



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITE -SAAD DAHLEB- BLIDA 1
جامعة سعد دحلب -البلدية-1

Faculté d'Hydraulique

Département des sciences d'eau et d'environnement

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

مذكرة نهاية التدرج

Pour l'Obtention du diplôme
DE MASTER EN Hydraulique
Option : Ressources Hydrauliques

THÈME

Contribution à l'étude de la performance des mesures de protection contre les inondations dans la ville de Blida – cas de Oued Beni Azza

Réalisés par :

M^s. HEBBICHE SELMA

M^s. BOUHENNI IMENE

Encadré par :

M^r. HADDAD

PROMOTION : 2020-2021

ملخص

مشروع نهاية الدراسة شرعنا في دراسة أداء نظام الحماية من الفيضانات في مدينة البليدة و هو تطوير واد بني عزة برنامج **HEC RAS** لمحاكاة نمذجة السلوك المائي الحالي اتجاه الفيضانات الجوية بعد تصميم نموذج رقمي لتيار الكهربائي و ادخارا لبيانات الهيدروليكية و شروط الحدود أظهرت المحاكاة ان الشكل الحالي للقناة سيكون قادر علي التدفق بشكل طبيعي الي فيضانات التردد با لاطافة الى ذلك لاحظنا فيضان الوادي و توليد السيول في الجزء السفلي من قيد بني عزة الذي لا يوجد به اي تطوير.

Résumé :

Dans ce projet de fin d'étude, nous avons procédé à l'étude de la performance d'un système de protection contre les inondations dans la ville de Blida à savoir l'aménagement de Oued Béni Azza. Pour ce faire nous nous sommes basés sur l'utilisation du logiciel HEC RAS pour la modélisation et la simulation du comportement du canal existant vis-à-vis les crues fréquentielles. Après conception de modèle numérique du terrain et introduction des données hydrauliques et conditions aux limites, nous avons simulé les différents scénarios de crue. La simulation a montré que la forme actuelle du canal pourra véhiculer normalement les crues fréquentielles. Par ailleurs nous avons constaté le débordement de l'oued et la génération de l'inondation dans la partie aval de Oued Beni Azza qui ne dispose pas d'aménagement.

Abstract :

Dühring this end-of study Project we proceeded to study the performance of a flood protection system in the city of blida namely the développement of oued beni azza poun hec ras software for the simulation modeling of the existing water behavior vis-à-vis aiegnential floods after designing a digital model of the hydraulique data and boundary conditions we have sinulated the different flood scenarios the simulation has shown that the channel will be

Able to flow normlly to the frequency floods inaddition we noted the ovrflow of the wadi and the generation of flooding in the downstream part of oued beni azza whicg does not have any development

Introduction générale :

L'eau est une source de bonheur mais lorsqu'elle vient en grande quantité devient source de malheur et d'inquiétude.

Les inondations sont le sujet d'actualité en Algérie et dans le monde entier, qui se manifestent

de façon catastrophique notamment au regard des dernières crues diluviennes dont la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit impliquer tous les acteurs concernés (décideur, techniciens et population) afin d'identifier les enjeux à protéger et de mobiliser les moyens disponibles et alternatives possibles pour minimiser les dégâts humains et matériels. Les inondations peuvent également nuire à l'environnement et freiner le développement économique ainsi que le déplacement des populations.

L'inventaire des inondations à travers le pays, rien qu'en 2015, nous avons recensé plus de **130 inondations** à travers le territoire national, révèle qu'il n'existe pas de régions prémunies contre ce risque malgré la mise en place de différents systèmes de protection contre les inondations.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'étude dont on a choisi comme intitulé l'étude de la performance du système de protection contre les crues et on a choisi comme cas d'étude Oued Beni Azza qui traverse la ville de Blida.

Donc, dans ce travail, nous allons suivre les étapes suivantes afin de parvenir à notre objectif :

1er chapitre :

Ce chapitre consiste à faire un aperçu bibliographique les inondations en distinguant la présentation des notions et concepts fondamentaux liés au risque d'inondation à savoir causes et conséquences.

2eme chapitre :

Dans cette partie nous allons présenter la zone d'étude et plus particulièrement la ville de Blida qu'est traversée par Oued Beni Azza.

3eme chapitre :

Une étude hydrologique s'impose afin de déterminer l'ensemble des paramètres servant à la conception et au dimensionnement des ouvrages de protection contre les inondations

4eme chapitre :

Dans cette dernière partie nous allons procéder à la modélisation et la simulation du comportement hydraulique du canal existant dans Oued Beni Azza vis-à-vis les crues fréquentielles.

Enfin, notre travail, se terminera par une conclusion générale.

I.1 Introduction :

L'Algérie est confrontée aux phénomènes des crues et d'inondation qui sont plus fréquents que les séismes. Ces phénomènes provoquent des catastrophes plus destructrices et cause d'importants dégâts humains et matériels .les exemples de Bâb el oued 2001, De sidi bel Abbes en 2006, et de Ghardaïa en 2008.

Une inondation est le phénomène occasionnel qui peut noyer de vastes parties du lit majeur ou de la plaine, à la suite d'une crue particulièrement importante et du débordement des eaux.

De façon plus pragmatique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur .Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module : on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines. Cependant la distinction classique entre lit mineur et lit majeur est souvent exagérément remplissage du chenal il est possible d'affiner la notion de lit fluvial et de distinguer successivement.

Une fois la situation du risque est décrite, il est possible de faire une prévision d'un large éventail d'aménagements qui pourra a priori participer à la réduction des conséquences des écoulements provoquant les inondations. Ces aménagements peuvent être prévus au niveau du bassin versant, dans les réseaux primaires et dans le lit majeur des cours d'eau.

I.1.1 Quelques Définition :

✓ L'aléa

est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données.



Figure I.1 : Représentation de l'aléa (tirée de ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer ,2015)

✓ L'enjeu

Est l'ensemble des personnes ou leurs biens peuvent être classés comme des enjeux. Ils sont défini par leurs importances socioéconomiques. On cite les suivants :

Habitations Locaux à évacuation difficile (Les hôpitaux, les garderies d'enfant, les écoles primaires, les foyers de personnes âgées ou déficience intellectuelle). Locaux de stockage de matières toxiques.



Figure I.2 : représentation des enjeux (tirée de ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer ,2015)

Le risque majeur

Est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionnent des dégâts importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées.



Figure I.3 : représentation du risque (tirée de ministère Canadien de l'environnement de l'énergie et de la mer,2015)

La vulnérabilité

Exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Différentes actions peuvent la réduire en atténuant l'intensité de certains aléas ou en limitant les dommages sur les enjeux

I.2 Le phénomène inondation

I.2.1 L'inondation

Une inondation Elle est définie comme la présence temporaire de l'eau sur des surfaces habituellement non submergées.

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. Par ailleurs, les dégâts occasionnés par une inondation dépendent de plusieurs facteurs : la hauteur de submersion, la durée de submersion, les vitesses d'écoulement, le volume de matière solide transporté, l'érosion des berges. Ces paramètres permettent d'évaluer l'aléa « inondation » et les critères d'identification des zones à risques (Tableau. I.1).

ALÉA DEFINITION CRITERES D'IDENTIFICATION	DEFINITION CRITERES	D'identification
Elevé	Zones où les vitesses de l'écoulement et/ou les hauteurs d'eau peuvent être importantes lors des crues exceptionnelles.	Ces zones correspondent principalement au lit mineur et à ses abords immédiats (berges instables).
	-fonds des ravines Zones où il est envisageable que le talweg principal puisse changer de tracé et/ou évoluer dans son tracé (méandres).	Le changement de tracé d'un cours d'eau peut se produire lors de débordements importants durant une crue exceptionnelle et/ou par suite d'accumulation ponctuelle importante d'embâcles et/ou d'apports solides
Moyen	Dans ces zones, les vitesses et les hauteurs de submersion pourront être faibles voire moyennes, la durée de submersion étant limitée.	Zones de débordement au niveau du lit majeur lors des crues exceptionnelles -zones de stagnation des eaux pluviales avec hauteur de submersion relativement importante
Modéré	Zones où les vitesses d'écoulement seront faibles voire nulles	-zones de stagnation des eaux pluviales -zones inondées par remontée de nappe
Faible à nul	probabilité d'inondation faible à nulle	-zones hautes -zones en dehors du lit mineur

		ou majeur d'un cours d'eau -zones éloignées de la bordure Littorale
--	--	--

Tableau I.1 : Critères d'identification des zones à risques (d'après Direction Générale De La Protection Civile)

I.2.2 Crues :

La crue c'est l'augmentation rapide et temporaire de débit d'un cour d'eau.

Une crue se définit par différents critères :

- ✓ La durée.
- ✓ La Vitesse d'écoulement.
- ✓ Le débit .
- ✓ Le volume.

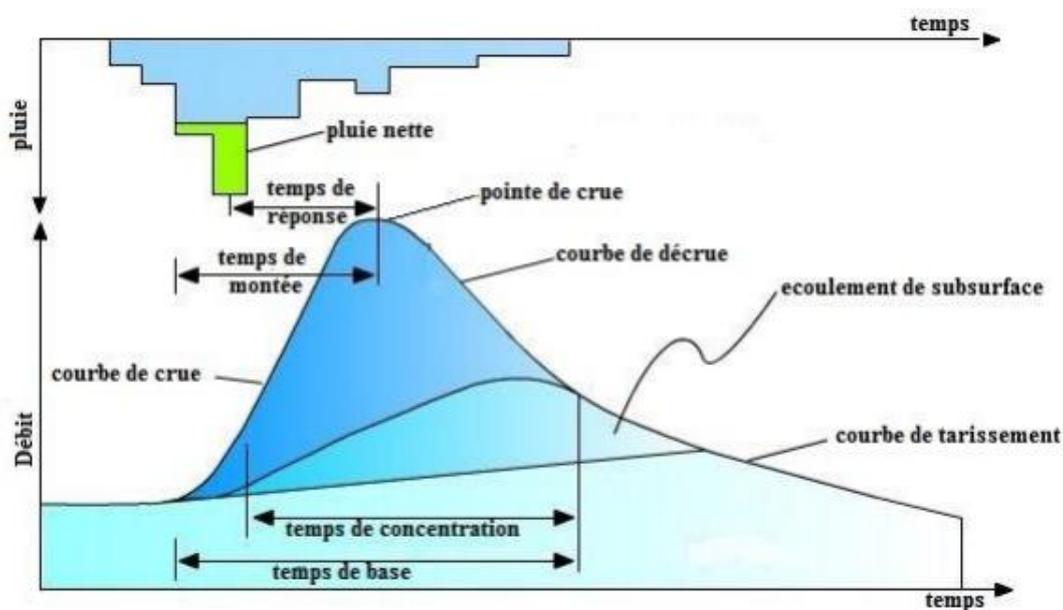


Figure I.4 : élément descriptif d'une crue.

I.2.3 Les types de crues :

Les crues peuvent être classées en trois grands types en fonction de leur importance et l'intervalle de récurrence :

- **Les crues décennales** sont des crues moyennes à fortes (statistiquement, chaque année, il y a une chance sur **dix** pour qu'un tel événement se produise ou soit dépassé).
- **Les crues centennales** sont des crues fortes à très fortes (statistiquement, chaque année, il y a un risque sur **cent** pour qu'un tel événement se produise ou soit dépassé).
- **Les crues milléniales** sont des crues exceptionnelles (statistiquement, chaque année, il y a une chance sur **mille** pour qu'un tel événement se produise ou soit dépassé).

I.3 Les différents Types d'inondations :

I.3.1 Les inondations des plaines :

Les crues de plaine (on parle aussi de crues fluviales) surviennent à la suite d'épisode pluvieux océaniques prolongés mais d'intensités modérée, s'abattant sur des sols où le ruissellement est long à déclencher, le cours d'eau sort de son lit ordinaire pour occuper.

Son lit majeur et l'inondation est caractérisée par une montée lente des eaux, le débordement du cours d'eau peut parfois être précédé de remontées des nappes phréatiques. La durée de submersion peut atteindre plusieurs jours à quelques semaines.

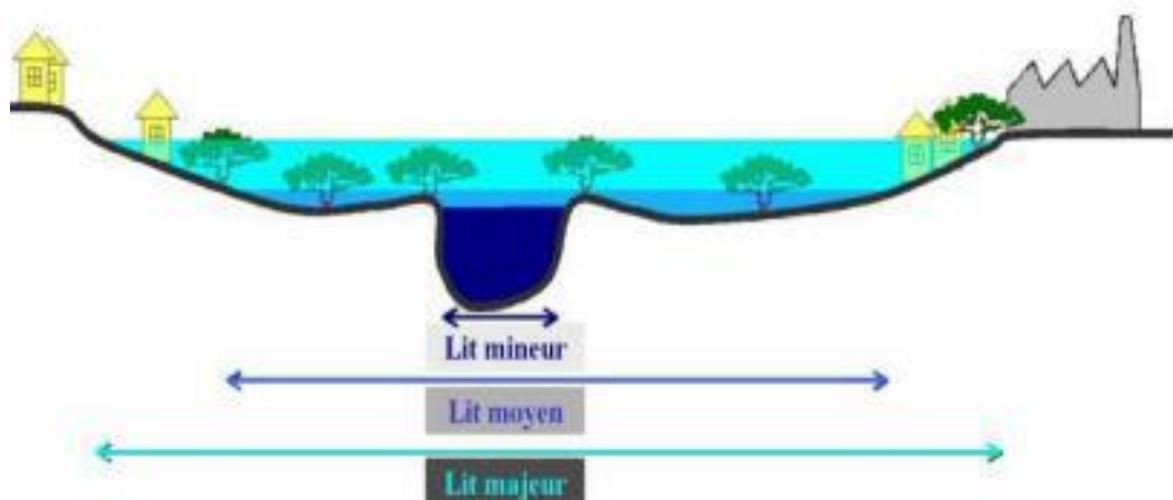


Figure I.5 : les inondation des plaine.

I.3.2 Les inondations par crues torrentielles :

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents résultant d'épisodes pluvieux intenses et localisés, du type d'orages convectifs. Si la vitesse de montée des eaux est extrêmement rapide, la décrue l'est également. On parle aussi de crues éclairs pour désigner des crues torrentielles survenant de très petits bassins versants et se formant en quelques heures.

De manière un peu conventionnelle, on parle de crues torrentielles lorsque la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombant sur le point "hydrologiquement" le plus éloigné atteigne l'exutoire est inférieure à 12 heures (ou 24h pour certaines hauteurs). Ces crues touchant principalement les zones de montagne, les cours d'eau du pourtour méditerranéen, mais aucun petit bassin au relief accentué, à forte capacité de ruissellement, n'est à l'abri.

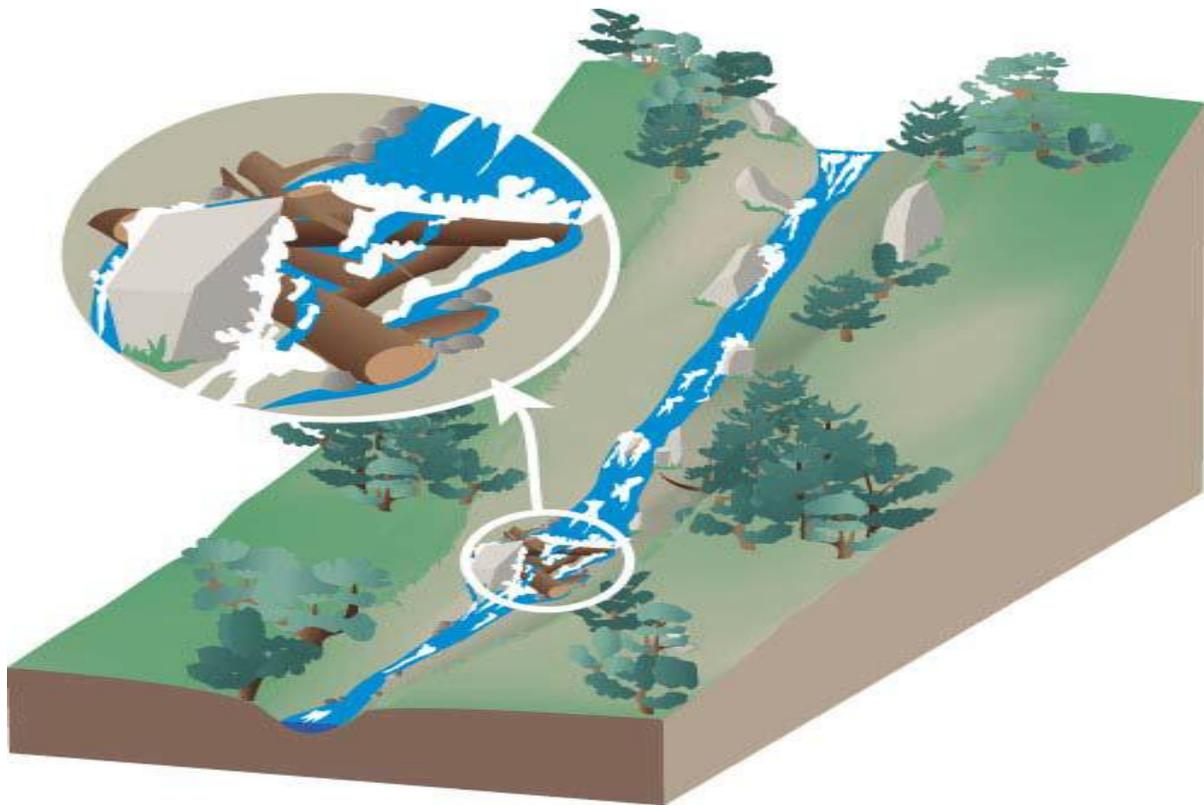


Figure I.6 : embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle.

I.3.3 Les inondations par ruissellement en secteur urbain :

Les inondations par ruissellement recouvrent des phénomènes physiques différents selon les milieux où elles se produisent en milieu rural ou urbain. Mais ces phénomènes se caractérisent par leur soudaineté et leur courte durée, ce qui les rend peu prévisibles et difficilement maîtrisables en période de crise.

Les inondations par ruissellement concernent principalement les milieux urbanisés. Les pluies qui ne peuvent s'infiltrer et s'évacuer par les réseaux artificiels d'écoulement (Réseau d'assainissement superficiels et souterrains) s'accumulent dans les points bas.

Le ruissellement pluvial urbain peut provoquer d'importantes inondations lorsque les chenaux d'écoulement en milieu urbain sont devenus insuffisamment dimensionnés après l'urbanisation et l'imperméabilisation des sols.

I.3.4 Inondations par remontées des nappes phréatiques :

Elles correspondent à des inondations par débordement indirect qui se manifestent par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement. Les désordres liés à ce type d'inondation se traduisent par des remontées sous Bâtisses, l'envoyage des ouvrages souterrains, la déstabilisation des remblais, des glissements, la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et de terrain, des perturbations sur les réseaux Publics, des pressions sous les constructions.



Figure I.7 : inondations par remontées des nappes phréatiques.

I.3.5 Les coulées de boue :

Le terme de coulée de boue pose un problème délicat de définition car il est utilisé avec des acceptations très diverses. Dès l'origine, les arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre de la loi de juillet 1982 ont utilisé l'intitulé "inondation et coulées de boue",

L'expression désignant dans la grande majorité des cas une eau chargée en particules fines, par Opposition à une eau "claire". Or, l'eau de la plupart des inondations, même celle des plaines, est toujours chargée en terre, en plus ou moins grandes quantités en fonction des sols du bassin versant et de lit majeur submergé .

I.3.6 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.3.7 Inondations marines :

Les submersions marines sont des inondations temporaires et éventuellement épisodique de zone côtière, générée par la mer dans des conditions météorologiques (tempête cyclone tropical , fortes dépressions et vents de mer).

Elles se traduisent par l'invasion par des eaux salées particulièrement agressives. Elles se manifestent soit lors d'un raz de marée ou de tsunami (occurrence très faible, mais phénomène dévastateur), soit lors d'une tempête (surcote marine, vents et précipitations importants) ou en cas de rupture des défenses contre la mer .

Ce risque est aggravé par la montée de la mer due au changement climatique.

I.4 Paramètres influençant les inondations :

Un grand nombre de facteurs autres que celles dictés précédemment intervient, souvent de façon aggravante, dans les dégâts occasionnés par les inondations. Parmi ces derniers, on peut rappeler l'influence des facteurs naturels et anthropiques.

A) Influence des facteurs naturels :

- **Surface et forme du bassin versant :**

ainsi pour une même surface, l'allure de l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie donnée est très différente suivant la forme du bassin versant ; un bassin très allongé ne réagit pas comme un bassin de forme ramassée ce qui a amené l'utilisation d'un indice pour évaluer le « coefficient de compacité ». En principe plus cet indice est faible, plus la concentration des eaux apportées par les affluents est rapide et plus les crues risquent d'être brutales et bien différenciées.

- **Configuration du relief des lits des cours d'eau :**

La pente exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de la crue. Si le profil en long du cours d'eau est assimilable à une suite de segments plus ou moins pentus, il exerce une action visible sur la crue. Le profil en travers est aussi important ; pour un même débit de crue, un cours d'eau encaissé verra sa hauteur d'eau monter beaucoup plus vite qu'un cours d'eau à profil plus évasé. En contrepartie, ce dernier a de plus grands risques de débordements.

- **Densité des cours d'eaux et perméabilité du bassin versant**

Ainsi la densité des cours d'eau était fonction de la nature des terrains, le réseau est d'autant plus développé et complexe que le terrain est moins perméable. On comprend aisément que plus l'imperméabilité est forte, plus les eaux météoriques sont disponibles pour le ruissellement de surface. De ce point de vue, à priori les cours d'eau drainant les régions imperméables ont une plus forte probabilité à développer des crues dangereuses.

- **Facteurs biogéographiques :**

la végétation joue un rôle climatique complexe, elle agit sur le ruissellement, retient une part des pluies, évapore l'eau. L'on sait depuis longtemps qu'une couverture végétale dense réduit et ralentit considérablement l'écoulement. D'abord la forêt intercepte la pluie et la neige, cette dernière pouvant mettre très longtemps à fondre sous couvert. Ensuite elle accroît fortement l'évapotranspiration ; pour la zone tempérée celle-ci atteint ou dépasse fréquemment 500 à 700 mm/an. On comprend facilement que cela limite le ruissellement direct et l'alimentation des cours d'eau. Bien souvent une végétation vigoureuse aux arbres dotés de racines nombreuses et bien enchevêtrées, constitue une excellente protection naturelle, quasi totale,

contre l'érosion torrentielle. Inversement la destruction du couvert végétal constitue un facteur aggravant la puissance des crues.

b) Influence des facteurs anthropiques :

- **L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables**

Elles constituent la première cause d'aggravation du phénomène. En parallèle, l'augmentation du niveau de vie et le développement des réseaux d'infrastructures ont accru dans des proportions notables la valeur globale des biens et la fragilité des activités exposées (vulnérabilité).

- **La diminution des champs d'expansion des crues**

Consécutives à l'urbanisation et parfois aggravées par l'édification de digues ou de remblais, elles ont pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues, bénéfique aux secteurs habités en aval des cours d'eau.

- **L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau**

Beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval. Ces aménagements (suppression de méandres, endiguement, etc.) peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération de crues en aval et l'altération du milieu naturel.

- **L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants**

Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêchant le laminage des crues et la pénétration des eaux, favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux.

I.5 Conséquences engendrées par les inondations :

Les inondations ont de lourds impacts sur les activités humaines dans les zones touchées, mais aussi sur le milieu lui-même et sa biodiversité. Par exemple

Des conséquences économiques, endommageant et détruisant récoltes, entreprises industrielles et commerciales et de communication, une pollution de l'eau et des milieux.

Secteurs	Conséquences
Santé et vie	Propagation des maladies infectieuses et psychologiques
	Manque d'hygiène
	Blessures physique
	Décès
	Malnutrition
Socio-économique	Destruction des infrastructures
	Baisse d'emploi à long terme
	Menace le développement des villes et des villes
	Migration
	Pertes financières
environnement	Destruction des cultures
	Pertes animales
	Contaminations des eaux

Tableau I.1 : conséquences des inondations

I.6 Notion de risque d'aléa est de vulnérable :

➤ Le lit mineur

Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles).

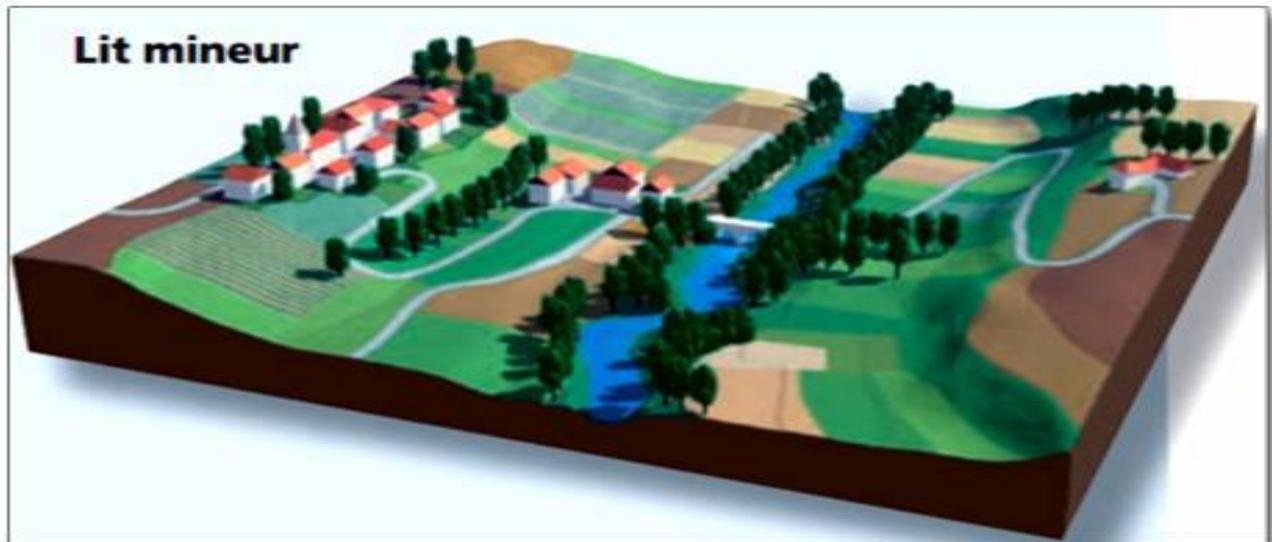


Figure I.8 : lit mineur

Le lit majeur :

Le lit majeur comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles.

On distingue deux types de zones :

- les zones d'écoulement, au voisinage du lit mineur ou des chenaux de crues, où le courant a une forte vitesse ;
- les zones d'expansion de crues ou de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval.

Le lit majeur fait partie intégrante de la rivière. En s'y implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même.

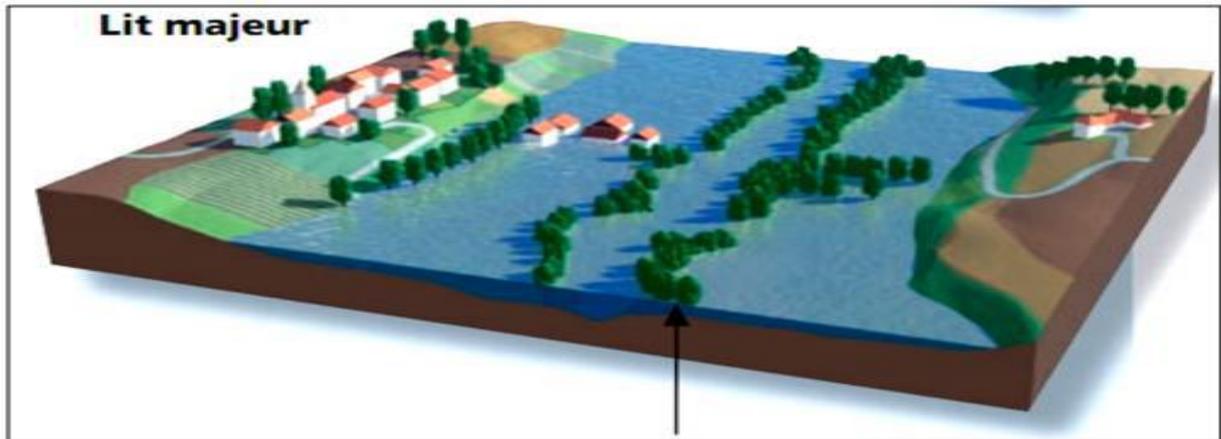


Figure I.9 : lit majeur

Le lit moyen :

Sous certains climats, et pour certains cours d'eau comme la rivière Yerres en Essonne, on peut identifier un lit moyen. Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur lequel s'écoulent les crues moyennes.



Figure I.10:lit moyen

I.7 Le processus de formation des crues :

Comprendre ce processus de formation des crues revient à analyser les différents Facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un Cours d'eau. En simplifiant, on distingue :

a) L'eau mobilisable : constituée de l'eau reçue par le bassin versant.

b) Le ruissellement : qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de sa pente, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.

c) Le temps de concentration : qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.

d) La propagation de l'onde de crue : qui est en fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation.

e) La période de retour de crues :

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire) : plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants.

on distingue :

e.1) Les crues fréquentes : dont la période de retour est comprise entre un et deux ans.

e.2) Les crues moyennes : dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans.

e.3) Les crues exceptionnelles : dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.

e.4) La crue maximale vraisemblable : qui occupe l'intégralité du lit majeur.

I.8 Les inondations en Algérie :

Au cours de la décennie écoulée, nous avons pu avoir les données de quelques inondations parmi lesquelles :

Lieux	Date	Bilan Des dégats
chlef	20 octobre 1993	22 décès et 14 blessés à QUEDRHIOU
Plusieurs régions du pays	Octobre 1994	60 décès et des dizaines de disparus au cours de dix jours d'inondations.
A L'ouest	22 octobre 2000	plus de 24 décès

Bab el oued (alger)	10et 11 novembre 2001	les pluies diluviennes ont fait 733 victimes, 30 000 personnes sans-abris et d'importants dégâts matériels.
Ghardaia	1 octobre 2008	des pluies diluviennes s'étaient abattues sur la région de Ghardaïa, faisant dangereusement monter les cours d'eau. Au moins 33 personnes sont mortes, quatre-vingt-quatre personnes ont été blessées et près de 600 maisons détruites dans des inondations très importantes
Ain defla	9 octobre 2008	les intempéries ont causé 6 décès et 8 autres blessées parmi la population, suite à une inondation qui a surpris la région.
Khemismiliana et sidilakhdar	12 octobre 2008	habitations noyées par des eaux chargées de terre argileuse et de gravier. Des torrents de boue provenant des collines surplombant la ville de KHEMIS MILIANA ont envahi la majorité des quartiers. Même la voie ferrée n'a pas été épargnée par ces inondations.
Batna	Mercredi 15 et 16 Octobre 2008	d'autres crues et inondations sont signalées à Batna (450 km au sud-est d'Alger) où deux personnes ont été emportées par les eaux d'oueds en crue. A Bechar, région habituellement désertique et aride, situé à plus de 1.000

		km au sud-ouest d'Alger, au moins 8 personnes sont mortes noyées dans des inondations qui l'ont frappé
El Bayadh (oued deffa)	1 et 2 octobre 2011	De fortes inondation débordement de l'oued Deffa , 13 morts,400 familles sinistrées et des dégâts matériels importants

I.9 Evaluation du risque d'inondation

Puisque le risque inondation est caractérisé par deux composantes :

- **l'aléa inondation**
- **la vulnérabilité des enjeux exposés**

alors l'évaluation de celui -là se base à la fois sur l'évaluation de ces deux derniers. Ainsi, évaluer le risque inondation veut dire apprécier, estimer, quantifier, calculer et mesurer la valeur de l'aléa, délimiter, localiser, identifier, peser, chiffrer et analyser l'importance de la vulnérabilité.

L'évaluation de la première composante l'aléa inondation bénéficie aujourd'hui de méthodes bien rôdées qui permettent de découper un territoire inondable en zones d'aléa d'intensité plus ou moins forte, en fonction de paramètres hydrauliques (hauteur d'eau, durée de submersion, vitesse d'écoulement) et pour différentes crues.

Aussi l'étude des enjeux, leur recensement précis et fiable, leur cartographie et leur

Hiérarchisation en fonction de leur plus ou moins grande vulnérabilité, ont bénéficié au cours des dernières années d'avancées méthodologiques certains, grâce notamment aux systèmes d'information géographique et à l'automatisation du traitement des photographies aériennes.

I.9.1 Evaluer l'aléa « inondation » et ses incertitudes :

L'évaluation de l'aléa inondation est en quelque sorte apprécier la crue responsable de la formation de l'inondation. Cela veut dire qu'on interpelle deux disciplines principales : l'hydrologie et l'hydraulique fluviale.

L'hydrologie est la discipline qui permet d'obtenir les débits et leurs périodes de retour. Tandis que l'**hydraulique** permet d'obtenir les hauteurs et les vitesses d'eaux correspondantes 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 pour obtenir la carte des aléas.

L'évaluation de l'aléa fait l'objet de nombreuses contestations de la part des collectivités territoriales ou des habitants des secteurs inondables. Les « experts », producteurs d'information scientifique sur le risque travaillent selon des méthodes spécifiques dont l'intérêt et les limites ne sont pas toujours compris du public. Le fait de livrer la cartographie au public suscite la confrontation entre le savoir expert et le savoir vernaculaire.

I.9.2 Hydrologie pour estimer l'aléa :

Lorsqu'on fait appeler la science de l'hydrologie, veut dire quand on fixe la cible sur la détermination du débit de la crue, de sa période de retours et de sa durée de submersion de la crue. En hydrologie, il y a deux approches : l'approche déterministe et celle statistique. L'approche déterministe considère tous les apports et facteurs pouvant influencer le débit (pluie, neige, eau dans le sol, etc.) et les introduit dans un modèle qui estime le débit. Cette méthode n'est pas conçue pour donner une période de retour correspondante au débit trouvé. Ce qui empêche son utilisation dans l'estimation de l'aléa inondation puisque la probabilité des crues est un élément essentiel du calcul du risque. Par contre, elle peut servir à la prévision des crues et conséquemment à la gestion opérationnelle du risque. Tandis que l'approche statistique permet d'estimer des débits, d'une probabilité donnée, à partir de lois statistiques qui ont été ajustées à partir de séries de données de débits mesurés.

I.9.3 Hydraulique pour quantifier l'aléa :

Une fois que l'hydrologie arrive à déterminer le débit, on fait l'appelle à l'hydraulique pour continuer l'évaluation de l'aléa. Cela veut dire qu'on va estimer la hauteur et la vitesse de la crue responsable de l'inondation. En fonction de la rugosité du terrain, la forme de la section en travers et la pente du fond, on peut déterminer la hauteur de l'eau de l'écoulement. Ensuite,

lorsqu'on connaît la section en travers de l'écoulement, on peut facilement calculer la vitesse de l'eau.

I.9.4 Incertitudes dans l'évaluation de l'aléa :

Pour évaluer la crue en cas d'inondation, un ensemble d'étude et de choix doit être opéré. A chaque étape, des incertitudes apparaissent, ce qui rend complexe l'estimation de l'incertitude globale. Lorsqu'une incertitude est affichée pour la modélisation de crue, elle correspond généralement à la seule incertitude liée à l'échantillonnage. Cette incertitude affichée oublie l'incertitude de la donnée, l'incertitude liée au choix du modèle statistique, et les incertitudes liées aux modèles hydrauliques qui reposent eux-mêmes sur des données comportant aussi des incertitudes. Et par conséquence, l'erreur globale de l'évaluation de la crue paraît bien difficile à apprécier, ce qui explique peut-être le manque de travaux sur ce thème malgré la profusion de recherches notamment sur le choix du modèle statistique liées à des étapes spécifiques.

I.10 Evaluer la vulnérabilité :

La prise en compte du risque inondation devra nécessairement passer par la Valorisation des études d'évaluation de la vulnérabilité comme base indispensable à la Définition des objectifs pour une gestion territorialisée de ce risque. L'évaluation de la Vulnérabilité des enjeux est en quelque sorte détermine, identifie, chiffre et quantifiée. Localiser et analyser les effets dommageables de l'aléa sur les enjeux. Différentes Démarches méthodologiques permettent d'analyser et d'évaluer la vulnérabilité.

I.10.1 Démarches quantitatives :

Elle se fonde essentiellement sur l'élément vulnérable, il s'agit de mesurer les conséquences dommageables a priori d'un phénomène sur les enjeux. La vulnérabilité est ici conçue soit comme le pourcentage de ce qui peut être perdu en cas de sinistre, soit comme le coût économique des dommages probables. Généralement, ces méthodes couplent des modèles hydrauliques avec des relevés de l'occupation du sol, des hypothèses de valeur des biens et des courbes d'endommagement.

I.10.2 Démarches qualitatives :

Dans une approche qualitative, la vulnérabilité apparaît comme la tendance d'une société donnée à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel comme

l'inondation. Cette propension varie selon le poids de certains facteurs qu'il est nécessaire d'identifier et d'analyser car ils induisent un certain type de réponse de la société.

I.11 Gestion des inondations :

Les inondations du début des années 80 auront eu le mérite de susciter une prise de conscience préalable à l'élaboration d'une politique de prévention des risques naturels dans plusieurs pays, les actions qui s'y réfèrent peuvent être résumées comme suit :

I.11.1. La réglementation :

Celle-ci ancienne, variée, souvent incomplète parfois mal adoptée, elle devrait systématiquement prendre en compte les actions anthropiques aboutissant à une modification substantielle du relief (travaux d'aplanissement, extraction de gravier et carrière .à l'édification de toute construction en zone inondable, mais très souvent la réglementation n'est pas respectée ce qui amené souvent, à des situations très dangereuses.

I.11.2. La prévision :

La première démarche à entreprendre est de procéder à un inventaire des observations de terrain, la seconde est de mettre en place un service d'annonce de crue.

a) Les observations de terrains :

Il s'agit d'analyser, aux différents endroits des bassins versants susceptibles de subir une crue ou une inondation, les paramètres suivants :

- La délimitation précise des secteurs inondables et ce, pour chaque type de crue .
- La typologie des inondations (pointe, durée, récurrence, intensité) .
- L'ampleur de l'inondation possible .
- La période de retour .

b) La mise en place d'un service d'annonce de crues :

La prévision porte sur la collecte et la transmission des données pluviométriques et hydrologiques. Bien entendu, l'efficacité des systèmes d'alerte dépend de leur qualité et donc des moyens mis à la disposition des spécialistes mais aussi de l'ancienneté des chroniques disponibles. Il est très important de multiplier et d'accumuler des données dans la plupart des cas. Les délais, souvent, pour alerter les populations se réduisent à quelques heures voir moins. Cependant l'apparition de capteurs et des systèmes de transmission a permis d'améliorer l'annonce des crues .Deux aspects de la prévision peuvent être distingués :

- **La prévision immédiate :**

Avec l'alerte des populations quelques heures avant que la crue n'intervienne. Ce rôle était joué par des observateurs chargés de suivre la montée des eaux et de transmettre les informations par les moyens de communication. Les mesures sont progressivement automatisées et les services ont même la possibilité d'interroger les stations en cas de besoins que ce soit sur la pluie, les débits, les volumes d'eau des retenues, l'onde de crue, etc... L'implantation d'un réseau de radar météorologique qui mesure la pluie tombée, avant son accumulation au sol, permet d'anticiper au mieux et peut représenter un véritable outil d'aide à la décision. Cependant la prévision notamment pour les phénomènes brutaux, n'est pas facile, car même le recours aux documents, radars et

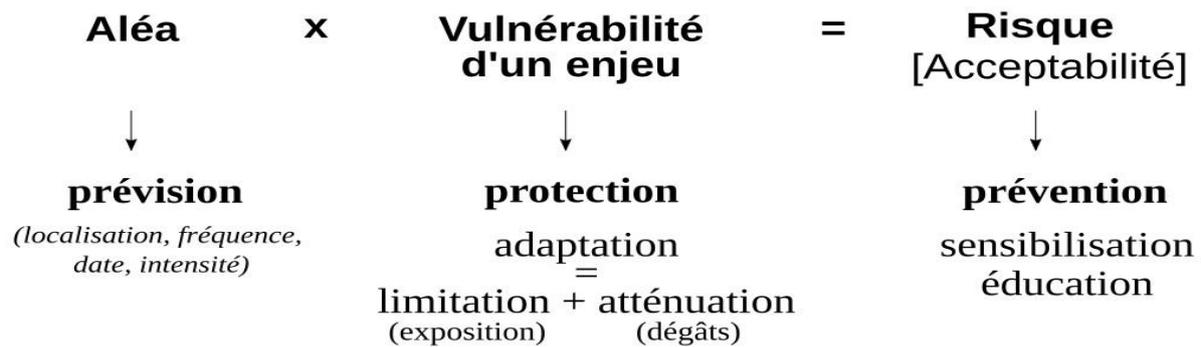
satellites, ne permet ni de localiser avec précision les points d'impacts majeurs des phénomènes de grande ampleur, ni d'évaluer leur importance réelle .

- **La prévision à long terme :**

Elle peut se faire en utilisant

- les documents historiques .
- les cartes à risques.

L'analyse sur réseau hydrographique peut être d'un grand intérêt quand la prévention. Un "chevelu" dense concentré, des pentes fortes sur terrain imperméables, une incision importante, l'absence d'une couverture végétale dense, sont autant de facteurs favorables à la production d'une crue importante. Aussi, la cartographie de l'occupation du sol, base d'une analyse de vulnérabilité des biens, obtenus par traitement des données multiples, permet d'évaluer la densité du couvert végétal et d'estimer la proportion du ruissellement des différentes parcelles. La pertinence d'une cartographie géomorphologique spécialisée est largement démontrée (Lambert, 1996). Elle permet de situer les ouvrages et travaux susceptibles de modifier le fonctionnement hydro Morphologique de base (freinage ou d'accélération de l'écoulement des eaux, amplification des crues). A partir des analyses effectuées, l'action devrait se tourner prioritairement vers l'aménagement du bassin versant.



Conclusion :

Nous avons décrit d'une manière générale les inondations catastrophique vécues dans certaines régions du pays.

L'objectif est d'arriver a les moyens de lutte contre les inondations qui ne sont pas toujours une conséquence de pluies abondantes mais elles sont souvent imputables aux activités humaines.

Les risque d'inondations sont liés a l'interaction complexe de plusieurs composantes, c'est le produit de la concomitance de facteurs topographique, géographiques, géologiques, hydrologiques, métrologique

La protection contre les inondations et la réduction de la vulnérabilité des régions exposées à ce phénomène nécessitent une meilleure connaissance du risque ainsi, la cartographie des zones inondables est un aspect important dans la stratégie de prévention et de lutte contre les inondations.car il est impossible d'empêcher ces inondations de se produire .mais il est cependant possible de baisser les effets ou de diminuer le danger au niveau des zones les plus sensibles et les plus exposées.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1 Introduction :

la présentation de la zone d'étude est une partie importante ,consiste à collecter le plus d'informations possible (géologie ,topographie, relief, climat, hydrologie, hydraulique...ect.) à fin de utiliser ces informations comme base de données pour les prochaines chapitre (étude hydroloque et hydraulique).

II.2 Zone d'étude :

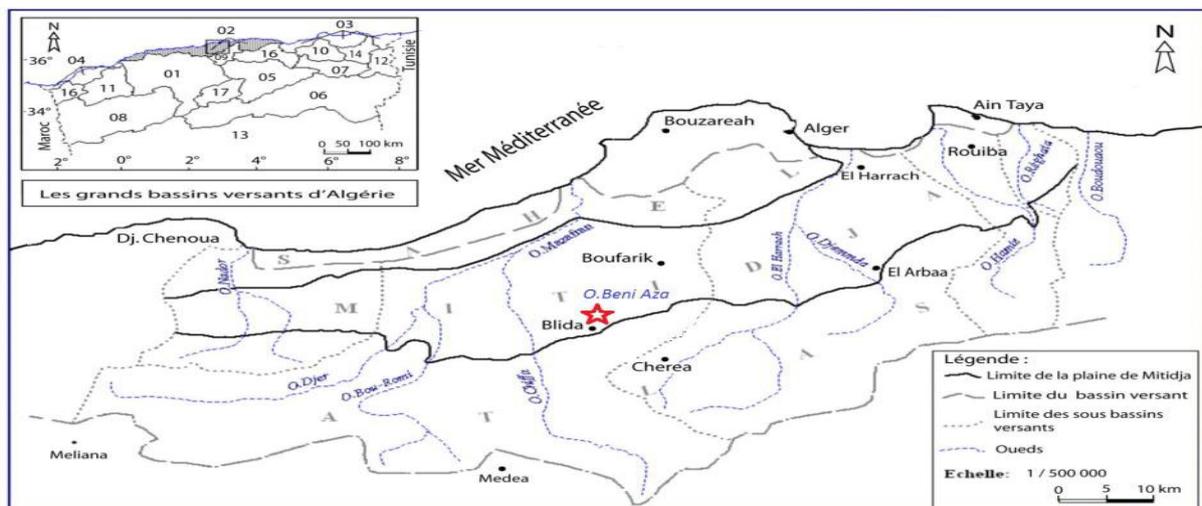
II.2.1 Situation géographique :

a)Situation de l'oued beniazza

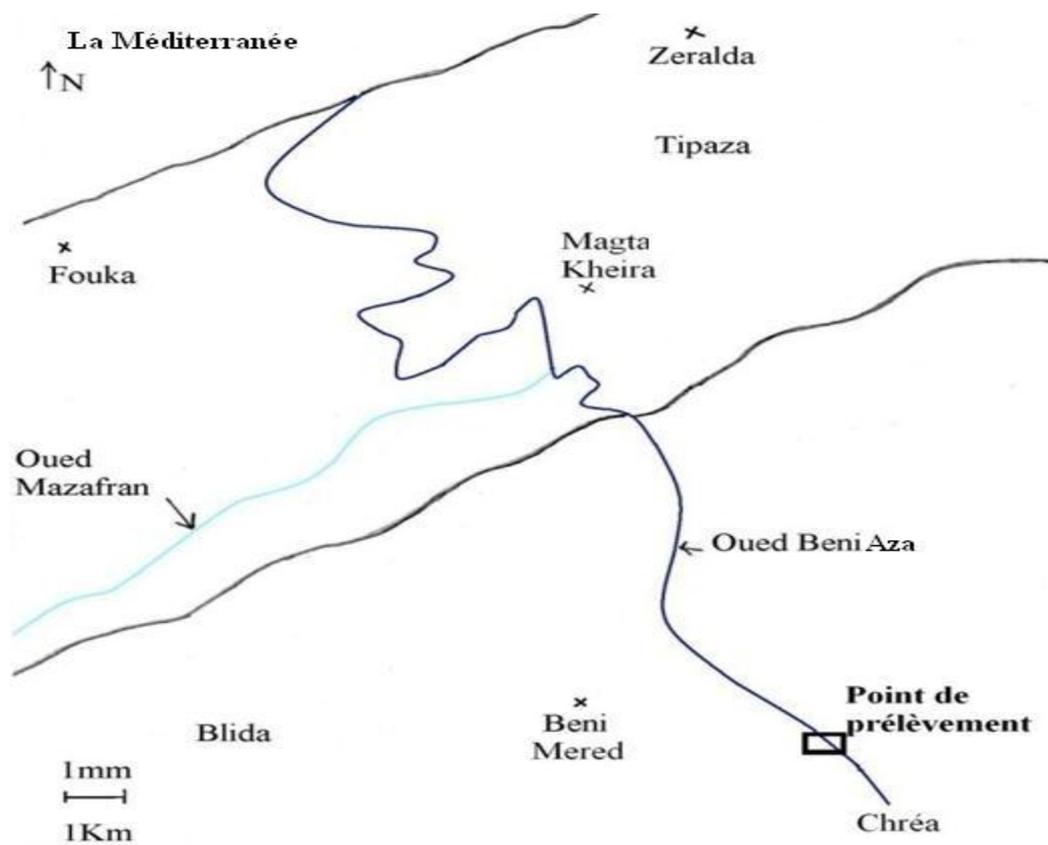
Oued beniazza est située au :

- sud-est de ben khelil
- à l'est de ben khalifa
- à l'ouest de ben salah

L'oued Beni Azza aussi connu sous les noms oued beni azi est situé au nord de l'Algérie, traverse la wilaya de Blida au niveau des communes d'**Ouled Yaich et Beni Merad**, avant de rejoindre **Oued Alleug**. Il rejoint aussi **oued Mazafran** au niveau de **Magtaa Kheira** et se jette dans **la mer Méditerranée** après un trajet de **33,8 kilomètres** .figure 1 et 2.



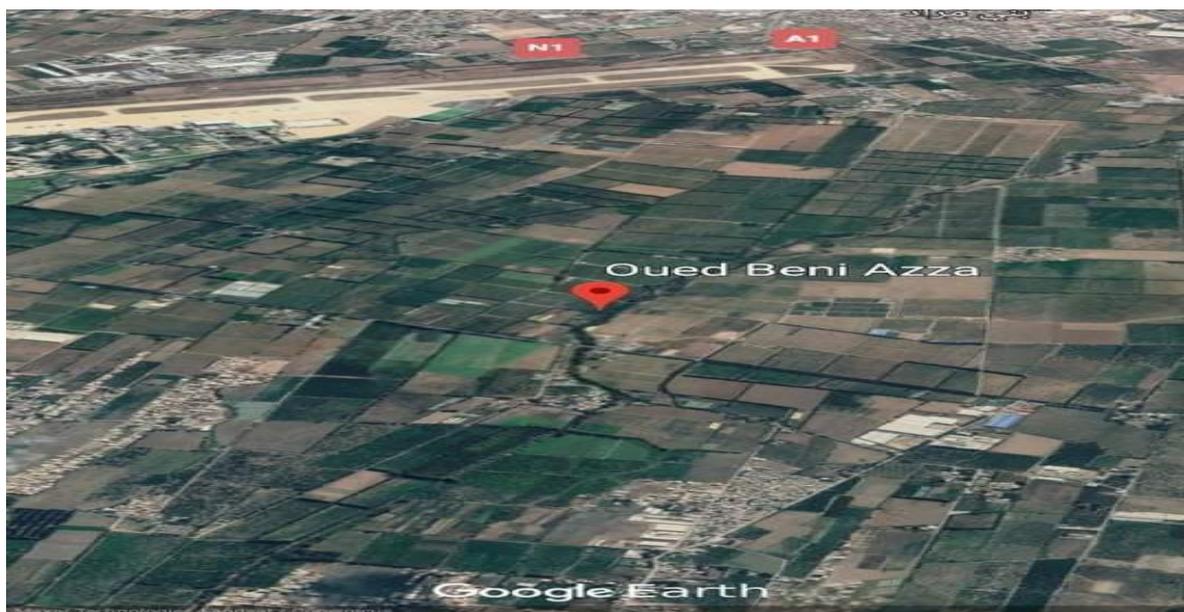
CARTE II.1 :Présentation de la zone d'étude o.beni azza.



Carte II.2 : schématique du site d'étude (original).

b) le contexte immédiat de l'aire d'étude :

Notre projet essentiellement est sur les ouvrage de protection contre les inondations de la ville de blida cas de oued beni azza .



Carte II.3 : Image satellitaire de l'oued Beni Azza.

II.3 L'oued Beni Azza est de climat :

Humide et froide en hiver, sec et chaude en été.

II.4 Sources de pollution :

Du fait de sa situation, l'oued Beni Aza est confronté à différentes sources de pollution qui menacent la qualité de ses eaux:

- Le rejet des eaux usées (domestiques et industrielles) de la commune d'OueldYaïch.
- Le rejet domestique des bidonvilles de Ben Achour.
- Les excréments des animaux domestiques se trouvant près de l'oued.

II.5 Historique :

La wilaya de Blida se situe dans la partie nord du pays, dans la zone géographique du Tell central .elle est limitée au nord par la wilaya de Tipaza et la wilaya d'Alger , à l'ouest par la wilaya de Ain Defla , au sud par la wilaya Médéa et à l'Est par les wilayas de Boumerdes et de Bouira. Faisant partie de la wilayas d'Alger à l'époque, Blida fut promue au rang de la Wilaya à partir du découpage administratif de 1974, en application des dispositions de l'ordonnance n°74-69 du 02 juillet 1994 portant refonte de l'organisation territoriale des wilayas.A partir de l'année 1984 et Conférmément à la loi n°84-09 du février 1984, la wilaya de Blida a fait l'objet d'une nouvelle délimitation de son territoire, avec 29 communes qui se repartissent en daïra .mais à partir du juillet 1997, quatre communes (sidi moussa, OuledChebel , BirtoutaTessala El Merdja) sont intégrées au gouvernorat du grand Alger . ainsi la wilaya de Blida passe de 29 à 25 communes se répartissant sur 10 daïras. La wilaya de Blida s'étend sur une superficie de 1478.62 km². Sa population, en fin de l'année 2014,est estimée à 1 178 205 habitants .



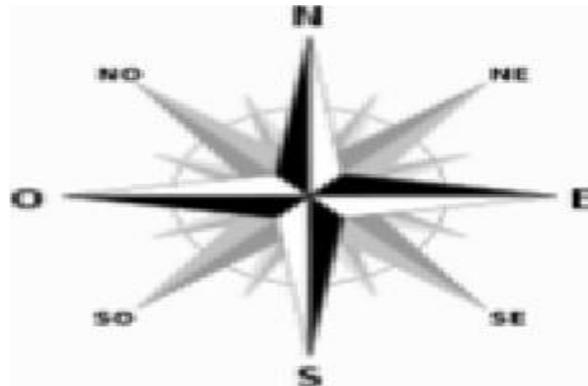
CARTE II.4 : image la ville de Blida de Google Earth

II.6 Limitrophe de la wilaya de Blida :

Tipaza

Alger

Boumerdès



Ain Dafla

Médéa

Bouira

II.7 Relief :

le relief de la wilaya se compose principalement d'une important plaine (la mitidja) ainsi que d'une chaine de montagnes au sud de la wilaya (zone de l'atlas Blidéen et piémont) : **la plaine de la matidja** : un ensemble de terres très fertiles et à faibles pentes . la partie occidentale de cette plaine a une altitude qui va en décroissant du sud vers le nord (150 mètres à 50 mètres). Les pentes sont faibles , parfois nulles . elle offre les meilleurs sols de la wilaya

.les sols limoneux mêlés de cailloux sur le piémont de la mitidja , des sols limoneux rouge , profonds , faciles à travailler : région de mouzaia ,et des sols sablo argileux de la basse plaine, plus lourds . la diversité des sols présente des aptitudes très variées en matière de cultures : les agrumes sont cultivés dans le centre de la plaine principalement , la vigne cultivée un peu partout, ainsi que le blé associé à des cultures fourragères et maraichères .on y trouve également des cultures industrielles.

II.8 Le climat :

La wilaya de Blida est de climat méditerranéen, chaud et tempéré.la pluviométrie est généralement plus importante dans les montagne que dans la plaine.les précipitations sont plus importantes en mois décembre , janvier et février.

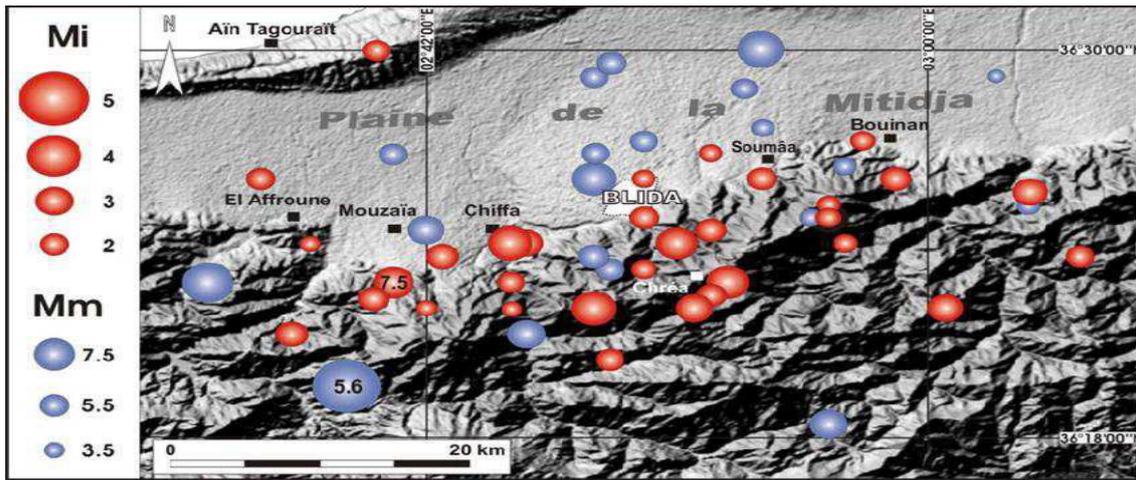
- le climat y est classé **Csa** d'après **Koppen** et **Geiger**.
- l'été à Blida chaud et tempéré
- les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver .**la température moyenneannuelle** à blida est de **17.1 degré** .
- **les précipitation** sont en moyenne de **641mm, chaque année** .

II.9 l'humidité relative :

l'humidité relative dans la région de Blida ,est de 82% pendant les mois de décembre et de janvier ,cette humidité diminue sous l'influence de la sécheresse et la continentalité par temps de sirico, jusqu'à atteindre une valeur de 57%au mois d'aout.

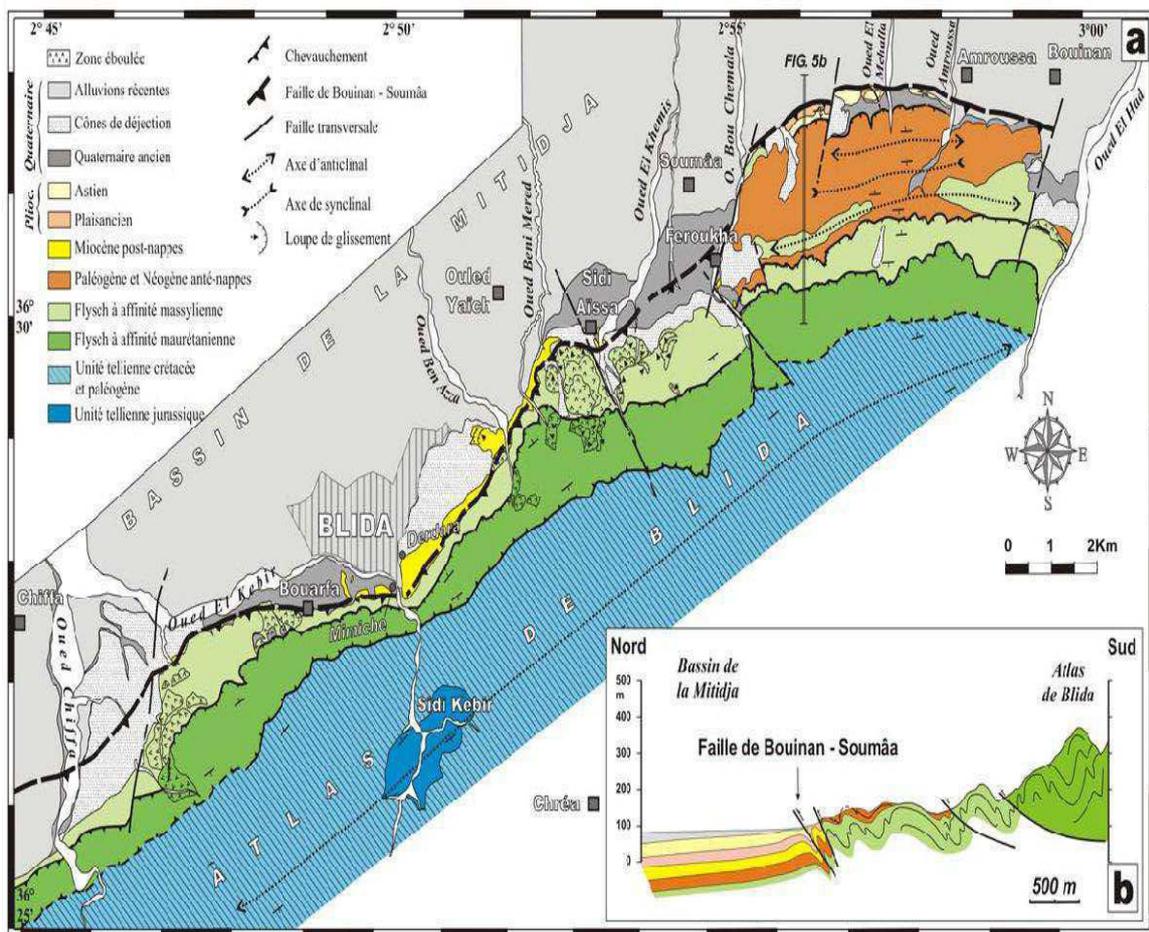
II.10 sismicité :

La wilaya de Blida est classé en **ZONE 3** .D'après la règlement parasismique algérien (RPA99VERSION 2003) donc région à forte activité sismique .Voila une distribution cartographique de la sismicité historique et instrumentale dans la région de Blida , entre 1825 et 2005(catalogue crag).



carte II.5 : cartographie de la sismicité dans la région de blida (1825 et 2005).

II.11 Géologie :



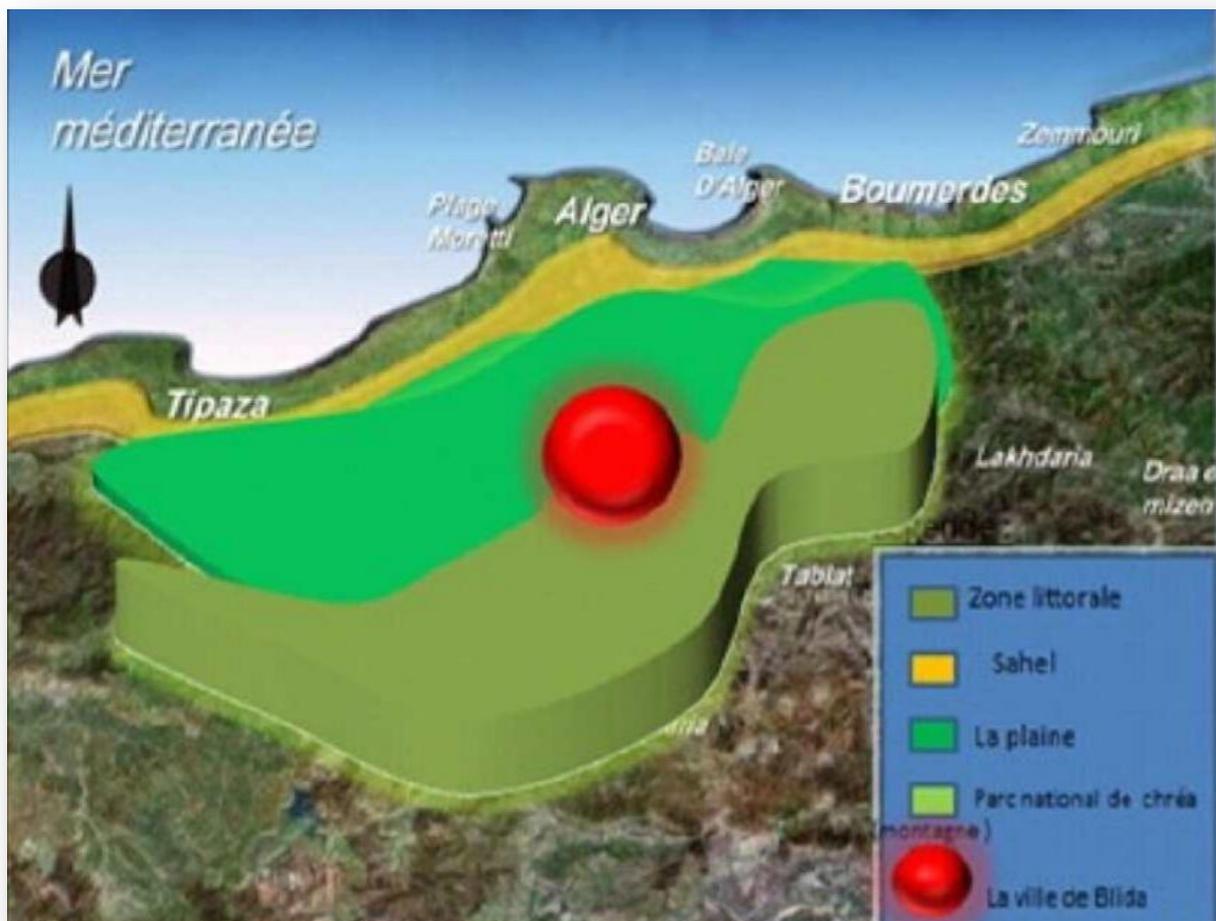
Carte II.6 : Carte (a) et coupe (b) géologiques ,montrant l'organisation des principales unités tectonostratigraphiques dans la région de blida.

C'est un massif montagneux composé des crêtes centrales de l'Atlas blindée .il culmine à 1929 m à boudait Abdelkader

Le massif de Blida partie fait des zones externes de chaine alpine en Algérie .il se situe au sud des massif anciens kabyles et des massifs du chenoua et de bouzahréa dont est séparé par le synclinal plion –quaternaire de la mitidja.il se compose presque entièrement de schistes d'age crétacé inférieur sans fossiles d'éboulis de pentes de mémé origine .sans cohésion qui se désagrègent en éléments plus ou moins grossiers et pauvres en éléments minéraux

II.12 Morphologie :

Le relief de la wilaya se compose principalement d'une importante plaine (la mitidja), ainsi que d'une chaine de montagnes au sud de la wilaya (zone de L' ATLAS) Blidéen et piémont. La plaine de Mitidja contient de terres très fertile et à faibles pentes . L'ATLAS Blidéen : forte pent (> 30%).

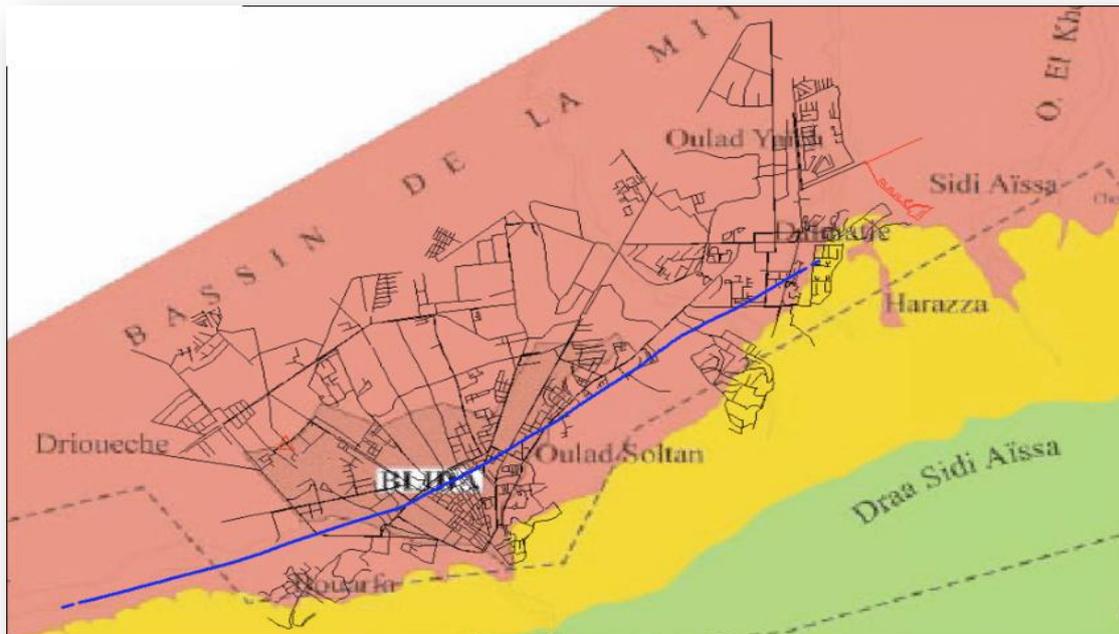


Carte II.7 : MORPHOLOGIE DE BLIDA.

II.13 Nature de sols :

Nous considérons trois types de sols

- Les sols tendes .
- les sols moyens
- les sols durs



Carte 9 : les type de sols de blida .

Conclusion :

La connaissance des facteurs du milieu topographique géologique climatologie hydrologie biogéographique.et particulièrement l'activité agricole (travail du sol ,fertilisation ,irrigation) ,le climat (pluviosité , sécheresse) est une exigence incontournable .pour pouvoir maitre ont ouvre les ouvrages nécessaires pour cette zone dans le but de la protéger contre les inondation .

Chapitre III : Etude hydrologique

III.1 Introduction :

L'hydrologie est une science de la terre qui étudie le cycle de l'eau ou les échanges d'eau entre l'atmosphère, la surface de la terre et le sous-sol terrestre. L'hydrologie est impliquée dans les précipitations (pluie et neige), la transpiration des plantes et l'évaporation directe de la couche terrestre de surface lorsqu'il s'agit d'échanges entre l'atmosphère et la surface de la terre. Etude de l'hydrologie de surface

Le calcul hydrologique reste la partie la plus délicate de toute étude de protection contre les inondations car c'est de sa fiabilité que dépend le modèle hydrodynamique, et donc toute surestimation ou sous-estimation lors de cette phase se répercutera sur le reste de l'enchaînement à savoir tous les aménagements projetés . L'étude vise, principalement, à estimer les débits de pointe (Q_p), pour différentes périodes de retour, au niveau d'un bassin versant .

III.2 Un bassin versant :

III .2.1 Définition de bassin versant :

Un bassin versant est un espace drainé par un cours d'eau et ses affluents. Toutes les eaux dans cet espace s'écoulent et convergent vers un même point de sortie appelé exutoire : confluent, cours d'eau, lac, mer,

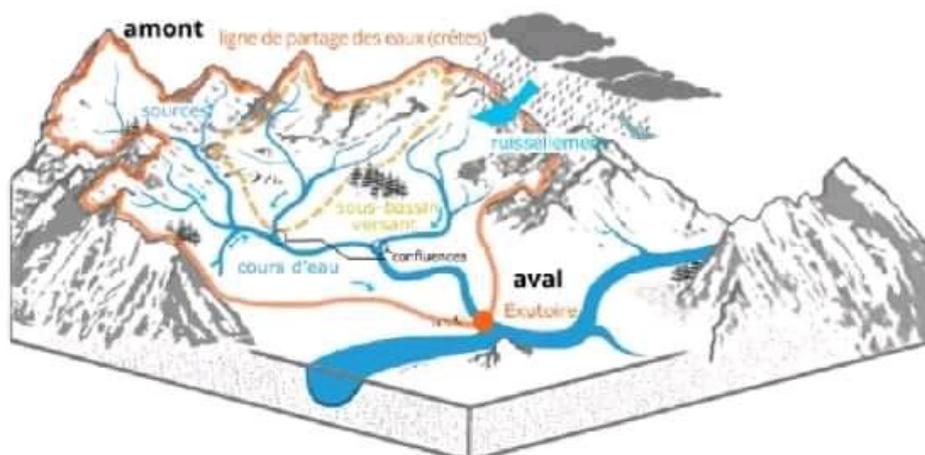


Figure III.1 : Bassin versant

III.2.2 Processus hydrologiques :

La méthode la plus courante pour déterminer le comportement hydrologique d'un bassin versant consiste à examiner la réponse hydrologique du bassin à un stress (précipitations). La quantité d'eau sortant de la sortie du système est utilisée pour mesurer cette réaction. Un hiérogramme de crue est une représentation graphique de l'évolution du débit Q en fonction du temps t . Un luminogramme, qui n'est rien de plus qu'une représentation de la hauteur d'eau en fonction du temps, est utilisé pour le montrer.

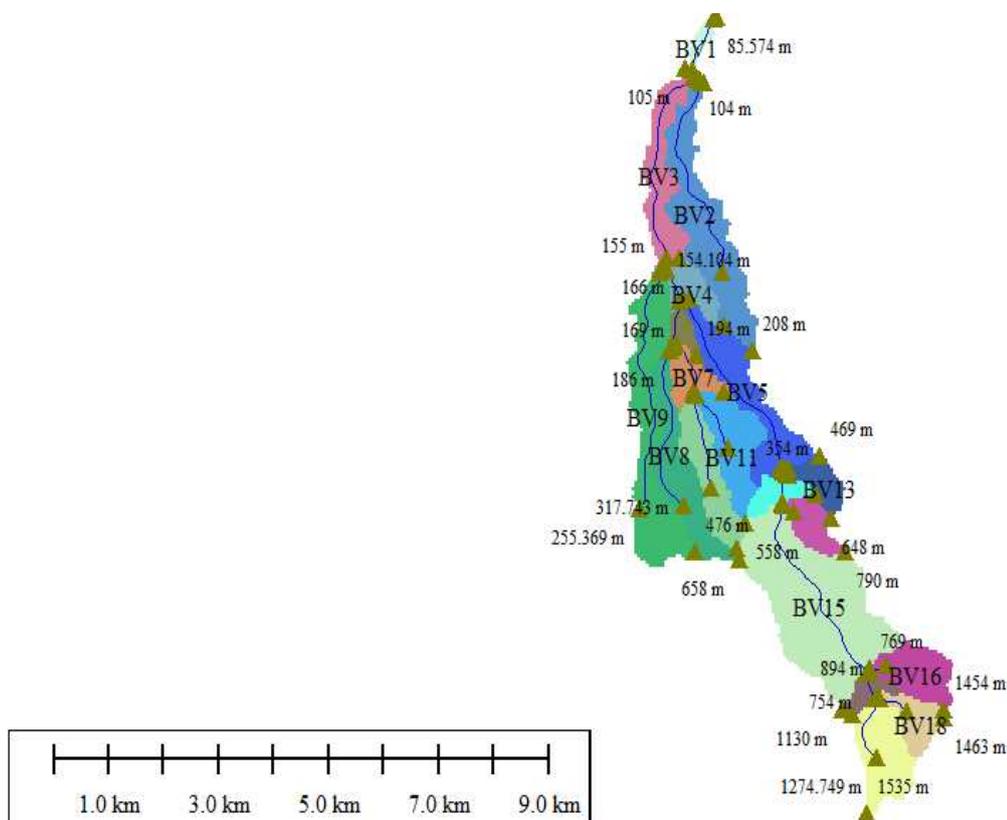


Figure III.2 : Bassin versant de la zone d'étude oued Bénéazza

III.3. Caractéristique morphologique du bassin versant :

III .3.1 La surface :

Est la surface topographique, qui permet de contrôler l'intensité de nombreux événements hydrologiques (apports, volumes de précipitations ou d'infiltration, etc.). On estime que le bassin à l'étude couvre la zone suivante :

Les sous bassin	La surface
BV1	0.215
BV2	2.608
BV3	1.452
BV4	0.567
BV5	1.844
BV6	0.297
BV7	0.587
BV8	1.679
BV9	2..556
BV10	1.192
BV11	1.327
BV12	0.477
BV13	0.517
BV14	0.587
BV15	4.614
BV16	1.012
BV17	0.337
BV18	0.665
BV19	1.342

Tableau III.1.la surface des sous bassin vasant

S (totale)= 24.17 sq. Km

III .3.2 Le périmètre :

Le périmètre est égal à la limite extérieure de banni. Chaque aversion est unique à la quantité de précipitations qu'elle reçoit. L'estime et le périmètre Tableau N°2 : tu es les périmètre de banians versant.

Les Sous bassin vasant	Périmètres
BV1	3.401
BV2	14.802
BV3	10.702
BV4	5.201
BV5	12.201
BV6	3.301
BV7	4.9
BV8	11.502
BV9	15.203
BV10	8.202
BV11	7.701
BV12	4.3
BV13	4.3
BV14	4.4
BV15	13.301
BV16	5.7
BV17	3.8
BV18	4.9
BV19	6.301

Tableau III.2 le périmètre des sous bassin vasant

Périmètre totale (144.018)

III .3.3 Indice de compacité Graveleuse :

L'indice de compacité Graveleuse, également appelé indice de forme KG, est un paramètre qui indique la forme d'un bassin versant. Il enseigne également la vitesse de concentration du débit, la puissance des crues et l'importance de l'activité d'érosion du sol. [Neuf]

$$KG = \frac{p}{2\sqrt{\pi} \times s}$$

Avec :

P : périmètre du bassin versant (km)

S : surface du bassin versant (km²)

Les sous bassin versant	L'indice KG
BV1	2.053
BV2	2.566
BV3	2.486
BV4	1.933
BV4	2.515
BV6	1.695
BV7	1.790
BV8	2.485
BV9	2.662
BV10	2.103
BV11	1.871
BV12	1.743
BV13	1.674
BV14	1.608
BV15	1.733
BV16	1.586
BV17	1.832
BV18	1.682
BV19	1.522

Tableau III. 3 Indice de compacité Graveleuse des sous bassin

III .3.4 Rectangle équivalent :

Équivalent rectangulaire L'écoulement à travers un bassin versant spécifique est considéré comme le même que l'écoulement sur un rectangle de même zone avec le même indice de Graveleuse, la même distribution hypsométrique, la distribution des sols et de la végétation et la même densité de drainage. La longueur "L" et la largeur "l" du rectangle équivalent sont définies par les formules suivantes, respectivement.

$$L e q. = \frac{KG \times \sqrt{S}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kg}\right)^2}\right)$$

$$L = \frac{KG \times \sqrt{S}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kg}\right)^2}\right)$$

Les sous bassin	L e q	L
BV1	1.549	0.138
BV2	6.974	0.373
BV3	5.024	0.289
BV4	2.339	0.242
BV4	5.735	0.321
BV5	1.431	0.207
BV6	2.160	0.271
BV7	5.398	0.310
BV8	7.192	0.355
BV9	3.754	0.317
BV10	3.437	0.386
BV11	1.881	0.253
BV12	1.856	0.278
BV13	1.870	0.313
BV15	5.809	0.794
BV16	2.409	0.419
BV17	1.686	0.199
BV18	2.118	0.313
BV19	2.614	0.513

Tableau III 4 La longueur équivalente et la longueur de rectangle équivalent

III .3.5 Le temps de concentration Tc :

Le temps de concentration est utilisé pour les calculs de prédiction des débits résultant d'événements pluvieux basés sur des statistiques dérivées des périodes de retour. En effet, il est important pour les ingénieurs et les hydrologues d'être en mesure de prédire la réponse d'un bassin versant à une pluie. Notamment pour le dimensionnement des infrastructures (conception de ponts, ponceaux, etc.) et de gestion des inondations par exemple.

Th : temps d'humectation temps d'humectations : est le temps nécessaire a l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle

Tr : temps de ruissellement :est le temps correspondant à la durée d'écoulement de l'eau à la surface

Ta : le temps d'acheminement :est le temps mis par l'eau pour se déplacer jusqu'à l'exutoire.

Auteur	GIANDOTTI	CALLIFORNIA	KIRPICH	VENTURA
BV1	1.42	0.34	0.030	3.97
BV2	2.05	0.71	0.079	10.70
BV3	2.23	0.83	0.054	10.08
BV4	1.12	0.13	0.077	3.35
BV5	1.08	0.43	0.107	5.18
BV6	1.19	0.21	0.052	3.46
BV7	1.32	0.23	0.068	4.47
BV8	0.77	0.30	0.134	3.60
BV9	1.26	0.54	0.110	6.54
BV10	0.57	0.15	0.165	2.36
BV11	0.60	0.11	0.202	2.33
BV12	0.40	0.05	0.170	1.15

BV13	0.41	0.10	0.166	1.34
BV14	0.29	0.02	0.338	0.64
BV15	0.87	0.30	0.314	5.05
BV16	0.31	0.02	0.429	0.83
BV17	0.25	0.03	0.190	0.65
BV18	0.31	0.05	0.259	0.97
BV19	0.44	0.09	0.316	0.74

Tableau III. 5 :LE TEMPS CONCENTRATION POUR LES Différents Auteurs

$$\text{GIANDOTTI : } T_c = \frac{4\sqrt{s} + 1.5l}{0.8\sqrt{h_{\text{moy}} - h_{\text{min}}}}$$

$$\text{CALIFORNIA : } T_c = \left(\frac{0.87 * l^3}{h_{\text{max}} - h_{\text{min}}} \right)^{0.386}$$

$$\text{KIRPICH : } T_c = 0.65515 * l p^{0.77} \quad I_{\text{moye}}^{0.385}$$

$$\text{VENTURA : } T_c = 1.1272 \sqrt{\frac{A}{I_{\text{moy}}}}$$

A : surface du bassin versant en KM²

L : longueur du talweg principale en ('km)

H moye H, Min : respectivement la hauteur m

LP : longueur du cours d'eau principal (km)

I moye : pente moyenne du bassin versant

En utilise la formule de giandotti puisque elle tient compte de plusieurs paramètre donc elle la plus fiable

Les sous bassin	La tempe de concertation (h)
BV1	1.42
BV2	2.05
BV3	2.23
BV4	1.12
BV5	1.08
BV6	1.19
BV7	1.32
BV8	0.77
BV9	1.26
BV10	0.57
BV11	0.60
BV12	0.40
BV13	0.41
BV14	0.29
BV15	0.87
BV16	0.31
BV17	0.25
BV18	0.31
BV19	0.44

Tableau III.6 :Le temps de concentration

III.3.6 Vitesse moyenne de ruissellement :

$$VR = \frac{l}{tc}$$

L : longueur du talweg principale en ('km)

Tc : temps de concertation (h)

Les sous bassin	Vitesse moyenne de ruissellement
BV1	0.773
BV2	1.802
BV3	1.602
BV4	0.531
BV5	3.162
BV6	0.666
BV7	0.750
BV8	3.724
BV9	3.369
BV10	2.765
BV11	1.874
BV12	1.376
BV13	2.426
BV14	0.866
BV15	3.947
BV16	1.196

BV17	1.688
BV18	2.045
BV19	2.590

Tableau III.7 : Vitesse moyenne de ruissellement

Désignation	P2RIMETRE	Surface km 2	L (km)	Alt max	Alt min	Kg	I %	Tc	La vitesse de ruissellement
BV1	3.40	0.215	0.138	105	86	2.053	0.01	1.42	0.773
BV2	14.80	2.608	0.373	208	101	2.566	0.02	2.05	1.802
BV3	10.70	1.452	0.289	166	101	2.486	0.018	2.23	1.602
BV4	5.20	0.567	0.242	192	154	1.933	0.063	1.12	0.531
BV5	12.20	1.844	0.321	469	171	2.515	0.08	1.08	3.162
BV6	3.30	0.297	0.207	194	169	1.695	0.031	1.19	0.666
BV7	4.9	0.587	0.271	221	184	1.790	0.037	1.32	0.750
BV8	11.50	1.679	0.310	658	186	2.485	0.163	0.77	3.724
BV9	15.20	2.556	0.355	476	155	2.662	0.075	1.26	3.369
BV10	8.20	1.192	0.317	628	197	2.103	0.271	0.57	2.765
BV11	7.70	1.327	0.389	543	197	1.871	0.308	0.60	1.874
BV12	4.3	0.477	0.253	543	291	1.743	0.458	0.40	1.376
BV13	4.3	0.517	0.278	648	291	1.674	0.3605	0.41	2.426
BV14	4.4	0.587	0.313	790	346	1.608	1.776	0.29	0.866

BV15	13.30	4.614	0.794	1130	346	1.733	0.229	0.87	3.947
BV16	5.7	1.012	0.419	1454	769	1.586	1.851	0.31	1.196
BV17	3.8	0.337	0.199	1178	754	1.832	0.9860	0.25	1.688
BV18	4.9	0.665	0.313	1463	894	1.682	0.8891	0.31	2.045
BV19	6.30	1.342	0.513	1535	894	1.522	0.5575	0.44	2.590

Tableau III : 8 Récapitulatif des caractéristiques des bassins versant et des cous d'eau

III.4 : Analyse des données pluviométriques :

Dans l'étude d'un projet d'aménagement, la première étape est l'analyse Des données pluviométriques disponibles dans la plus proche au bassin De la zone d'étude :

Code	Nom	Coordonnée			année	N	Pluie moyenne Annuelle
		X	Y	Z			
021234	SOUMAA	X	517.45		1990-2019	30	59.53
		Y	355.9				
		Z	177				

Tableau III : 9 Tableau de Station pluviométrique soumaa

III 4.1 L'étude des Pluies maximales journalières :

Faire un ajustement pour la série des données des précipitations maximales journalière

Année	PJ max	année	PJ max	année	PJ max
1990	34	2000	39.2	2010	49.4
1991	91	2001	35.3	2011	68.6
1992	60	2002	60.5	2012	108
1993	68.6	2003	63.4	2013	50
1994	53.3	2004	54.1	2014	47
1995	94.4	2005	89.5	2015	48.5

1996	53.1	2006	39.2	2016	60
1997	68.5	2007	49.1	2017	81
1998	33.7	2008	72	2018	71
1999	39.5	2009	41	2019	63

Tableau III: 10 Série des pluies journalières maximales (1990-2019) à la station soumaa

Dans notre étude on suit les étapes suivantes Classer la série des précipitations par ordre croissant. Calcul de la fréquence expérimentale. Calcule des caractéristiques empiriques de la série de données. Ajuster graphiquement la loi choisie. Calculer le quantile et son intervalle de confiance.

III.4.2 Logiciel hydrant plus :

Le logiciel HYFRAN-PLUS permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité (cf. Publications sur le SAD).

Tableau III : 11 caractéristiques de la série de donnée

Caractéristique	30
	33.7
Année d'observation	
Minimum	108
Maximum	59.5
Ecart-type	19.2
Médiane	57
Coefficient de variation (cv)	0.322
Coefficient de d'asymétrie (Cs)	0.755
Coefficient d'aplatissement (CK)	2.71

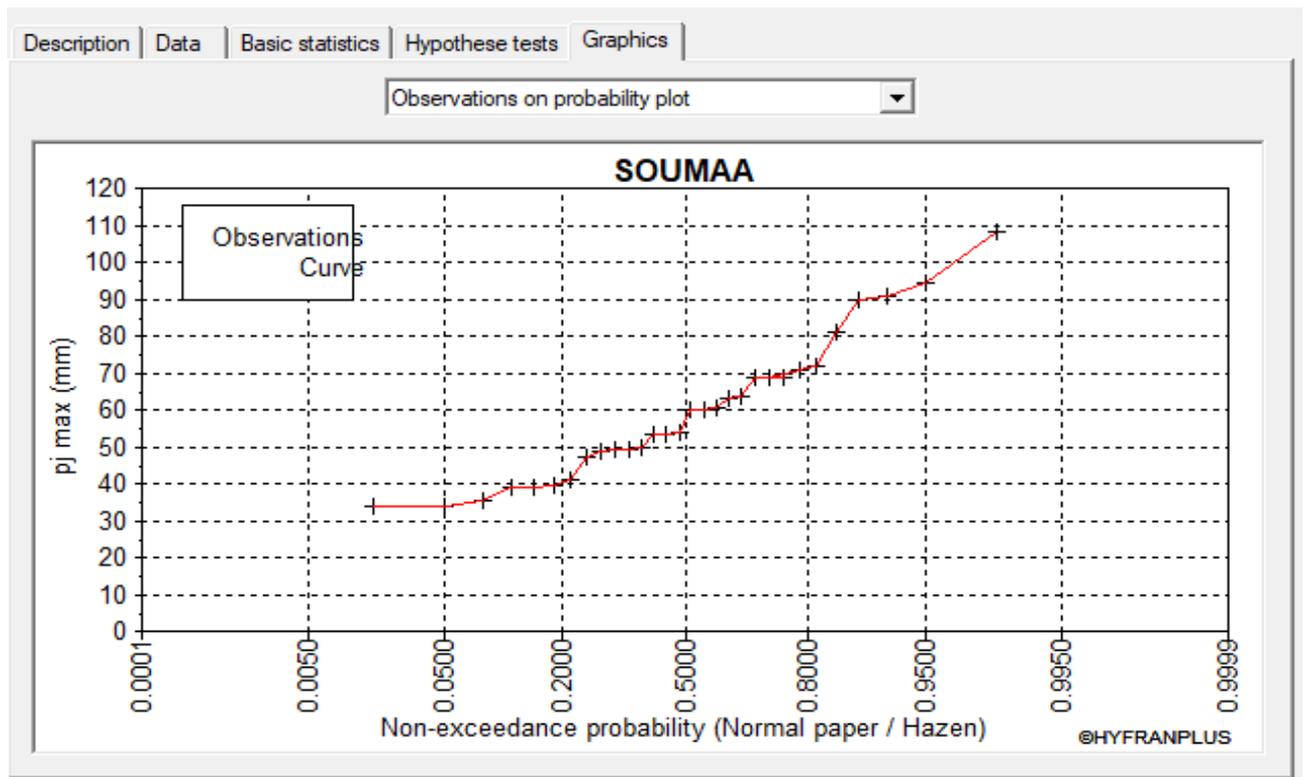


Figure III. 3 : représentation de l'observation sur papier normal

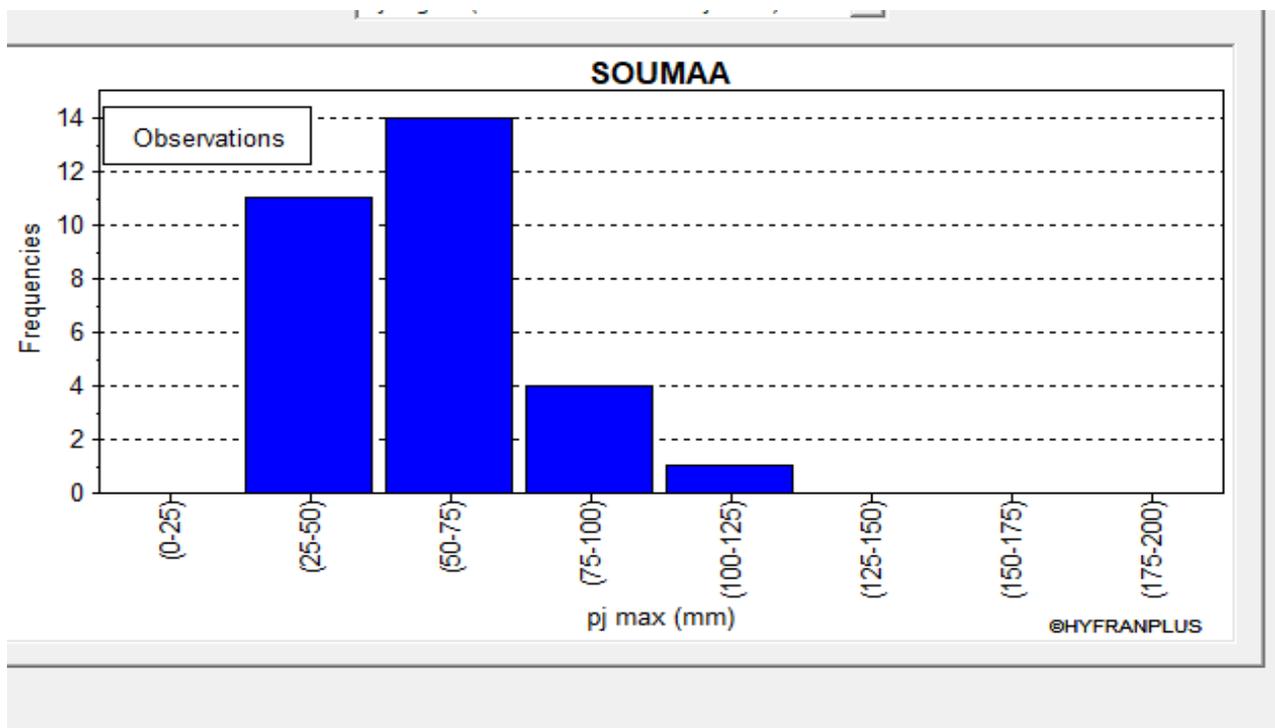


Figure III ;4 histogramme des l'observation

On remarque dans les figures 2 et 3 que les plus grandes fréquences se sont entre 50 -75 mm

III .4.3 Ajustement des pluies maximales journalières :

III4.3.1 Choix la loi d'ajustement :

Les critères de sélection d'une législation sont d'abord liés à un ajustement graphique, puis à un test de dispersion. La loi peut être acceptée ou rejetée en fonction de l'apparition des points sur le papier de probabilité. En utilisant le programme HYFRAN, nous appliquons la loi de GALTON (loi Log normale) et la loi de GUMBEL (Double exponentielle) dans notre recherche. Les caractéristiques des échantillons, ainsi que les appréciations de l'adéquation des deux lois ainsi que l'homogénéité sont calculés directement à partir du logiciel

III .4.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton :

La loi de GALTON

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-1/2 U^2} du$$

Ou :

$U = \frac{\ln X_i - \ln \bar{X}}{\sigma}$ (variable réduite de gauss)

$\sigma = \frac{1}{\sqrt{6}} \ln X$

\bar{X} : La moyenne de l'échantillon

* σ : L'écart-type de l'échantillon

L'équation de la droite de GALTON est la suivante :

$\ln X(p\%) = \ln(\bar{X}) + \sigma \ln u(p\%)$

$\ln \bar{X} = \frac{1}{N} \sum \ln X_i$

Avant de procéder à l'ajustement de l'ordre il faut suivre les étapes suivantes :

Classer les précipitations par croissant avec attribution d'un sonné [1.2.3.4.5.....n](#).

Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN :

$$F(x) = \frac{0.5 - m}{n}$$

Avec :

m : Rang de précipitation.

n : Nombre d'observations

* Calculer la variable réduite de GALTON donnée par la formule :

$$U = \frac{\ln x_i - \ln x}{\delta \ln x}$$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de Galton sont représentées dans le tableau 12 suivant

ONA :

LES PARAMETRES

MU=4.03825

SIGMA= 0.314868

Période de retour	Fréquence non dépassement	Valeurs théorique	Ecart-type	Intervalle de confiance
T (ans)	Q	XT	Δ	95%
10000.0	0.9999	183	30.0	124-242
2000.0	0.9995	160	23.6	114-206
1000.0	0.9990	150	21.0	109-191
200.0	0.9950	128	15.5	97.4-158
100.0	0.9900	118	13.2	92.1-144
50.0	0.9800	108	11.1	86.5-130
20.0	0.9500	95.2	8.48	78.6-112
10.0	0.9000	84.9	6.64	71.9-97.9
5.0	0.8000	73.9	4.97	64.2-83.7
3.0	0.6667	65.0	3.91	57.3-72.6
2.0	0.5000	56.7	3.26	50.3-63.1
1.4286	0.3000	48.1	2.95	42.3-53.9

1.2500	0.2000	43.5	2.92	37.8-49.3
1.1111	0.1000	37.9	2.96	32.1-43.7
1.0526	0.0500	33.8	3.01	27.9-39.7
1.0204	0.0200	29.7	3.05	23.7-35.7
1.0101	0.0100	27.3	3.06	21.3-33.3
1.0050	0.0050	25.2	3.05	19.2-31.2
1.0010	0.0010	21.4	3.00	15.5-27.3
1.0005	0.0005	20.1	2.97	14.3-26.0
1.0001	0.0001	17.6	2.89	11.9-23.2

Tableau III.12 Résultats d'ajustement à la loi GALTON

Teste d'homogénéité : teste d'adéquation du khi carré

Hypothèses

H0 : l'échantillon provient d'une loi-log normale ;

H1 : l'échantillon ne provient pas d'une loi-log normale.

p-value SW=0.97

Résultat statistique p=0.9270

Conclusion : Au seuil de 5%, on peut accepter H0. L'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON est montré dans la Figure .7 . (Log normal)

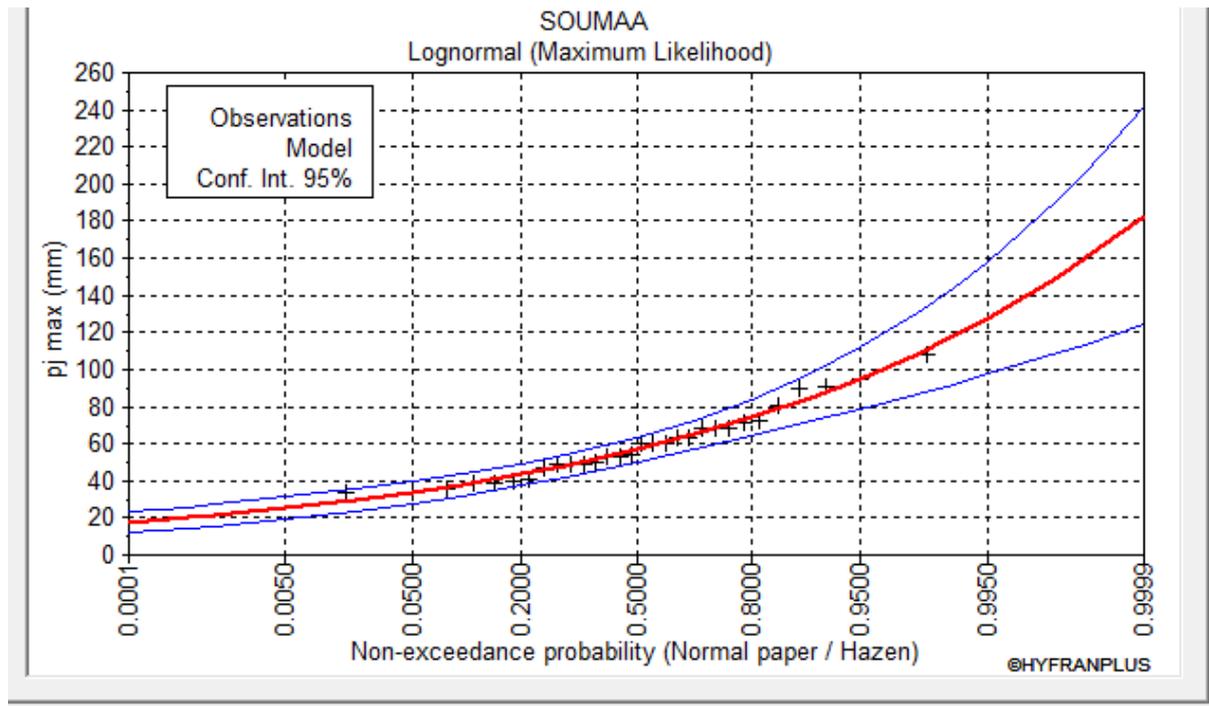


Figure III 5 ajustements à la loi de Galton

Les données pluviométriques sont proches de la ligne de Galton prévue, comme le montre la figure III.4.

III.4.3.3 : Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

(méthode des moments) :

La procédure de régularisation est identique à celle établie pour la loi GALTON ; la seule différence est que la représentation graphique se fait sur papier (Gumel/Hazan). La loi de GUMBEL a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x)=e^{-e^{-y}}$$

Tel que :

$$Y=a(x-x_0)$$

1/a: La pente de la droite de Gumbel

y: Variable réduite de GUMBEL

. x: Précipitation maximale journalière (mm),

x₀ : Ordonnée à l'origine en (mm).

On peut écrire:

$$y=-\ln(-\ln(F(x)))$$

* Gumbel (Méthode des moments):

Nombre d'observations: 44

* Paramètre : $U=$, $\alpha=150.9082$ 4.9368

• Quantiles

$Q=F(X)$ (probabilité au non-dépassement)

$T= 1/(1-q)$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentés dans le tableau

Période de routeur	Fréquence au non dépassement	Valeur théorique	Ecart-type	Intervalle de confiance
T (ans)	Q	XT (mm)	Δ	95%
10000.0	0.9999	188	26.8	136-241
2000.0	0.9995	164	22.2	121-208
1000.0	0.9990	154	20.2	114-194
200.00	0.9950	130	15.7	99.3-161
100.00	0.9900	120	13.7	92.7-147
50.0	0.9800	109	11.8	86.1-132
20.0	0.9500	95.3	9.22	77.2-113
10.0	0.9000	84.5	7.30	70.2-98.8
5.0	0.8000	73.3	5.41	62.7-83.9
3.0	0.6667	64.4	4.08	56.4-72.4
2.0	0.5000	56.4	3.21	50.1-62.7
1.4286	0.3000	48.1	2.95	42.4-53.9
1.2500	0.2000	43.8	3.14	37.6-50.0
1.1111	0.1000	38.5	3.63	31.3-45.6
1.0526	0.0500	34.5	4.12	26.4-42.6
1.0204	0.0200	30.5	4.69	21.3-39.7
1.0101	0.0100	28.1	5.06	18.2-38.0
1.0050	0.0050	26.0	5.39	15.4-36.6
1.0010	0.0010	22.0	6.04	10.2-33.9
1.005	0.0005	20.6	6.28	8.30-32.9
1.0001	0.0001	17.7	6.77	4.47-31.0

Tableau III.13 : Résultats d'ajustement à la loi Gumbel.

Teste d'homogénéité : teste d'adéquation du khi carré

H0 : l'échantillon provient d'une loi GUMBEL

H1 : l'échantillon ne provient pas d'une loi-GUMBEL

Résultats : résultats statistique

$$X^2=5.47$$

$$P=0.2427$$

Degrés de libre : 4

Nombre de classes : 7

Conclusion : Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%. La figure III.5 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode des moments)

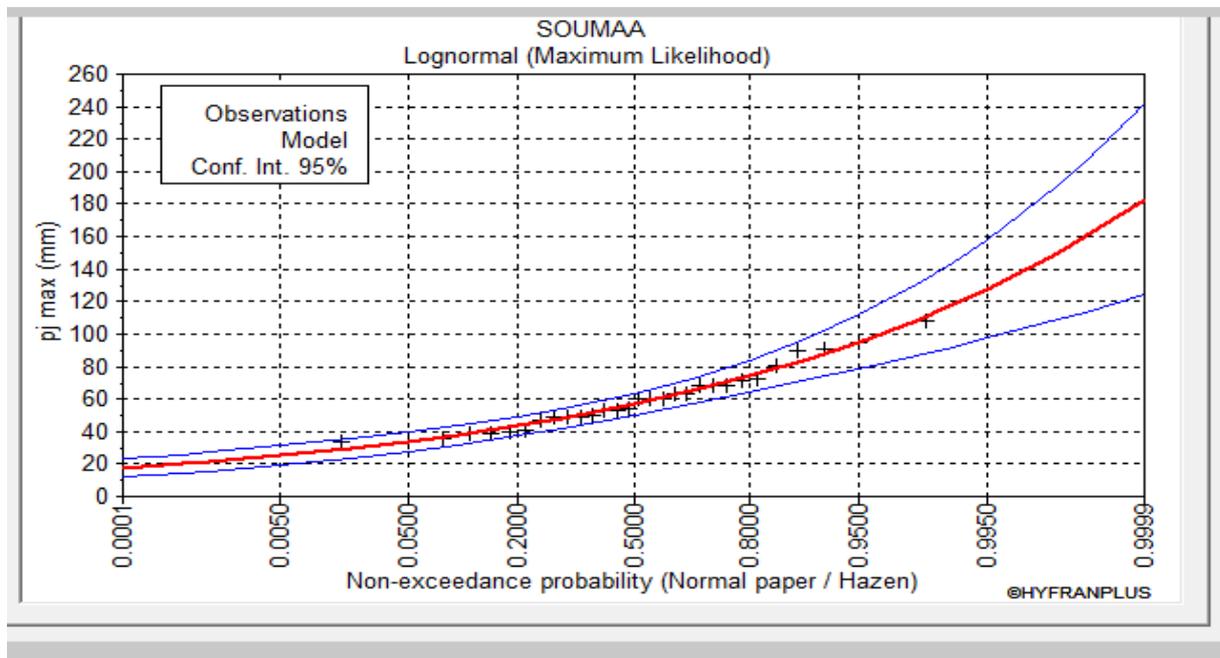


Figure III 6 : Ajustement à la loi de GUMBEL

On observe que la série pluviométrique est proche à la droite théorique de Gumbel aussi

III.4.3.4 Comparaison entre les deux lois d'ajustement :

La figure .6. Montre la comparaison entre les deux lois d'ajustement (Loi de Gumbel et loi de Galton)

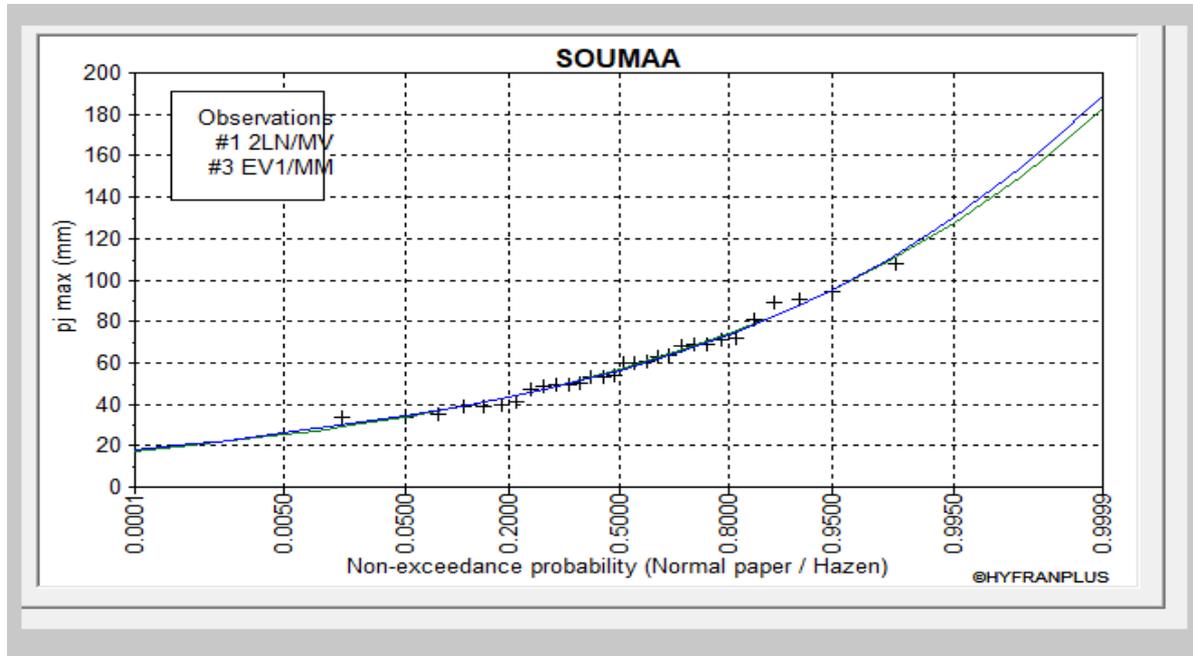


Figure III 7: Comparaison entre les deux lois d'ajustement

En se référant aux graphes obtenus, par ces deux lois, celui de Gumbel et GALTON, nous avons remarqué que l'ajustement de la position loi de GALTON des est les meilleures données expérimentales sont plus proches de la droite théorique. Alors en opte pour la loi de GALTON (Log normale)

III.5 : Pluie de courte durée

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule : $P_{et} = P_{\text{max } j} (t/24)^e$

T : Durée de l'averse (h)

e : Exposant climatique, $e = 0,37$ selon les études régionales de l'ANRH.

Les précipitations pour différentes durées sont représentées dans le tableau III. 14 et les courbes des pluies fréquentielles sont présentées par la figure.10

Th	10000	1000	100	50	20	10
0.25	33.80	27.71	21.79	19.95	17.58	15.68
1	56.46	46.28	36.40	33.32	29.37	26.19
2	72.97	59.81	47.05	43.06	37.96	33.85
3	84.78	69.49	54.66	50.03	44.10	39.33
4	94.30	77.29	60.80	55.65	49.05	43.75
5	102.42	83.95	66.04	60.44	53.28	47.51
6	109.56	89.81	70.65	64.66	56.99	50.83
7	116.00	95.08	74.79	68.45	60.34	53.81
8	127.30	104.34	82.08	75.13	66.22	59.06
9	132.36	108.49	85.35	78.11	68.85	61.40
10	137.11	112.39	88.41	80.92	71.33	63.61
11	141.60	116.06	91.30	83.56	73.66	65.69
12	145.85	119.55	94.05	86.08	75.87	67.66
13	149.91	122.87	96.66	88.47	77.98	69.54
14	153.78	126.05	99.16	90.76	80.00	71.34
15	157.50	129.10	101.56	92.95	81.93	73.07
16	161.07	132.0	103.86	95.06	83.79	74.7
17	164.52	134.85	106.08	97.09	85.58	76.32
18	167.84	137.57	108.22	99.05	87.31	77.86
19	171.0	140.2	110.30	100.95	88.98	79.36
20	174.17	142.76	112.31	102.79	90.61	80.80
21	177.20	145.24	114.26	104.57	92.18	82.21
22	180.14	147.65	116.15	106.31	93.71	83.57
23	183	150	118	108	95.2	84.9

Tableau III : 14 : courte durée t(h) et période de retour (ans)

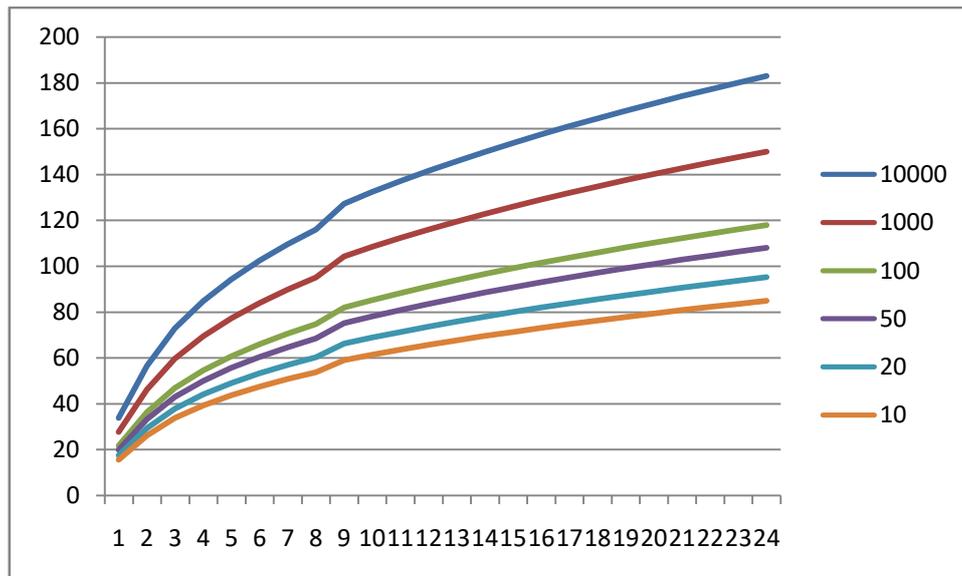


Figure III 8: courbe des pluies fréquences

III .6 : Les intensités maximales

Les intensités maximales de période t (h) et période de retour T (ans) sont calculées par la Relation :

$$I_t = Pct / t$$

Avec :

I_t : l'intensité maximale de période t (h).

Pct : Pluies de courte durée (mm)

T(t)	i1	i2	i3	i4
0.25	135.2	110.84	87.16	62.72
1	56.46	46.28	36.4	26.19
2	36.48	29.90	23.52	16.92
3	28.26	23.163	18.22	13.11
4	23.57	19.32	15.2	10.93
5	20.48	16.79	13.20	9.50
6	18.26	14.96	11.77	8.47
7	16.57	13.58	10.68	7.68

8	15.91	13.04	10.26	7.38
9	14.70	12.05	9.48	6.82
10	13.71	11.23	8.84	6.361
11	12.87	10.55	8.3	5.97
12	12.15	9.96	7.83	5.63
13	11.53	9.45	7.43	5.34
14	10.98	9.00	7.08	5.09
15	10.5	8.60	6.77	4.87
16	10.06	8.25	6.49	4.66
17	9.67764	7.93	6.24	4.48
18	9.324	7.64	6.012	4.32
19	9	7.37	5.80	4.17
20	8.70	7.13	5.61	4.0
21	8.43	6.91	5.44	3.91
22	8.18	6.71	5.27	3.79
23	7.9	6.52	5.13	3.69

Tableau III : 15.L'intensité maximale de période

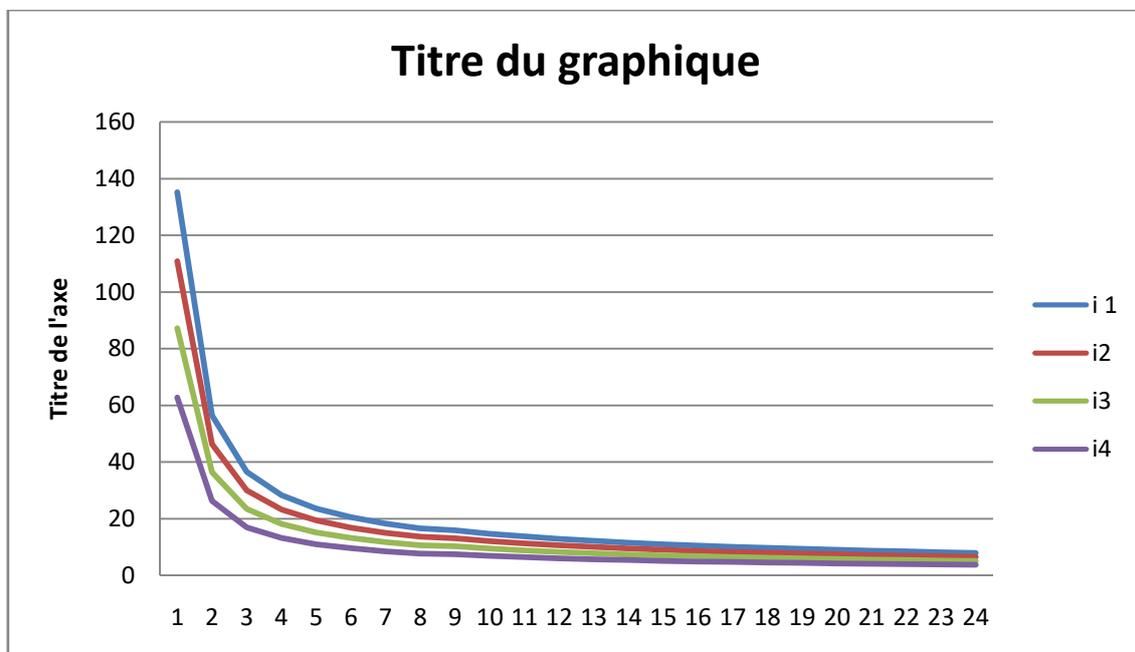


Figure III 9 : L'intensité maximale en fonction du temps

*

III .7 Etude de crue :

Etude de crue L'évaluation a toujours été un souci majeur dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. De nombreuses méthodes ont été établies afin de parvenir à les évaluer correctement

III .8 Différentes méthodes d'évaluation des crues :

L'existence de tant de méthodes de calcul des crues est due aux changements de conditions et de problèmes rencontrés lors de l'estimation de la charge d'étude. Les techniques utilisées dans la détermination des crues dépendent essentiellement des données disponibles, plus la disponibilité est grande plus les problèmes qui se produisent sont moindres. Dans ce qui suit un rappel des différentes méthodes qui ont été établies

III .8.1 Méthodes déterministes :

Méthode historique:

Méthode ancienne basée essentiellement sur l'étude des archives , les enquêtes auprès des populations et la recherche des traces des crues exceptionnelles atteintes dans le passé. La qualité du passé est l'observation sur le débit maximum enregistré lors d'une crue exceptionnelle.

Méthodes empiriques :

Divers auteurs ont imaginé des formules empiriques pour répondre aux situations et aux défis rencontrés. Les corrélations entre le débit, le bassin versant, les précipitations et la durée de retour sont établies par ces règles.

Courbe enveloppes :

* Courbes : Cette méthode permet de tracer une enveloppe (Francoeur Rodier) en reportant les crues maximales observées dans une région de caractéristiques homogènes en fonction de la surface du bassin mobile.

$$1 - \frac{Q}{Q_0} = \frac{A}{A_0}^{1-K/10}$$

K: coefficient dépendant de plusieurs facteurs climatiques et géographiques, compris entre 0 < K < 6

III .8.2 Méthodes probabilistiques :

Correspondent à l'analyse des débits afin de déterminer la loi de probabilités à laquelle ils répondent (GUMBEL, GALTON, PEARSON III. etc.),

L'utilisation de la méthode du Gradex basée sur l'hypothèse que durant des pluies fortes. Alors que le sol du bassin s'approche de la saturation, chaque suggestion de la pluie tend à produire une augmentation du débit. En conséquence sur un graphique de Gumbel, les droites de répartition des fréquences des pluies et des débits sont parallèles.

III .9 Application sur le bassin versant :

Pour notre étude on utilisera la méthode empirique, par la formule de SOKOLOVSKI

Formule de SOKOLOVSKY:

$$Q_{MAX} = \frac{0.28(p_{tc} - h_0) * \alpha * F * S}{TC}$$

TC : temps de concentration[h].

Pa : pluie fréquentielle de courte durée correspondant au temps de concentration

H_o : Perte initiale [H_o = 0 mm].

α : Coefficient de Ruissellement de la crue pour une période de donnée (0.7)

F: Coefficient de forme de la crue = $\frac{12}{4+3\gamma}$

Condition	γ
Surface de bv compris 1 et 50 km ²	$\gamma + 2$
Pour bassin boisé avec un sol peut perméable	$2 \leq \gamma \leq 2.5$
Pour un bassin boisé	$3 \leq \gamma \leq 4$

Tableau III .16 : les conditions de γ

On prend $\gamma = 2$

T	10000	1000	10002	50	20	10
PTC		PTC				PTC
0.05	64.30	52.71	41.46	37.95	33.45	29.83
0.08	73.67	60.38	47.50	43.47	38.32	34.17
0.09	76.02	62.31	49.02	44.86	39.54	35.27
0.04	58.87	48.25	37.96	34.74	30.62	27.31
0.04	58.12	47.64	37.48	34.30	30.23	26.96
0.04	60.25	49.38	38.85	35.55	31.34	27.95
0.05	62.63	51.33	40.38	36.96	32.58	29.05
0.03	51.33	42.08	33.10	30.29	26.70	23.81
0.05	61.47	50.39	39.64	36.28	31.98	28.52
0.02	46.00	37.71	29.66	27.15	23.93	21.34
0.02	46.66	38.25	30.09	27.54	24.27	21.65
0.01	40.21	32.95	25.92	23.73	20.91	18.65
0.01	40.52	33.21	26.13	23.91	21.08	18.80
0.01	35.65	29.22	22.98	21.03	18.54	16.53
0.03	53.54	43.88	34.52	31.60	27.85	24.84
0.01	36.57	29.98	23.58	21.58	19.02	16.96
0.01	34.04	27.90	21.95	20.09	17.70	15.79
0.01	36.73	30.10	23.68	21.67	19.10	17.04
0.01	41.81	34.27	26.96	24.67	21.75	19.39

Tableau.III :17 Le temps de concentration et la pluie de coute durée pour les périodes de routeur (10000-1000-100-50-20-10)

Période de retour	Q10000	Q1000	Q100	Q10	
BV1	2.29	1.87	1.47	1.06	
BV2	22.04	18.06	14.21	10.22	
BV3	11.64	9.54	7.50	5.40	
BV4	7.01	5.74	4.52	3.25	
BV5	23.34	19.13	15.05	10.82	
BV6	3.53	2.89	2.28	1.64	
BV7	6.55	5.36	4.22	3.03	
BV8	26.32	21.58	16.97	12.21	
BV9	29.26	23.98	18.86	13.57	Q MAX %
BV10	22.62	18.54	14.59	10.49	
BV11	24.27	19.89	15.65	11.26	
BV12	11.27	9.24	7.27	5.23	
BV13	12.01	9.85	7.75	5.57	
BV14	16.97	13.91	10.94	7.87	
BV15	66.79	54.74	43.06	30.98	
BV16	28.08	23.01	18.10	13.02	
BV17	10.79	8.84	6.95	5.00	
BV18	18.53	15.19	11.95	8.59	
BV19	29.94	24.54	19.31	13.89	

Tableau.III.18 :Le débit max pour les périodes de retour (10-100-1000-10000)

III .10 Hydro gramme des crues :

L'hydro gramme est le graphique de la variation temporelle du débit d'écoulement d'eau, mesurée au sol. On utilise des hydro grammes pour étudier cette variation soit au point d'un bassin versant, soit à une section d'un cours d'eau

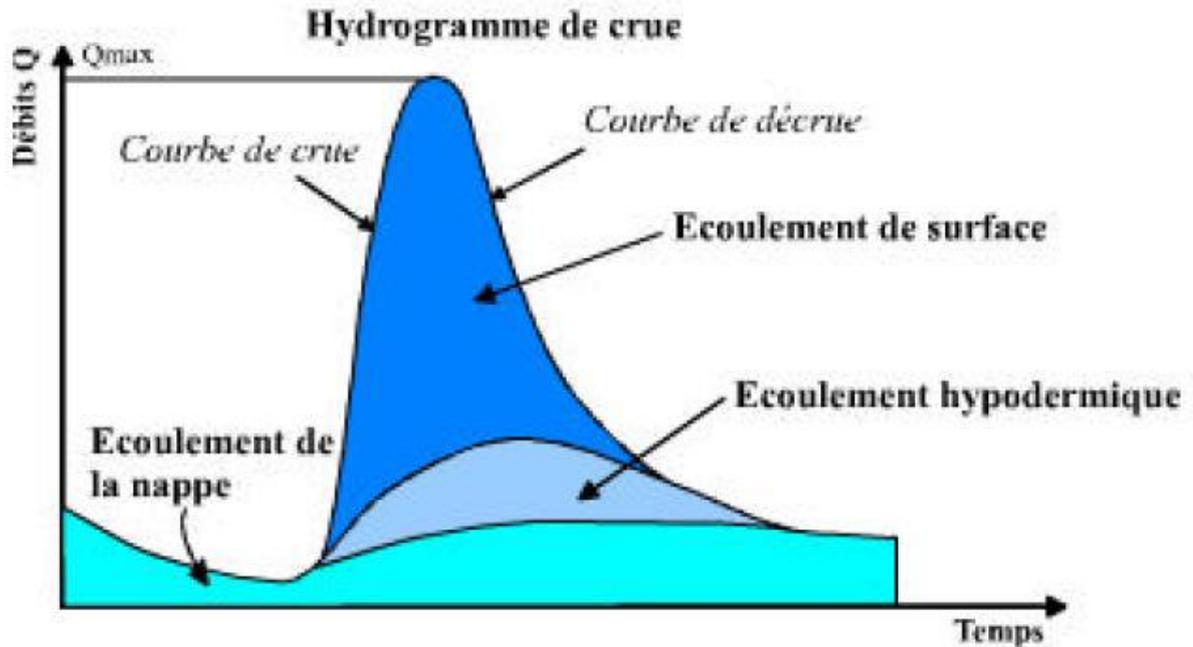


Figure III 10 : Hydro gramme des crues

La montée de la crue :

$$Q(m) = Q \max, p * \left(\frac{t}{tm}\right)^3$$

La décrue :

$$Q d (t) Q \max * \left(\frac{tb-t}{td}\right)^2$$

Avec :

$Q \max p$: le débit maximum de crue (de pointe) (m³ /s)

$Q m (t)$: le débit maximum au moment de la montée (m/s)

$Q d (t)$: le débit instantané au moment de la descente (m/s)

Tm ; temps de montée (h)*

Td : temps de descente (h)

Tb : temps de bas (h)

On a : $Tm = Tc$ $td = Tm * \gamma$ $Tb = Tm + td$

Tm	Td	Tb
1.42	2.84	4.26
2.05	4.1	6.15
2.23	4.46	6.69
1.12	2.24	3.36
1.08	2.16	3.24
1.19	2.38	3.57
1.32	2.64	3.96
0.77	1.54	2.31
1.26	2.52	3.78
0.57	1.14	1.71
0.6	1.2	1.8
0.4	0.8	1.2
0.41	0.82	1.23
0.29	0.58	0.87
0.87	1.74	2.61
0.31	0.62	0.93
0.25	0.5	0.75
0.31	0.62	0.93
0.44	0.88	1.32

Tableau.III : 19 : le montée et de décrue et le temps de base pou les Diez bassins versants

Les débits de crue du différent période s de recteur du bassin vasant sont représentés dans les tableaux suivants

Bassin versant 1 :

Exemple :

t(h)	10000ans	1000ans	100 ans	10 ans
0	0	0	0	0
1	0.77	0.65	0.51	0.37
1.42	2.29	1.87	1.47	1.06

2	1.45	1.18	0.93	0.67
3	0.45	0.36	0.28	0.2
4	0.02	0.01	0.01	0.08
4.26	0	0	0	0

Tableau III.20 : Les débits de crue du différent période s de recteur

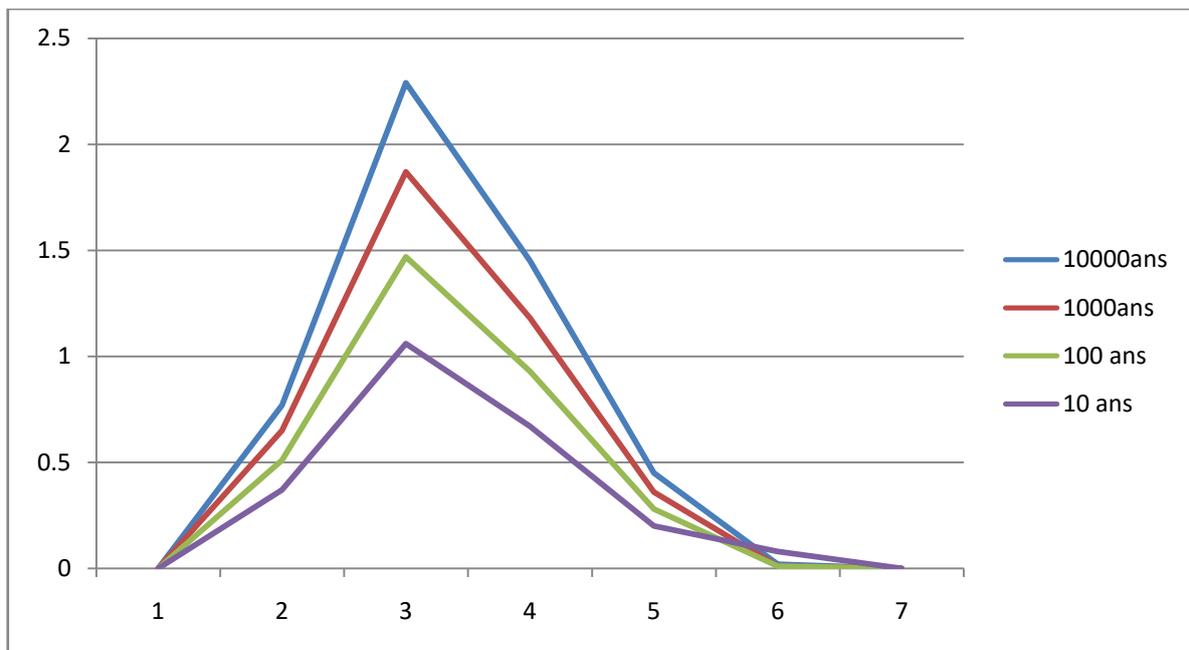
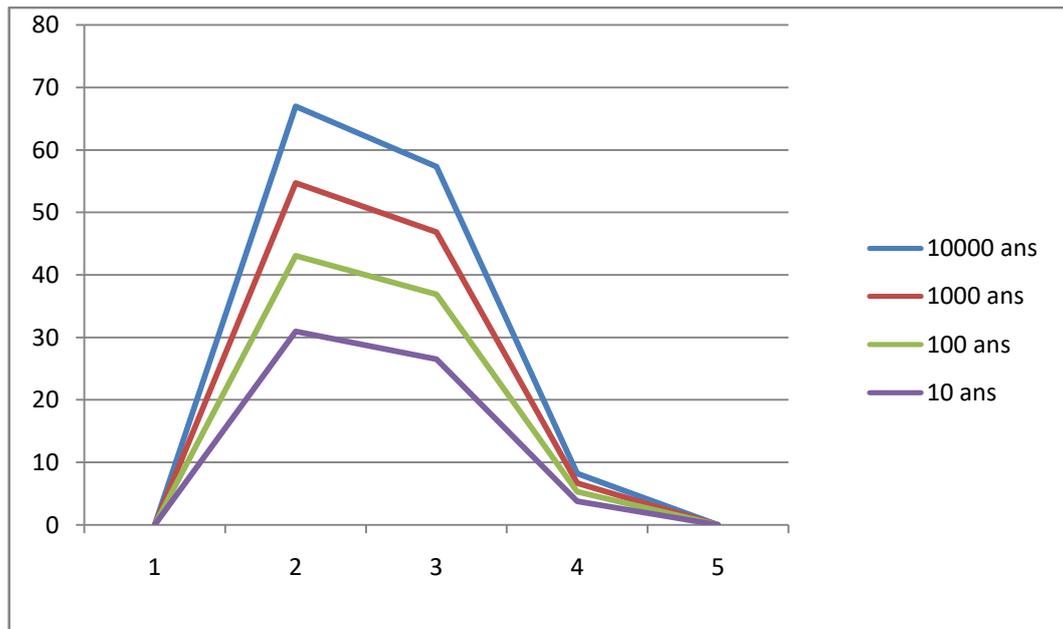


Figure III 11 : Les débits de crue du différent période s de recteur

Bassin 15 :

t(h)	10000 ans	1000 ans	100 ans	10 ans
0	0	0	0	0
0.87	66.97	54.74	43.06	30.98
1	57.33	46.86	36.86	26.52
2	8.23	6.72	5.29	3.8
2.61	0	0	0	0

Tableau III.21 : les Débits des différents périodes de retour pour le bassin... 15...



Le débit maximal est 66.97

III.11 Conclusion :

L'établissement de ce chapitre a pour but le calcul des caractéristiques du bassin versant qui influence le cours d'eau ainsi que l'estimation du débit de crue optimal afin de pouvoir réaliser

Un aménagement adéquat à la situation de l'Oued. Les résultats obtenus des calculs effectués dans ce chapitre sont comme suit :

la série pluviométrique suit la loi Log Normal (loi de GALTON).

Chapitre IV : Modélisation et Simulation

Hydraulique Du risque d'inondation

IV.1 Introduction :

Dans ce dernier chapitre nous avons utilisé le logiciel HEC RAS 6.0 pour faire la modélisation et la simulation hydraulique du cours d'eau principal à savoir Oued Beni Azza qu'est aménagé en forme de canal trapézoïdal en béton armé sur une grande partie. Cette simulation vise à étudier le comportement de ce canal vis-à-vis les crues fréquentielles.

IV.2.2.1 Matériels et Méthode :

Présentation du logiciel HEC RAS

HEC-RAS, *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System* (Système

d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux. Le modèle utilisé est unidimensionnel, ce qui signifie qu'il n'existe pas de modélisation directe des variations hydrauliques dues aux changements de forme de la section transversale, à la présence de coudes ou autres aspects d'un écoulement 2D ou 3D.

Le programme a été élaboré par le ministère américain de la Défense (corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis) dans le but de gérer les rivières, les ports et d'analyser les débits dans le lit des rivières et de déterminer les zones inondables. Il intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composants d'analyse hydraulique, de stockage de données, d'édition de rapports sous forme de tables et de graphiques.

Hec ras bénéficie ,grâce au soutien de l'us army corps of engineers, d'améliorations continues est reconnu par nombreux organismes gouvernementaux et entreprises privées. Hecras est un logiciel libre qui est dans le domaine public est disponible en téléchargement gratuit sur le site de hydrologic engineering center .

IV.2.2.1 Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS :

A. Profils de la surface de l'eau en écoulement permanent

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

1. Équations de base entre deux sections

Les profils de la surface de l'eau sont calculés entre deux sections comme il est montré à la figure N°IV.1 en résolvant l'équation d'énergie. L'équation d'énergie est écrite comme suit :

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

Où :

Y_1, Y_2 : profondeur de l'eau au niveau des sections Z_1, Z_2 : côte du canal principal

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

α_1, α_2 : coefficients de pondération de vitesse

g : accélération de la gravité

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

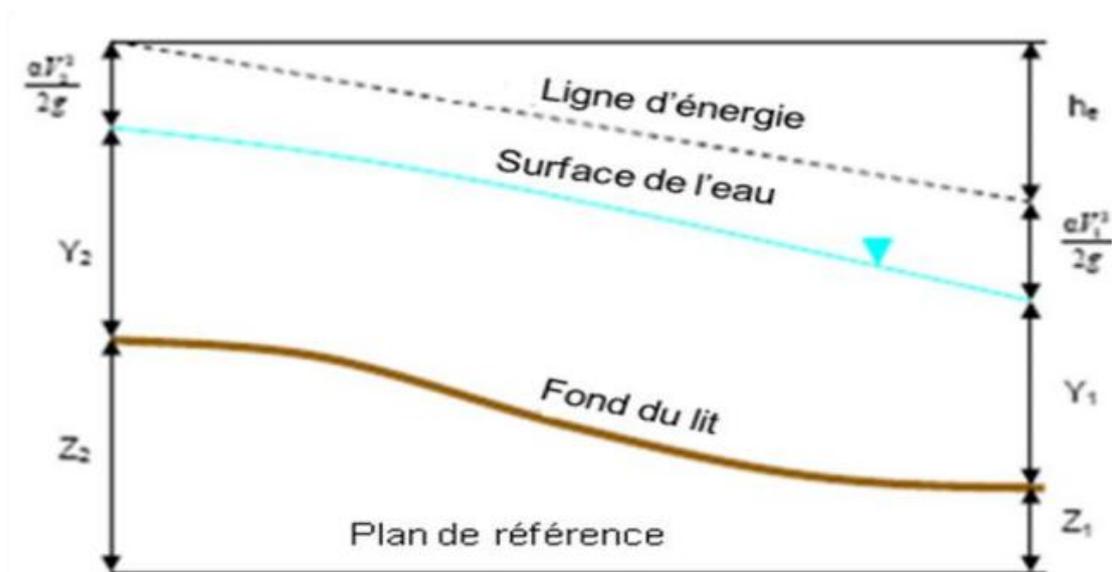


Figure °IV.1: Représentation des limites dans l'équation d'énergie

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

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

Où :

L : longueur de la distance entre deux sections

S_f : angle de frottement représentatif entre deux sections

C : coefficient de perte d'expansion ou de contraction

2. Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit

La détermination du transport total et du coefficient de vitesse pour une section de calcul exige que l'écoulement soit subdivisé en unités pour lesquelles la vitesse est uniformément distribuée. L'approche utilisée dans HEC-RAS est de subdiviser l'écoulement dans les surfaces des rives en utilisant les points d'arrêt des valeurs de la rugosité n comme base de la subdivision (endroits où est observé le changement des valeurs du coefficient de rugosité n) comme le montre la **figure N°IV.1**. Le flux est calculé dans chaque subdivision sous la forme suivante en fonction de n (Equation de Manning) :

$$Q = KS_f^{1/2}$$

Avec

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

Où :

Q : flux pour la subdivision

n : coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision

A : surface d'écoulement pour une subdivision

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

IV.2.2.2. Modélisation d'un cours d'eaux avec HEC-RAS :

A fin d'étudier le comportement hydraulique d'un cours d'eau sur HEC-RAS, il faut créer ce que l'on appelle un projet qui consiste un ensemble de dans lesquels on introduit les informations nécessaires pour la simulation :

- Les données géométriques.
- Les données de débits.
- Les conditions aux limites.
- Les conditions de simulations.
- Les résultats de la simulation.

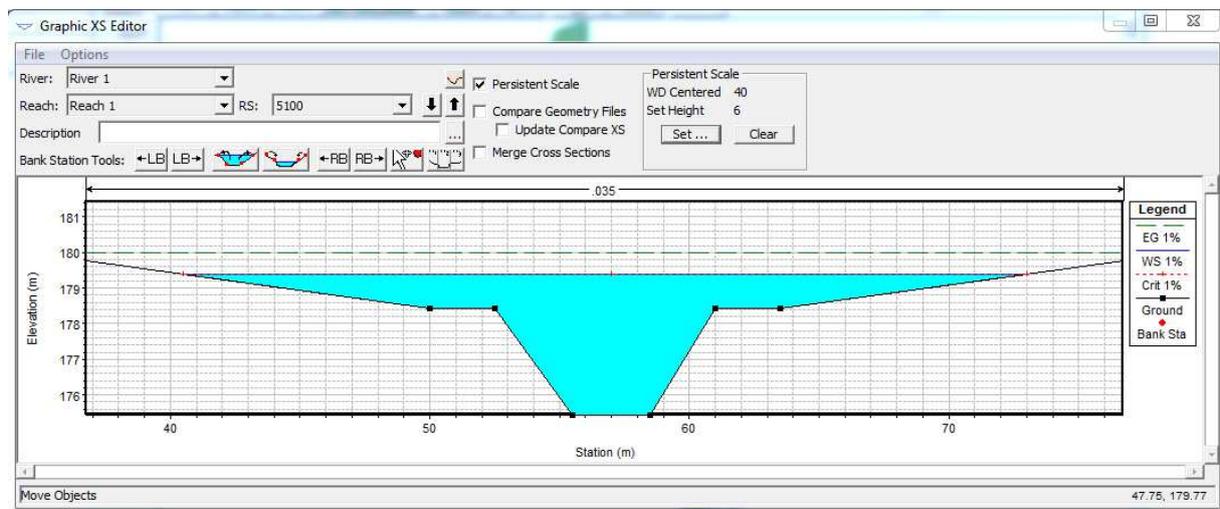


Figure IV .2 : exemple de section avec hauteur d'eau

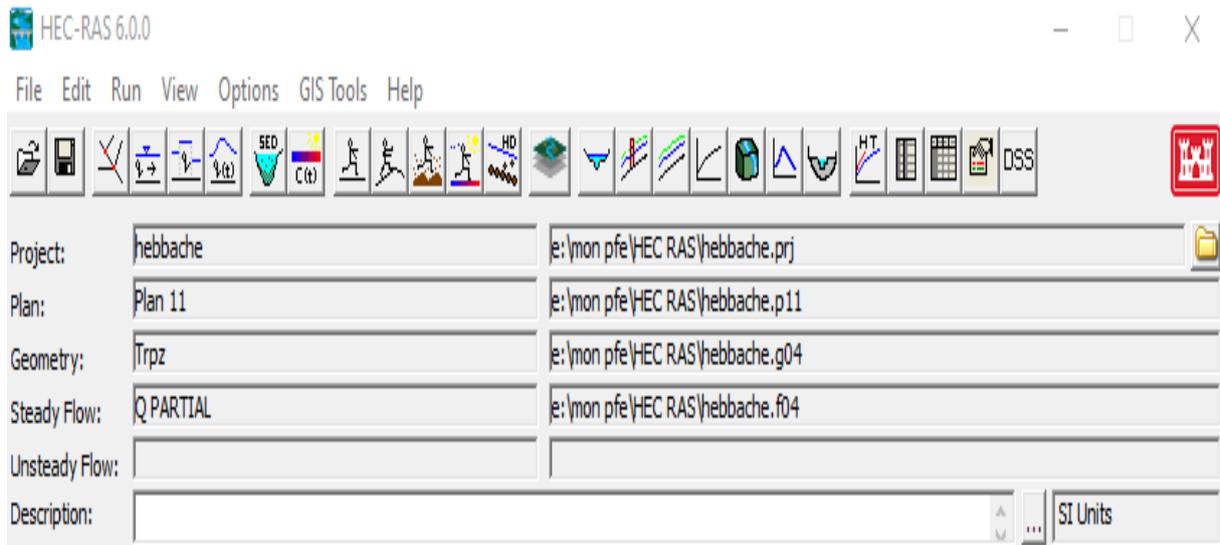
Ce logiciel permet de modéliser les débits et les hauteurs d'eau dans un cours d'eau. La première étape consiste à modéliser le cours d'eau. Ce modèle se constitue d'une succession de sections dans lesquelles on calcule le débits et la hauteur d'eau :

Elles correspondent au millage du cours d'eau. Ces sections ont été mesurées et sont donc assez fidèles à la réalité.

On peut y observer le lit majeur et le lit mineur.

Le logiciel hec ras permet de modifier énormément d'options pour pouvoir obtenir un modèle correct. On peut notamment modifier le coefficient de Strickler de chaque section, créer des ouvrages hydrauliques (seuils...), choisir diverses conditions limites aval ou conditions initiales, simuler à partir d'un hydrogramme de crue , ajouter des déversoirs , simuler des écoulements permanents ou non permanents ect.

IV.2.2.3 Les fichiers constituant un projet hec-ras :



- ✓ **Projet (Project) :** Le fichier Projet contient le titre et la description du projet, le système d'unités utilisées et les liens vers tous les fichiers qui lui sont associés. Il contient aussi les variables par défaut qui peuvent être définies par l'utilisateur et une référence au dernier Plan utilisé (voir la description d'un Plan plus bas). Il comporte l'extension .PRJ.
- ✓ **Géométrie (Geometry) :** Ce fichier contient toutes les informations géométriques sur le cours d'eau analysé, soit le schéma arborescent, les sections transversales, la distance entre chaque section, les coefficients de Manning et s'il y a lieu, les structures présentes (ponts, ponceaux). Un projet peut comporter plusieurs géométries afin d'analyser différentes variantes (par exemple avec ou sans obstruction dans la rivière). Les fichiers peuvent ainsi comporter l'extension .G01 à G.99.
- ✓ **Débit (Flow) :** Le fichier Débit est utilisé pour simuler les écoulements permanents. Il contient le nombre de Sections (Profile) devant être calculés, les données de débit pour chacun d'eux et les conditions limites pour chaque tronçon. Un Profile désigne l'ensemble des niveaux d'eau calculés pour des conditions particulières de débit. De la même façon que précédemment, l'extension du fichier peut être de .F01 à .F99.
- ✓ **Plan (Plan) :** Un fichier Plan contient un titre et une description du plan, de façon similaire aux informations d'un Projet. Il contient de plus la référence aux fichiers Géométrie et Débit associés à ce Plan. Le concept de Plan permet ainsi de simuler différentes combinaisons de Géométrie et de débit qui peuvent être nécessaires dans le cadre d'une étude hydraulique. Il y a un fichier .P** pour chaque Plan et ceux-ci peuvent comporter l'extension .P01 à .P99.

- ✓ **Simulation (Run) :** Le fichier simulation contient toutes les données nécessaires à l'exécution d'une simulation, définie à l'intérieur d'un Plan. Ce fichier est automatiquement créé par HEC-RAS lorsqu'une simulation est lancée. Son extension peut être .R01 à .R99. Par exemple, le fichier .R01 correspond au Plan .P01
- ✓ **Résultats (Output) :** Tous les résultats d'une simulation sont contenus dans le fichier Output. Les fichiers de résultats possèdent l'extension .O01 à .O99 et leur numérotation est également associée à celle des fichiers Plan.

Tous les fichiers créés à l'intérieur d'un même projet comportent le même nom, soit celui défini au départ par l'utilisateur. Seule l'extension diffère et les différentes extensions des fichiers sont automatiquement créées par HEC-RAS et ne doivent pas être modifiées. Pour les fichiers dont l'extension inclut un nombre, celui-ci correspond à l'ordre dans lequel les fichiers ont été sauvegardés. Les numérotations des fichiers Plan, Run et Output sont également liées.

IV. 2.2.4. Démarrage de HEC-RAS :

Le démarrage de HEC-RAS se fait de deux manières :

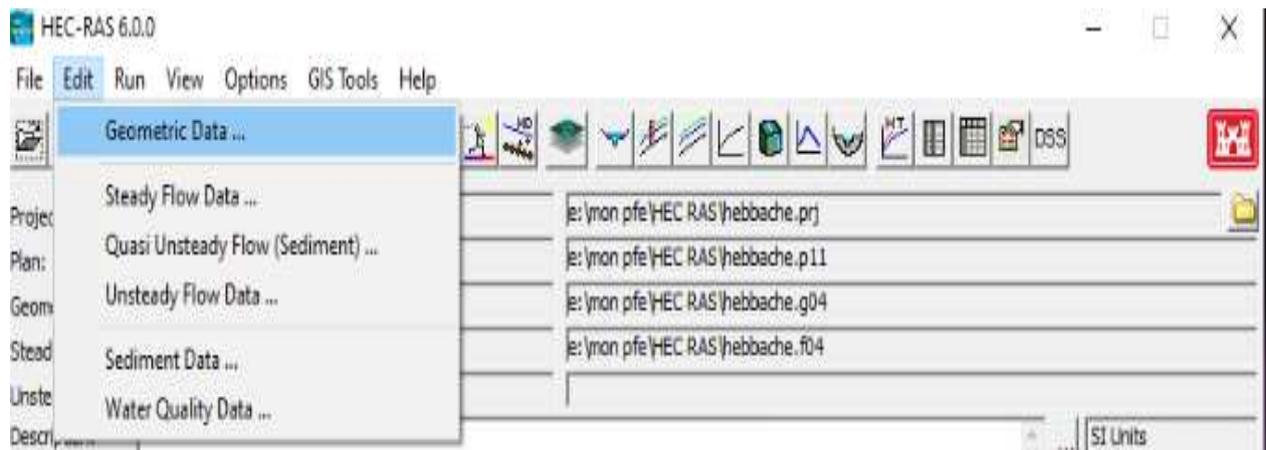
- Par double - clic sur l'icône  placé sur le Desktop (Bureau),
- Via le menu Démarrer et choix du programme HEC-RAS.

IV.2.2.5. Menu de HEC-RAS :

Suite au démarrage de HEC-RAS, la fenêtre principale de HEC-RAS s'affiche (qui est illustrée à la figure IV.4), sans toutefois les données qui y sont inscrites. Elle comporte une barre de menu qui est située dans le haut de la fenêtre, ainsi qu'une barre de boutons située juste au-dessous. Ces deux éléments importants sont présentés un peu plus loin. Parmi les autres éléments de la fenêtre principale, on retrouve des espaces prévus pour afficher les données présentement utilisées, soit le titre du Projet en cours, une description du Plan, de la géométrie et des données de débits utilisées. Le nom et le chemin du fichier de chacun de ces éléments sont indiqués dans la deuxième colonne.

La barre de menu comprend toutes les fonctions disponibles de HEC-RAS. Le menu **File** permet d'ouvrir, de créer et de sauvegarder un Projet (fichiers avec l'extension .prj). Les autres options permettent de modifier le titre du Projet ou d'effacer tous les fichiers reliés à un projet. Utiliser cette dernière option avec précaution.

Outre le menu File, le menu **Edit** est également important et permet de spécifier les données de base décrivant le système hydrographique devant être modélisé ainsi que les conditions de **débit** dans ce système.



a. Barre de menu HEC-RAS

La principale étape de la création d'un projet de modélisation avec HEC-RAS est de définir la géométrie du cours d'eau à étudier, au moyen de sections transversales. Cette étape, qui sera vue plus en détail à la section 3.2, est réalisée en choisissant l'option **Geometric Data**. Toutes les données reliées à la géométrie du cours d'eau sont sauvegardées dans les fichiers dont l'extension est .G** où ** désigne des chiffres représentant une numérotation séquentielle.

Une autre option disponible dans le menu Edit pour l'étude des écoulements permanents dans le cours d'eau est **Steady Flow Data**. Cette option permet de spécifier la ou les valeurs de débits dans le cours d'eau qui devront être modélisés, ainsi que les conditions aux limites de l'écoulement. Un Profile désigne l'ensemble des niveaux d'eau calculés pour des conditions particulières de débit. Les informations qui sont spécifiées avec cette option sont contenues dans les fichiers .F**. Les options **Unsteady Flow Data**. (Écoulements non- permanents) et **Sediment Data** (Transport de sédiments) sont aussi disponibles.

L'autre élément important de la fenêtre principale pour la création d'un projet et la réalisation de simulations est le menu **Run**. Trois options y sont disponibles: **Steady Flow Analysis**,

Unsteady Flow Analysis et Hydraulic Design. Cette option permet ici de définir le **Plan**, qui contient la référence au régime d'écoulement modélisé, à la géométrie du cours d'eau et aux débits simulés.

b. Barre de bouton HEC-RAS :

Finalement, la barre de bouton constitue un accès aux fonctions utilisées le plus couramment dans HEC-RAS. En plaçant le curseur de la souris au-dessus d'un bouton, la description est affichée dans la barre de titre de la fenêtre ainsi que dans un élément textuel. L'icône utilisé est aussi représentatif de cette fonction. Elles ont pour la plupart été abordées précédemment ou seront vus ultérieurement lors de la réalisation d'un exemple. Fait à noter, les éléments de la barre de boutons sont placés dans un ordre logique de réalisation d'un Projet avec HEC-RAS, mais ce ne sont pas toutes ces fonctions qui doivent nécessairement être utilisées dans un projet. Finalement, dans le coin inférieur droit de la fenêtre principale, le système d'unité utilisé est indiqué en permanence.

METHODOLOGIE

La modélisation s'avère un outil fondamental pour connaître la répartition et l'ampleur géographique du phénomène. Notre schéma de modélisation et de mesure de l'ampleur d'inondation est fondé sur la base de deux **études** :

- **l'étude hydrologique** a pour objectif l'estimation des débits de pointes correspondant aux différentes périodes de retour (10,100,1000,10000 ans) au niveau de la zone du projet. Les débits adoptés seront d'une importance capitale pour le dimensionnement des ouvrages projetés sur l'oued beniazza . Elle comprend plusieurs étapes :
 - Trouver des laisses de crues passés et recueillir les témoignages.
 - Ajustement par loi de Gumbel des pluies maximales journalières et détermination des(P_j max pour une période T allant de 10 à 100).

Cette méthode s'applique à des bassins de quelques dizaines à plusieurs milliers

de kilomètres carrés, qui sont homogènes pluviométriquement.

- Estimation des débits de crue
- Estimation du débit de pointe
- Estimation des temps de concentration en appliquant les formules empiriques.
- Estimation de l'hydrogramme de crues.

- **l'étude hydraulique** est de la simulation d'un modèle d'oued Beni azza . Elle commence par apporter les éléments de bases nécessaires au fonctionnement du modèle hydraulique, et identifier des zones à risques d'inondations dans le bassin. L'identification des processus est faite comme suit :
 - Identification de la géométrie d'un cours d'eau
 - Identification des débits et les conditions aux limites.
 - Visualisation des résultats sous forme graphique ainsi que sous forme des tableaux.

Le schéma suivant présente les différentes étapes à suivre.

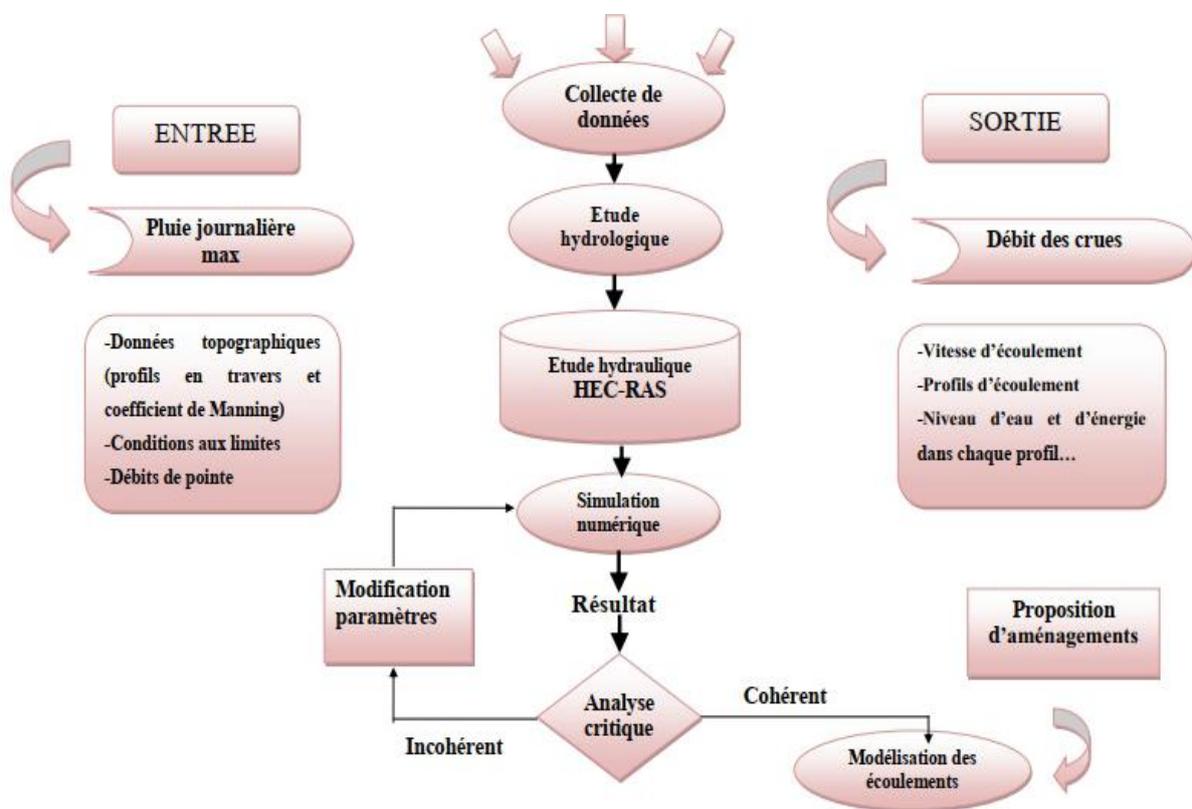


Figure IV : Schéma méthodologique

1- Conception du modèle numérique du terrain (MNT)

Afin de pouvoir concevoir le modèle numérique de la zone d'étude, nous avons procédé comme suit :

1.1 Tracé en plan de l'oued :

Pour ce faire nous avons fait appel à Google earth afin de tracer l'axe de Oued Beni Azza objet de notre étude Comme montré sure la figure N°IV.1. Puis, nous avons enregistré le tracé de l'oued sous extension « .kmz » afin de pouvoir l'exploiter par le logiciel Global Mapper

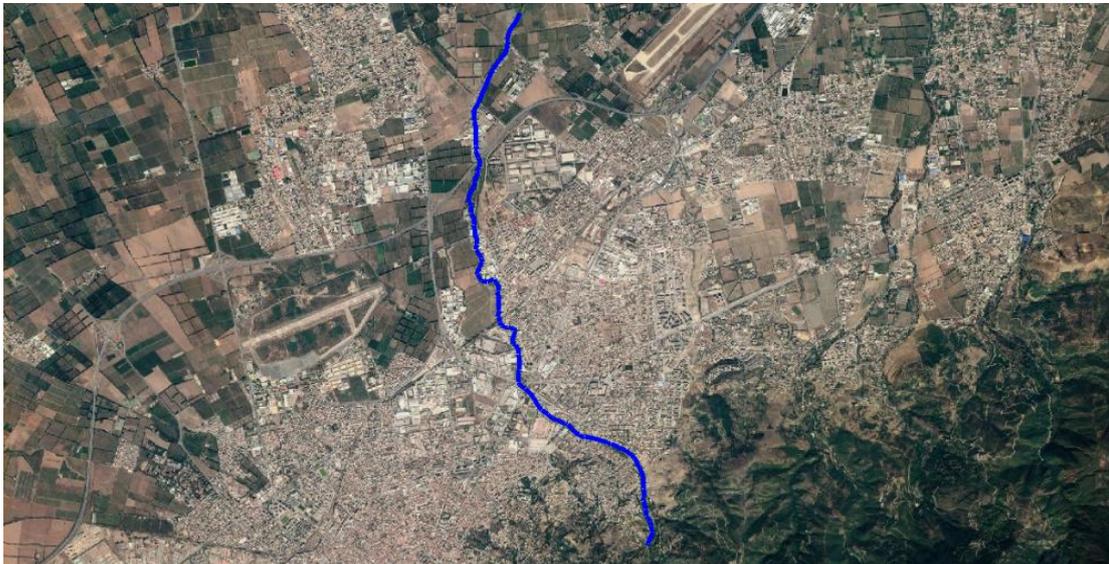


Figure N°IV.1 : Tracé en plan d'Oued Beni Azza (Source : Google Earth)

1.2 Téléchargement du Model SRTM

En utilisant le logiciel Global Mapper, nous avons téléchargé le modèle numérique du terrain (MNT) de notre zone d'étude comme le montre la figure N°IV.2.

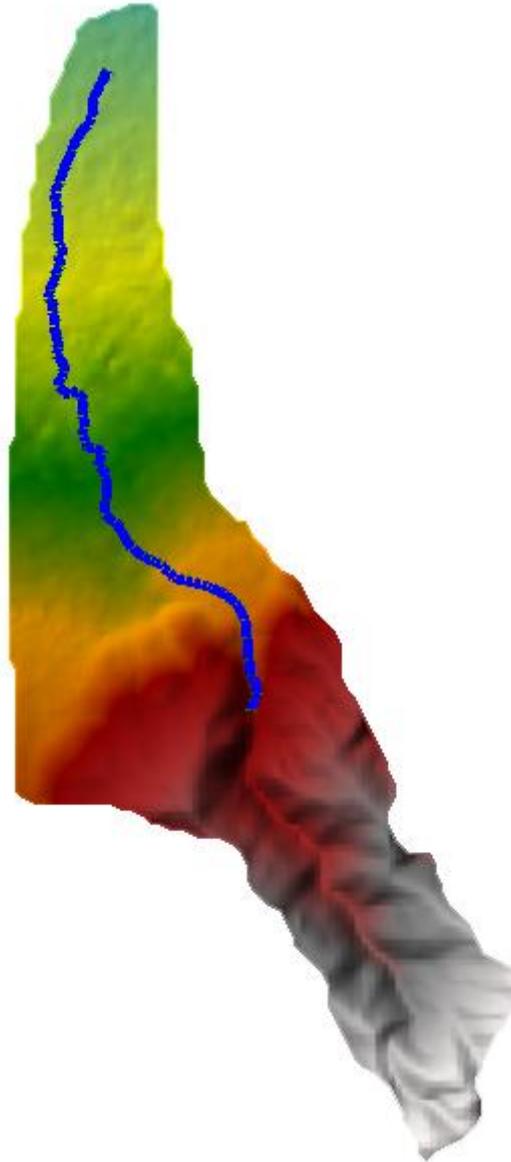


Figure N°IV.2 : Modèle Numérique du terrain MNT

1.3 Délimitation du bassin versant :

Afin de pouvoir délimiter notre bassin versant nous avons utilisé le logiciel Global Mapper qui se base sur la délimitation de la surface des sous bassin qui contribuent à l'écoulement dans le cours d'eau principal qu'est Oued Beni Azza. La figure N°IV 3 montre les sous bassin constituant le grand bassin versant ainsi que les cours d'eau secondaires.

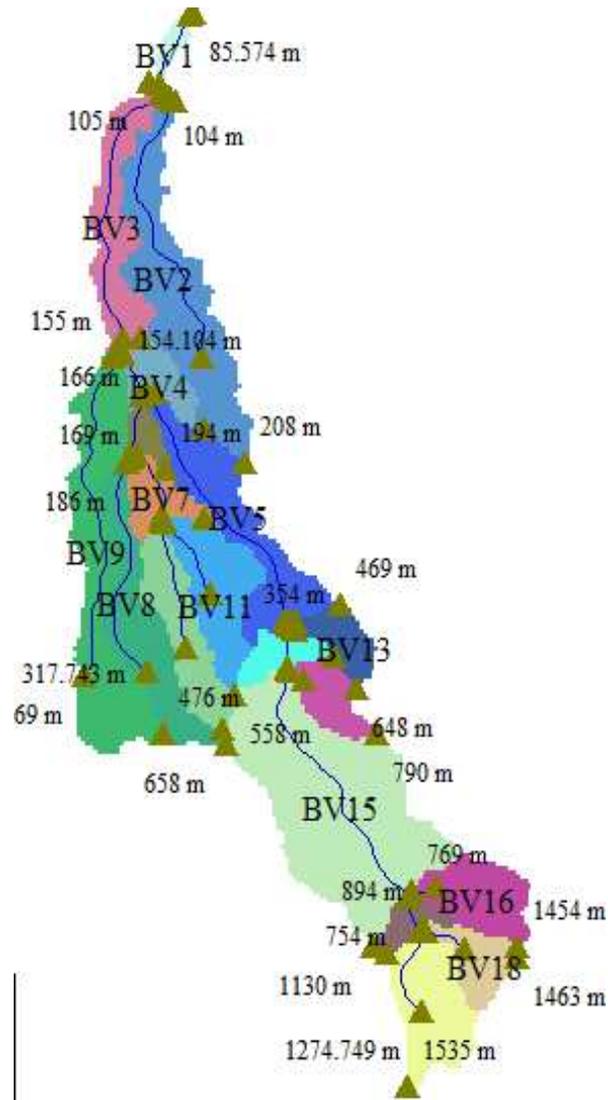


Figure N°IV.3 : Délimitation des sous bassins

1.4 Positionnement des stations :

En ouvrant Ras Mapper à partir du logiciel HEC RAS 6.0, nous avons chargé en premier lieu le MNT du terrain et le tracé en plan de l'oued, générés auparavant par Global Mapper. Sur le tracé de l'oued nous avons procédé à l'emplacement automatiques des stations (section en travers de l'oued) avec une distance régulière de 100 m. La numérotation des sections est de 0 à 8900 de l'aval vers l'amont.

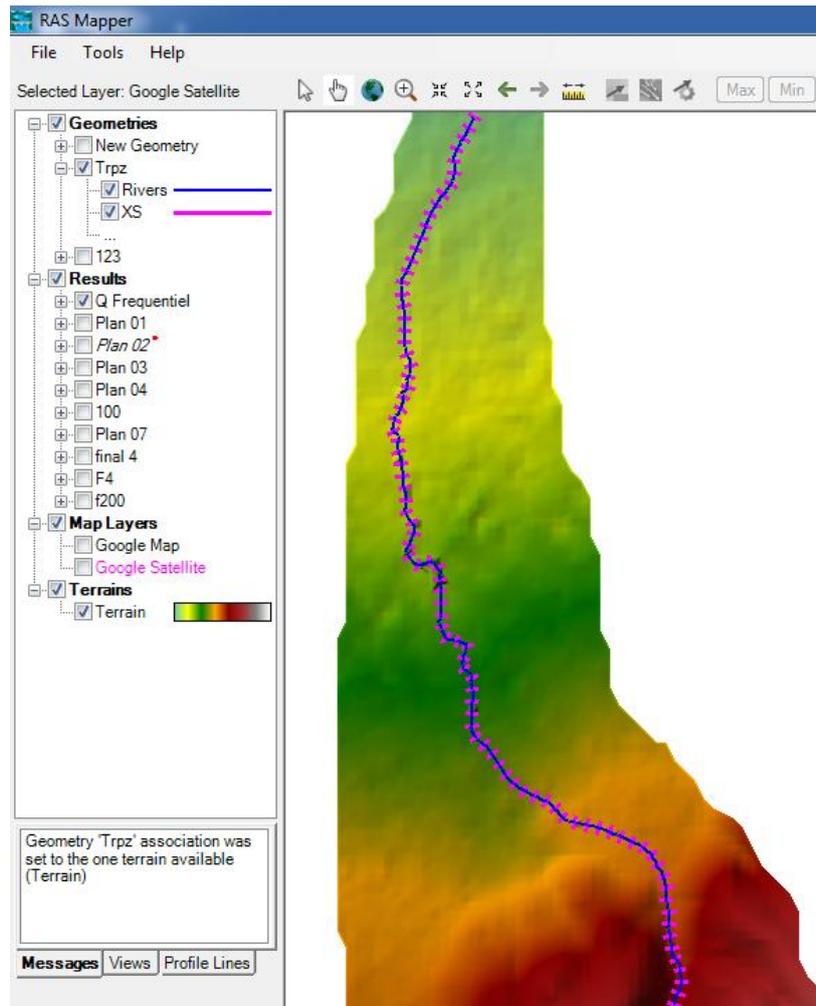


Figure N°IV.4 Emplacement des sections en travers de l'oued

1.4 Profil en long de Oued Beni Azza

Après avoir placé les sections en travers sur l'axe en plan de l'oued nous générons le profil en long de l'oued.

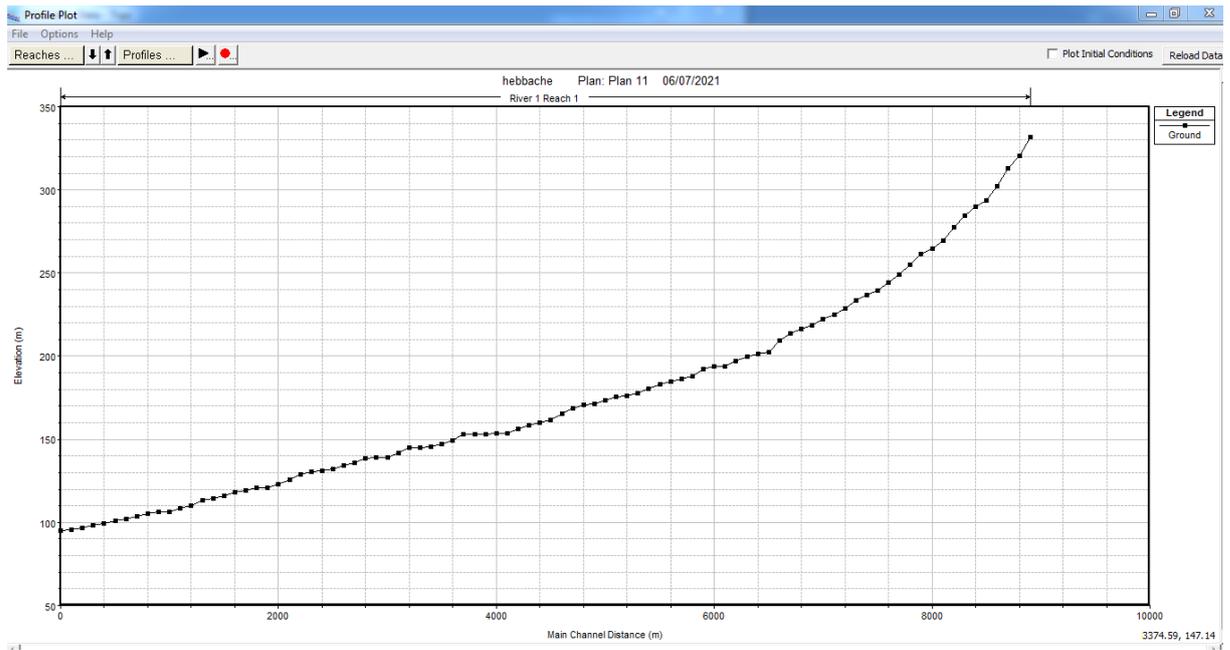


Figure N°IV.4 : Profil en long de Oued Beni Azza

1.5 Section type de l'aménagement existant de Oued Béni Azza.

Une partie de Oued Beni Azza est aménagée avec un canal en béton armé qui prend la forme d'une trapèze comme montré dans la figure N°IV.5. L'aménagement couvre, selon notre numérotation de section, la section numéro 5300 jusqu'à la section 7600 en allant de l'aval vers l'amont.

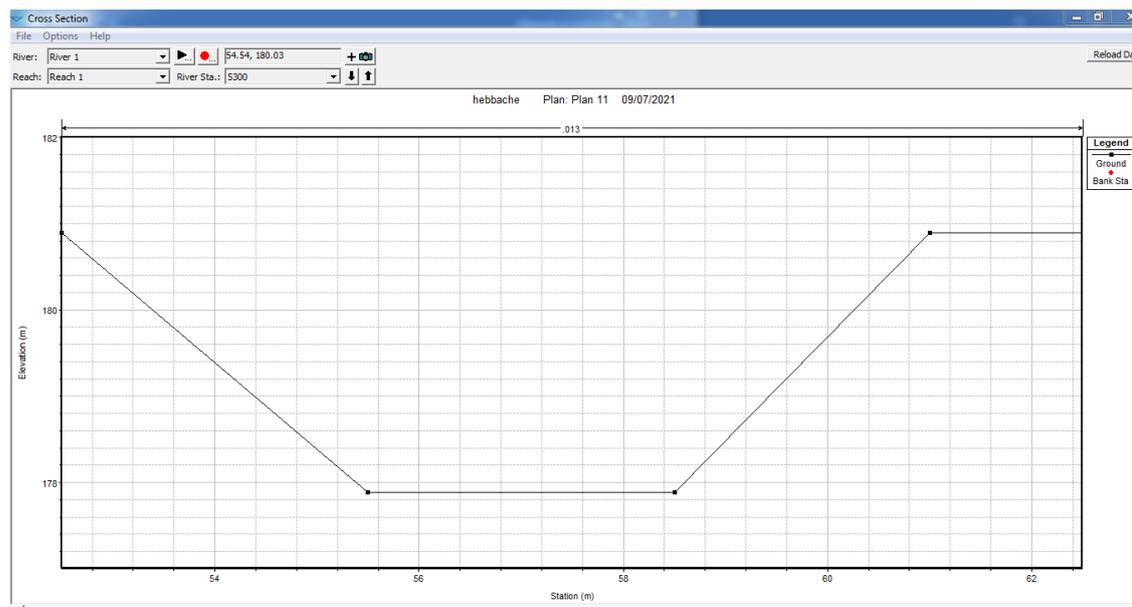


Figure N°IV.5 Section du canal existant



Figure N°IV.6 Partie Aménagée de l'oued

2. Introduction des données hydrauliques :

Après finalisation de la partie conception du modèle numérique du terrain, nous nous sommes passés à l'introduction des données hydrauliques relatives aux crues fréquentielles de périodes de retour 10, 100, 1000 et 10 000 ans à savoir les débits max générés par chaque sous bassin. Nous considérons que l'écoulement est permanent.

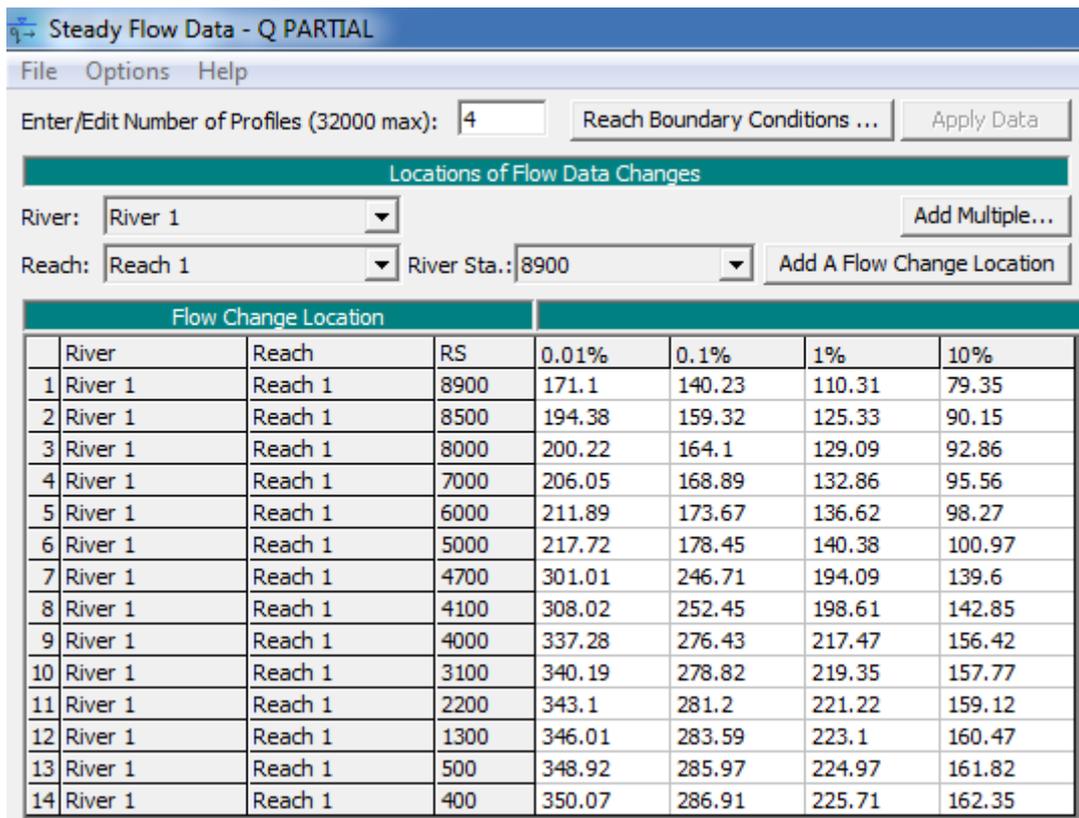


Figure N°IV.7 Introduction de débits max

3. Introduction des conditions aux limites :

Les conditions aux limites sont indispensables pour la résolution des équations qui régissent l'écoulement. Par hypothèse nous considérons que l'écoulement est normal dans les deux section amont et aval de notre domaine d'étude. Donc la pente hydraulique est égale à la pente géométrique du cours d'eau.

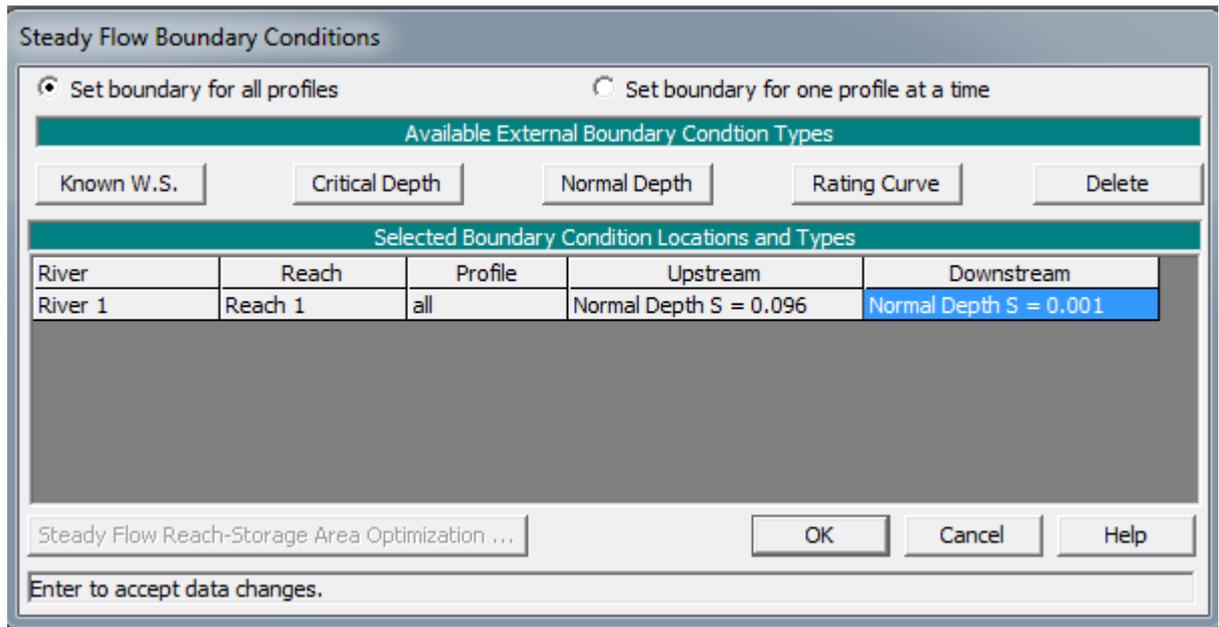


Figure N°IV.7 Introduction des conditions aux limites amont et aval

4. Lancement de la simulation :

Après avoir terminé l'introduction des données hydrauliques et conditions aux limites nous lançons la simulation de l'écoulement en régime mixte.

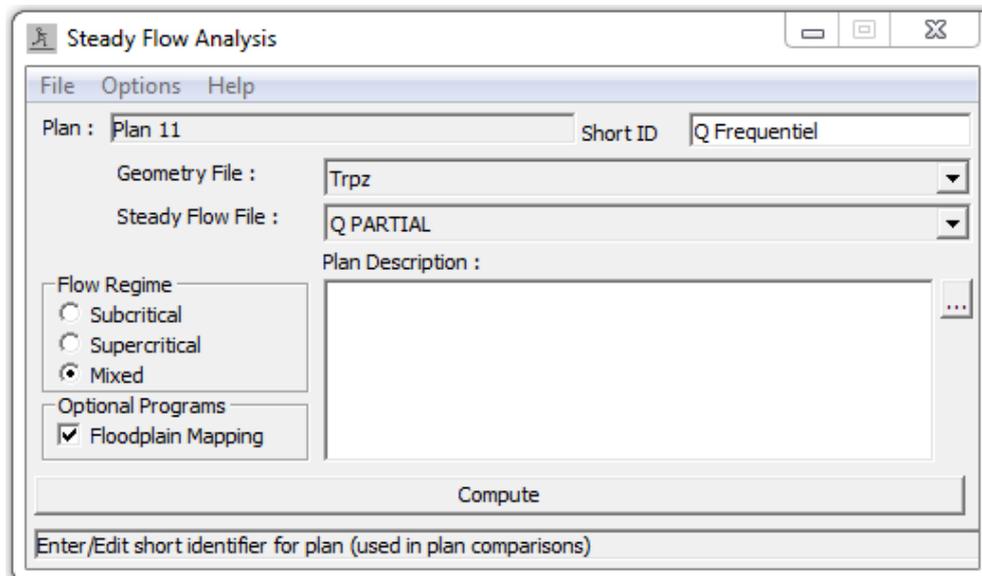


Figure N°IV.8 Lancement de la simulation

5. Rapport de la simulation

Un rapport est émis par le logiciel qui montre que le processus de simulation a été effectué sans erreurs.

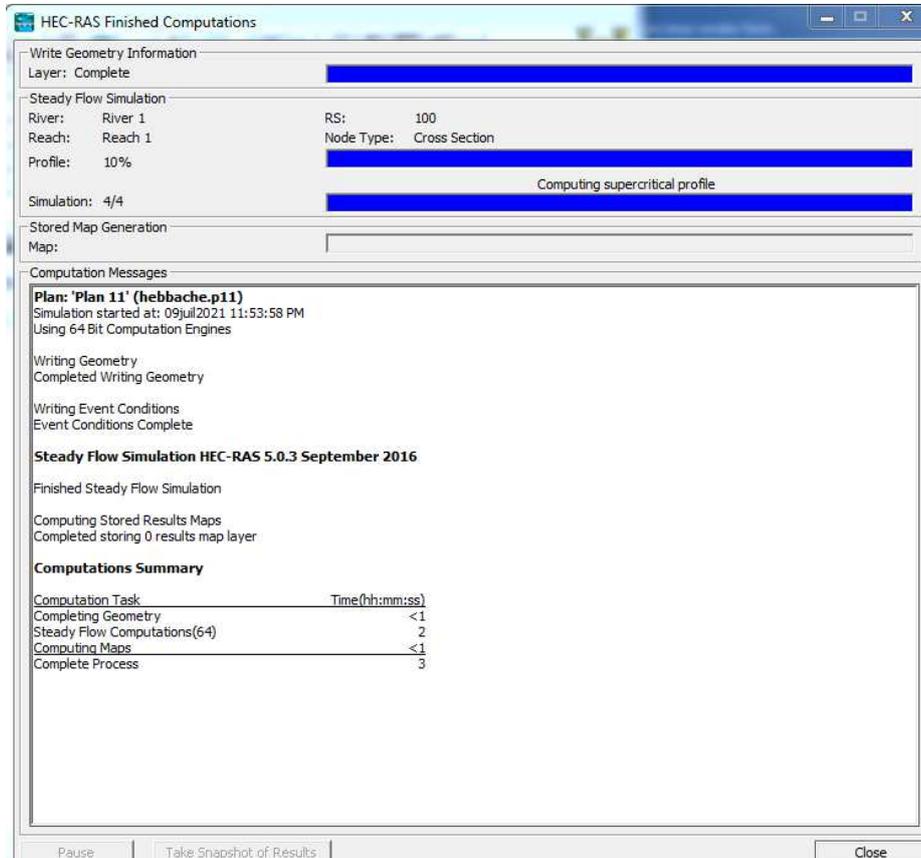


Figure N°IV.9 Rapport de simulation

Résultats et discussion :

La simulation hydraulique du comportement de l'ouvrage existant a été faite en tenant compte les débits max des crues fréquentielles de différente période de retour.

Crues fréquentielle 10 % (T=10 ans) :

Le résultat de calcul de la ligne d'eau est représenté sur le profil suivant :

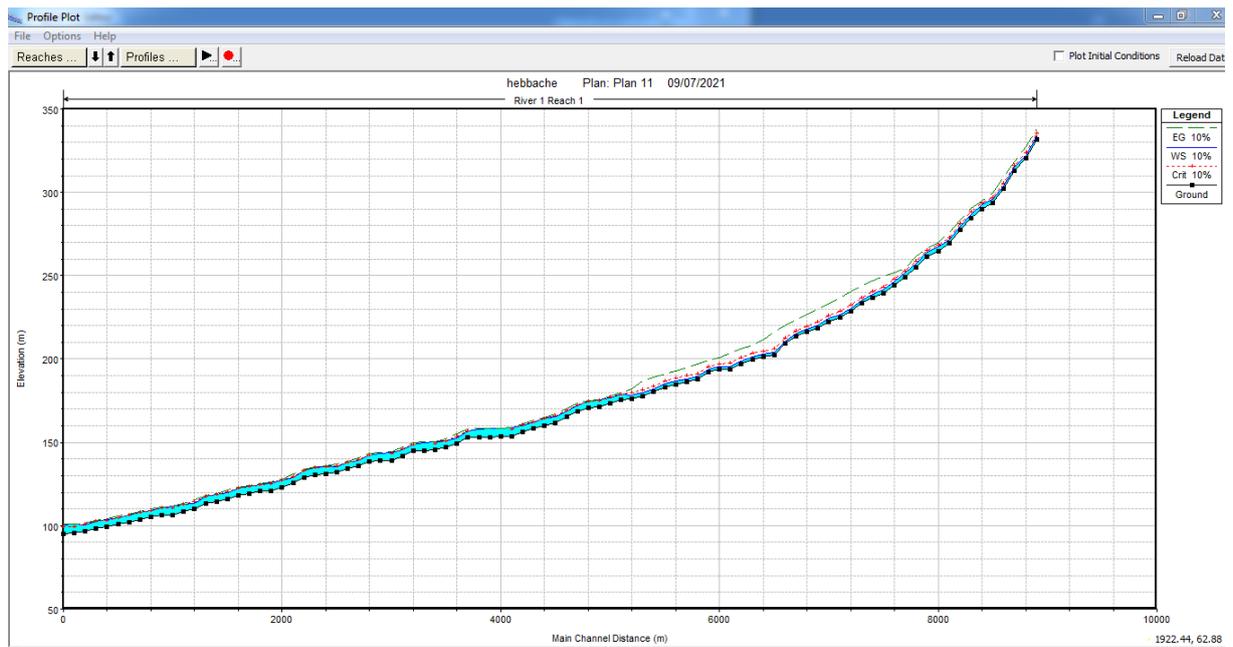
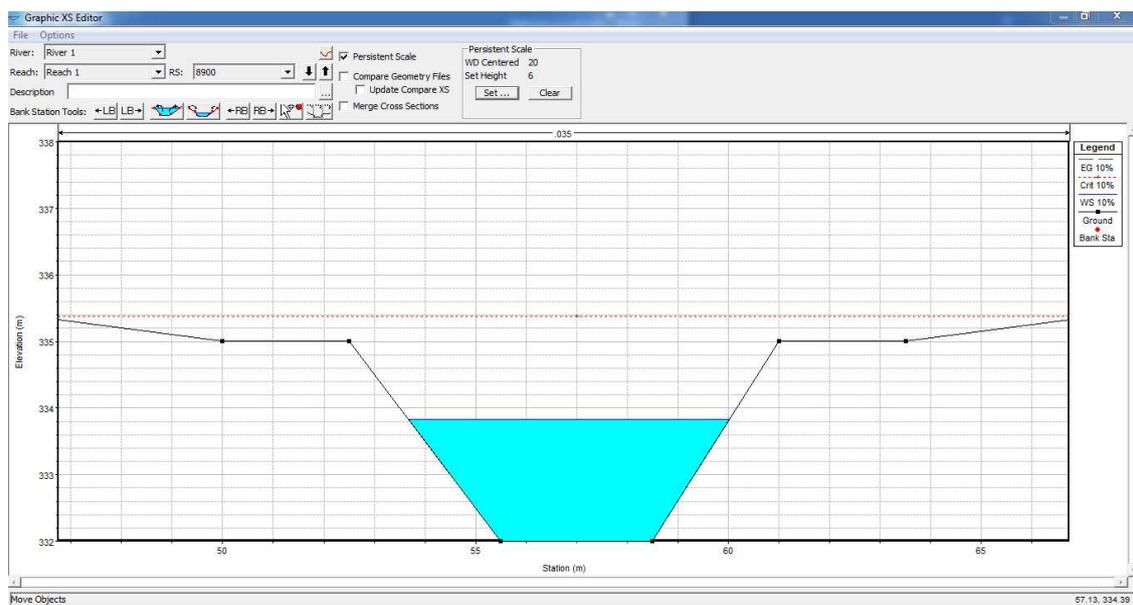
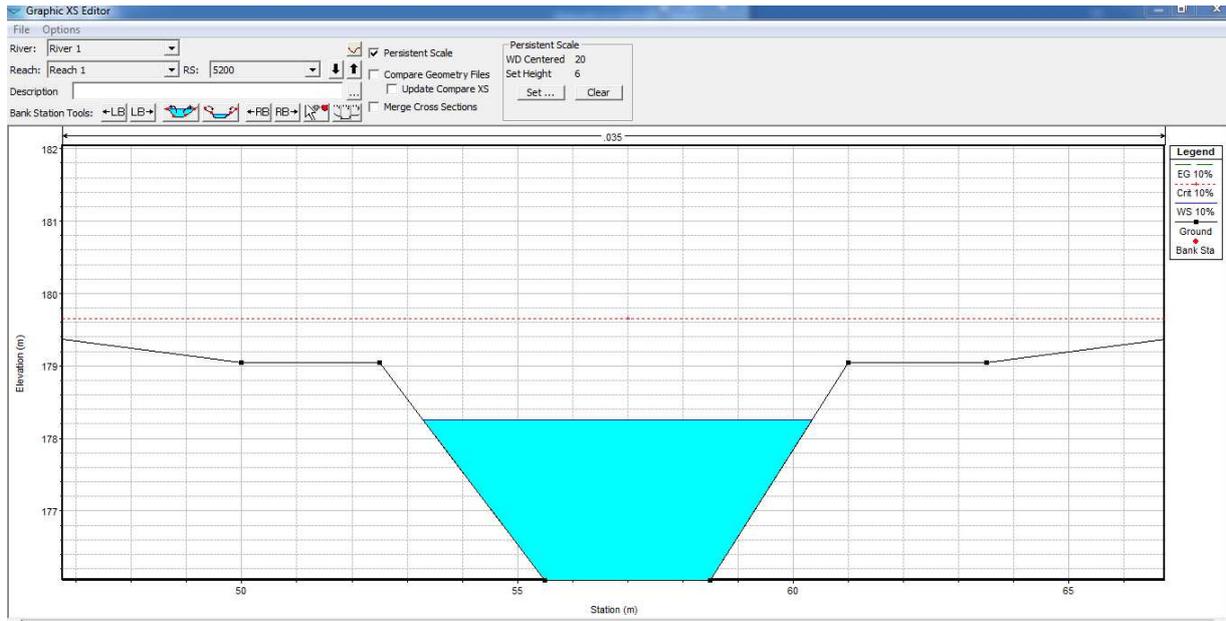
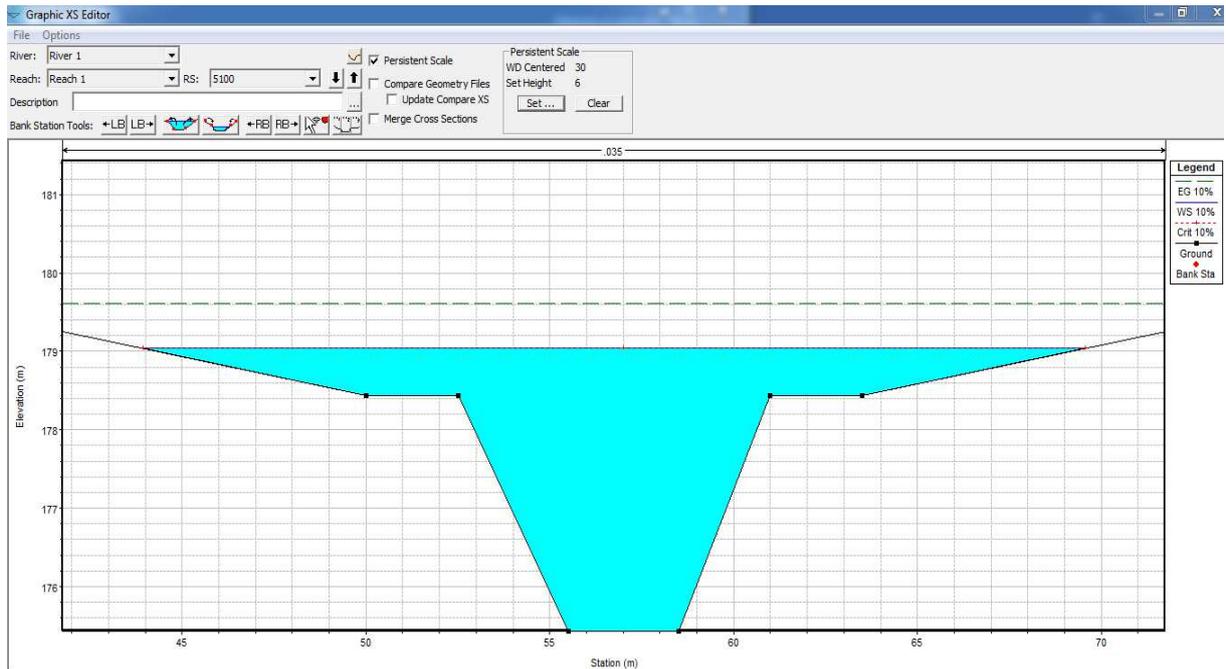


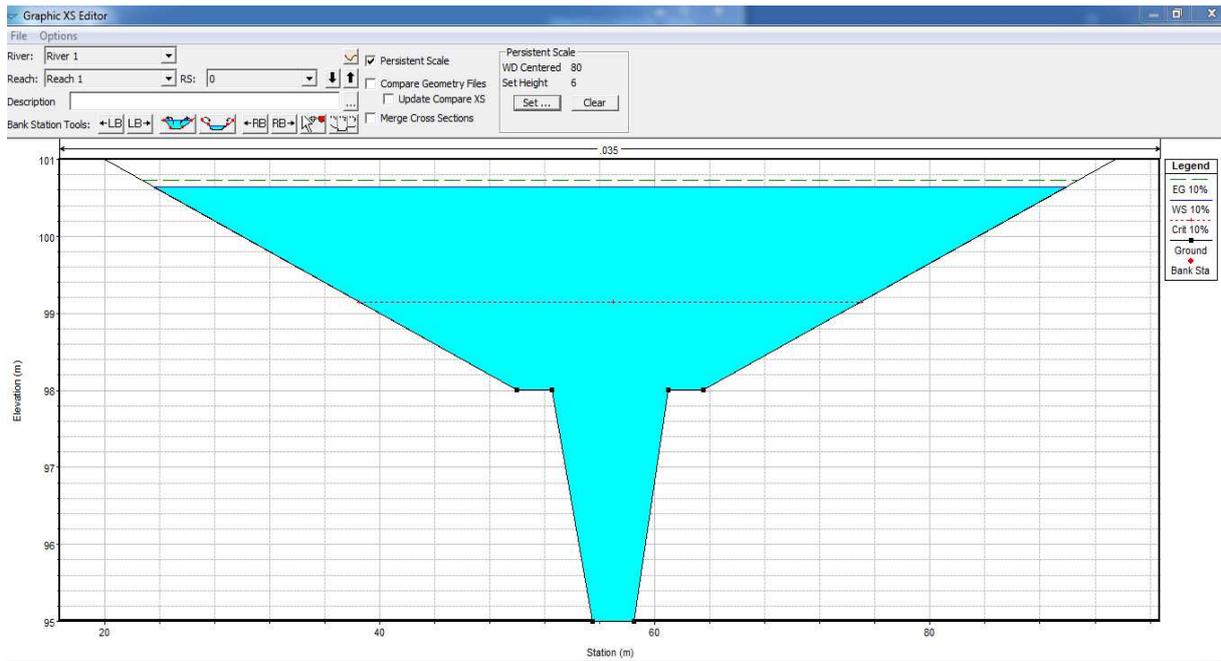
Figure De la section N°8900 jusqu'à la section 5200 : le canal véhicule correctement la crue fréquentielle 10 % de période de retour 10 ans.





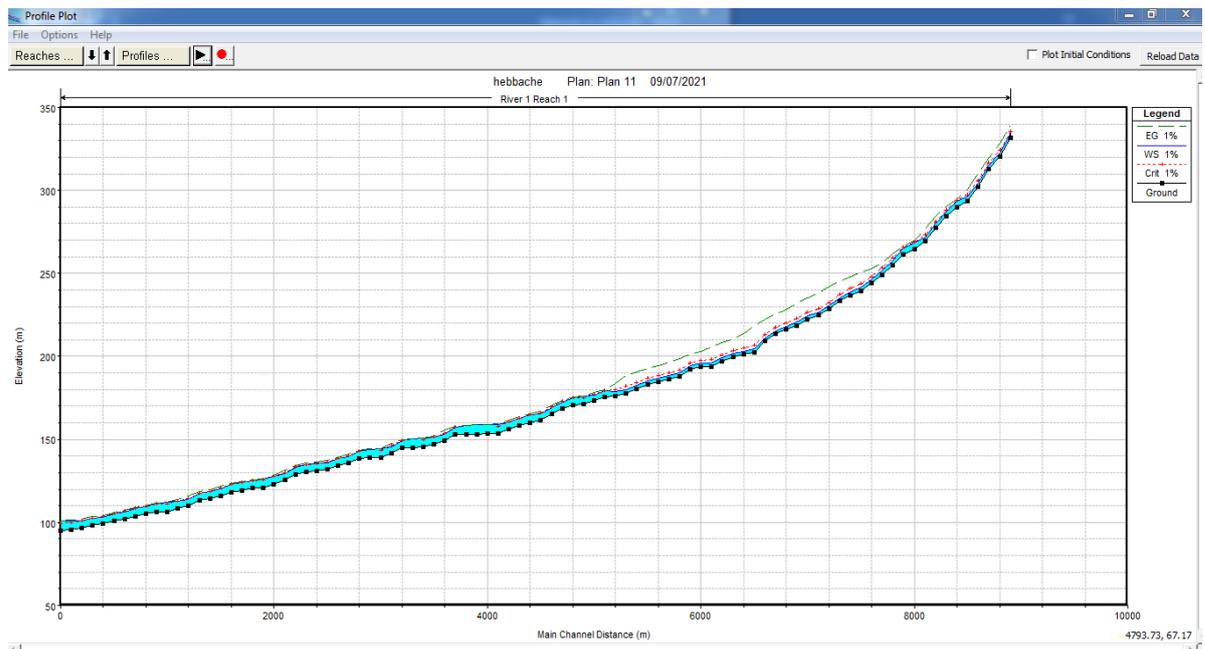
De la section 5100 à la section 0 : On constate le débordement du lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la section mouillée au niveau de station 0 dépassant les 63 m et une hauteur de remplissage dépassant les 4.30 m



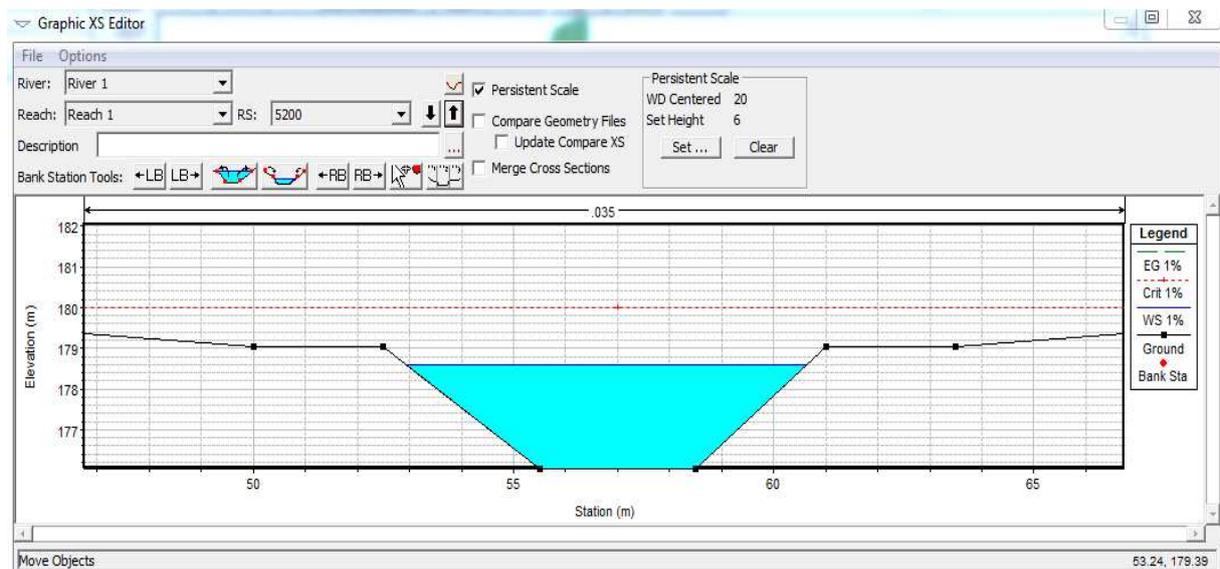
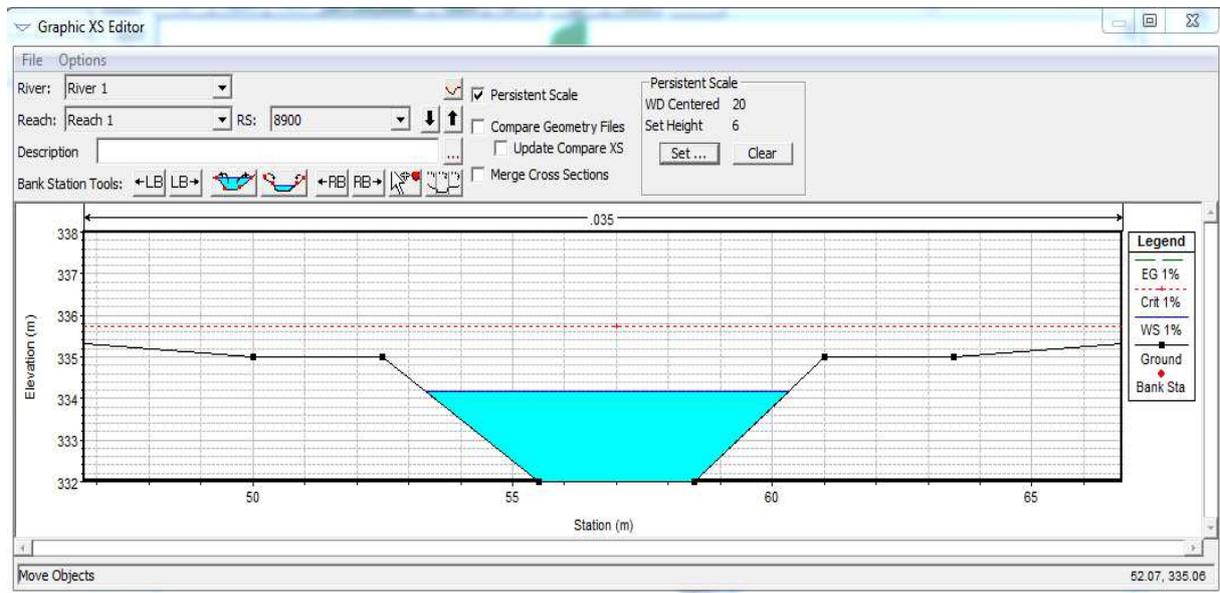


Crues fréquentielle 1 % (T=100 ans) :

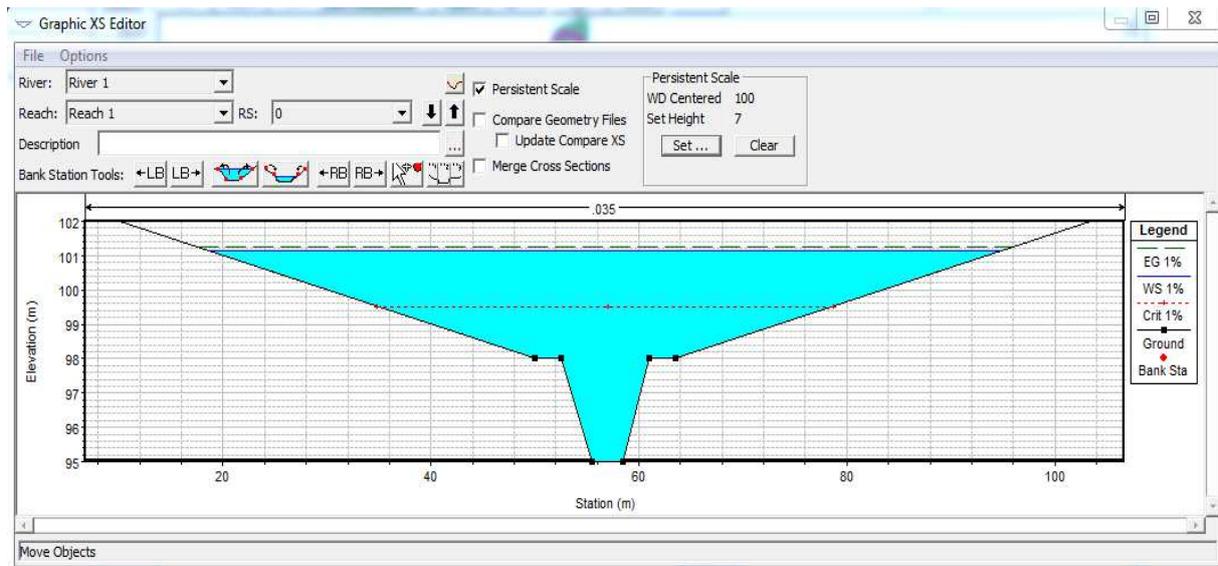
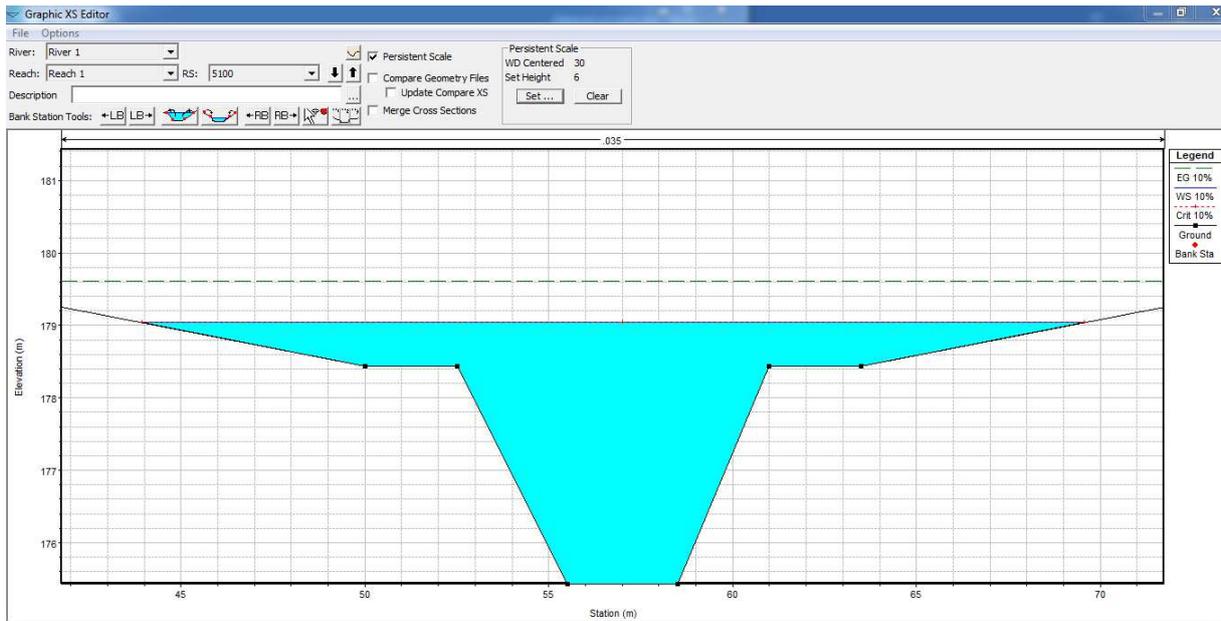
Le résultat de calcul de la ligne d'eau est représenté sur le profil suivant :



De la section N°8900 jusqu'à la section 5200 : le canal véhicule correctement la crue fréquentielle 1 % de période de retour 100 ans.

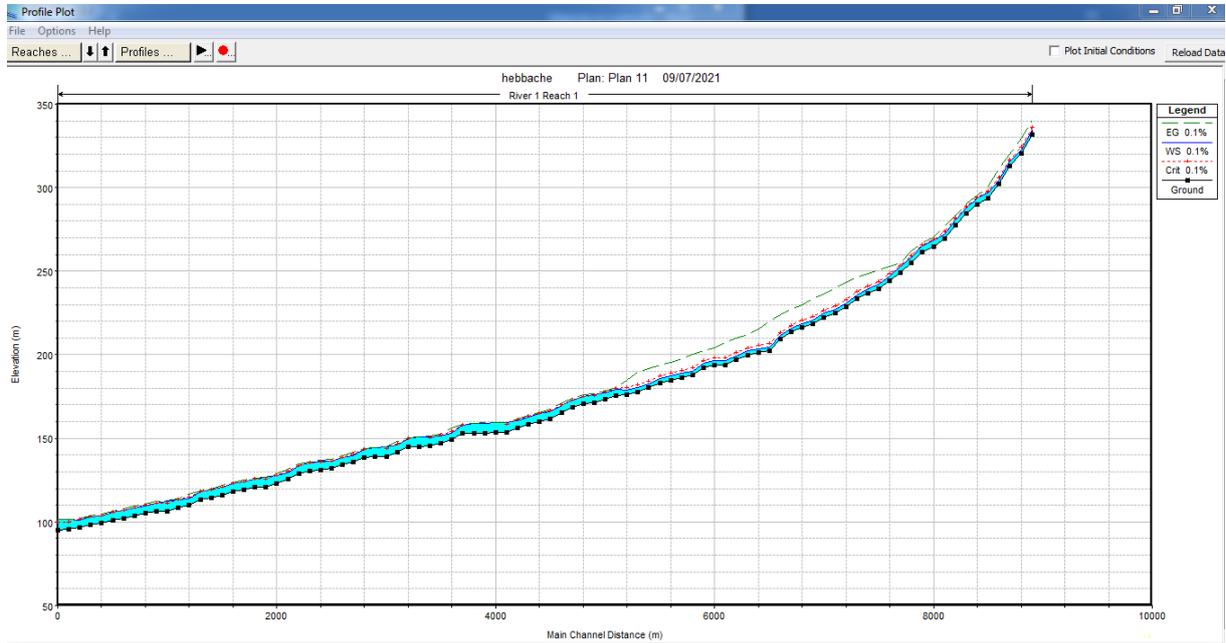


De la section 5100 à la section 0 : On constate le débordement du lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la section mouillée au niveau de station 0 dépassant les 76 m et une hauteur de remplissage de plus de 6 m.

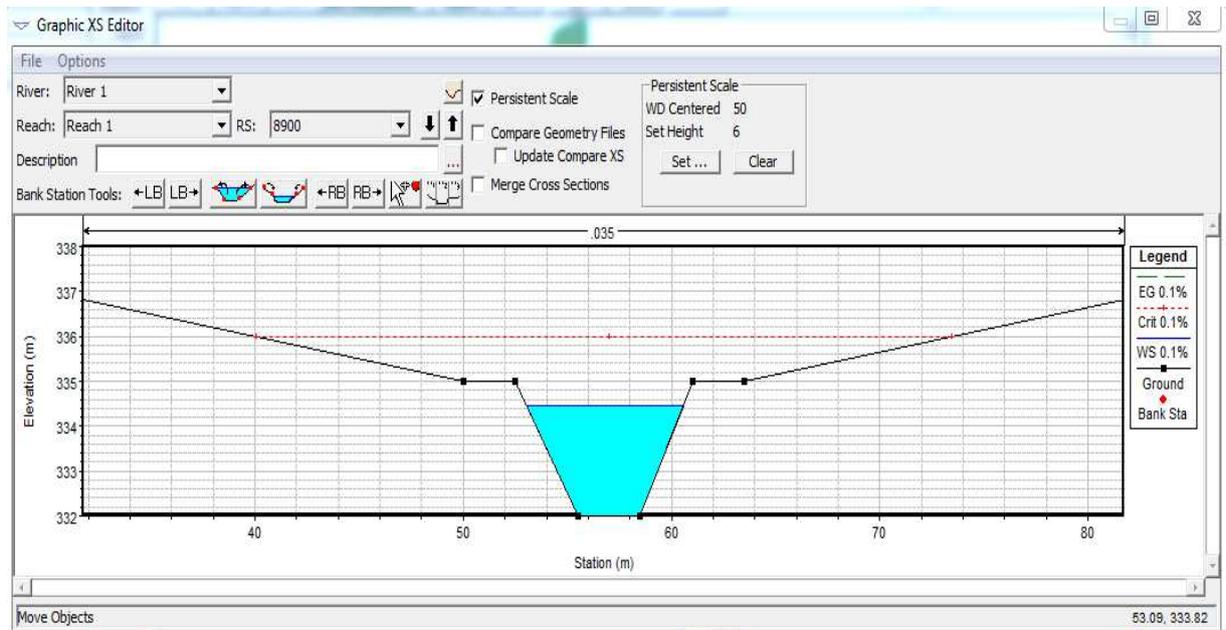


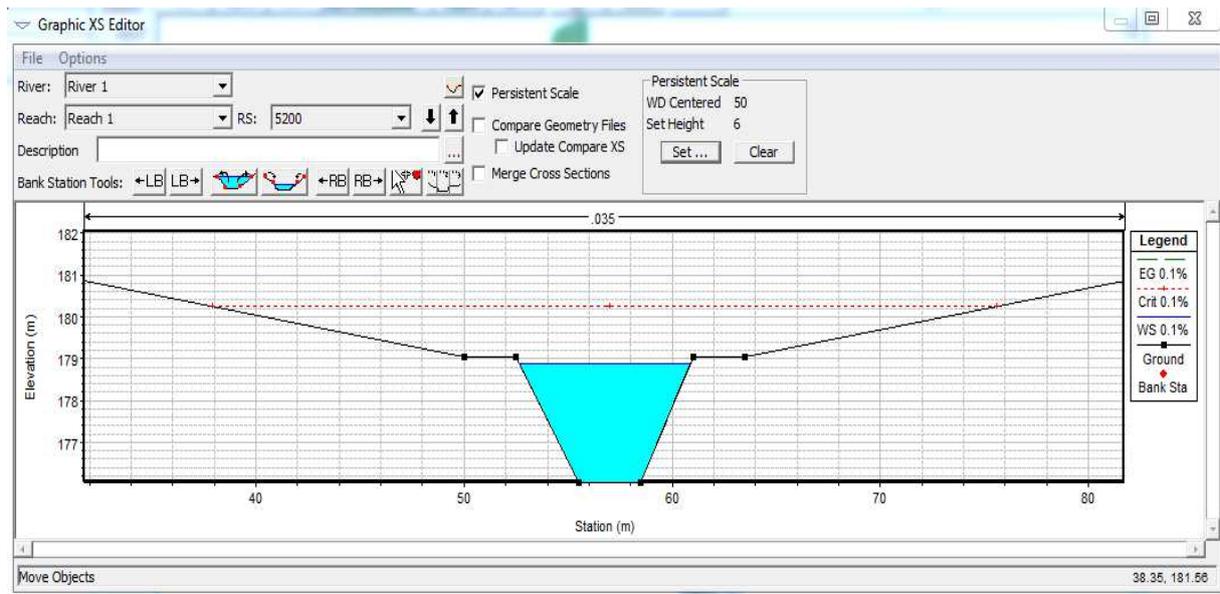
Crues fréquentielle 0.1 % (T=1000 ans) :

Le résultat de calcul de la ligne d'eau est représenté sur le profil suivant :

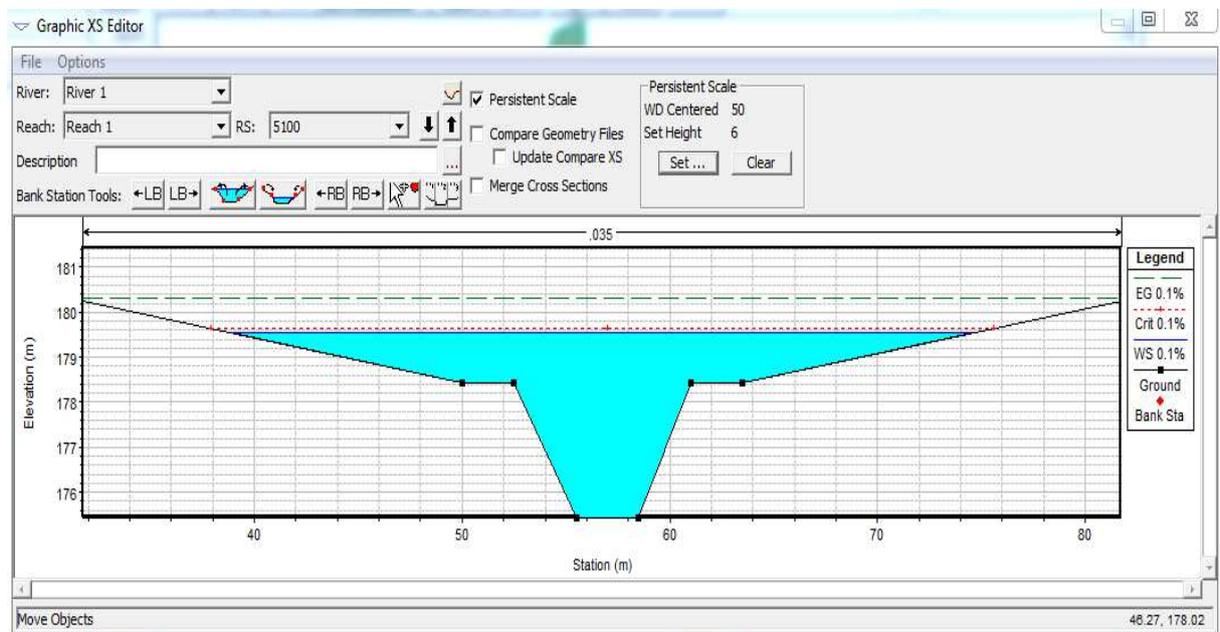


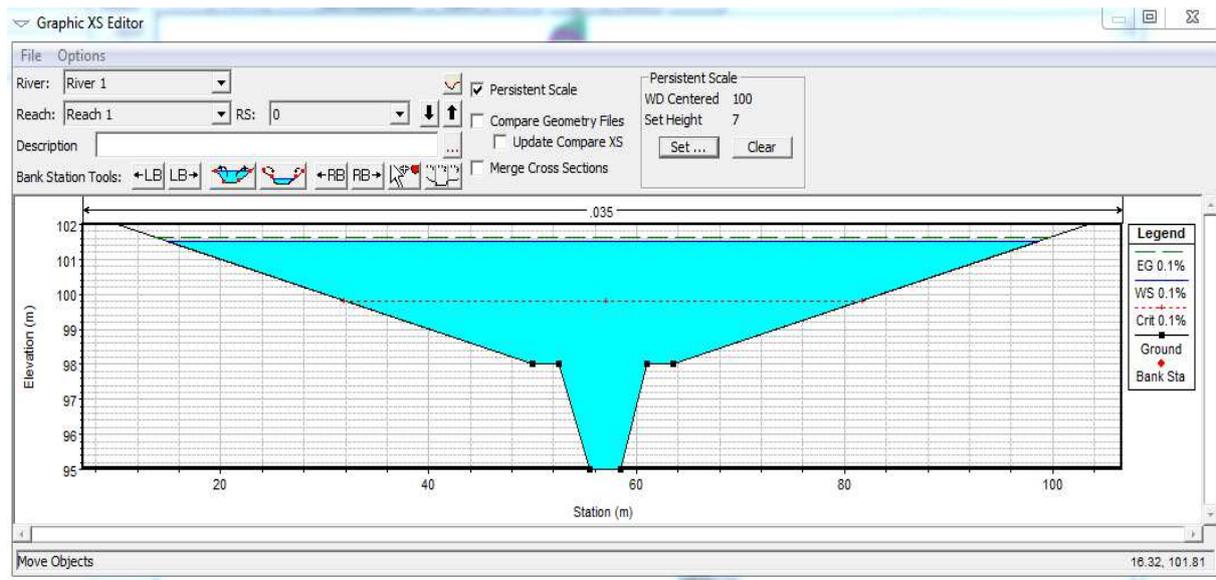
De la section N°8900 jusqu'à la section 5200 : le canal véhicule correctement la crue fréquentielle 0.1 % de période de retour 1000 ans.





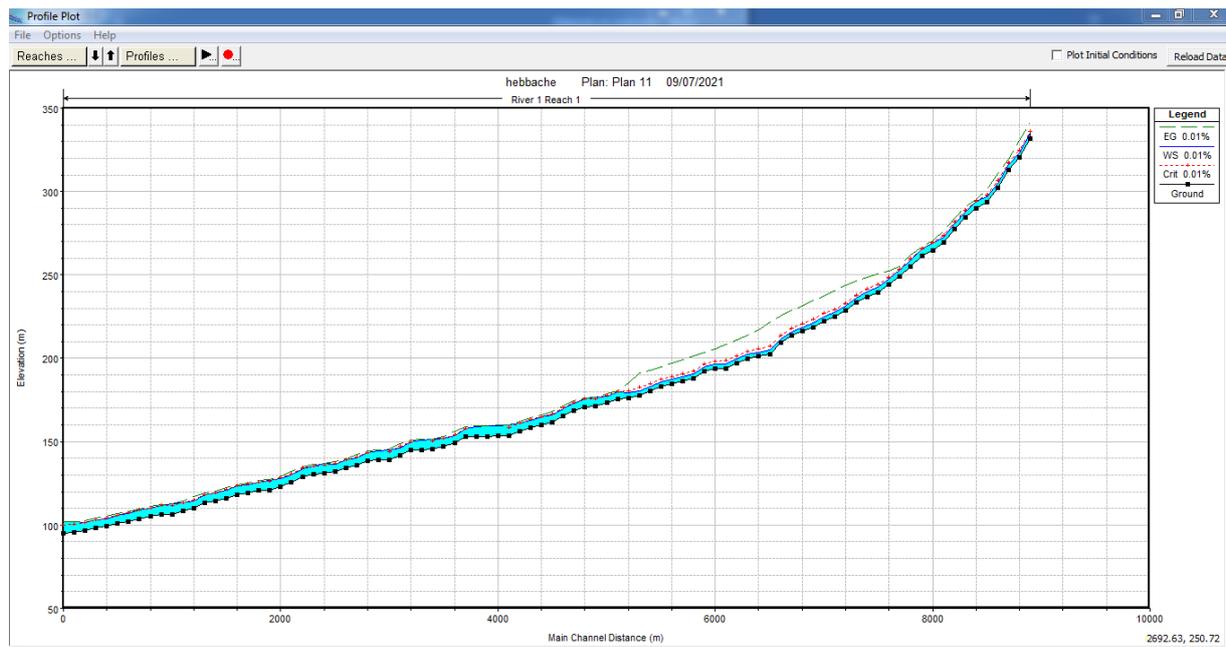
De la section 5100 à la section 0 : On constate le débordement du lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la section mouillée au niveau de station 0 dépassant les 84 m et une hauteur de remplissage de plus de 6.50 m.



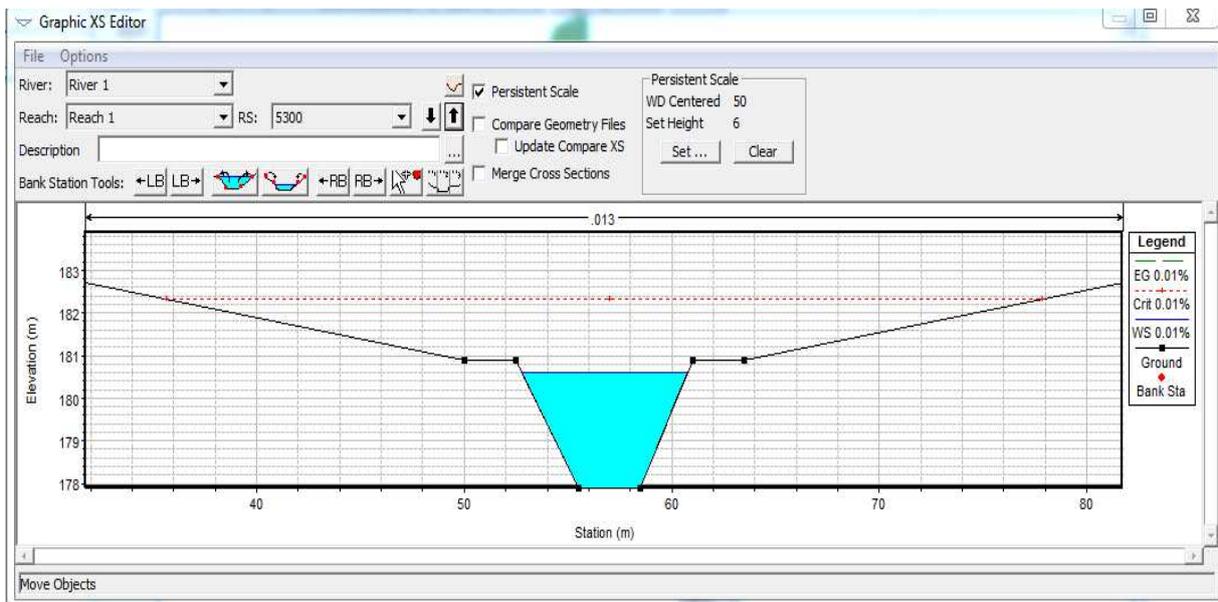
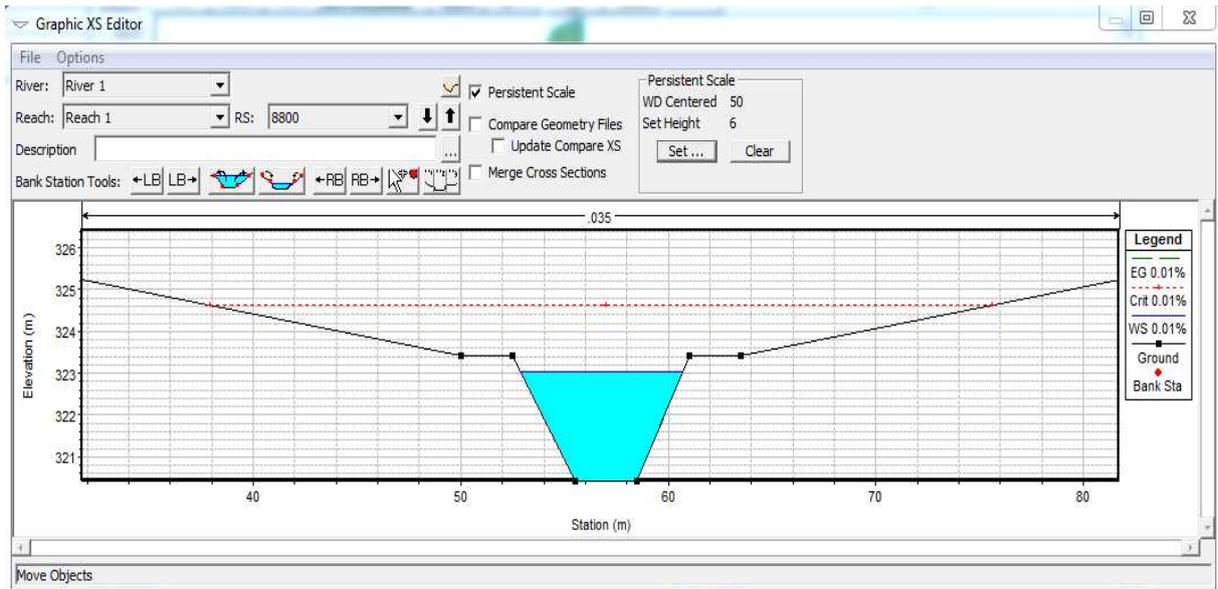


Crues fréquentielle 0.01 % (T=10 000 ans) :

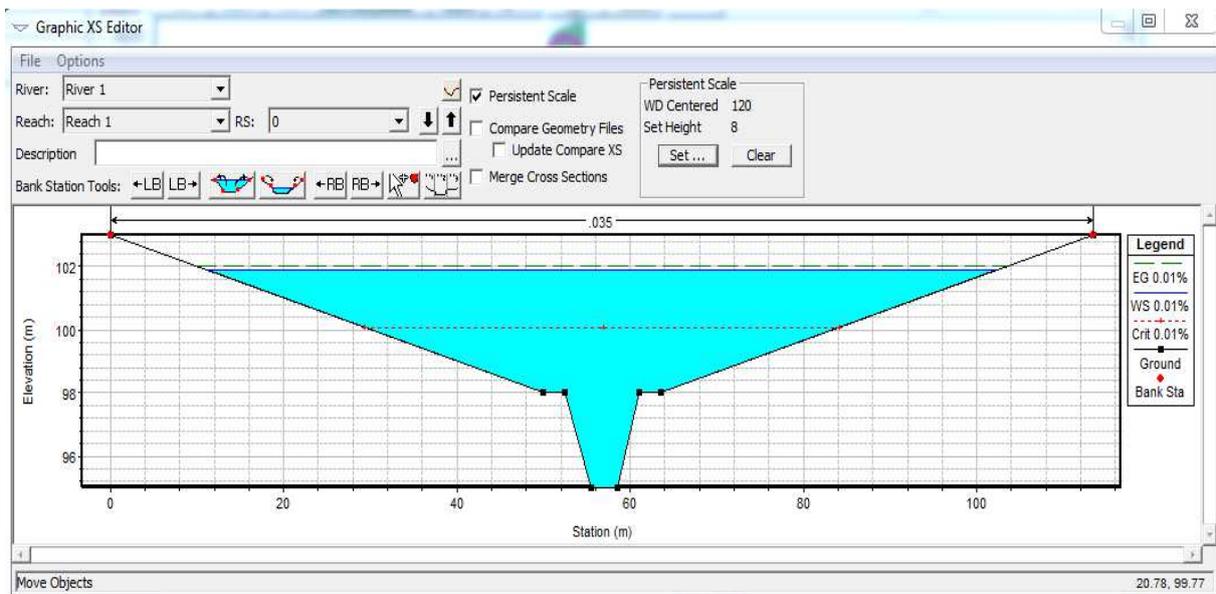
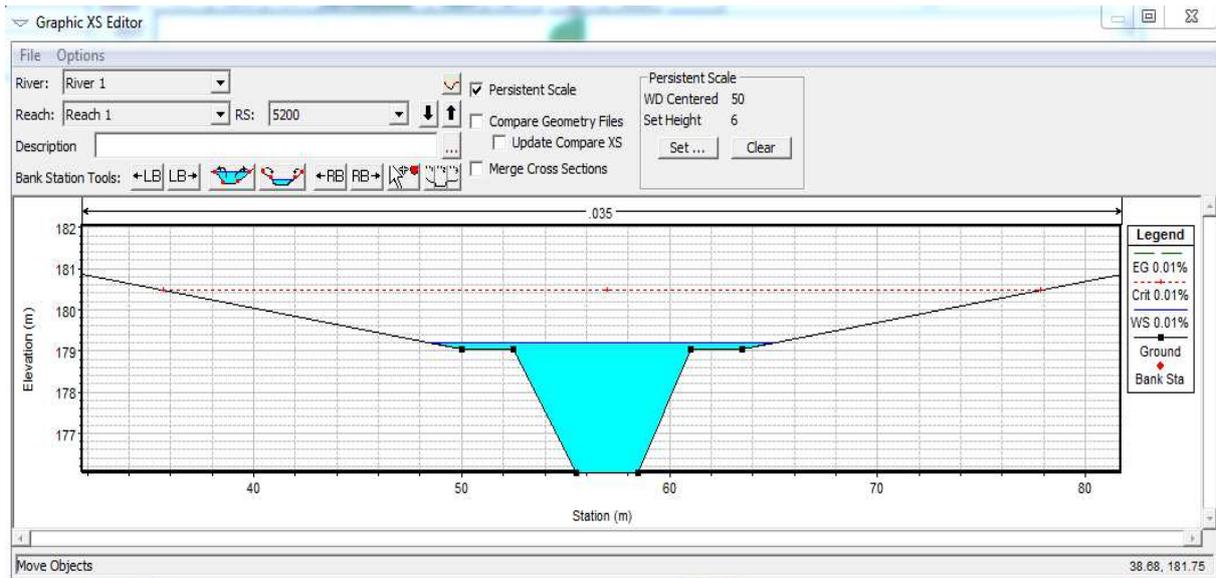
Le résultat de calcul de la ligne d'eau est représenté sur le profil suivant :



De la section N°8900 jusqu'à la section 5300 : le canal véhicule correctement la crue fréquentielle 0.01 % de période de retour 10 000 ans.



De la section 5200 à la section 0 : On constate le débordement du lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la section mouillée au niveau de station 0 dépassant les 91 m et une hauteur de remplissage de plus de 6.80 m.



Chapitre V Conclusion générale :

Conclusion générale :

A la lumière de ce projet de fin d'étude nous avons étudié la performance d'un système de protection contre les inondations dans la ville de Blida dont on a choisi comme partie d'étude Oued Beni Azza qui se trouve aménagé avec un canal en béton armé de forme trapézoïdale.

En effet, comme l'étude l'exige, nous avons commencé notre travail par un aperçu bibliographique sur la problématique d'inondation d'une manière générale et plus particulièrement en Algérie. Cette Partie nous a permis de mettre en relief les différentes anomalies constatées pratiquement dans toutes les régions ayant subies des inondations.

Par la suite, une présentation de la zone d'étude était plus qu'indispensable afin d'identifier les parties concernées par notre étude et de collecter les données nécessaires au bon déroulement de cette dernière.

Aussi, l'étude hydrologique était inéluctable afin de calculer les débits des crues fréquentielles qui constituent un plateau de démarrage dans le processus d'étude de la performance de l'aménagement déjà mis en place.

Dans la dernière partie, nous sommes passées à la modélisation et simulation hydraulique de Oued Béni Azza vis-à-vis les crues fréquentielles dont on a constaté que la partie Aménagé de l'oued véhicule normalement les débits max provenant des sous bassins. Par contre, nous avons enregistré des inondations dans les parties non aménagée surtout en aval de l'oued.

Par le biais de ce modeste travail, nous espérons avoir contribué à l'amélioration de la qualité des études de protection contre les inondations et que notre document attirera l'attention des décideurs.