-1-Introduction :

L'effet des changements climatiques et d'occupation du sol sur les processus hydrologiques et la perturbation de l'équilibre naturel des écoulements est important. Par conséquent, les planificateurs et les décideurs sont censés connaître quelles seront les répercussions en aval de leurs actions anthropiques entreprises en amont du bassin versant de telle que le développement urbain, la déforestation, les reboisements,...

Dans ce sens, la présente partie essaie d'utiliser le modèle HEC-HMS ajusté aux bassins versants drainant dans la ville d'Ain El-Melh et le modèle HEC-RAS 2D ajusté à la ville Ain El-Melh, pour prédire ses réponses aux précipitations fréquentielles prédéterminées en tenant compte des changements de l'occupation du sol.

VI-2- Effets des changements de l'occupation du sol dans le bassin n° :01 (dans un sens positif)

VI- 2-1- Effets de l'occupation du sol sur l'Hydrogramme - Quelques précisions

L'imperméabilisation du bassin versant occasionne une réduction du temps de concentration et une augmentation du débit de pointe. Le débit de pointe se définit comme le débit maximal instantané, faisant référence à une période de retour donnée.

Le laminage est le retardement et la diminution du volume des eaux à l'aval, grâce à un stockage temporaire naturel (zone d'expansion des crues) ou artificiel (barrage de rétention). Lorsque cela n'est pas possible, la végétalisation d'une partie des terrains (reboisement, bandes enherbées par exemple) permet de freiner le ruissellement et de retenir une partie des matériaux emportés.

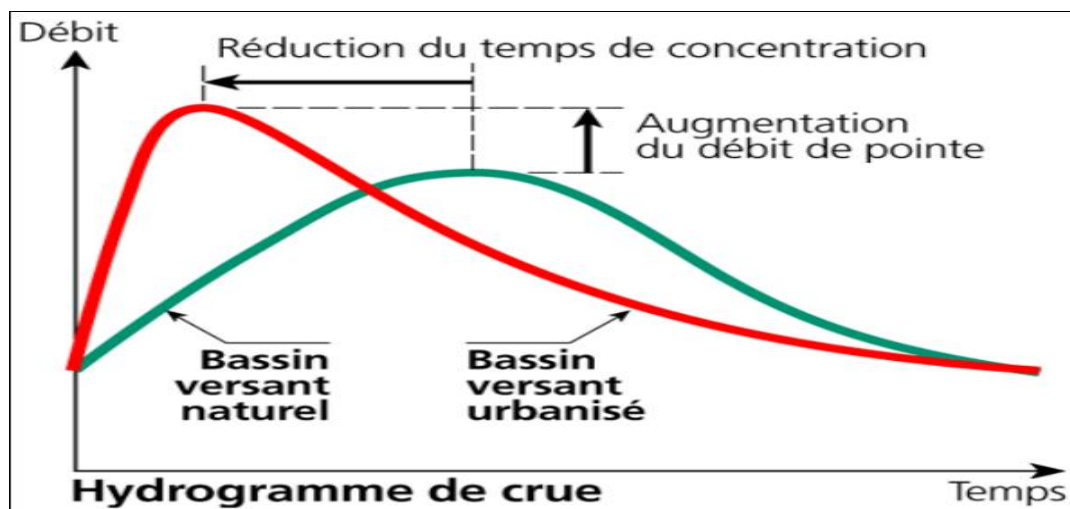


Fig.VI-1 : Effet de l'occupation du sol sur l'Hydrogramme

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

VI- 2-2- Application du modèle Hec Hms

VI-2-2-1. Les données d'entrée

Pour ce cas, l'action est mise sur l'évaluation de l'impact de reboisement des sols nus et de renforcement de la couverture forestière à densité faible. Ainsi, Les sols nus deviendront une forêt claire et la densité claire deviendra moyenne pour tout le bassin.

En se référant au tableau N° : **Tab.V- 3** le CN du nouvel état du bassin 1 (le reste des bassins sont suburbains) est égale à 79. Cette valeur va remplacer celle du jeu de données initiales, ensuite on lance les simulations.

VI-2-2-2- Résultats de la simulation

Les résultats obtenus pour ce cas, à savoir le débit de pointe et le volume issus de la simulation en utilisant les données de la nouvelle occupation du sol, sont les suivants :

Tab. VI-1 : Valeurs prévues du débit de pointe et du volume des crues pour la nouvelle occupation du sol.

	T = 10 ans	T = 20 ans	T = 50 ans	T = 100 ans
BV 1 (8B) Etat actuel				
Q_p(m³/s)	287,6	349,2	429,8	490,5
Volume (10³ m³)	14136,3	17091,4	20960,4	23872,3
BV 1 (8B) Etat du changement de l'occupation du sol dans le sens positif				
Q_p(m³/s)	244,5	297,9	369,4	424,1
Volume (10³ m³)	12336,5	15002,2	18547,3	21248,6
Différence (m³/s et m³)				
Δ Q_p(m³/s)	43,1	51,3	60,4	66,4
Δ Volume (10³ m³)	1799,8	2089,2	2413,1	2623,7
Différence (%)				
Δ Q_p(%)	14,99	14,69	14,05	13,54
Δ Volume (%)	12,73	12,22	11,51	10,99

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

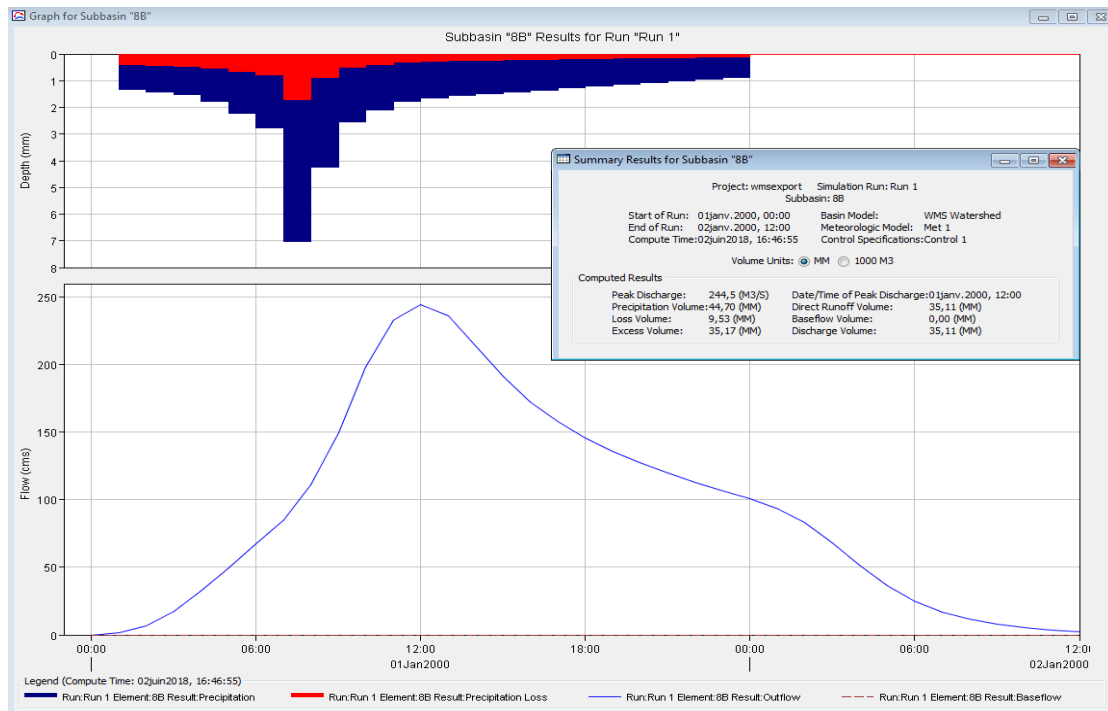


Fig. VI -2 : Hydrogramme de la crue de période de retour 10 ans simulée à l'exutoire du BV 1 (8B) pour la nouvel occupation du sol

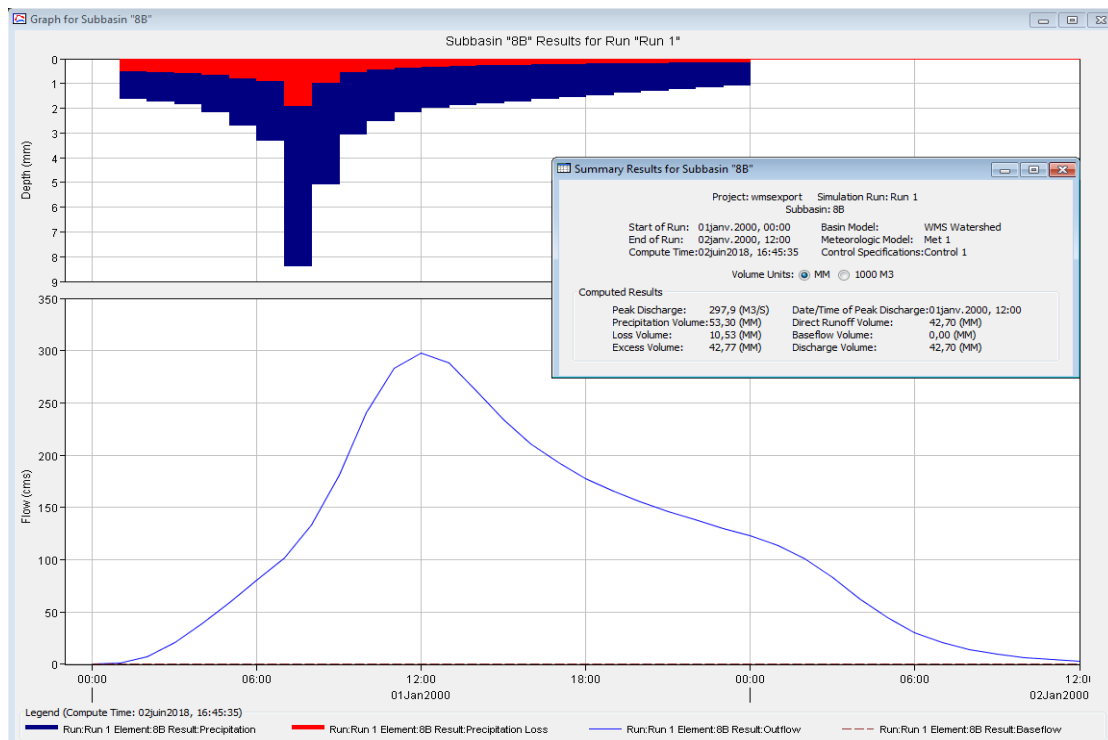


Fig. VI -3 : Hydrogramme de la crue de période de retour 20 ans simulée à l'exutoire du BV 1 (8B) pour la nouvel occupation du sol

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

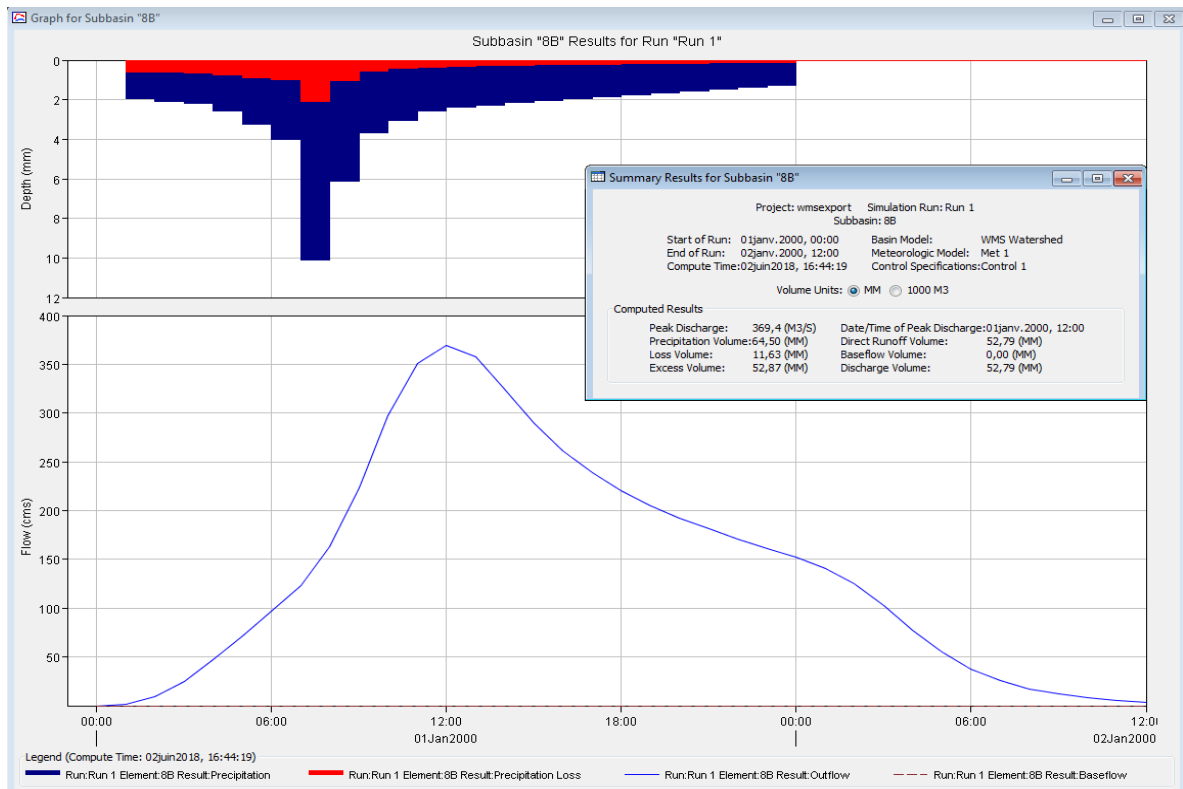


Fig. VI -4 : Hydrogramme de la crue de période de retour 50 ans simulée à l'exutoire du BV 1 (8B) pour la nouvel occupation du sol

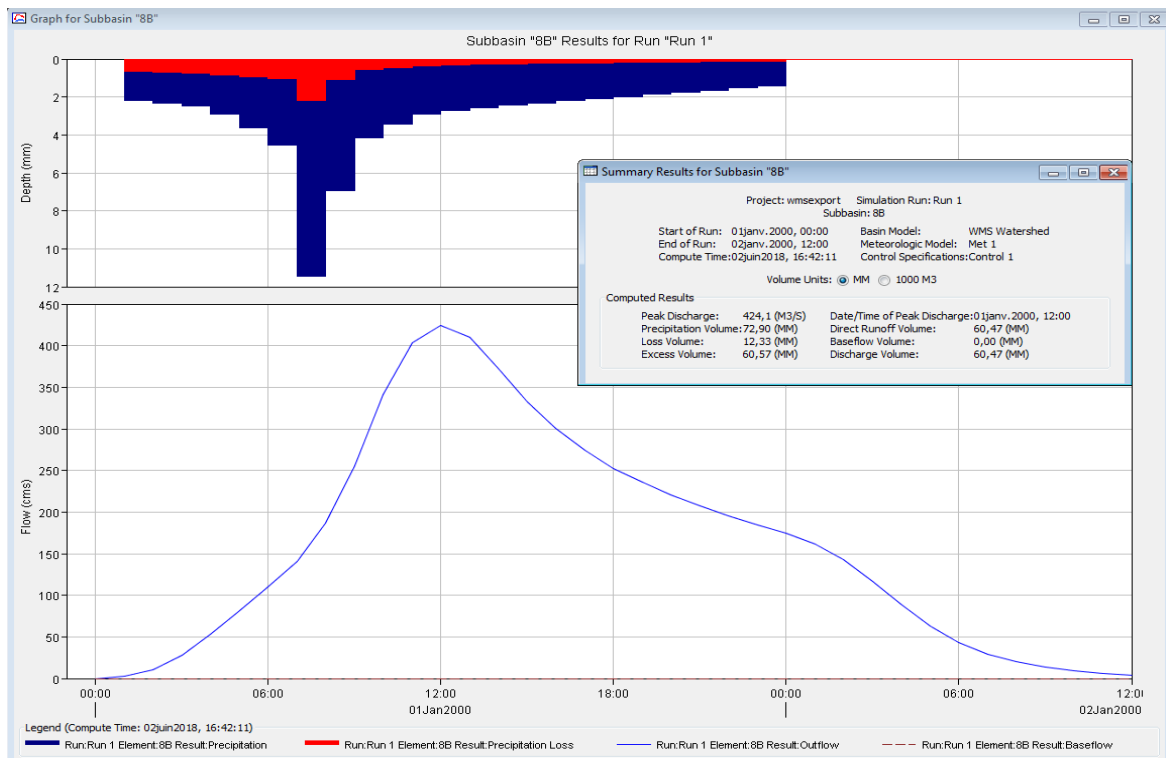


Fig. VI -5 : Hydrogramme de la crue de période de retour 100 ans simulée à l'exutoire du BV 1 (8B) pour la nouvelle occupation du sol

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

Nous remarquons que les deux variables débit et volume montrent des valeurs moins fortes que dans le cas de l'état de l'occupation du sol actuel, ceci prouve que les reboisements amortissent le ruissellement. Enfin, la relation entre le changement de l'occupation du sol d'une part et les débits et les volumes de l'autre, est de moins en moins étroite que les averses sont extrêmes.

L'utilisation de données plus précises de l'occupation de sol et de la lithologie du sol avec l'utilisation de la forme semi-distribuée (découpage en sous bassins versants) permettra de simuler des situations plus réalistes et plus précises que celles proposées.

VI-3- Effets des changements de l'occupation du sol dans la ville : Application du Hec Ras

VI-3-1-Objectif

Dans ce cas, on cherche l'effet du changement de la nature du sol sur les zones inondables dans la ville à savoir les nouvelles limites de ces zones, ainsi que les hauteurs et les vitesses d'eau dans celles-ci.

VI-3-2- Délimitation des zones d'occupation dans la ville

Pour notre étude on a utilisé tout d'abord le logiciel Arc Gis pour délimiter les zones d'occupation de la ville avec l'option « Landcover » comme montré dans la figure ci-dessous :

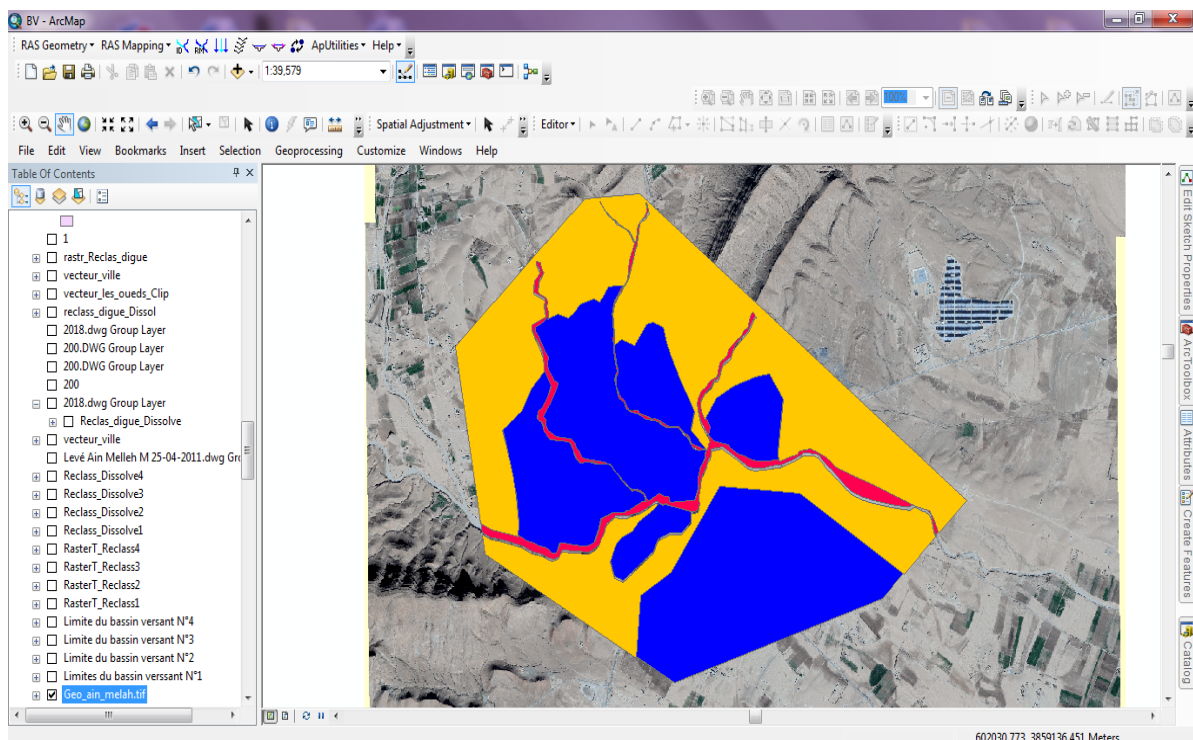


Fig.VI-6 : Zones d'occupation des sols de la ville

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

Pour cela on a partagé la ville en 3 zones avec différents coefficients de Manning à savoir : constructions, oueds et terrain nu.

Dans la première simulation on a utilisé un coefficient de Manning $n= 0.06$ pour toute la surface, pour la suite on va simuler avec des coefficients de Manning réels pour les constructions et le terrain nu, mais les rives d'oued dans ce cas seront protégées par un mur en gabion enrobé par du béton bitumineux.

Le coefficient de Manning pour les rives devient 0.016 et pour le fond d'oued égal à 0.020

VI-3-3- Simulation avec nouveau « Landcover »

- Ouvrir le projet précédent de simulation sur Hec Ras.
- Ouvrir la fenêtre Ras Mapper

La fenêtre suivante apparaît :

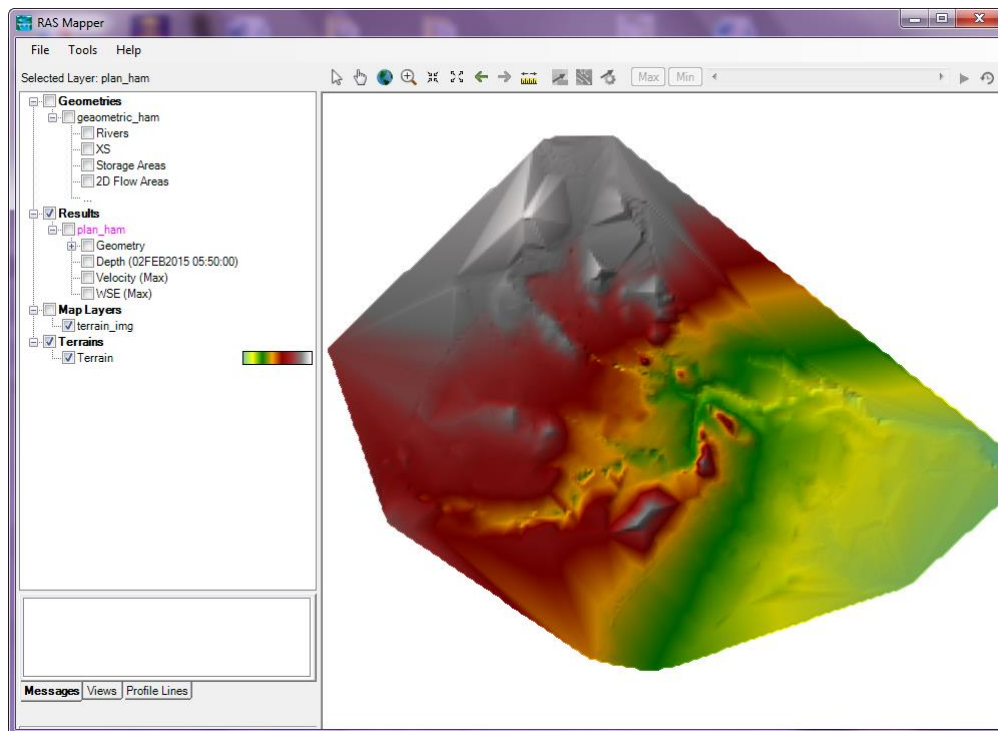


Fig.VI-7 : Fenêtre Ras Mapper

- Importer le nouveau « Landcover » sur Ras Mapper :

La fenêtre suivante apparaît :

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

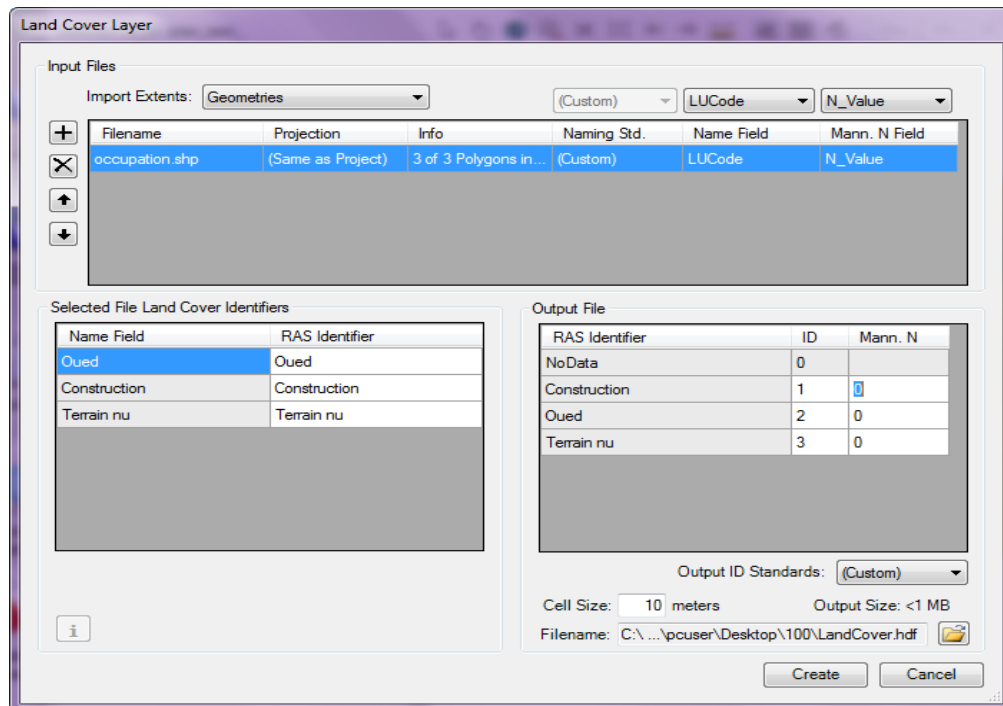





Fig.VI-8 : Importation du nouveau Landcover

Donner les valeurs de Manning-Strickler pour chaque zone du nouveau landcover.

Pour notre cas on va donner les valeurs suivantes par zone :

-  0.05 pour les constructions
-  0.04 pour les terrains nus
-  et 0.022 pour l'oued

Après vérification du Landcover sur RasMapper, relier ce dernier avec le terrain :

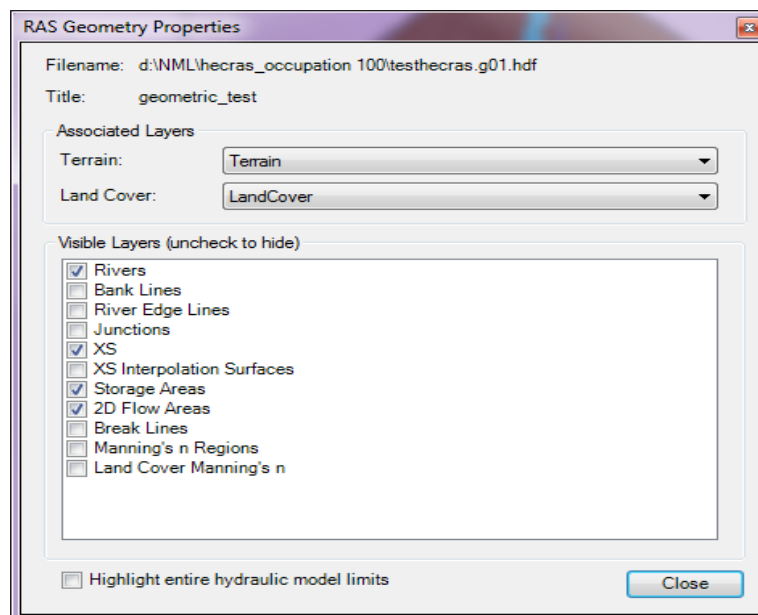


Fig.VI-9 : Fenêtre de liaison Terrain-Landcover

Maintenant, on peut voir le nouveau Landcover sur Ras-Geometrie :

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

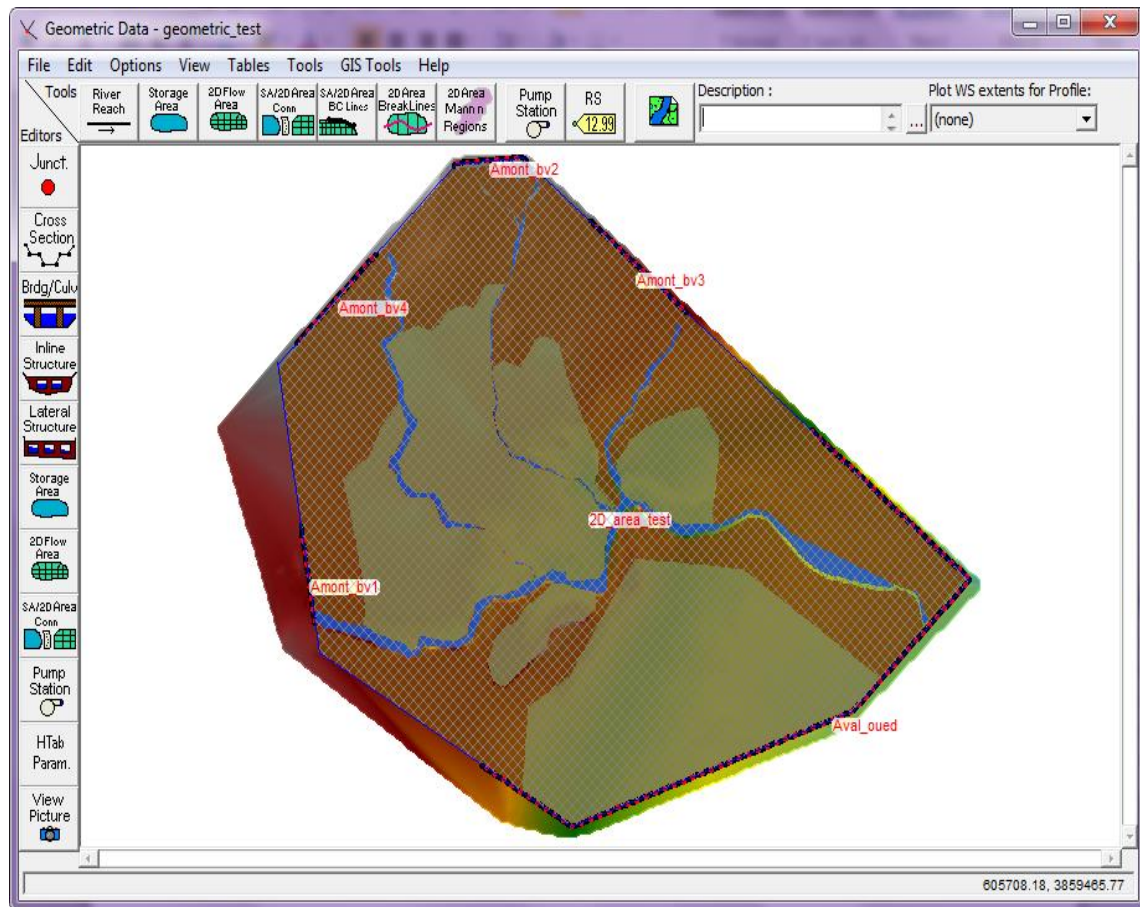


Fig.VI-10 : Nouveau Landcover sur Ras-Geometrie

On peut voir et éditer le 2D area dans la fenêtre suivante :

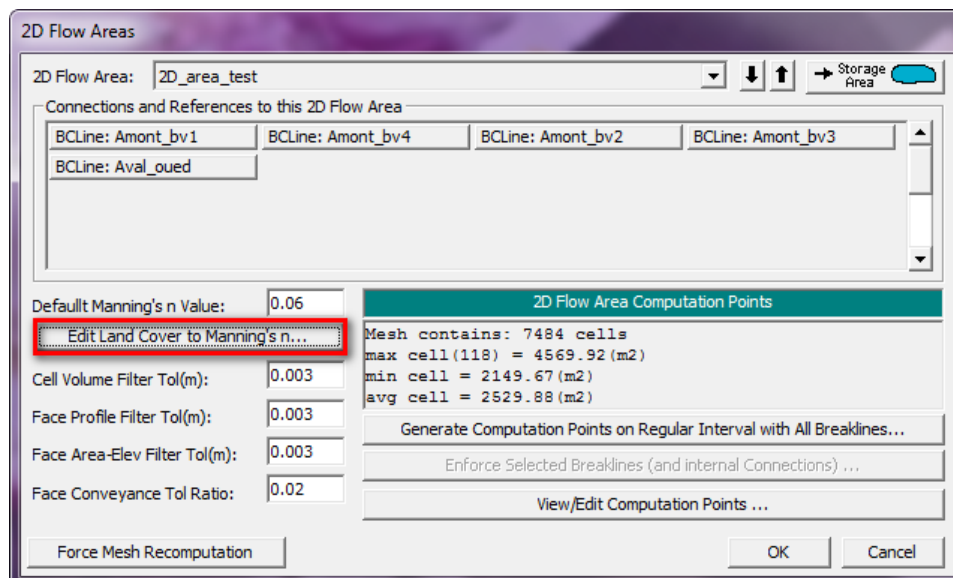


Fig.VI-11 : View and Edit 2D area

Maintenant, on peut exécuter le modèle :

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

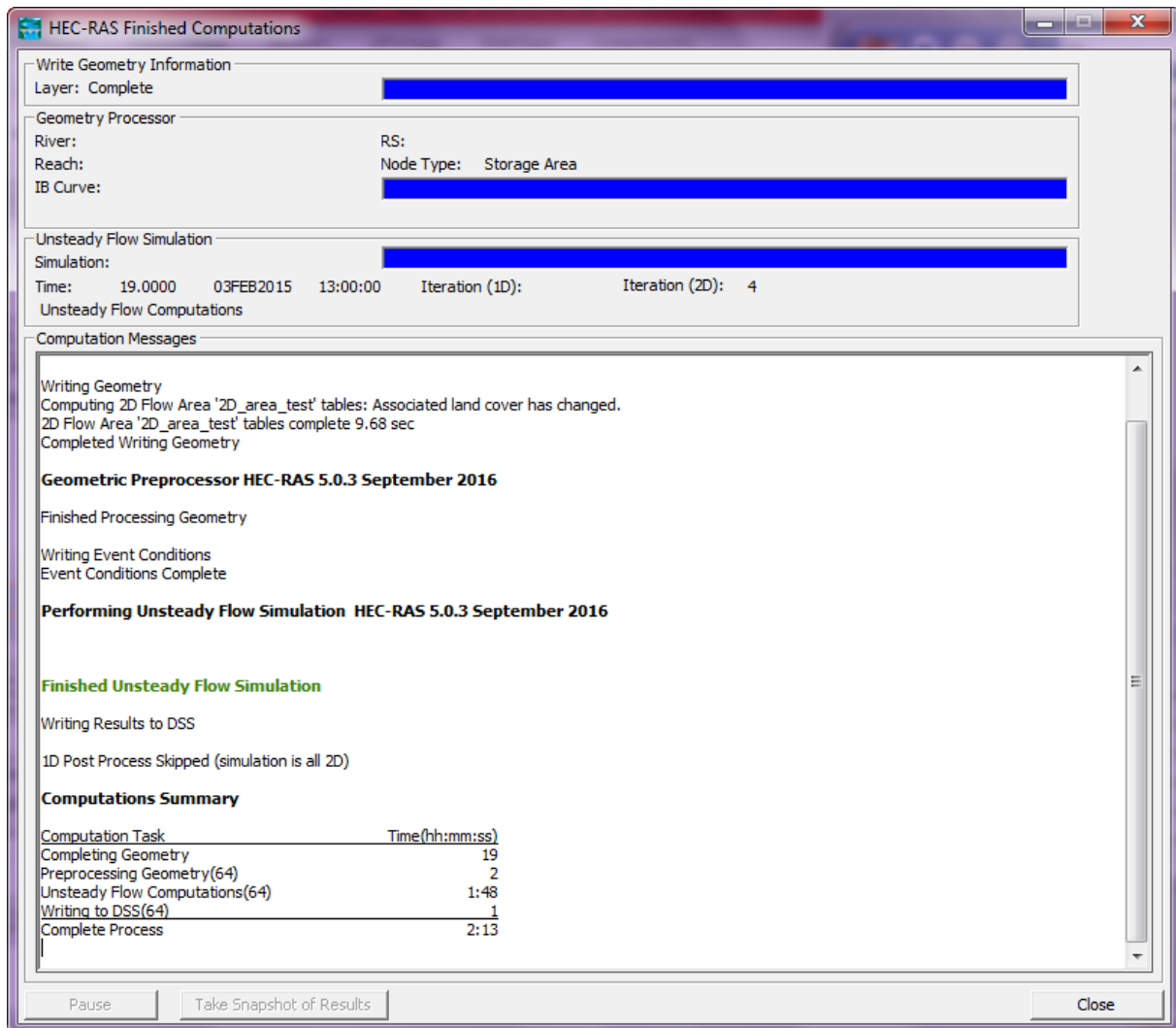


Fig.VI-12 : Données de la simulation instationnaire

VI-3-4- Résultats de la simulation

Après que le modèle soit couru, la visualisation est faite dans le cartographe de RAS en vérifiant les résultats de boîte. Voici que vous pouvez voir animer la profondeur d'eau, la vitesse ou l'altitude de surface de l'eau pour les données de la nouvelle occupation du sol. Les résultats sont les suivants :

VI-3-4-1- : Les zones inondables :

Les figures, ci-dessous, montrent des représentations instantanées des zones inondables de la ville :

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

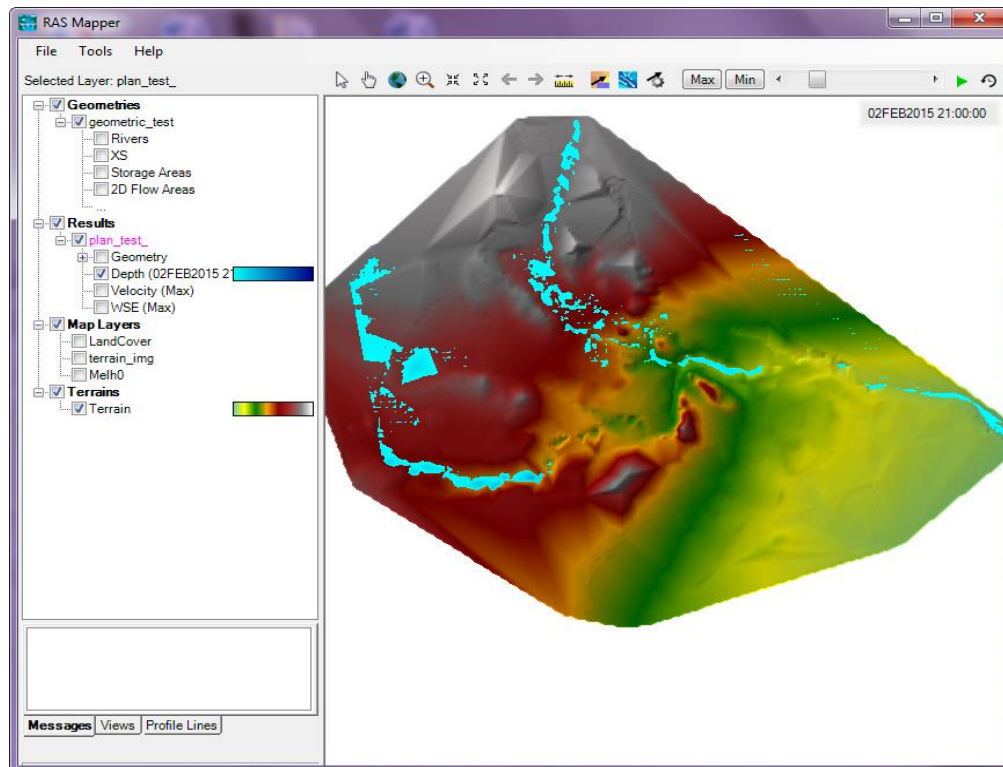


Fig.VI-13 : Zones inondées (Début de la crue)

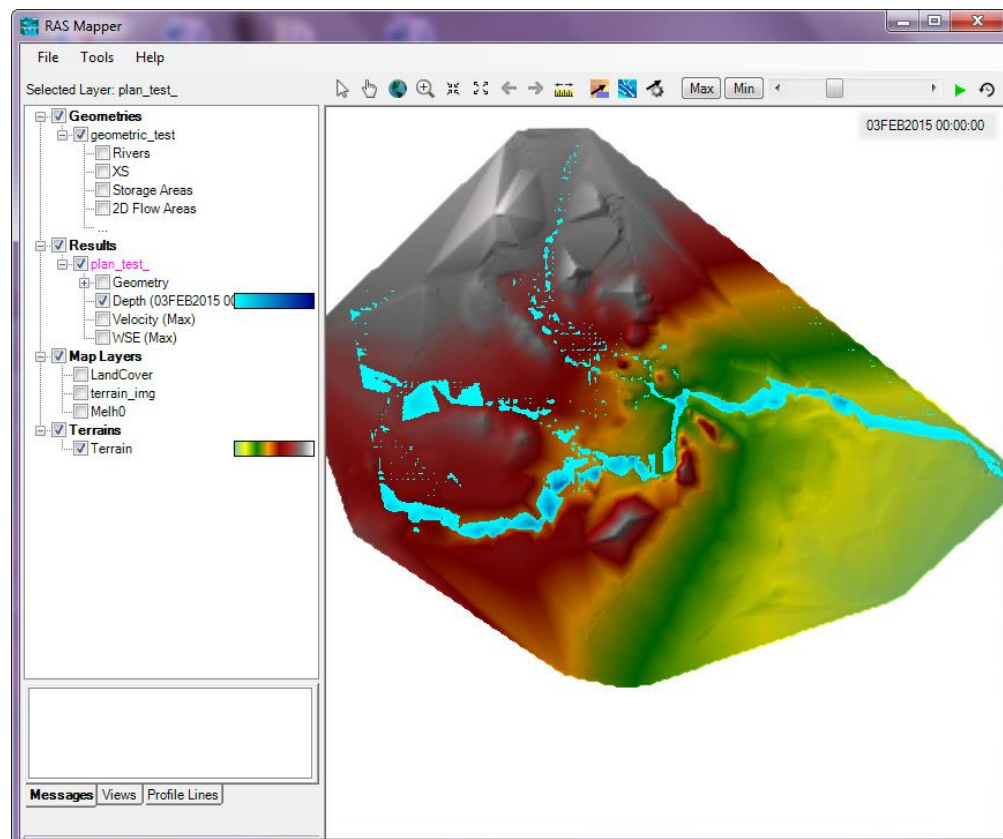


Fig.VI-14 : Zones inondées (Maximum de la crue)

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

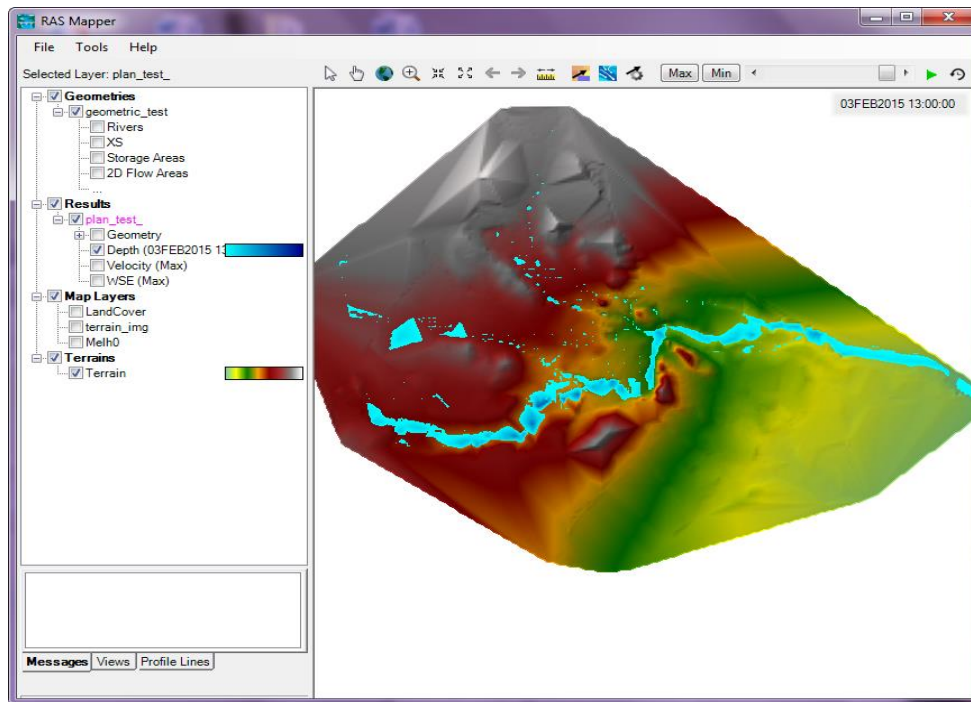


Fig.VI-15 : Zones inondées (Fin de la crue)

VI-3-4-2- : Les hauteurs

Sur les figures suivantes on peut voir l'évolution temporelle de la profondeur d'eau en un point donnée de l'oued :

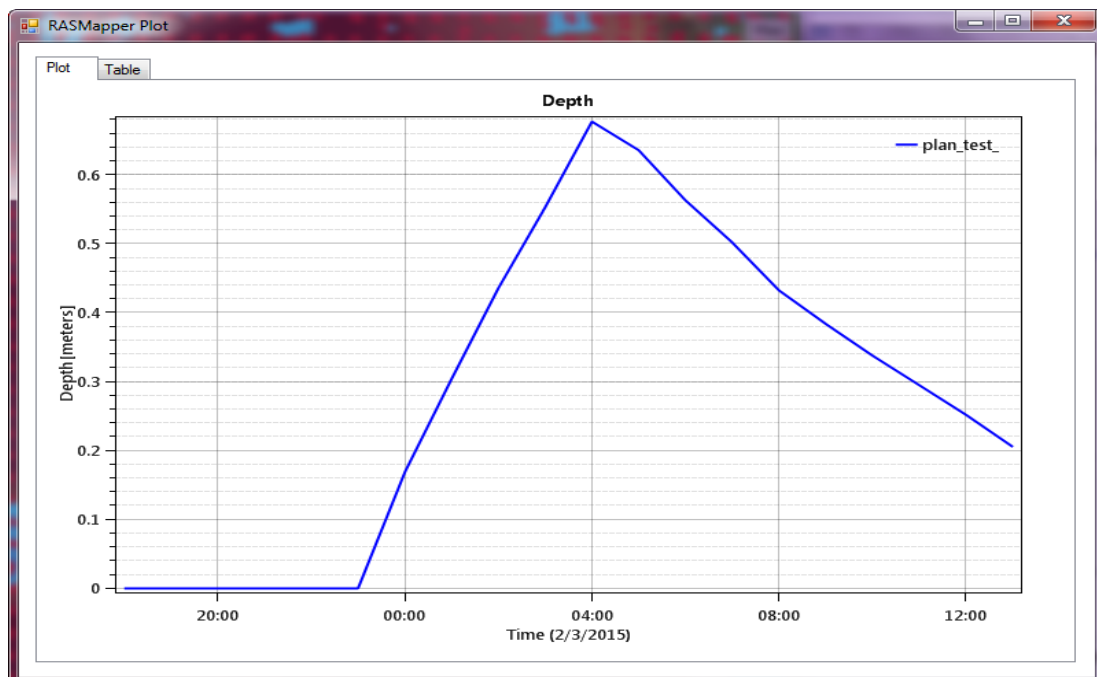
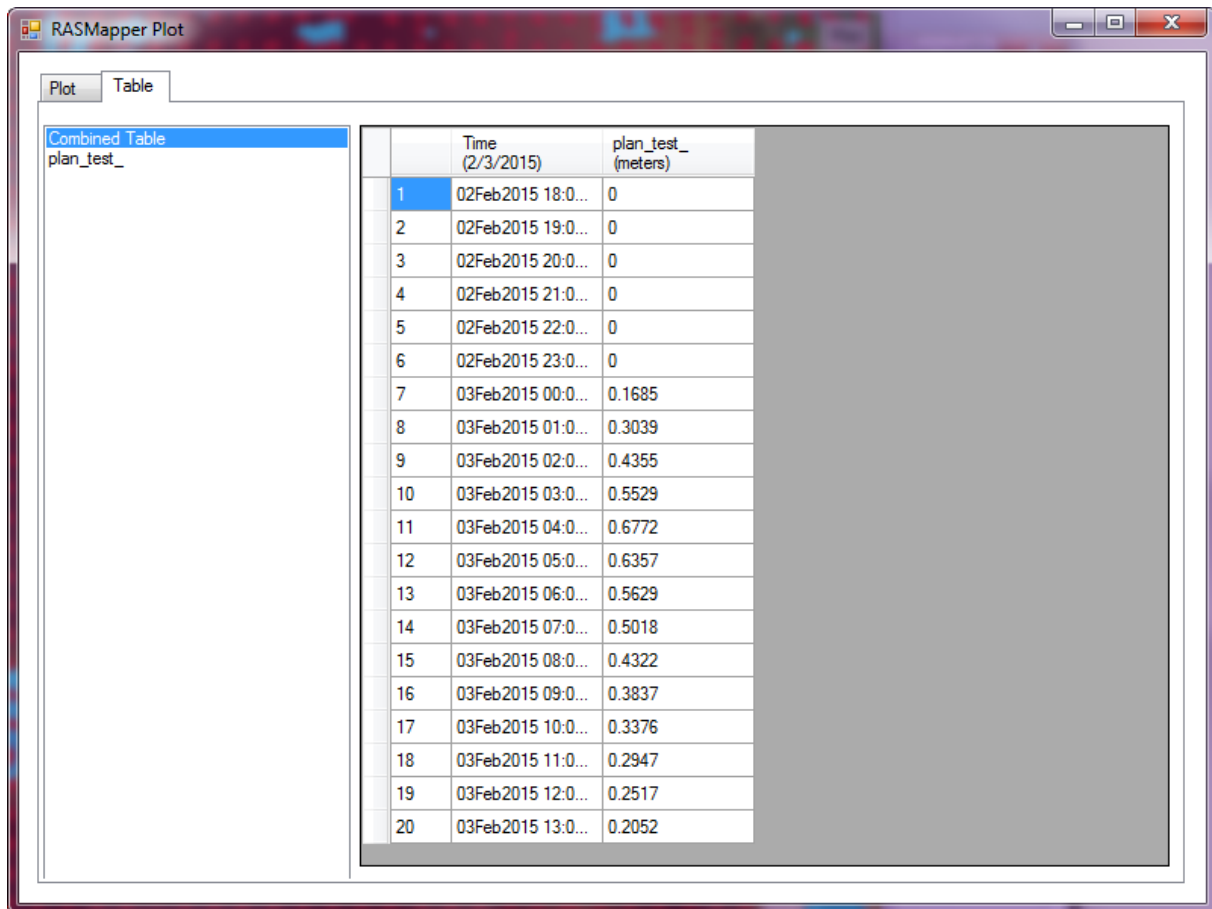


Fig.VI-16 : Graphe de variation de la hauteur d'eau pour un point spécifique dans l'oued

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville



The screenshot shows the RASMapper Plot interface with a 'Table' tab selected. The table displays the following data:

	Time (2/3/2015)	plan_test_ (meters)
1	02Feb2015 18:0...	0
2	02Feb2015 19:0...	0
3	02Feb2015 20:0...	0
4	02Feb2015 21:0...	0
5	02Feb2015 22:0...	0
6	02Feb2015 23:0...	0
7	03Feb2015 00:0...	0.1685
8	03Feb2015 01:0...	0.3039
9	03Feb2015 02:0...	0.4355
10	03Feb2015 03:0...	0.5529
11	03Feb2015 04:0...	0.6772
12	03Feb2015 05:0...	0.6357
13	03Feb2015 06:0...	0.5629
14	03Feb2015 07:0...	0.5018
15	03Feb2015 08:0...	0.4322
16	03Feb2015 09:0...	0.3837
17	03Feb2015 10:0...	0.3376
18	03Feb2015 11:0...	0.2947
19	03Feb2015 12:0...	0.2517
20	03Feb2015 13:0...	0.2052

Fig.VI-17: Tableau de variation de la hauteur d'eau pour un point spécifique dans l'oued

Sur les figures ci-dessous on peut voir l'évolution temporelle de la hauteur d'eau en un point donnée de la ville :

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

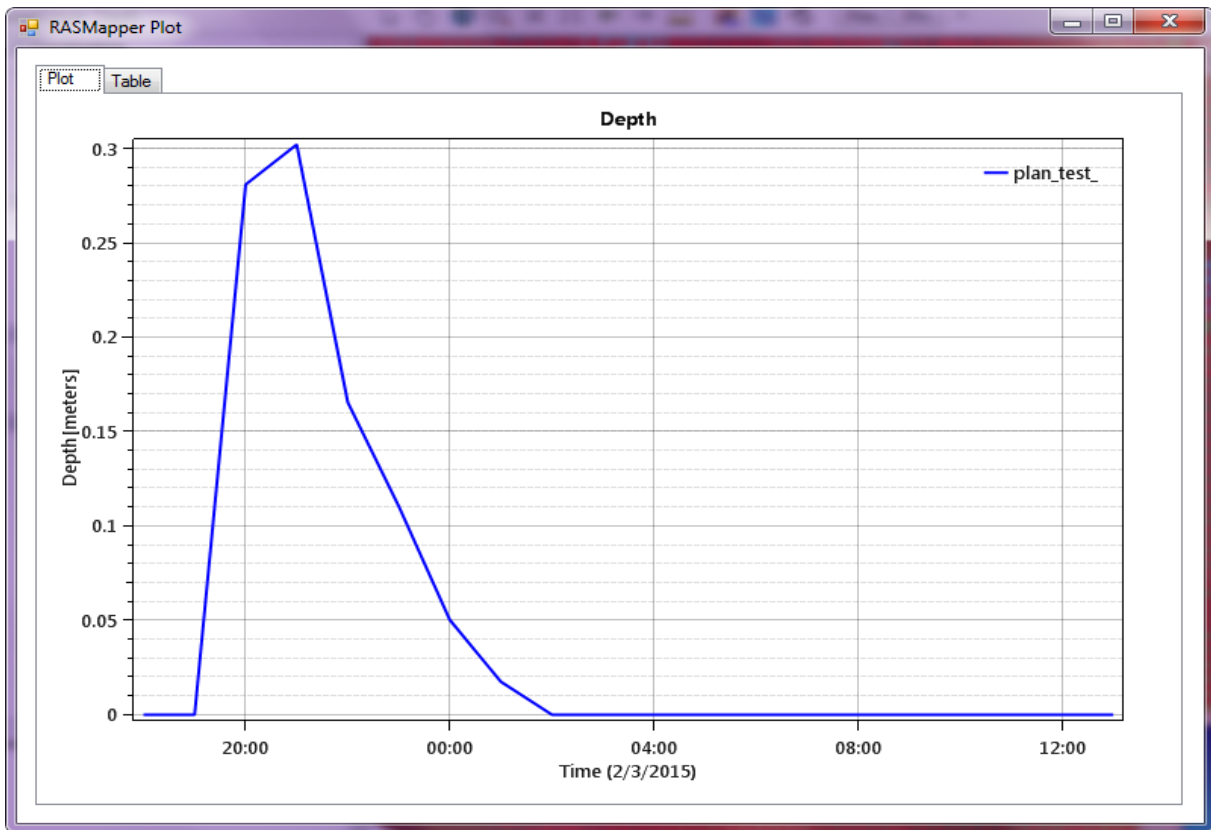


Fig.VI-18: Graphe de variation de la hauteur d'eau pour un point spécifique dans la ville

	Time (2/3/2015)	plan_test_ (meters)
1	02Feb2015 18:0...	0
2	02Feb2015 19:0...	0
3	02Feb2015 20:0...	0.2809
4	02Feb2015 21:0...	0.3021
5	02Feb2015 22:0...	0.1656
6	02Feb2015 23:0...	0.1104
7	03Feb2015 00:0...	0.0502
8	03Feb2015 01:0...	0.0175
9	03Feb2015 02:0...	0
10	03Feb2015 03:0...	0
11	03Feb2015 04:0...	0
12	03Feb2015 05:0...	0
13	03Feb2015 06:0...	0
14	03Feb2015 07:0...	0
15	03Feb2015 08:0...	0
16	03Feb2015 09:0...	0
17	03Feb2015 10:0...	0
18	03Feb2015 11:0...	0
19	03Feb2015 12:0...	0
20	03Feb2015 13:0...	0

Fig.VI-19 : Tableau de variation de la hauteur d'eau pour un point spécifique dans la ville

VI-3-4-3- : Les vitesses

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

Les figures qui suivent présentent l'évolution temporelle des vitesses d'eau en un point donnée de l'oued :

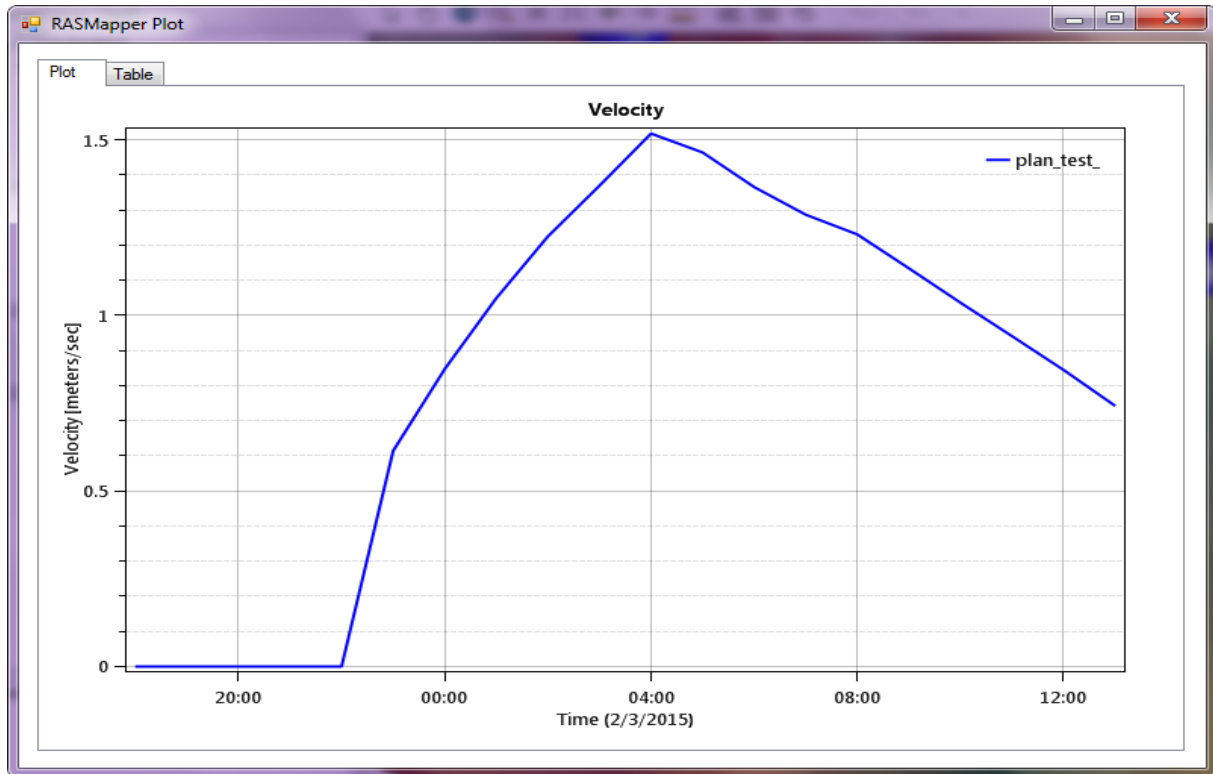


Fig.VI-20 : Graphe de variation de la vitesse d'eau pour un point spécifique dans l'oued

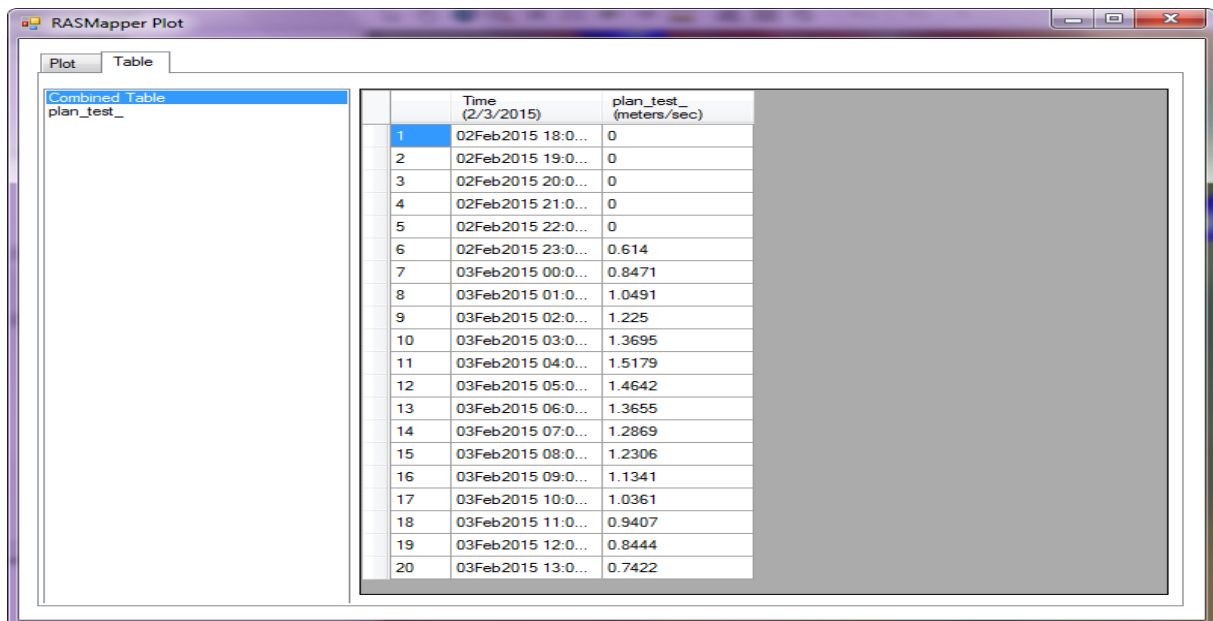


Fig.VI-21 : Tableau de variation de la vitesse d'eau pour un point spécifique dans l'oued

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

Les figures suivantes présentent l'évolution temporelle des vitesses d'eau en un point donné de la ville :

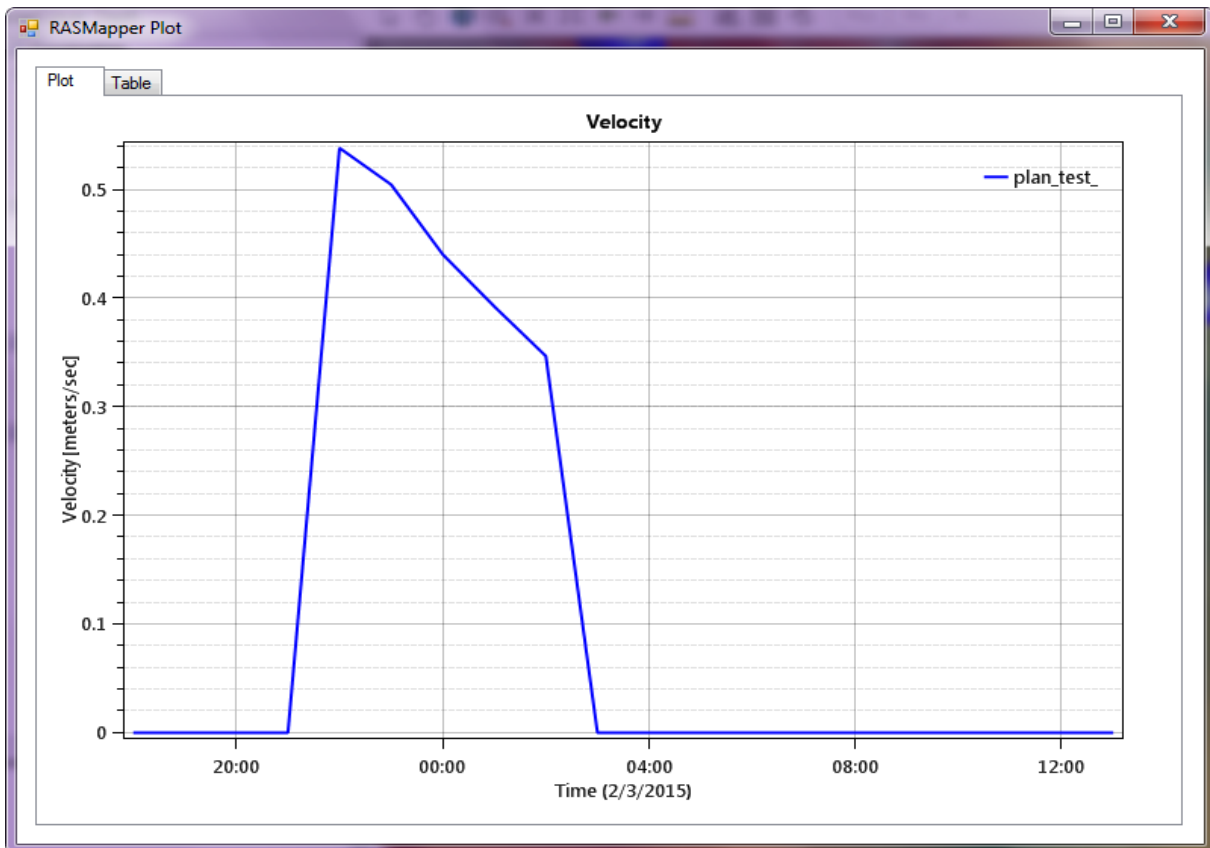


Fig.VI-22 : Graphe de variation de la vitesse d'eau pour un point spécifique dans la ville

The figure shows a 'RASMapper Plot' window with the 'Table' tab selected. It displays a data table with the following columns: 'Time (2/3/2015)' and 'plan_test_ (meters/sec)'. The table contains 20 rows of data, with the first row highlighted in blue.

	Time (2/3/2015)	plan_test_ (meters/sec)
1	02Feb2015 18:0...	0
2	02Feb2015 19:0...	0
3	02Feb2015 20:0...	0
4	02Feb2015 21:0...	0
5	02Feb2015 22:0...	0.5382
6	02Feb2015 23:0...	0.5046
7	03Feb2015 00:0...	0.4403
8	03Feb2015 01:0...	0.3924
9	03Feb2015 02:0...	0.3466
10	03Feb2015 03:0...	0
11	03Feb2015 04:0...	0
12	03Feb2015 05:0...	0
13	03Feb2015 06:0...	0
14	03Feb2015 07:0...	0
15	03Feb2015 08:0...	0
16	03Feb2015 09:0...	0
17	03Feb2015 10:0...	0
18	03Feb2015 11:0...	0
19	03Feb2015 12:0...	0
20	03Feb2015 13:0...	0

Fig.VI-23 : Tableau de variation de la vitesse d'eau pour un point spécifique dans la ville

VI-3-5-Discussion des résultats :

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

En faisant la comparaison entre les résultats des deux simulations (avant et après le changement d'occupation des sols) et pour pour les mêmes points on constate que :

- 1-Les zones inondables ont diminuées dans le cas du changement l'occupation des sols par rapport à l'état initial.
- 2-Les hauteurs d'eau ont diminué substantiellement.
- 3-Les vitesses ont augmenté de façons remarquables dans l'oued, alors que l'augmentation dans la ville était minime.

VI-3-6-Les actions de prévention et de secours

Des résultats de la simulation ci-dessus et face aux risques d'inondation, l'état et les collectivités locales ont un rôle de prévention qui se traduit notamment par des actions d'information et une politique d'entretien et de gestion des cours d'eau.

De plus, les collectivités locales ont à leur charge la prise en compte du risque dans les documents d'urbanisme (PDAU, POS,...) et la réalisation des plans de prévention des risques naturels pour les communes les plus menacées.

Cependant, les propriétaires riverains de cours d'eau ont aussi un rôle essentiel à jouer. Ils ont l'obligation :

- de curer régulièrement le lit, pour rétablir le cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelles ;
- d'entretenir les rives ;
- d'enlever les embâcles et débris, pour maintenir l'écoulement naturel des eaux et assurer la bonne tenue des berges.

CHAPITRE VI : Effets des changements de l'occupation du sol sur l'inondation de la ville

CONCLUSION

A partir des résultats de notre étude, nous avons pu constater, d'une part, que l'augmentation de la taille du Plan Directeur d'Architecture et d'Urbanisme (Plan d'Occupation du Sol, Lotissements, Zone d'Activités,...etc) fait accélérer le ruissellement et limite considérablement l'infiltration dans le sous-sol, d'où une forte probabilité d'accumulation des quantités d'eau qui peuvent provoquer des inondations.

Le phénomène de construction relevé dans les zones inondables est lourd de conséquences. La forte croissance des bâtisses se traduit par la croissance de la vulnérabilité, d'où l'augmentation du risque d'inondation dans la région. Ceci étant dit, nous estimons que l'évolution de l'occupation des sols est favorable à l'augmentation du risque d'inondation dans une région.

En prenant en considération l'occupation du sol et son influence sur le phénomène, nous avons conclu que les bassins versant BV1 et BV3 ne sont pas urbanisés et ne le seront pas et par suite aucune influence de l'occupation du sol sur le phénomène sauf dans le cas où ces terres seront reboisées ce qui diminue considérablement le ruissellement (dans l'ordre de 14%), augmente le taux d'infiltration et diminue le débit et par suite atténuer considérablement le phénomène des inondations.

Au contraire des bassins versant BV2 et BV4 qui sont moyennement urbanisés actuellement, mais verront leurs urbanisations, qu'elles soient anarchiques ou suivant le PDAU, s'accélérer dans le temps ce qui augmentera le ruissellement, diminue le taux d'infiltration et augmente le débit et par suite amplifier considérablement le phénomène des inondations.

Chapitre 7

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

VII-A-1 : Introduction

Le débit du Bassin Versant 1 est égal à $506,92 \text{ m}^3/\text{s}$ ce qui est énorme et représente un danger certain d'autant plus que l'oued « Betsaa » qui véhicule ce débit traverse la majeure partie de la ville (du Nord au Sud pour la première partie et d'Ouest à Est pour la deuxième partie) ce qui nous oblige à résoudre ce problème par un moyen adéquat.

VII-A-2 : Choix de l'ouvrage

Le moyen que nous préconisons pour résoudre le problème des inondations de cette partie de la ville consiste en la construction d'une digue écreteur de rétention afin d'atténuer l'effet destructeur de l'oued.



Fig.VII-A-1 : Digue écreteur de crues

VII-A-3 : Implantation de la digue

Pour le BV1, nous avons choisi l'emplacement de l'exutoire de façon à ce qu'il soit à l'amont de la ville d'une part et d'autre part à l'aval de l'intersection des deux branches de l'oued. Les études topographiques et géologiques du terrain nous ont fait décider que l'endroit choisi peut permettre l'implantation d'une digue.

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION



Fig.VII-A-2 : Implantation de la digue écrêteur sur l'oued Betsaa

Cette présente étude nous donnera une appréciation sur la faisabilité de la retenue au niveau du site choisi.

VII-A-4 : Caractéristiques bathymétriques de la cuvette

Les surfaces des différents niveaux de la cuvette ont été obtenues par planimétrie des courbes de niveau sur le plan topographique par pas 1.0 m

Les volumes partiels sont calculés par la relation suivante:

$$\Delta V = \frac{S_n + S_{n+1}}{2} \times \Delta H$$

Avec :

ΔV : Volume partiel de la tranche n+1, (m³);

S_n : Surface de la tranche n, (m²);

S_{n+1} : Surface de la tranche n+1, (m²);

ΔH : Hauteur de la tranche, (m)

Les résultats de calcul sont repris dans le tableau suivant.

**Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE
PROTECTION**

Tab.VII-A-1 : Caractéristiques bathymétriques de la cuvette

No	COTE		HAUTEUR	SURFACE	SURFACE cumulée	CAPACITE	CAPACITE cumulée
	m						
1	947	948	1	35281.15	35281.15	35281.15	35281.15
2	948	949	2	15742.85	51024.00	25512.00	60793.15
3	949	950	3	7168.00	58192.00	11455.42	72248.58
4	950	951	4	102428.34	160620.34	54798.17	127046.75
5	951	952	5	58707.91	219328.25	80568.12	207614.87
6	952	953	6	63119.75	282448.00	60913.83	268528.70
7	953	954	7	110339.90	392787.90	86729.82	355258.52
8	954	955	8	150542.95	543330.84	130441.42	485699.95
9	955	956	9	138189.66	681520.50	144366.30	630066.25
10	956	957	10	108159.50	789680.00	123174.58	753240.83
11	957	958	11	97104.00	886784.00	102631.75	855872.58
12	958	959	12	99076.94	985860.94	98090.47	953963.04
13	959	960	13	193564.05	1179424.99	146320.49	1100283.54
14	960	961	14	195189.48	1374614.46	194376.76	1294660.30
15	961	962	15	164921.01	1539535.47	180055.24	1474715.54
16	962	963	16	172556.22	1712091.68	168738.61	1643454.15
17	963	964	17	125767.03	1837858.72	149161.62	1792615.78
18	964	965	18	129532.78	1967391.50	127649.91	1920265.68
19	965	966	19	128192.25	2095583.75	128862.52	2049128.20
20	966	967	20	174035.95	2269619.70	151114.10	2200242.30
21	967	968	21	173835.85	2443455.55	173935.90	2374178.20
22	968	969	22	133721.19	2577176.73	153778.52	2527956.72
23	969	970	23	163334.77	2740511.50	148527.98	2676484.69
24	970	971	24	114286.41	2854797.91	138810.59	2815295.28
25	971	972	25	125736.34	2980534.25	120011.38	2935306.65
26	972	973	26	158226.30	3138760.55	141981.32	3077287.97

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

Ces données nous permettrons d'établir les courbes ci-dessous : surface – hauteur et capacité – hauteur

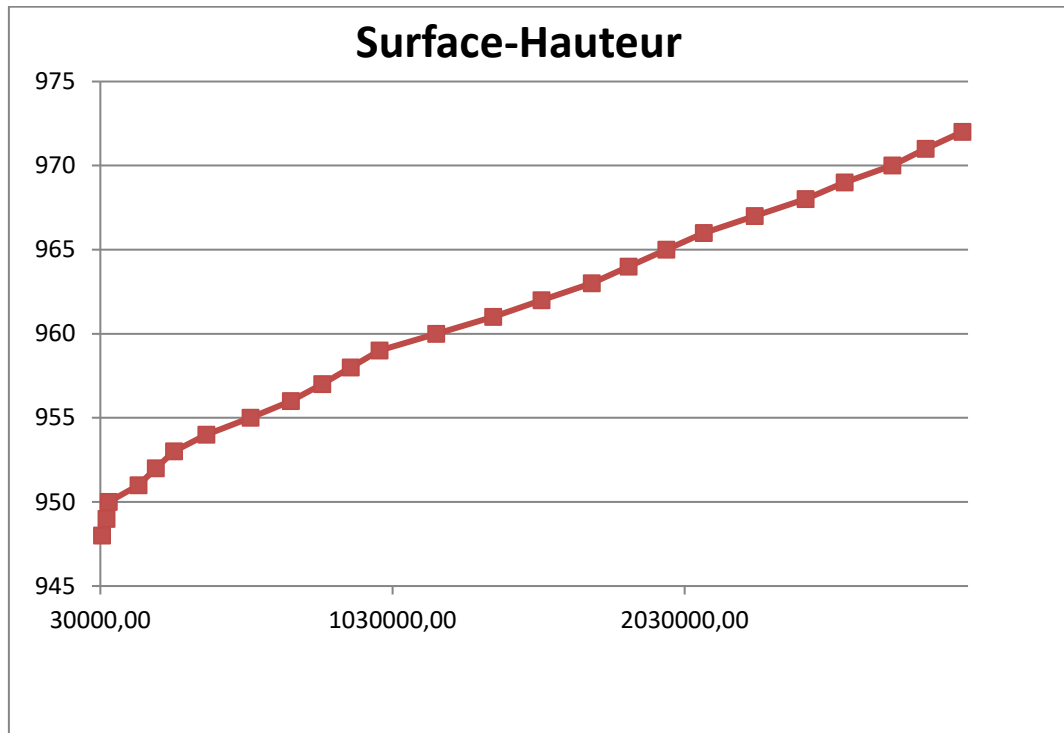


Fig.VII-A-3 : Graphe Surface – Hauteur

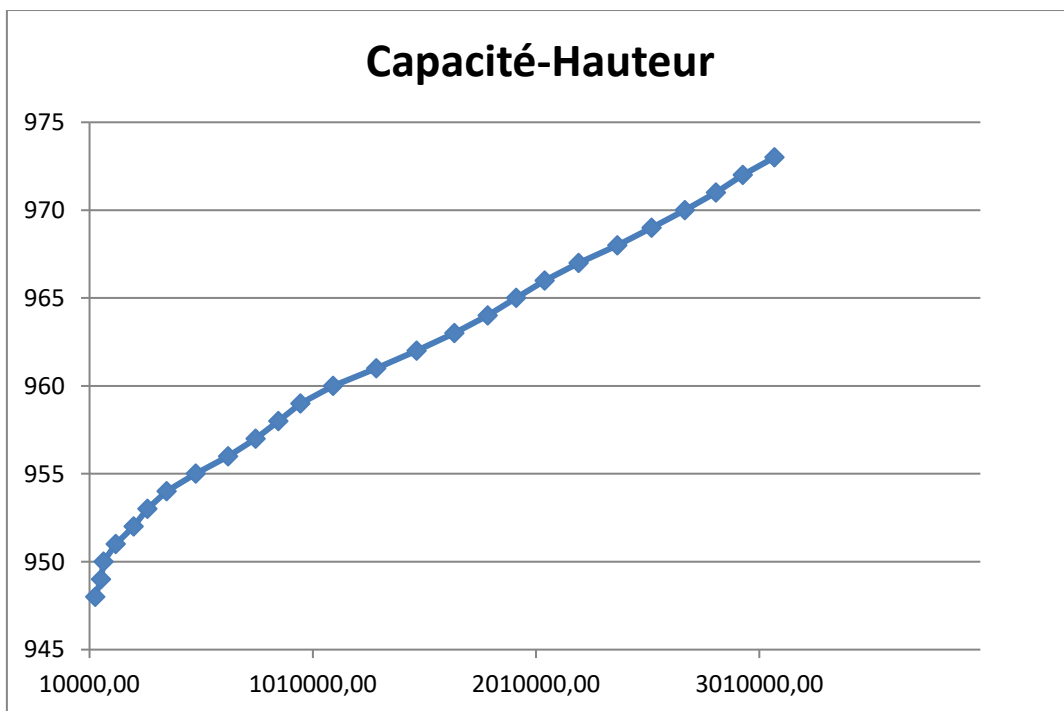


Fig.VII-A-3 : Graphe Capacité – Hauteur

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

VII-A-5 : Caractéristiques du BV1

Du chapitre IV (hydrologie) on déduit les caractéristiques du Bassin Versant N°1

Tab.VII-A-2 : Caractéristiques du BV1

Caractéristiques du BV1	
Longueur du talweg (km)	31.75
surface (km ²)	357.71
Altitude moyenne (m)	1302
Altitude minimale (m)	947
Altitude maximale (m)	1657
Temps de concentration (h)	9.10
la pente globale (%)	0.0062

VII-A-6-Détermination du Volume utile et de la cote du niveau normal de la retenue

Le principe de la digue écrêteur et de lamener la crue sans stockage (pas de volume utile), elle se remplit durant le passage de la crue, sa vidange se fait automatiquement après le passage de la crue par pertuis (orifice) ouvert situé en bas.

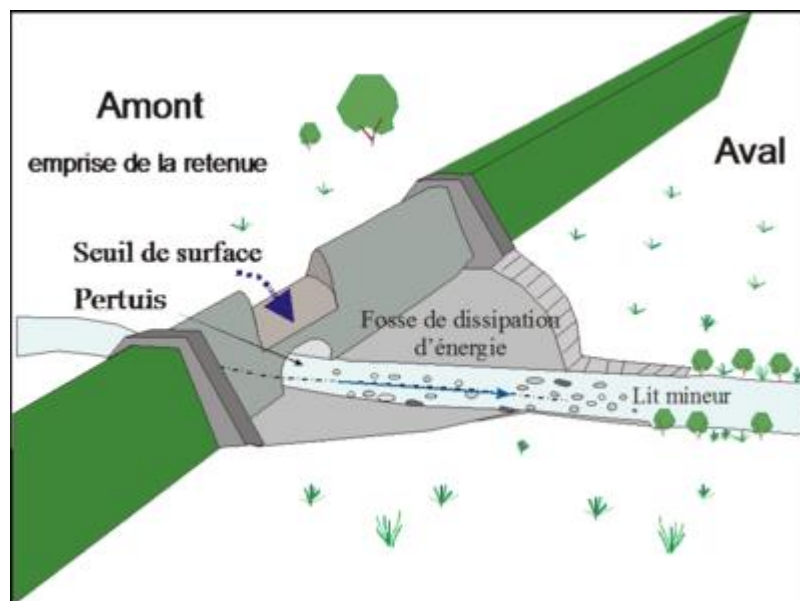


Fig.VII-A-4 : Schéma d'une digue écrêteur

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

Pour les régions sèches pauvres en eau comme la nôtre, généralement on ferme l'orifice afin d'utiliser les eaux des crues dans les besoins d'irrigation ou autres.

C'est la cause pour laquelle nous avons dimensionné cet ouvrage comme étant une retenue de stockage.

VII-A-6-1-Apport moyen annuel.

On est confronté au manque de données, et l'utilisation des formules empiriques reste le seul recours.

a) Formule de SAMIE:

$$\bar{A} = (\bar{P}n)^2 (293 - 2,2\sqrt{S}) S * 10^{-3}$$

Pan : Pluviométrie moyenne annuelle exprimée en mm

S : Superficie du B.V en km²

$$A_0 = 6078979.62 \text{ m}^3 / \text{an}$$

b) Formule de MUNDINGER

$$\bar{A} = (\bar{P}n)^2 (0,24 - 0,0014\sqrt{S}) S$$

$$A_0 = 5163245.57 \text{ m}^3 / \text{an}$$

c) Formule dite Algérienne

$$\bar{A}^{(m^3)} = 10^6 \bar{P}^{(m)} \times S^{(km^2)} \times K$$

\bar{P} : Précipitation moyenne annuelle (m)

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

S: Surface du bassin versant (km²)

Ke: Coefficient d'écoulement qui peut être calculé par la formule:

$$Ke = 0,6(1 - 10^{-0.36Pan^2})$$

$$\bar{P}an = 0,260m$$

$$K = 0.03270$$

$$A_0 = 3040976.23 \text{ m}^3 / \text{an}$$

d)Formule de PRYDOKHOV

$$M_0 = \left(\frac{\bar{P}}{340} \right)^{2.24} = 0,548 \text{ (L/s). km}^2 = 0,548 \times [(60 \times 60 \times 24 \times 365) / 1000] \times 8,5$$

$$A_0 = 146978.245 \text{ m}^3 / \text{an}$$

e)Formule de DERI

\bar{P} : Précipitation moyenne annuelle (m)

$$M_0 = 11.80 \bar{P}^{2.82} = 0.264 \text{ L/s.km}^2$$

$$A_0 = 70848.78 \text{ m}^3 / \text{an}$$

f)Formule de SAIDI

\bar{P} : Précipitation moyenne annuelle (m)

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

$$M_0 = 13.23\bar{P}^{2.27} = 0.622 \text{ L/s.km}^2$$

$$A_0 = 166638.32 \text{ m}^3 / \text{an}$$

Tab.VII-A-3 : Récapitulatif des apports moyens annuels

Formule	Apport moyen annuel (m³ / an)
SAMIE	6078980
MUNDINGER	5163246
ALGERIENNE	3040976
PRYDOKHOV	146978
DERI	70849
SAIDI	166638

On prend la valeur moyenne $A_0 = 2325338 \text{ m}^3 / \text{an}$

VII-A-6-2-Cote du niveau normal de la retenue

Le volume calculé précédemment correspond au niveau 967,71 m NGA

VII-A-7-Volume forcé et cote des plus hautes eaux (PHE)

VII-A-7-1-Données de calcul

La cote des plus hautes eaux est égale à la cote de la retenue normale majorée de la charge maximale au-dessus du seuil déversant.

La charge maximale au-dessus du seuil déversant est déterminée à la base d'une étude de laminage du débit de la crue de projet de période de retour de 100 années (fréquence de 1%)

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

en considérant que l'ouvrage appartient à la deuxième catégorie du classement des ouvrages hydrotechniques.

Le débit de crue $Q_{1\%} = 506.92 \text{ m}^3/\text{s}$

L'étude de laminage nous donne la hauteur de la lame déversante en fonction de la largeur du déversoir.

VII-A-7-2-Méthodologie de calcul

Le but de l'étude est de déterminer la lame déversée, le débit ainsi que le volume en charge pour une largeur du seuil déversant donnée.

La méthode de COTCHERINE est utilisée pour le calcul du laminage de la crue centennale.

Le principe de la méthode consiste à

1 - calculer les débits passant par le déversoir pour différents largeur du seuil déversant et pour différentes charges.

Le débit du déversoir à seuil normal est donné par la formule générale des déversoirs suivante :

$$Q = m \times b \sqrt{2 \times g} \cdot H_0^{\frac{3}{2}}$$

Avec:

m : Coefficient de débit dépendant de la forme du seuil déversant

b : largeur du seuil déversant en m;

g : Accélération de la pesanteur, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$;

H_0 : Charge totale d'eau sur le déversoir en tenant compte de la vitesse d'approche;

$$H_0 = H + \frac{V^2}{2g}$$

H : Charge sur le seuil en m;

V : Vitesse d'approche en m/s;

Dans notre cas, nous adopterons un déversoir à seuil Creager avec un coefficient de débit égal à 0.48

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

2 - déterminer le volume d'eau en charge en fonction de la charge d'eau sur le seuil déversant à partir de la courbe capacité – hauteur. Le niveau 0.00 m du seuil déversant correspond au niveau normal de la retenue (cote **967.71 m**).

- 3 calculer le débit laminé pour différents volumes en charge par la relation suivante:

$$Ql = Q \left(1 - \frac{V_{ch}}{V_{cr}} \right)$$

Avec:

Q : débit de crue de projet; $Q_{1\%} = 506.92 \text{ m}^3/\text{s}$;

Le débit maximal laminé est obtenu quand la condition suivante est satisfaite

Avec:

Ql : débit laminé m^3/s ;

Qd : débit déversé m^3/s ;

4 - représenter graphiquement la variation de débit passant par le déversoir et du débit laminé en fonction de la charge d'eau H et du volume en charge V_{ch}

Les points d'intersection de la courbe $Ql = f(H)$ avec les courbes $Q = f(H_0)$ et de la courbe $Ql = f(V_{ch})$ avec les courbes $Ql = f(V_{ch})$ déterminent la charge d'eau, le volume d'eau en charge et le débit laminé pour les différentes largeurs du seuil.

Les résultats de calcul sont donnés au tableau de la page suivante.

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

Tab.VII-A-4 : CALCUL DU LAMINAGE DE CRUE PAR LA MÉTHODE DE COTCHERINE

NNR (m,NGA)	N PHE	h max(m)	S PHE	S NNR	V stocké	V crue	Q laminé	Ldev	temps de laminage(h)	% de laminage
	(m,NGA)		(Km2)	(Km2)	(Mm3)	((m3)	(m3/s)	(m)		
967,71	967,81	0,1	0,1739	0,1738	0,018	20,759	506,481	7379,35	22,74	0,09%
967,71	967,91	0,2	0,1739	0,1738	0,035	20,759	506,066	2606,86	22,72	0,17%
967,71	968,01	0,3	0,1734	0,1738	0,053	20,759	505,626	1417,76	22,70	0,26%
967,71	968,11	0,4	0,1694	0,1738	0,069	20,759	505,236	920,16	22,68	0,33%
967,71	968,21	0,5	0,1654	0,1738	0,085	20,759	504,845	657,90	22,66	0,41%
967,71	968,31	0,6	0,1614	0,1738	0,101	20,759	504,454	500,10	22,64	0,49%
967,71	968,41	0,7	0,1574	0,1738	0,116	20,759	504,088	396,57	22,63	0,56%
967,71	968,51	0,8	0,1534	0,1738	0,131	20,759	503,722	324,35	22,61	0,63%
967,71	968,61	0,9	0,1494	0,1738	0,146	20,759	503,355	271,63	22,60	0,70%
967,71	968,71	1	0,1454	0,1738	0,160	20,759	503,013	231,76	22,58	0,77%
967,71	968,81	1,1	0,1413	0,1738	0,174	20,759	502,672	200,75	22,56	0,84%
967,71	968,91	1,2	0,1373	0,1738	0,187	20,759	502,354	176,08	22,55	0,90%
967,71	969,01	1,3	0,1340	0,1738	0,201	20,759	502,012	156,05	22,53	0,97%
967,71	969,11	1,4	0,1370	0,1738	0,218	20,759	501,597	139,52	22,52	1,05%
967,71	969,21	1,5	0,1399	0,1738	0,236	20,759	501,158	125,69	22,50	1,14%
967,71	969,31	1,6	0,1429	0,1738	0,254	20,759	500,718	114,00	22,48	1,22%
967,71	969,41	1,7	0,1459	0,1738	0,272	20,759	500,278	104,00	22,46	1,31%
967,71	969,51	1,8	0,1488	0,1738	0,291	20,759	499,814	95,36	22,44	1,40%
967,71	969,61	1,9	0,1518	0,1738	0,310	20,759	499,351	87,85	22,42	1,49%
967,71	969,71	2	0,1547	0,1738	0,329	20,759	498,887	81,27	22,39	1,58%
967,71	969,81	2,1	0,1577	0,1738	0,349	20,759	498,398	75,46	22,37	1,68%
967,71	969,91	2,2	0,1607	0,1738	0,368	20,759	497,934	70,31	22,35	1,77%

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

967,71	970,01	2,3	0,1628	0,1738	0,388	20,759	497,446	65,71	22,33	1,87%
967,71	970,11	2,4	0,1579	0,1738	0,399	20,759	497,177	61,61	22,32	1,92%
967,71	970,21	2,5	0,1530	0,1738	0,409	20,759	496,933	57,93	22,31	1,97%
967,71	970,31	2,6	0,1481	0,1738	0,419	20,759	496,689	54,59	22,30	2,02%
967,71	970,41	2,7	0,1432	0,1738	0,428	20,759	496,469	51,56	22,29	2,06%
967,71	970,51	2,8	0,1383	0,1738	0,437	20,759	496,249	48,80	22,28	2,11%
967,71	970,61	2,9	0,1334	0,1738	0,446	20,759	496,029	46,28	22,27	2,15%
967,71	970,71	3	0,1285	0,1738	0,454	20,759	495,834	43,97	22,26	2,19%
967,71	970,81	3,1	0,1236	0,1738	0,461	20,759	495,663	41,85	22,25	2,22%
967,71	970,91	3,2	0,1187	0,1738	0,469	20,759	495,468	39,88	22,24	2,26%
967,71	971,01	3,3	0,1144	0,1738	0,476	20,759	495,297	38,07	22,23	2,29%
967,71	971,11	3,4	0,1155	0,1738	0,492	20,759	494,906	36,38	22,22	2,37%
967,71	971,21	3,5	0,1167	0,1738	0,509	20,759	494,491	34,80	22,20	2,45%
967,71	971,31	3,6	0,1178	1,1738	2,325	20,759	450,146	30,37	20,21	11,20%
967,71	971,41	3,7	0,1190	2,1738	4,242	20,759	403,33	26,12	18,11	20,43%
967,71	971,51	3,8	0,1201	3,1738	6,259	20,759	354,080	22,03	15,90	30,15%
967,71	971,61	3,9	0,1213	4,1738	8,376	20,759	302,385	18,09	13,58	40,35%
967,71	971,71	4	0,1224	5,1738	10,593	20,759	248,247	14,30	11,15	51,03%
967,71	971,81	4,1	0,1236	6,1738	12,910	20,759	191,667	10,64	8,61	62,19%
967,71	971,91	4,2	0,1247	7,1738	15,327	20,759	132,646	7,11	5,96	73,83%
967,71	972,01	4,3	0,1261	8,1738	17,845	20,759	71,158	3,68	3,20	85,96%
967,71	972,11	4,4	0,1293	9,1738	20,467	20,759	7,131	0,36	0,33	98,59%

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

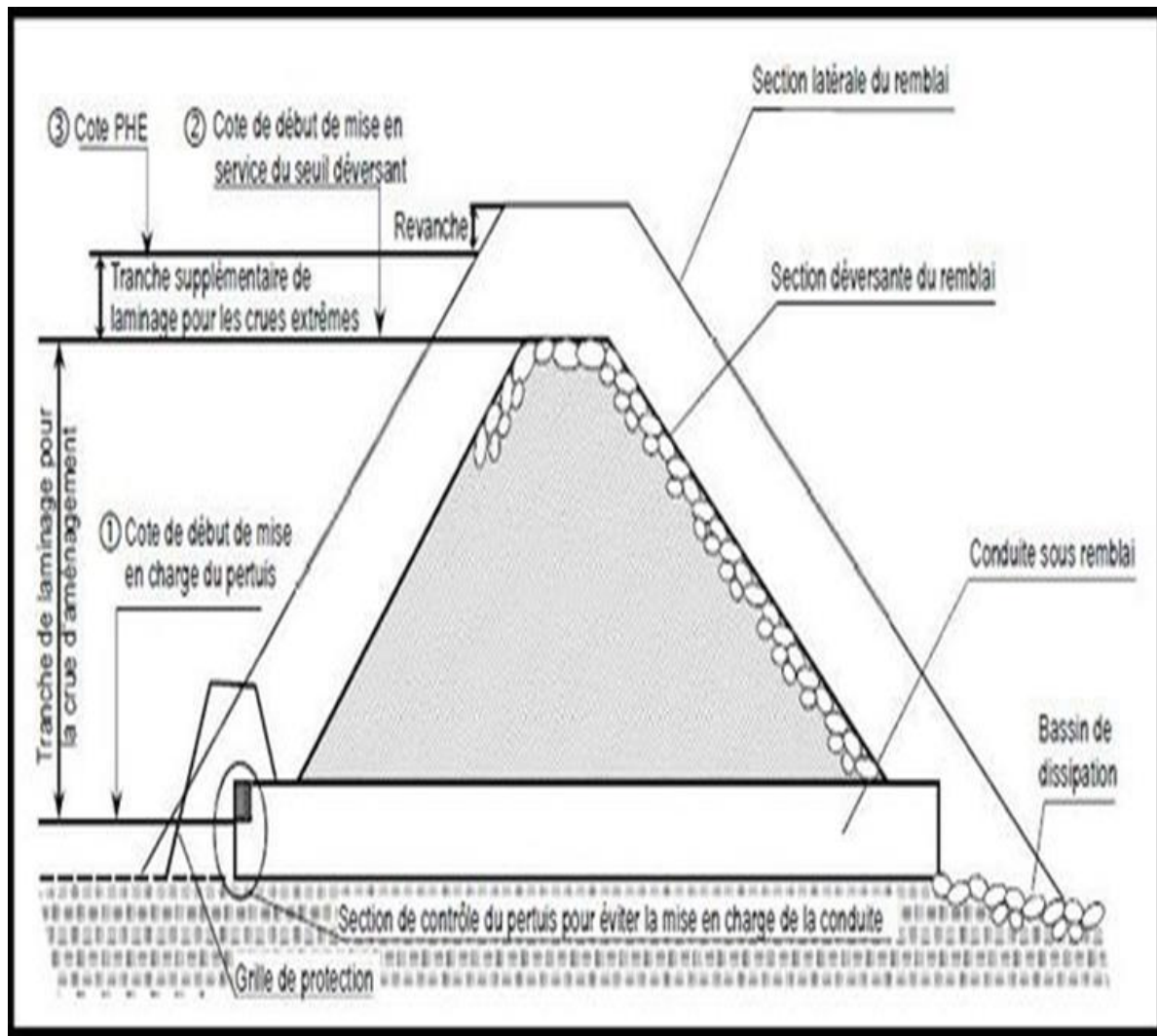


Fig.VII-A-5 : Section transversale d'une digue

VII-A-8- Détermination de la revanche

La revanche ou réserve de sécurité est la hauteur de la digue supplémentaire comprise entre la crête du barrage et le niveau des plus hautes eaux, destinée à prémunir l'aménagement contre les effets de submersion pouvant être engendré par le déferlement des vagues.

VII-A-8-1-Calcul de la hauteur des vagues

a) Formule de STEVENSON

$$hv = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{L} - 0.26 \cdot \sqrt[4]{L}$$

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

Ou H_v : hauteur des vagues (m)

L : Fetch ou la plus longue distance suivant le sens de la plus forte vitesse (Km)

On trouve $h_v = 0.69m$

b) Formule de MALLET-PACQUANT

$$h_v = 0.5 + 0.33L \quad L : \text{Fetch (Km)}$$

on trouve $h_v = 0.98m$

c) Formule d'ANDREANOFF

$$h_v = 0.00208.W^{5/4}.L^{1/3}$$

L : Fetch (Km)

W : Vitesse du vent

Le sens et la valeur de la vitesse sont pris dans le sens le plus défavorable

($W = 150\text{Km/h}$)

d) Formule de MALITOR

$$h_v = 0.75 + 0.0032 L W - 0.26 L$$

VII-A-8-2-Calcul de la vitesse des vagues

Formule de GAILLARD

$$V = 1.5 + 2 h_v$$

Avec V vitesse des vagues (m/s)

h_v hauteur des vagues (m)

VII-A-8-3-Calcul de la revanche

C'est la tranche comprise entre la crête du barrage et la côte des plus hautes eaux, elle est en fonction de la hauteur des vagues H , de la vitesse du vent U et de la vitesse de propagation des vagues V dans la retenue. Elle est donnée par la formule suivante :

$$R = 0.75 .h_v + \frac{v^2}{2g}$$

Avec : H :hauteur des vagues (m).

V :vitesse des vagues (m/s).

Comme nous venons de voir, la hauteur des vagues est calculée suivant plusieurs formules empiriques et de ce fait nous aurons plusieurs valeurs pour la revanche.

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

Tab.VII-A-5 : Valeurs de la revanche

Formule empirique utilisée	a	b	c	d
Hauteur des vagues (m)	0.69	0.98	1.41	1
Vitesse des vagues (m/s)	2.88	3.47	4.32	3.50
Valeur de la revanche (m)	0.45	0.65	1.00	0.66

Pour plus de sécurité donc on adoptera les valeurs suivantes :

$$h_v = 1.41 \text{ m}$$

$$V = 4.32 \text{ m/s}$$

$$R = 1 \text{ m}$$

VII-A-9-Hauteur du barrage

$$H_b = NNR - C_f + h_{dév} + R$$

Avec : H_b : Hauteur du barrage (m).

R : Revanche (m).

$h_{dév}$: hauteur déversante (m).

C_f ; la cote de l'oued (m)

La hauteur du barrage devient $H_b = 25.4 \text{ m}$

VII-A-10 : Largeur en crête

Cette largeur peut être calculée par plusieurs formules empiriques, toutefois elle doit répondre aux normes d'une route de service qu'elle doit assumer comme fonction principale.

Parmi les formules empiriques on peut citer les suivantes :

a) Formule de KNAPPEN :

$$b_{cr} = 1,65 \sqrt{H_b}$$

$$b_{cr} = 8.3 \text{ m}$$

b) Formule de F-PREECE :

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

$$b_{cr} = (1,1\sqrt{H_b}) + 1$$

$$b_{cr} = 6.5 \text{ m}$$

c) **Formule simplifiée :**

$$b_{cr} = 3,60\sqrt[3]{H_b} - 3$$

$$b_{cr} = 7.3 \text{ m}$$

On prend : $b_{cr} = 9 \text{ m}$

VII-A-11 : Fruits des talus

Pour les fruits des talus de la digue amont et aval on prend respectivement 2,8 et 2,2 tout en vérifiant la stabilité de l'ouvrage.

VII-A-12-Stabilité de l'ouvrage

La digue est de section trapézoïdale en terre avec un noyau central étanche.

L'étude de stabilité concerne trois cas:

- Glissement
- Renversement
- Soulèvement

VII-A-13-EVACUATEUR DE CRUES

VII-A-13-1-Généralité

L'évacuateur de crues est un ouvrage de sécurité permettant l'évacuation des débits de crues excédentaires vers l'aval du barrage, en évitant ainsi le risque de submersion de la digue.

Le choix de l'emplacement et du type de l'évacuateur est conditionné par les conditions topographiques du terrain et le type de barrage projeté.

VII-A-13-2-Description de l'ouvrage

L'évacuateur de crue est composé:

- D'un seuil déversant;
- D'un bassin de dissipation,
- D'un canal de fuite.

a)Seuil déversant ou ouvrage de contrôle

Le seuil déversant prévu pour notre digue est de type Creager.

Les coordonnées du seuil pour $H = 3.70 \text{ m}$ sont repris dans le tableau ci-dessous.

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

b) Calcul du profil de déversoir:

Les coordonnées du profil CREAGER sont données par l'équation suivante:

$$Y = \frac{X^{1,85}}{2H^{0,85}} \qquad X = (Y * 2H^{0,85})^{\frac{1}{1,85}}$$

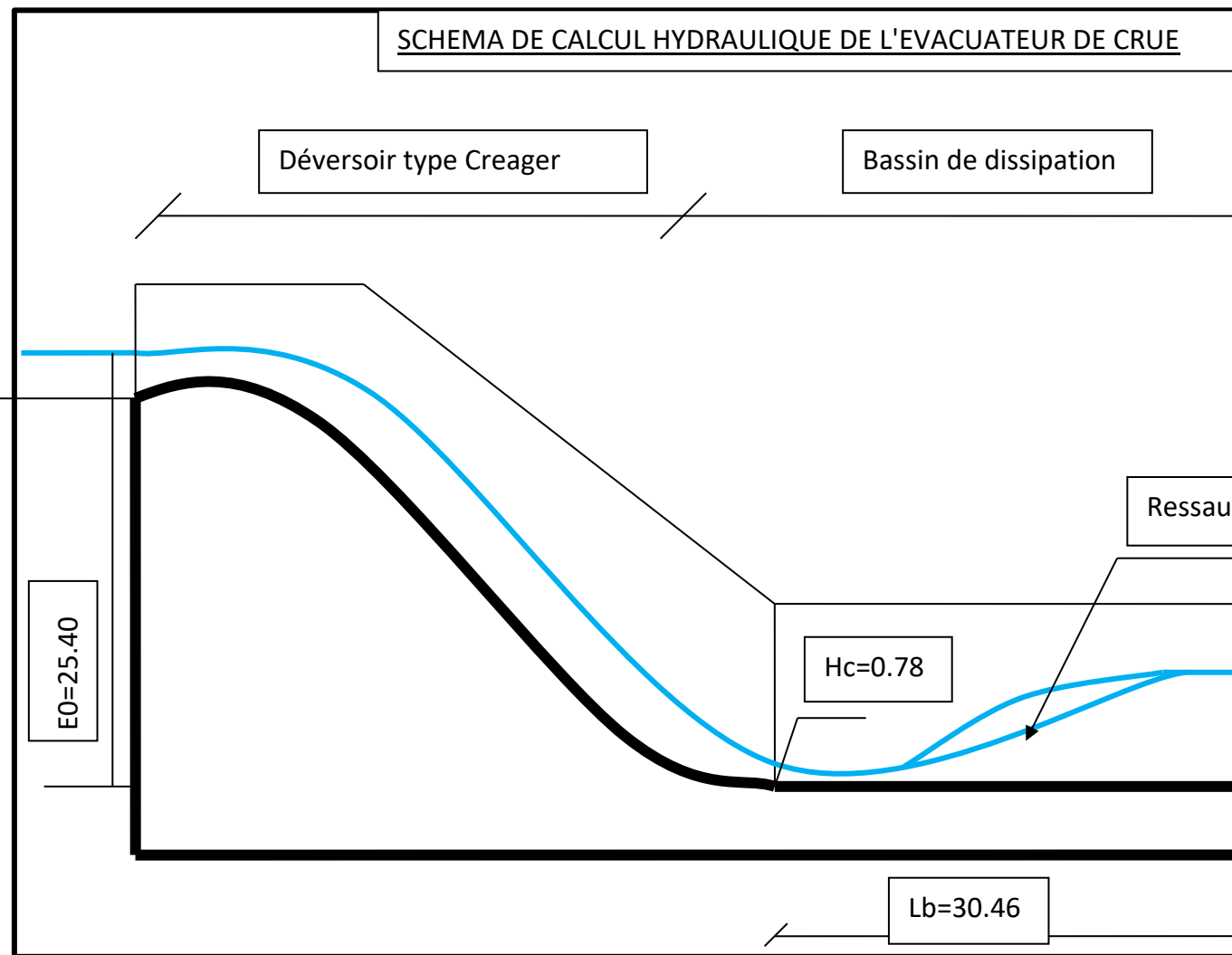
H : c'est la charge sur le déversoir.

Pour le traçage de ce profil on trace le tableau suivant .CRAEGER à préconisé un profil situé légèrement au –dessus du profil- type de la nappe libre.

Tab.VII-A-6 : Coordonnées du déversoir

X	y		X	Y
0,00	0,00		7,20	6,34
0,30	0,02		7,50	6,84
0,60	0,06		7,80	7,35
0,90	0,14		8,10	7,88
1,20	0,23		8,40	8,43
1,50	0,35		8,70	9,00
1,80	0,49		9,00	9,58
2,10	0,65		9,30	10,18
2,40	0,83		9,60	10,79
2,70	1,03		9,90	11,43
3,00	1,26		10,20	12,08
3,30	1,50		10,50	12,74
3,60	1,76		10,80	13,42
3,90	2,04		11,10	14,12
4,20	2,34		11,40	14,83
4,50	2,66		11,70	15,56
4,80	2,99		12,00	16,31
5,10	3,35		12,30	17,07
5,40	3,72		12,60	17,85
5,70	4,11		12,90	18,65
6,00	4,52		13,20	19,46
6,30	4,95		13,50	20,28
6,60	5,40		13,80	21,12
6,90	5,86			

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION



Bassin de dissipation

Ce bassin de dissipation qui fait suite au seuil déversant sert à dissiper une partie de l'énergie mécanique des eaux de crues afin d'obtenir une vitesse de sortie convenable dans le lit de l'oued.

Calcul de la profondeur contracté

La profondeur contracté est celle qui s'établit au niveau du point bas du seuil déversant à l'entrée des eaux dans le bassin de dissipation

Cette profondeur est calculée par itération à l'aide la relation suivante:

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

$$E_0 = h_c + \frac{q^2}{2gh_c^2\varphi_c^2}$$

Avec :

E_0 : la charge totale par rapport au niveau du radier du bassin de dissipation en m, $E_0 = 25.40$ m;

h_c : profondeur contractée en m;

q : débit spécifique en m²/s;

g : accélération de la pesanteur en m/s²;

φ_c : coefficient de vitesse pris égales à 0.9

Le schéma de calcul est donné à la figure n°.

Le débit spécifique q est donné par la relation suivante:

$$q = \frac{Ql}{b}$$

Avec :

Ql : Débit de crue laminé;

b : largeur du front déversant

on obtient un débit spécifique $q = 15.44$ m²/s

D'après les différentes données, on constate que la formule de calcul de h_c est vérifiée pour une profondeur de 0.78 m environ

Calcul de la hauteur critique

La hauteur critique est donnée par la relation suivante:

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 2.90 \text{ m}$$

Calcul de la deuxième profondeur conjuguée

La deuxième profondeur conjuguée est donnée par la relation suivante:

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_c}{h_1} \right)^3} - 1 \right]$$

Avec :

h_1 : profondeur contractée $h_c = 0.78$ m;

h_{cr} : profondeur critique égale à 2.90 m

On obtient une deuxième profondeur conjuguée égale à 7.52 m.

La longueur du ressaut hydraulique est donnée par les relations suivantes:

$$L_r = 2.5(1.9h_2 - h_1) = 33.77 \text{ m}$$

$$L_r = 4.5h_2 = 33.84 \text{ m}$$

On prend $L_r = 34.00$ m

La longueur du bassin est donnée par la relation suivante

$$L_b = \beta L_r$$

Avec $\beta = (0.8 - 0.9)$

$$L_b = 30.46 \text{ m}$$

Nous adopterons une longueur du bassin d'amortissement égale à 31.00 m

Désignation	Unité	Quantité
Hauteur du barrage	m	25.50
Revanche	m	1
Largeur en crête	m	6
Largeur du déversoir	m	26.50
Charge déversante	m	3.7
Débit évacué	m ³ /s	403.33

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

VII-B – BV 2 : CANAL COUVERT

B-1- Objet de l'aménagement

Le but de l'ouvrage est la couverture de l'oued et de canaliser les eaux dans un canal enterré en béton armé avec une section rectangulaire et remblayer tous les espaces de l'oued et d'aménager les espaces au-dessus et aux abords en routes, espaces verts, etc



Fig.B-1 : Canaux couverts

V-B-2- Choix de l'ouvrage de protection

L'étude topographique de ce Bassin Versant nous fait monter que toute sa surface, exception faite de la montagne qui le surplomb, est urbanisée actuellement ou le sera dans un avenir proche. Ce bassin est traversé par un oued du Nord au Sud ce qui nous oblige à projeter un canal couvert en béton armé.

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

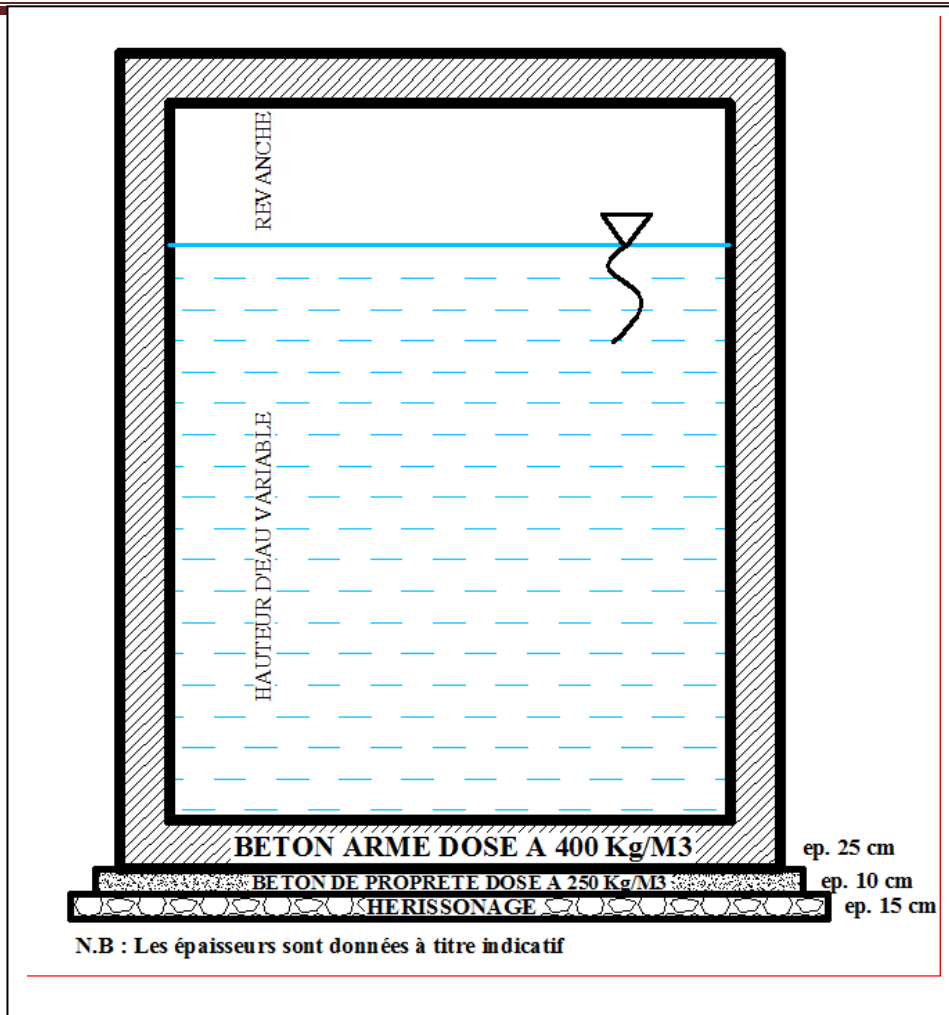


Fig. B-2 : Plan d'un canal couvert

B-3-CALCUL HYDRAULIQUE

Lois des pertes de charges :

a) Formule de Chézy

$$V = C \cdot \sqrt{J \cdot R_H}$$

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

ou: C: Coefficient de Chezy ($m^{1/2}/s$)

Rh: Rayon hydraulique (m)

J: Pente de la ligne de charge (m/m)

$$R_h = \frac{\text{Surfacemouillée}}{\text{Périmèremouillé}}$$

Pour notre cas (Section rectangulaire) :

$$S = b * h$$

$$P = b + 2 * h$$

b) Formule de Manning Strickler

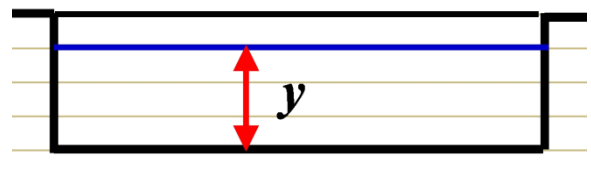
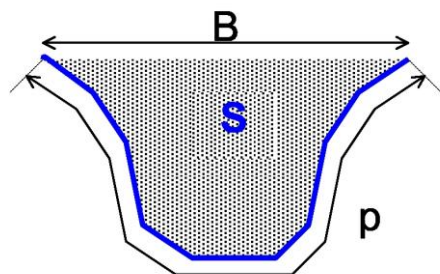
$$V = K_s \cdot R_H^{2/3} J^{1/2} \quad K_s, \quad \text{Coefficient de Strickler (m}^{1/3}/s)$$

L'inverse $n=1/K_s$ s'appel coefficient de Manning

Le coefficient K_s et le coefficient C, de la formule de Chézy, sont lies par la relation

$$C = K_s \cdot R_H^{1/6}$$

$$Q = V * S = 70 * R_H^{2/3} J^{1/2} * B * y$$



Avec $Q = S.V$

V vitesse moyenne ;

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

K coefficient de rugosité (ou de Strickler)

S section mouillée ;

P périmètre mouillé ;

R rayon hydraulique

$$R = S/P;$$

J pente (constante par hypothèse) du tronçon de cours d'eau (pente du fond).

Dans notre cas on prend $K_s = 70$ Canal en béton

c) Calcul et traçage du débit en fonction de la hauteur $Q=f(h)$

Dans cette relation, R et S sont des fonctions du tirant d'eau y . La résolution de l'équation donne y en fonction de Q . Le tirant d'eau obtenu est par définition le tirant d'eau normal baptisé y_n . La pente de la ligne d'eau est égale à celle du chenal et aussi à la perte de charge par unité de longueur.

Pour calculer le tirant d'eau $y=h_n$ on procède par approximations successives c'est-à-dire qu'on donne des valeurs à h pour avoir Q . Et on trace la courbe de débitante $Q = f(h)$ d'où l'on tire la hauteur correspondant à notre débit (à savoir $Q = 25,64 \text{ m}^3$)

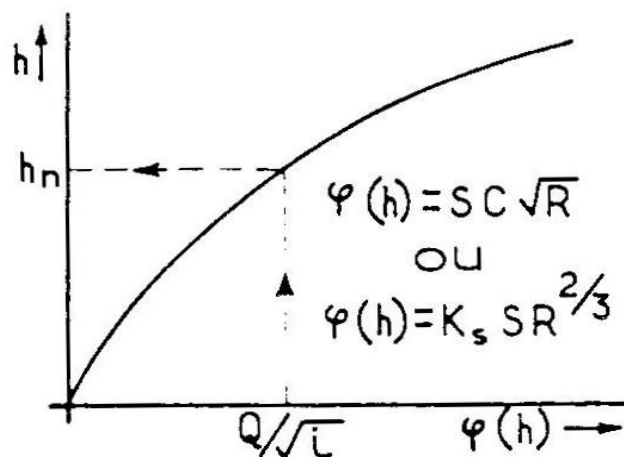


Fig.B-3 : Relation Débit-Hauteur

d) Utilisation de la fonction « valeur cible » du logiciel EXCEL

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

Pour notre part, nous avons exploité la fonction « valeur cible » du logiciel EXCEL qui consiste à introduire les étapes de calcul du débit Q en fonction de h (valeur arbitraire) puis à l'aide de cette fonction, renseigner le tableau de la Fig .B-4 et le résultat sera donné par le tableau de la Fig.B-5

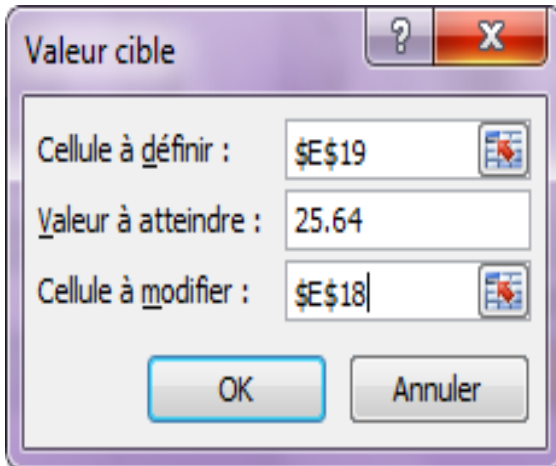


Fig .B-4 : Tableau à renseigner

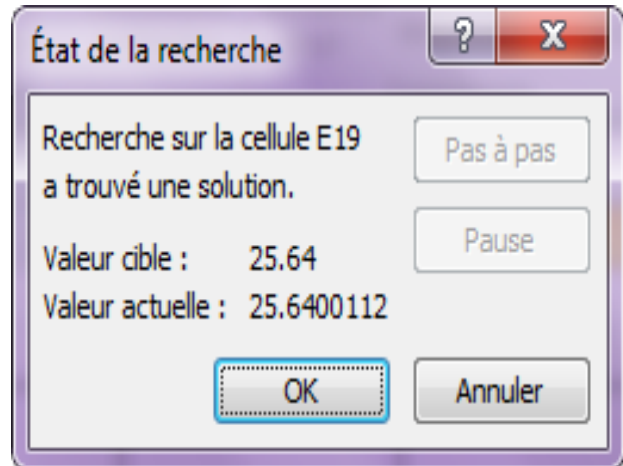


Fig .B-5 : Tableau du résultat

Pour notre cas

$$Q = V * S = 70.R_H^{2/3} . I^{1/2} . S$$

$$P = b + 2 h$$

$$S = b * h$$

- Hauteur critique

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g}}$$

- Pente critique

$$I_c = \frac{Q^2}{K_s . S_c . (R_H^{2/3})^2}$$

- Nombre de Froude

$$F_r = \left(\frac{h_c}{h}\right)^{2/3}$$

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

CALCUL HYDRAULIQUE OUED REDJEL

Tab.VII-B-1 : Tableau des résultats-canal couvert

Coupe		Distance	Pente (m/m)	B Largeur (m)	Q débit Projet	H Hauteur normale (m)	Vitesse (m/s)	revanche =30cm	hauteur totale (m)	RHcr	H _{critique} (m)	Section critique	Pente critique (m/m)	Nombre De Froude	type d'ecoulement
961.07	955.28	199.06	0.029	2.5	25.64	1.19	8.62	0.3	1.49	0.97	4.06	10.15	0.98	2.27	Torrentiel
955.28	949.59	368.66	0.015	2.5		1.51	6.79	0.3	1.81					1.93	
949.59	943.34	313.26	0.020	2.5		1.37	7.49	0.3	1.67					2.06	
943.34	934.9	325.17	0.026	2.5		1.24	8.27	0.3	1.54					2.21	
934.9	927.98	340.09	0.020	2.5		1.36	7.54	0.3	1.66					2.07	
927.98	921.34	326.78	0.020	2.5		1.36	7.54	0.3	1.66					2.07	

Remarque

La hauteur du canal est égale à la hauteur calculée + une revanche de sécurité (comprise entre 20 et 50 cm) on prend R=30 cm

VII-C- BV 3 : CANAL A CIEL OUVERT

C-1- Objet de l'aménagement

L'objet de cette étude est de proposer les mesures nécessaires pour assurer la collecte et l'évacuation des eaux pluviales non nuisibles vers l'exutoire pour cela on doit aménager l'oued de façon à ce que l'oued ne déborde pas sur la ville.



Fig.VII-C-1 : Canaux à ciel ouvert

C-2-Choix de l'ouvrage de protection

L'étude topographique de ce Bassin Versant (BV4) nous fait monter que toute sa surface, exception faite d'une piscine communale, est non urbanisée actuellement et ne le sera pas dans l'avenir selon le PDAU. Ce bassin est traversé par un oued de Nord à Sud ce qui nous permet de projeter un canal trapézoïdal en béton, armé en treillis soudé.

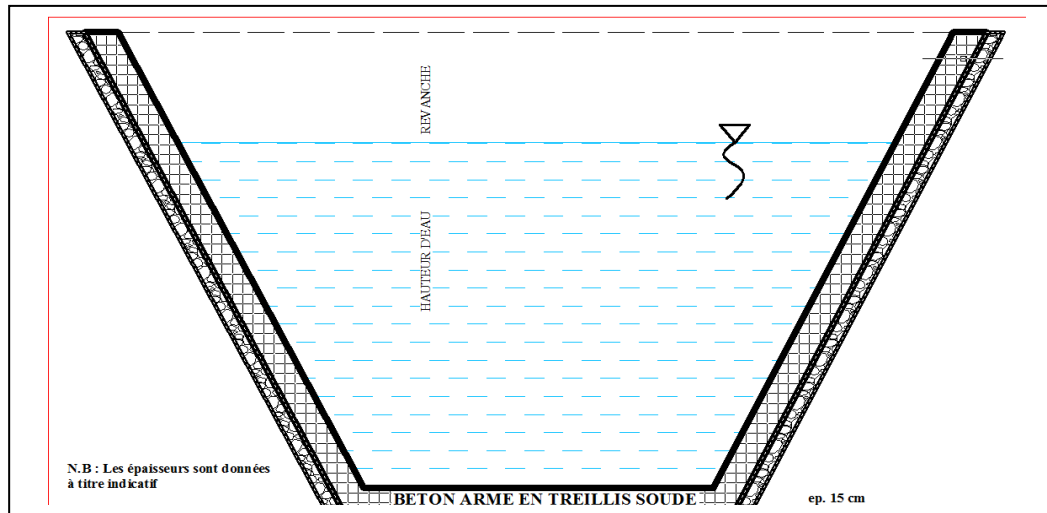


Fig.C-2 : Plan d'un canal à ciel ouvert

C-3-CALCUL HYDRAULIQUE

Pour le calcul hydraulique, on va procéder par similitude à la partie précédente (canal couvert) tout en changeant les paramètres suivant :
Section Trapézoïdale

$$P_m = b + 2h\sqrt{1+m^2}$$

$$S_m = (b + mh) * h$$

Débit = 19,64 m³/s

K_s= 70 Canal en béton

$$Q = V * S = 70 * \left(\frac{(b + mh) * h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}} \right)^{2/3} I^{1/2} * (b + mh) * h$$

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

CALCUL HYDRAULIQUE

Tab.VII-C-1 : Tableau des résultats-canal à ciel ouvert

Coupe		Distance (m)	Pente (m/m) (%)	B Largeur (m)	Q débit Projet (m ³ /s)	H Hauteur normale (m)	Revanche R=30cm	hauteur totale (m)	Vitesse (m/s)	H _{critique} (m)	Section critique	Pente critique (m/m)	Nombre De Froude	type d'ecoulement
984.92	982.03	250	0.012	2	19.64	1.12	0.30	1.52	5.62	3.40	0.16	18.36	2.10	Torrentiel
982.03	980.49	327.44	0.005	2		1.55		1.55	3.57				1.69	
980.49	974.75	529.95	0.011	2		1.15		1.15	5.42				2.06	
974.75	964.75	576.37	0.017	2		0.96		0.96	6.91				2.32	
964.75	948.75	583.09	0.027	2		0.81		0.81	8.63				2.60	
948.75	938.35	365.61	0.028	2		0.8		0.8	8.77				2.62	
938.35	926.61	317.54	0.037	2		0.72		0.72	10.03				2.81	

Remarque

La hauteur du canal est égale à la hauteur calculée + une revanche de sécurité (comprise entre 20 et 50 cm).
On prend 30 cm

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

VII-C- BV 4 : CANAL A CIEL OUVERT

C-1- Objet de l'aménagement

L'objet de cette étude est de proposer les mesures nécessaires pour assurer la collecte et l'évacuation des eaux pluviales non nuisibles vers l'exutoire pour cela on doit aménager l'oued de façon à ce que l'oued ne déborde pas sur la ville.



Fig.VII-C-1 : Canaux à ciel ouvert

C-2-Choix de l'ouvrage de protection

L'étude topographique de ce Bassin Versant (BV4) nous fait monter que toute sa surface, exception faite d'une piscine communale, est non urbanisée actuellement et ne le sera pas dans l'avenir selon le PDAU. Ce bassin est traversé par un oued de Nord à Sud ce qui nous permet de projeter un canal trapézoïdal en béton, armé en treillis soudé.

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

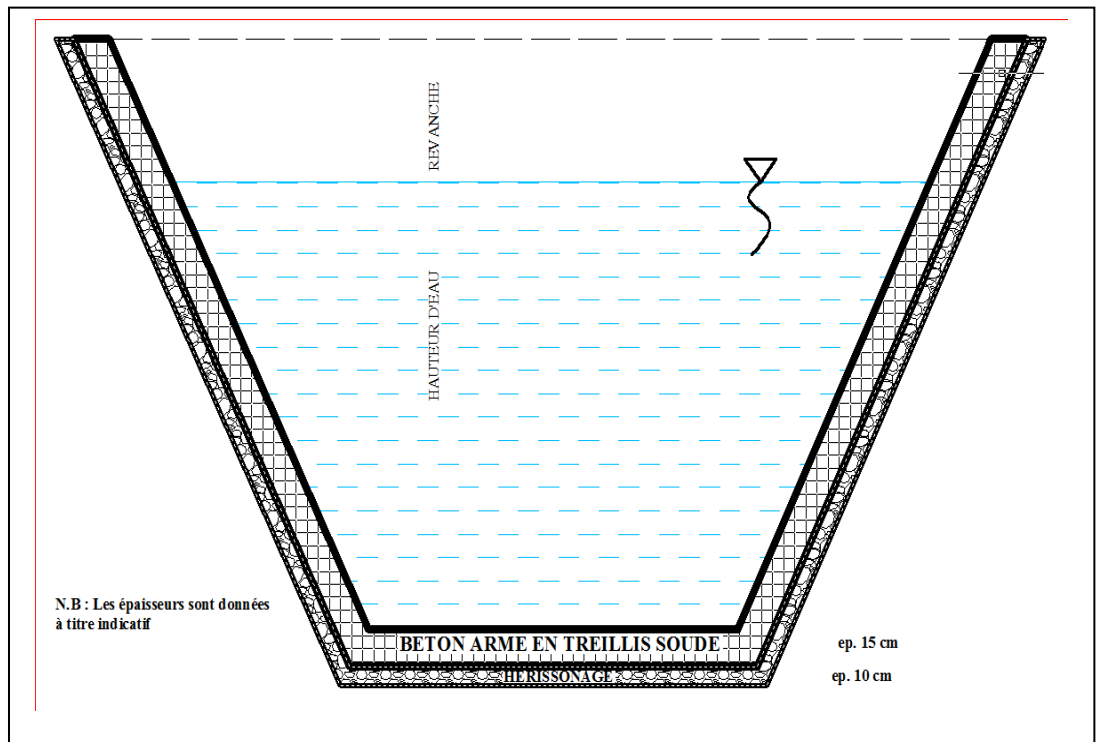


Fig.C-2 : Plan d'un canal à ciel ouvert

C-3-CALCUL HYDRAULIQUE

Pour le calcul hydraulique, on va procéder par similitude à la partie précédente (canal couvert) tout en changeant les paramètres suivant :

Section Trapézoïdale

$$P_m = b + 2h\sqrt{1+m^2}$$

$$S_m = (b + mh) * h$$

Débit = 19,64 m³/s

K_s= 70 Canal en béton

$$Q = V * S = 70 \cdot \left(\frac{(b + mh) * h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}} \right)^{2/3} I^{1/2} \cdot (b + mh) \cdot h$$

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

CALCUL HYDRAULIQUE

Tab.VII-C-1 : Tableau des résultats-canal à ciel ouvert

Coupe		Distance (m)	Pente (m/m) (%)	B Largeur (m)	Q débit Projet (m ³ /s)	H Hauteur normale (m)	Revanche R=30cm	hauteur totale (m)	Vitesse (m/s)	H _{critique} (m)	Section critique	Pente critique (m/m)	Nombre De Froude	type d'écoulement
984.92	982.03	250	0.012	2	19.64	1.12	0.30	1.52	5.62	3.40	0.16	18.36	2.10	Torrentiel
982.03	980.49	327.44	0.005	2		1.55		1.55	3.57				1.69	
980.49	974.75	529.95	0.011	2		1.15		1.15	5.42				2.06	
974.75	964.75	576.37	0.017	2		0.96		0.96	6.91				2.32	
964.75	948.75	583.09	0.027	2		0.81		0.81	8.63				2.60	
948.75	938.35	365.61	0.028	2		0.8		0.8	8.77				2.62	
938.35	926.61	317.54	0.037	2		0.72		0.72	10.03				2.81	

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

Remarque

La hauteur du canal est égale à la hauteur calculée + une revanche de sécurité (comprise entre 20 et 50 cm).

On prend 30 cm

VII-E-PROTECTION DES BERGES (CUMUL DES 4 BV)

VII-E-1-Objet de l'aménagement



Fig.VII-E-1 : Berges de l'oued à protéger

L'objet de la présente étude est la protection des berges de l'Oued Belsaa situé au centre de la ville d'Ain Meleh (qui la traverse de Nord à Sud pour sa partie supérieur et d'Ouest à Est pour sa partie inférieur).

Les crues des dernières années ont été de véritables chocs pour les habitants riverains et pour la ville entière.

L'absence de fortes crues depuis longtemps, et la réalisation des constructions illicites d'une part et d'autre des cours d'eau et les dépôts des ordures et des déchets solides ont fait accroître les dégâts et des dommages occasionnés.

VII-E-2 DESCRIPTION DE L'AMÉNAGEMENT

Une simple visite effectuée sur site montre que les inondations de la ville sont dues essentiellement à l'insuffisance d'évacuation des canaux et des buses existants et l'instabilité de l'Oued de l'effet érosive de l'eau sur les rives et le fond par manque de revêtement.

L'aménagement proposé est la protection des berges à l'aide d'un mur en gabion.

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

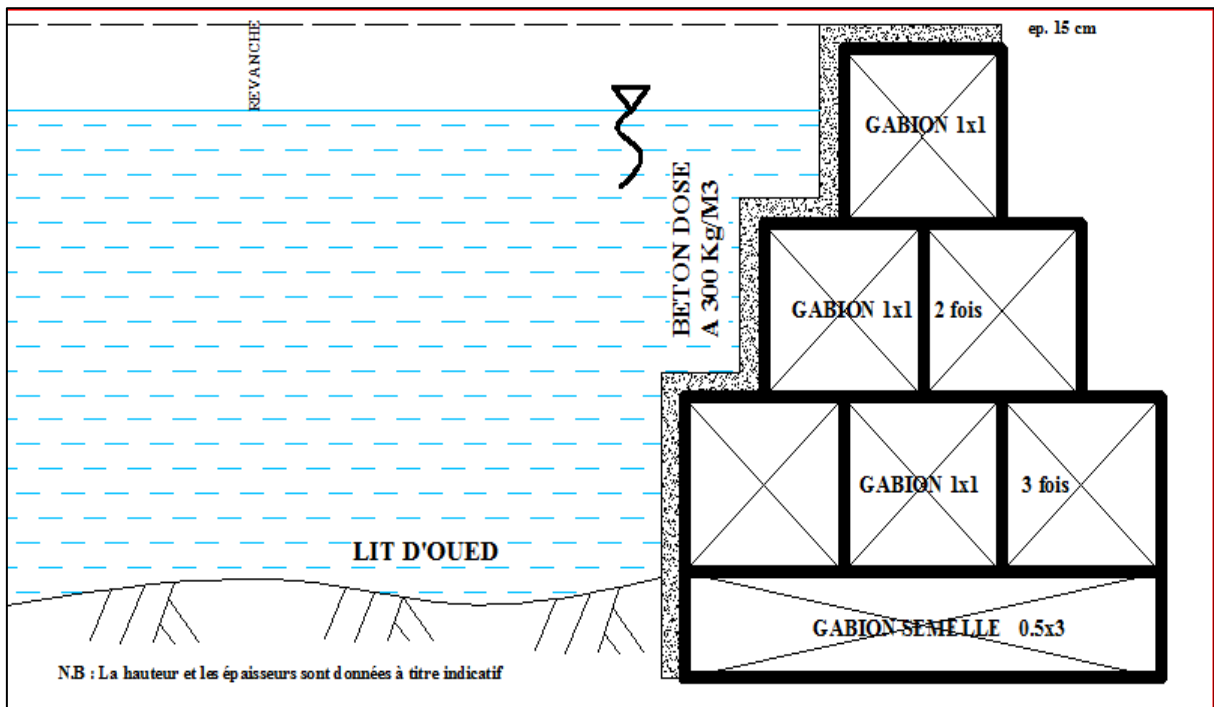


Fig.VII-E-1 : Mur en Gabion

NB : La couche de protection des gabions peut être exécutée par du béton asphaltique (bitumineux) ou du béton dosé à 300 Kgs/m³ ou tout autre matériau assurant la même

- $m = 0.50$
 $P_m = b + 2h\sqrt{1+m^2}$
 $S_m = (b + mh) * h$
- Débit = Variable selon chaque tronçon
- $K_s = 40$

$$Q = V * S = 40 \cdot \left(\frac{(b + mh) * h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}} \right)^{2/3} I^{1/2} \cdot (b + mh) \cdot h$$

Chapitre VII CONCEPTION ET CALCUL des ouvrages DE PROTECTION

CALCUL HYDRAULIQUE

Tab.VII-E-1 : Tableau des résultats-protection des berges

Section	Distance a partir de la digue	Pente (m/m) (%)	B Largeur (m)	Débit partielle	Q débit Projet (m ³ /s)	H Hauteur normale (m)	revanche =50 cm	hauteur total (m)	V vitesse (m/s)
1-1	55.20	0.006	72.11	403.33	403.33	1.35	0.50	1.85	4.10
2-2	402.75		70.21	403.33		1.35		1.35	4.21
3-3	697.39	0.014	69.31	403.33		1.11		1.11	5.20
4-4	1130.72	0.004	48.86	403.33		1.8		1.80	4.50
5-5	2021.76	0.007	36.72	403.33		1.84		1.84	5.82
6-6	2279.54	0.008	43.89	23.94	427.27	1.70		1.70	5.62
7-7	2955.06	0.012	37.82	23.94		1.65		1.65	6.70
8-8	3063.16	0.001	34.56	23.94		3.31		3.31	3.56
9-9	3331.85	0.016	44.15	23.94		1.40		1.40	6.80
10-10	3437.75		60.53	23.94		1.19		1.19	5.87
11-11	3476.61		67.48	25.64		452.91		1.15	1.15
12-12	3566.66		47.21	19.64	472.55	1.42		1.42	6.94

H _{critique} (m)	Pente critique (m/m) (%)	Scr	RHcr	Froude	type d'écoulement
25.50	0.04	2163.99	16.76	7.09	torrentiel
	0.05	2115.54	16.63	7.09	
	0.05	2092.59	16.56	8.08	
	0.03	1571.10	32.16	5.85	
	0.10	1261.52	13.46	5.77	
26.50	0.08	1514.22	14.68	6.24	
	0.10	1353.36	13.94	6.37	
	0.11	1266.97	13.50	4.00	
	0.08	1521.11	14.71	7.10	
	0.06	1955.18	16.32	7.92	
27.55	0.05	2238.56	17.34	8.31	
29.06	0.08	1794.11	15.99	7.48	

Conclusion

Conclusion

Les inondations n'épargnent aucun pays dans le monde mais les touchent à différents degrés. Ces inondations ont un impact important sur toutes les sociétés. Elles représentent environ 50% des désastres naturels et causent plus de 57 % du total de victimes de catastrophes naturelles dans le monde.

Le phénomène de construction relevé dans les zones inondables est lourd de conséquences. La forte croissance des bâtisses se traduit par la croissance de la vulnérabilité, d'où l'augmentation du risque d'inondation dans la région. Ceci étant dit, nous estimons que l'évolution de l'occupation des sols est favorable à l'augmentation du risque d'inondation dans une région. Les conditions de vulnérabilité et les facteurs d'exposition ont été pris en considération et nous avons démontré que la ville d'Ain El Melh est vulnérable et exposée au phénomène d'inondation.

Avec les changements climatiques, les phénomènes météorologiques extrêmes sont appelés à se multiplier, préviennent les scientifiques.

Il y aura possiblement moins d'ouragans dans certaines régions, mais ils risquent d'être plus puissants et de causer plus de dommages, Les épisodes de pluies intenses devraient, pour leur part, augmenter.

L'Institut de l'Université des Nations unies pour l'environnement et la sécurité humaine (IUNU-EHS) a dévoilé ses plus récentes données (actualisées en 2017) mesurant le risque pour 171 pays d'être touchés par un désastre naturel. L'indicateur s'appuie sur leur degré d'exposition à des phénomènes climatiques ou sismiques extrêmes, couplé à leur taux de vulnérabilité.

Les pays qui sont au croisement de fissures sismiques , où il y a eu des tremblements de terre (cas de l'Algérie) ou des volcans en activité dans les dernières décennies ,ou dans des zones de passage d'importantes tempêtes tropicales, sont les plus à risque .

Mais le caractère « extrême » des phénomènes climatiques n'est pas l'unique facteur des catastrophes naturelles, et vice-versa.

Si les pays en développement ne peuvent pas investir des sommes colossales pour construire des digues et des tunnels pour se protéger des inévitables inondations ni exproprier des millions de personnes déjà installées dans des zones inondables, ils peuvent par contre mettre en place des

Conclusion générale

plans d'urgence pour diminuer leur vulnérabilité. Ceci nous a permis de répondre à la première question posée dans le préambule *concernant les facteurs aggravants des inondations*.

Lors de la période d'urbanisation et de l'occupation du sol effrénées et anarchiques, on se préoccupait très peu de l'éventualité d'une inondation. L'augmentation de la taille du tissu urbain fait accélérer le ruissellement et limite considérablement l'infiltration dans le sous-sol, d'où une forte probabilité d'accumulation des quantités d'eau qui peut provoquer des inondations.

Il faut rappeler que la prévention est le principal outil dont disposent les pays pour réduire les impacts d'un éventuel événement climatique ou sismique extrême.

Il faut également des campagnes de sensibilisation et d'éducation, surtout en ce qui concerne la construction dans les zones inondables, qui permettront de réduire considérablement le nombre de morts et l'ampleur des dégâts matériels lors des inondations.

A travers cette étude, nous avons donné en premier lieu un aperçu général sur le phénomène des inondations dans le monde d'une façon générale ainsi qu'en Algérie spécialement. La présentation du site, objet de notre étude, s'est faite d'une façon détaillée à savoir : administratif, géographique, morphologique, climatologique, géologique,...etc. Par le biais du Logiciel Arc Gis 10.3 nous avons déterminé les bassins versant (au nombre de quatre) qui influencent directement sur la ville d'AIN EL MELH, puis nous avons procédé à l'estimation des débits correspondant à chaque bassin versant, la détermination des zones inondables et de faire la simulation à l'aide des Logiciels Hec Ras, Hec Géo Ras, Hec Hms, Hec Géo Hmsce qui nous a permis de répondre à la deuxième question du préambule.

Pour répondre à la troisième question « *Quel est l'effet de l'occupation du sol sur le phénomène d'inondation* » nous avons procédé à la simulation de plusieurs variantes à l'extérieur du tissu urbain et à l'intérieur de celui-ci .A partir des résultats de notre étude, nous avons pu constater, d'une part, que l'augmentation de la taille du Plan Directeur d'Architecture et d'Urbanisme (Plan d'Occupation du Sol, Lotissements, Zone d'Activités,...etc) fait accélérer le ruissellement et limite considérablement l'infiltration dans le sous-sol, d'où une forte probabilité d'accumulation des quantités d'eau qui peuvent provoquer des inondations.

En prenant en considération l'occupation des sols et son influence sur le phénomène, nous avons conclu que les bassins versants BV1 et BV3 ne sont pas urbanisés et ne le seront pas et par suite aucune influence de l'occupation du sol sur le phénomène sauf dans le cas où ces terres seront reboisées ce qui diminue considérablement le ruissellement, augmente le taux d'infiltration, et diminue le débit (dans l'ordre de 14%), et par suite atténuer considérablement le

Conclusion générale

phénomène des inondations (diminution des zones inondables ou de la taille de celles-ci, diminution des débits, des vitesses et des hauteurs dans ces zones).

Au contraire du tissu urbain (bassins versant BV2 et BV4) qui sont moyennement urbanisés actuellement, mais verront leurs urbanisations, qu'elles soient anarchique ou suivant le PDAU, s'accélérer dans le temps ce qui augmentera le ruissellement, diminue le taux d'infiltration, et augmente le débit et par suite amplifier considérablement le phénomène des inondations.

La nouvelle occupation des sols caractérisée par les nouveaux coefficients, et la nouvelle simulation qui en découle nous a permis de savoir l'incidence de ces changements sur la ville (diminution des tailles des zones inondables et des hauteurs) et sur les oueds (augmentation des vitesses et diminution des hauteurs ce qui est de bonne augure)

La réponse à la quatrième question trouve sa solution dans la dernière partie qui nous a permis la conception et le dimensionnement des divers ouvrages qui permettront la protection de la ville contre les crues. Pour le Bassin Versant 1, la solution adéquate est la réalisation d'une digue écrêteur de rétention et ce à cause de l'emplacement de l'exutoire en dehors du tissu urbain et à la limite de celui-ci.

Le BV 2 est formé essentiellement d'habitations et d'établissement publics et n'est traversé ni par un oued ni par une chaaba, ce qui nous a obligé de drainer les eaux pluviales par le réseau unitaire d'assainissement tout en insistant sur l'utilisation massive des regards déversoirs à proximité de l'oued qui délimite ce bassin à l'Ouest et au Sud d'autant plus que les pentes générales vont dans le sens de l'oued.

Le BV 3 est occupé lui aussi par des constructions diverses (ZHUN, établissements publics, ...) mais traversé par un oued ou on a prévu un canal couvert rectangulaire en béton armé d'épaisseur 30 cm avec double nappe.

Pour le BV 4, nous avons projeté un canal trapézoïdal à ciel ouvert en béton légèrement armé (treillis soudé) d'épaisseur 15 cm et ce à cause de la nudité du terrain et de sa position en dehors du tissu urbain.

En fin pour l'oued principal qui englobe les débits (le cumul des débits se fait au fur et à mesure qu'on avance dans l'oued dans le sens d'écoulement des eaux) des quatre bassins versants précédents et vu son importance (hauteur et largeur) nous avons conçu l'aménagement et la protection de ses berges à l'aide de murs en gabions enrobés par une couche en béton bitumineux avec des semelles filantes d'épaisseur 50 cm et une largeur à la base proportionnelle à la hauteur calculée pour différentes sections transversales de l'oued.

Conclusion générale

Les solutions citées ci-dessus ont été édictées par différents paramètres (positions des BV par rapport à la ville, configurations des terrains, Occupation des sols...) ce qui nous a conduit à concevoir et projeter des solutions variées et différentes les unes des autres (cinq au total : -digue de rétention - canal à ciel ouvert - canal couvert - protection des berges - réseau unitaire d'assainissement) qui permettront la protection de la ville contre les crues.

Enfin nous insistons que pour remédier au phénomène des inondations et ses conséquences néfastes et catastrophiques tant pour l'être humain (pertes de vies humaines) que pour la nature (dégâts matériels, détériorations des voies de communications,...), l'amélioration de la prévision et de la prévention des inondations reste un outil essentiel. Une meilleure information des populations exposées et la diminution de la vulnérabilité des biens situés dans les zones inondables sont à privilégier. Cependant, si les pouvoirs publics ont des responsabilités dans ce domaine, chaque citoyen doit aussi contribuer à se protéger efficacement et diminuer sa propre vulnérabilité.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

Michel Lang, Denis Cœur, Les inondations remarquables au xx^e siècle, Éditions Quae, 2014,
Jean-Noël Salomon, L'homme face aux crues et aux inondations, Presses Universitaires de
Bordeaux, 1997

A. DAUPHINÉ (2005), Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer, édition
A. Colin, Paris.

Jean-Noël Salomon, L'homme face aux crues et aux inondations, Presses Universitaires de
Bordeaux, 1997, 136 p.

Ambroise B. "La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant : processus, facteurs,
modèles." 1999

Beloulou L. « Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville de Annaba (Nord-
Est Algérien) ».Thèse de doctorat d'état, université Badji Mokhtar-Annaba. (2008)

BENNIS. S Hydraulique et hydrologie. Edition Presses de l'université du Québec 2007

VASQUEZ J. Hydrologie et hydraulique urbaine en réseau d'assainissement Ecole Nationale du
Génie de l'Eau et de l'Environnement Strasbourg 2013

United States Department of Agriculture : Urban Hydrology for Small Watersheds (June 1986)

A.DUPONT Hydraulique urbaine. Tomes I et II, Edition Eyrolles 1978 Paris

BONNIN. J Hydraulique Urbaine. Edition Eyrolles 1978 Paris

BONNIN. J Aide-Mémoire d'Hydraulique Urbaine. Edition Eyrolles 1982 Paris

CARLIER. M Hydraulique générale et appliquée Edition Eyrolles

LENCASTRE. A Hydraulique générale 1999

SATIN. A SELMI. B Guide technique de l'Assainissement Edition le moniteur Paris 1999

COSTE. C LOUDET. M Guide de l'Assainissement en milieu urbain et rural

Edition le moniteur 1980.

BOURRIER. R Les réseaux d'Assainissement (calculs, applications et perspectives)
Edition Lavoisier

GOMELLA. C et GUERREE. H Guide de l'Assainissement dans les agglomérations urbaines
et rurales (1- La collecte) ; Edition Eyrolles - Paris 1986

VALIRON. F et AFFHOLDER. M Guide de conception et de gestion des Réseaux
d'Assainissement unitaires Edition Lavoisier 1996

Actes des Journées Techniques/ Risques Naturels : Inondation, Prévision, Protection /Batna
15/16/décembre 2004

Encyclopédie Wikipédia

PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) (2008 , actualisé en 2013)

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

USACE(2010) : Hydrologic Modeling System HEC-HMS. User's Manual, Version 3.5. Hydrologic Engineering Center. 316 p.

USACE(1994) : Flood-Runoff Analysis Engineering Manuel. N° 110-2-1417, Washington. 214p.

US Army Corps of Engineers 2010. HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 4.1. US Army Corps of Engineers; Institute for Water Resources; Hydrologic Engineering Center; 609 Second Street; Davis, CA 95616 USA

AHBARI Abdellatif : Le bassin versant de Rhéraya : Modélisation pluie-débit et prédiction du comportement hydrologique ; Mémoire de fin d'études ; Master Eau et Environnement 2012-2013 ; Université de Marrakech Maroc

USAID 2013. CONCEPTS DE BASE DE LA MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE; APPORTS ET PRINCIPES D'UTILISATION DES OUTILS HEC, HEC-HMS ET HEC-RAS, PLATEFORME D'INTEGRATION WMS ET OUTIL RIBASIM FASCICULE 2 : MODELISATION EN HYDROLOGIE – HEC HMS Programme Compétitivité Economique du Maroc 8, rue du Rif; Souissi 10 000 Rabat Maroc

USAID 2013. CONCEPTS DE BASE DE LA MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE; APPORTS ET PRINCIPES D'UTILISATION DES OUTILS HEC, HEC-HMS ET HEC-RAS, PLATEFORME D'INTEGRATION WMS ET OUTIL RIBASIM FASCICULE 5 : MODELISATION EN HYDRAULIQUE DES ECOULEMENTS A SURFACE LIBRE – HEC RAS Programme Compétitivité Economique du Maroc 8, rue du Rif; Souissi 10 000 Rabat Maroc

COURS ET MEMOIRES **a préciser**

- COURS DISPENSES A L'UNIVERSITE DE M'SILA
- MEMOIRES DE FIN D'ETUDES (INGENIORAT+MAGISTER) - ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER
- MEMOIRES DE FIN D'ETUDES (INGENIORAT+MAGISTER) - ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE- BLIDA