

Université Mohamed khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique
Référence :...../ 2018

جامعة محمد خيضر- بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع:...../ 2018



Mémoire de Master
Spécialité : Hydraulique.
Option : Hydraulique Urbaine

Thème :

**Etude du risque inondation dans la zone urbaine de Biskra
Ouest**

Etudiant:

KACHROUD Bouthaina

Encadreurs:

•Pr.BENKHALED Abed El Kader.

Promotion: Juin 2018

REMERCIEMENTS

Avant tous, je tien remercie Allah, le tout grand et puissant qui m'a aidé à arriver à ce moment.

Mes sincères remerciements s'adressent à mon promoteur du thème, Professeur BENKHALED Abed El Kader, Professeur à l'université de Biskra en département d'hydraulique. Qui a voulu suivre et dirigé sérieusement de son travail de direction le thème, pour son soutien moral, ses critiques constructives, ses orientations, ainsi pour la confiance qu'il m'a accordée, et ses encouragements et pour ses précieux conseils qui m'ont permis de mener à ce travail.

Je voudrais également de remercier mes enseignants du département d'hydraulique de l'Université de Biskra, ainsi que mon professeur Monsieur BOUZIANE Toufik.

A l'issu de ce travail, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à ma famille, à mes collègues au laboratoire et à toutes les personnes qui m'ont aidé, pour mener à bien ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers, père et mère, qui sans eux rien n'aurait
pu être fait,

A mon cher frère et mes chères sœurs,

A tous mes collègues et amis réels et sur facebook,

A tous ceux qui

me sont chers

et ceux que j'aime.

Résumé:

Les inondations se manifestent souvent suite aux débordements des cours d'eau, habituellement à sec (les Oueds) dans les régions arides et semi arides en Algérie, comme Ghardaïa, Tamanrasset et Biskra. Au cours des dernières décennies, elles apparaissent de plus en plus fréquemment en zone urbaine, causant des pertes humaines et matérielles.

L'oued « Zmor » dans la zone Ouest de Biskra représente un type de risque d'inondation. Il est parmi les défis majeurs qu'affronte cette ville. Dans ce contexte, l'étude se propose d'élaborer un MNT de la zone considérée, et d'étudier l'évolution de la pluviométrie et ce malgré l'absence de stations pluviométriques. Les résultats trouvés indiquent que la zone d'étude a influencé par des facteurs d'aléa inondation, et la précipitation journalière maximale enregistrée à la station Biskra, soit 66,1mm avec une période de retour de 50 ans.

Mots clés: Risque inondation, MNT, courbes IDF, oued Zmor, Biskra.

ملخص:

كثيرا ما تظهر الفيضانات كنتيجة لتدفق السيول و الأنهار خاصة في المناطق القاحلة والشبه القاحلة في الجزائر، مثل غرداية، تمنراست وبسكرة. خلال العقود الأخيرة ظهرت هذه الأخطار بشكل متزايد في المناطق الحضرية مما يتسبب في خسائر بشرية و مادية.

يمثل واد "الزمر" في المنطقة الغربية من بسكرة نوعا من أخطار الفيضان، إنه من التحديات الرئيسية التي تواجه مدينة بسكرة. في هذا السياق، تقترح الدراسة نموذج رقمي لتضاريس المنطقة التي تم دراستها و إعداد منحنيات توقع التساقط وهذا على الرغم من عدم وجود محطات تسجيل التساقط. النتائج المحصل عليها أظهرت وجود عدة عوامل لخطر الفيضان في المنطقة الغربية لولاية بسكرة ، كما بينت النتائج المتحصل عليها أن التساقط الأعظم اليومي المسجل في محطة بسكرة قدر بـ 66.1 مم بزم من عودة مقدر بـ 50 سنة.

الكلمات المفتاحية: خطر الفيضان، نموذج رقمي للموقع، منحنيات الشدة-المدة-التردد، واد الزمر، بسكرة.

Introduction Générale

L'Algérie est l'un des pays exposés aux effets néfastes de la dynamique fluviale comme les inondations. Parmi les quatorze risques majeurs répertoriés par l'ONU, le risque d'inondation en Algérie fait partie des dix risques majeurs présents sur le territoire et cités par la loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion catastrophes dans le cadre du développement durable (J.O.R.A, 2004). Il est deuxième en position après le séisme et les risques géologiques dans le classement national des risques majeurs, vu l'ampleur des dégâts matériels et immatériels engendrés.

Plusieurs régions en Algérie souffrent de cette catastrophe. On peut citer: Ghardaïa, Bab el-oued, Tamanrasset, Biskra, Bechar, Sidi bel Abbes. Elles se manifestent souvent suite aux débordements des cours d'eau habituellement à sec (les Oueds) caractérisant les régions arides et semi arides en Algérie. Malheureusement, au cours des dernières décennies, elles apparaissent de plus en plus fréquemment en zone urbaine, causant des pertes humaines et matérielles.

L'étude des inondations dans les régions arides et semi-arides représente un sujet épineux à cause du manque des données et de la variabilité aléatoire des scénarios hydrologiques. Malgré leur faible pluviosité, les bassins de ces régions forment un ensemble où les phénomènes de ruissellement sont importants et alimentent un réseau des oueds très actifs.

L'oued « Zmor » en Biskra représente un type de risque d'inondation. Il est parmi les défis majeurs qu'affronte la ville de Biskra. Celle-ci le tissu urbain est composé des bâtiments, des routes, et d'équipements publics plus ou moins exposants aux inondations importants, ce qui influe sur la situation économique et sociale de cette région.

Cette étude a pour but d'apporter quelques réponses à la problématique d'inondation de l'oued Zmor, par la concrétisation des actions suivantes:

Introduction générale

I/ Un modèle numérique du terrain (MNT) sera réalisé afin de permettre une meilleure connaissance du terrain en présentation du réseau hydrographique sur la zone d'étude.

II/ Réalisation des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF). C'est l'un des objectifs du ce mémoire afin de déterminer l'intensité, la durée et la fréquence ou l'occurrence des inondations dans la zone d'étude. Cette étape représente un enjeu important du fait que la zone considérée ne dispose d'aucune station pluvio ou station de jaugeage. Ainsi, l'aléa climatique sera pris en compte en vue d'une meilleure connaissance des quantités précipitées.

Le travail a été scindé en quatre chapitres. Le premier concerne le risque hydrologique. Le second chapitre est une présentation de la zone d'étude. Le troisième chapitre constitue la contribution principale de ce travail. C'est une description de l'oued aboutissant à un modèle numérique du terrain. Le quatrième chapitre et le dernier s'intéresse à l'établissement des courbes IDF.

Introduction

Il est assez difficile d'évoquer le risque hydrologique de façon exhaustive, dans ce chapitre nous essayons de tirer les éléments importants et nécessaires en bref afin de comprendre le risque hydrologique et donner une vue globale sur les composants et les facteurs du risque hydrologique.

1.1. Le risque hydrologique

1.1.1 Définition du risque hydrologique

Le risque hydrologique est un phénomène naturel potentiellement destructeur où le risque présente par rapport une population donnée qu'elle répond au concept probabiliste développé dans les années 1950 par les scientifiques qui ont défini le risque comme une "espérance mathématique" de dommages possibles.

De cette définition ; nous comprenons que le risque hydrologique est un phénomène naturel défini par les scientifiques comme une espérance mathématique de dommages possibles causés par ce phénomène.

Un risque résulte de la combinaison de deux termes:

- ***l'aléa naturel***: c'est à dire la probabilité d'occurrence, dans un temps et une zone donnés d'un phénomène naturel d'intensité fixée.
- ***la vulnérabilité***: causée aux éléments exposés par le phénomène d'intensité retenue. (<https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICRISQU.HTM>).

Il existe quatre types des risques hydrologiques aléatoires générateurs dans les différents compartiments du cycle de l'eau:

- Les inondations, qu'elles proviennent de l'écoulement superficiel, de remontée de nappe, de lâché de barrage (ce dernier peut être aussi considéré comme "risque technologique")...
- Les avalanches, suite à des chutes de neige très intenses.
- Les glissements de terrain et les coulées de boue provoqués par des saturations du sol, conséquences de pluies intenses et de mises en mouvements de matériaux.

- Les phénomènes d'érosion accélérée liés aux "pluies torrentielles", y compris l'érosion souterraine (évolution de la karstification) provocatrice d'effondrement. (<http://philippevallee.weebly.com/risques-naturels-hydrologiques.html>)

Pour notre étude, nous nous intéressons au le risque hydrologique majeur qui est le risque d'inondation dans un milieu urbain.

1.1.2. Risque: Aléa et Vulnérabilité

Le risque, l'aléa, et la vulnérabilité sont les notions centrales de cette étude. Leurs définitions étant variables selon les domaines d'expertise (sécurité civile, ingénierie, assurances, etc.), les auteurs ou les études. Il est nécessaire de leur donner une définition précise dans un contexte de sécurité civile.

1.1.2.1. L'aléa

1.1.2.1.1. Définition de l'aléa

L'aléa constitue un phénomène, une manifestation physique ou une activité susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement (Marion TANGUY, 2012).

1.1.2.1.2. Facteurs de l'aléa

La capacité d'un aléa due à sa propre caractéristique et l'ensemble des caractéristiques du milieu vulnérable qui sont:

- La durée et le temps de cet aléa soit par seconde, minute, jour, mois, ou par an.
- La force ou l'intensité de l'aléa soit par rapport à volume, surface ou hauteur.
- L'occurrence ou la fréquence de l'aléa par mois ou par an.
- La climatologie et la météo de la région.
- La situation spatiale de la région et la taille du bassin concerné.
- L'état social et économique de la zone (la densité de la population, l'extension du bâti, les activités économiques, les échanges commerciaux...).
- Les paramètres géologiques et topographiques de la région (la structure du sol, la pente...)

- La couverture végétale et la richesse animale de la région.
- L'organisation spatiale et la modalité d'aménagement de la région.
- La complexité de découpage administratif et du grand nombre de structures qui - à des degrés divers - s'intéresse aux risques.
- Les centres des agglomérations et les collectivités.

- La bonne connaissance de l'aléa sert à une bonne gestion du risque qui doit mobiliser des données économiques, environnementales, et spatiales, pour réaliser un diagnostic fiable de ce risque aléatoire.

Conclusion: sur l'aléa

À la lumière de ce qui nous précède, la conclusion est que l'aléa est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée qui introduit des dégâts avec des divers dommages. C'est aussi les caractéristiques physiques de l'inondation (emprise de la zone inondable, hauteur, vitesse, durée de submersion, type de montée des eaux...) et la fréquence.

1.1.2.2. La vulnérabilité

1.2.2.1/ Définitions de la vulnérabilité

La vulnérabilité représente une condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédisposent les éléments exposés à la manifestation d'un risque à subir des préjudices ou des dommages (Marion TANGUY, 2012).

Pour mieux comprendre ce concept, un retour à l'étymologie est nécessaire: emprunté en latin « vulnerabilis » qui peut être blessé et qui « blesse », dérivé de « vulnerare » blesser au propre et au figuré, lui-même de « vulnus. vulneris » c'est-à-dire blessure ; la vulnérabilité traduit dans la langue commune une faiblesse, une déficience, un manque, une grande sensibilité spécifique à partir desquels l'intégrité d'un être, d'un lieu, se trouve menacé d'être détruite, diminuée, altérée. On peut aussi définir la vulnérabilité comme un état de moindre résistance aux nuisances et aux agressions. (Olliero ; Quantinet, 2004).

La vulnérabilité représente aussi l'enjeu qui peut donc être un danger et des dommages dans le domaine hydrologique. Elle représente les enjeux, et les éléments qui sont exposés à un danger comme:

Chapitre I: Le risque hydrologique

- Les pertes humaines, matérielles, industrielle.
- L'indemnisation des dommages directs.

- La rupture du tissu urbain et les infrastructures locales de l'économie du pays.
- Le déséquilibre de l'écosystème et de l'environnement.

Pour illustrer plus la valeur de ce terme « Vulnérabilité » on peut l'exprimer comme un modèle suivant:



I.2.2.2/ Les facteurs de la vulnérabilité

La vulnérabilité est variable selon le domaine d'expertise. Même ses facteurs varient selon le domaine considéré. Dans cette étude qui consiste à l'étude du risque d'inondation dans un milieu urbain ; nous avons situé les facteurs de la vulnérabilité spécifiques du risque d'inondation suivants: (Gleyze,2002)

Facteur de vulnérabilité	Intérêt du facteur
Croissance démographique et urbaine	L'exposition croissante aux menaces est liée à l'occupation incontrôlée des zones inondables, instables, déboisées, soumises à d'éventuelles éruptions volcaniques ou séisme...
Mode d'occupation et d'utilisation du sol	

Chapitre I: Le risque hydrologique

Facteur économique et social.	Ils sont liés également à l'occupation du sol. L'exode rurale, la spéculation foncière et l'attrait de la ville expliquent de plus en plus à risque d'urbanise (par contraire).
Facteur psycho-sociologie.	Les personnes habitant sur des zones à risque entretiennent une mémoire collective peu durable et peu fidèle, quand bien même ils sont conscients d'habiter dans une zone à risque. Par ailleurs d'autres risques urbains occultent les risques naturels.
Facteur technique	Mauvaise qualité ou inadaptation des constructions, sous-dimensionnement des ouvrages... etc.
Facteur fonctionnel	Problème de communication, d'alerte, de gestion de crise.
Facteur culturel et historique	Persistance de croyance ou de religion, mémoire des risques... etc.
Facteur institutionnel	Politique de planifications urbaines négligentes, pression sociale et économique.

Conclusion

Le risque est le résultat de l'interaction entre un aléa et la vulnérabilité des éléments exposés à son égard (figure 1.1). Il correspond ainsi à la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa et des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné. Les pertes peuvent être estimées en termes de vies humaines, de destruction d'infrastructures ou en termes financiers. (Marion TANGUY, 2012).

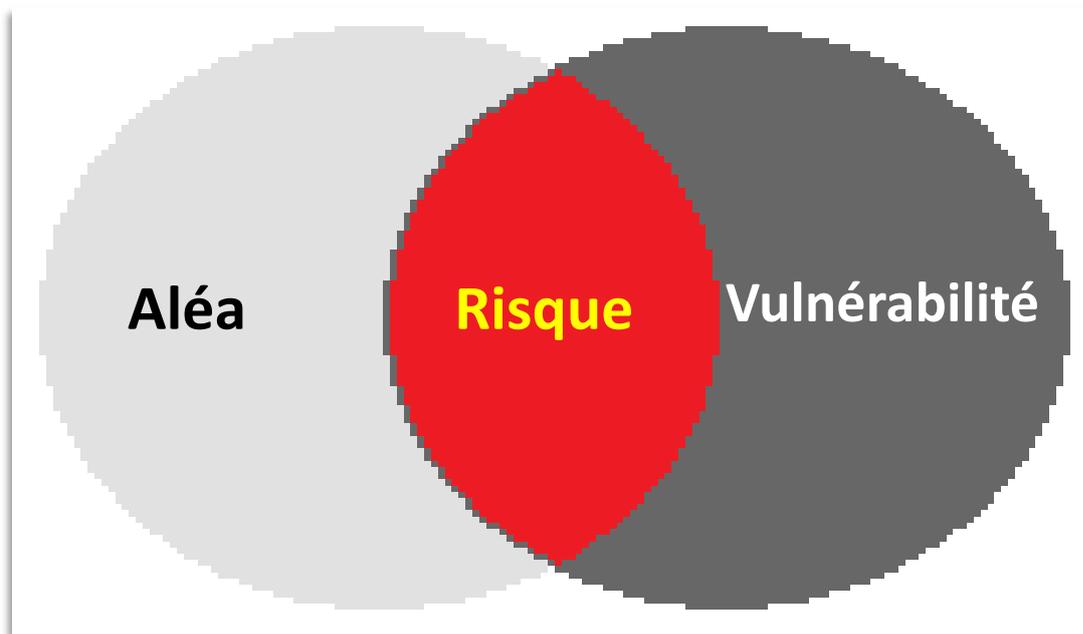


Figure n°1.1: Illustration du risque.

La figure n°1.1 présente que le risque est le produit entre l'aléa et la vulnérabilité comme suit:

$$\text{Risque} = \text{aléa} * \text{vulnérabilité}$$

Chapitre I: Le risque hydrologique

La comparaison de ces deux notions différentes que sont l'aléa et la vulnérabilité nécessite l'adoption d'une unité de mesure commune. Chacun de ces deux termes a sa propre loi mathématique ou méthode d'estimation du risque. Dans le tableau suivant, sont données quelques lois mathématiques dues à la vulnérabilité, mais les méthodes d'estimation de l'aléa dépendent des dommages et dégâts du risque. Nous détaillerons plus loin dans le cas du risque d'inondation qui est notre intérêt :

Tableau n°1.2: Concept de la vulnérabilité à travers des formules mathématiques (Gleyze,2002)

Source	Fonction de la vulnérabilité
De Leon, (2006) ; Birkmann, (2006a) ; Balica et Wright, (2010).	$\text{Vulnérabilité} = \frac{\text{Exposition} \times \text{Susceptibilité}}{\text{Capacité d'adaptation}}$
Balica et al., (2009).	<p style="text-align: center;">Indice de vulnérabilité aux inondations(FVI)=</p> $\frac{\text{Exposition} \times \text{Susceptibilité}}{\text{Résilience}}$
Balica et Wright (2010).	$\text{Vulnérabilité} = \text{Exposition} + \text{Susceptibilité} - \text{Résilience}$
Kha et al., (2011).	$\text{Vulnérabilité} = \text{Exposition} - \text{capacité d'adaptation}$
Luers et al., (2003) ; Adger, (2006).	$\text{Vulnérabilité} = \frac{\text{Sensitivité au stress}}{\text{Etat par rapport au seuil}} * \text{Probabilité d'exposition au stress}$

Le tableau montre que:

- L'exposition: est définie comme le degré, la durée et /ou l'étendue dans laquelle le système est en contact avec ou subit des perturbations.
- La susceptibilité est décrite comme le potentiel d'un système à être affecté négativement par un aléa causé par un certain degré de fragilité, des faiblesses sociales ou économiques relatives ou des conditions défavorables.
- La résilience est la capacité des systèmes socioéconomiques à absorber les perturbations tout en maintenant leurs structures essentielles ainsi que les processus à l'origine de ces structures. la résilience peut aussi se définir par l'aptitude d'un système à s'auto-organiser, à s'adapter et à apprendre.

Certains auteurs associent d'une manière indissociable les facteurs d'exposition et de susceptibilité. Ces deux facteurs sont des facteurs qui accroissent le degré de la vulnérabilité d'un système tandis que la résilience est un facteur réducteur de la vulnérabilité. La mesure de la vulnérabilité n'est généralement pas consensuelle. Les caractéristiques de la mesurabilité et la simplicité des indicateurs montrent qu'ils ne seront jamais en mesure de représenter pleinement la complexité du processus de la vulnérabilité. L'analyse de la vulnérabilité requiert donc une très grande considération au contexte et à la situation du milieu. (Gleyze, 2002).

1.2. Aléa inondation

Nous avons précédemment conclu que l'aléa est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée et aussi les caractéristiques physiques de l'inondation.

Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement (Aléa) et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités (vulnérabilité ou l'enjeu).

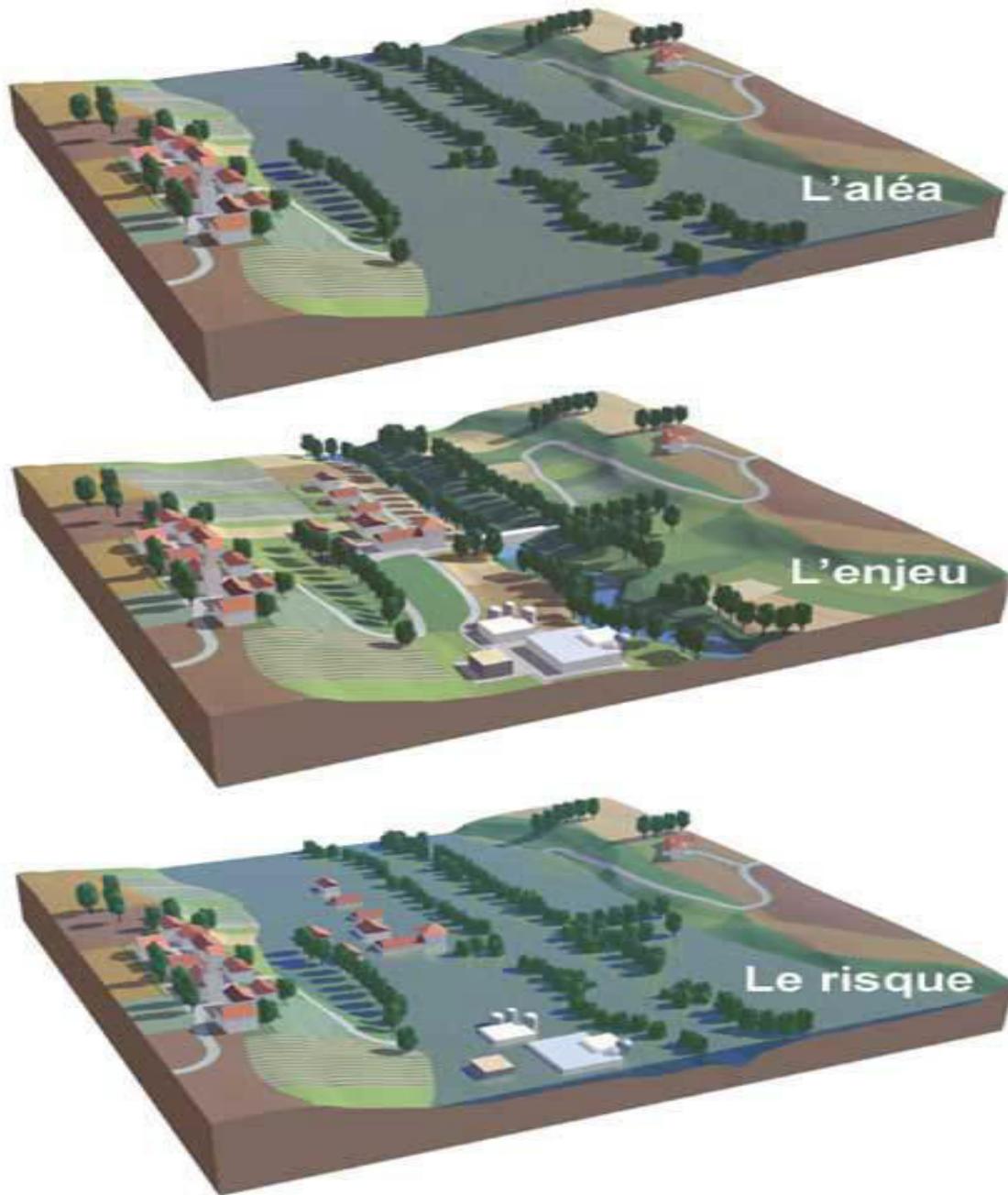


Figure n°1.2: présentation de l'aléa inondation :aléa, vulnérabilité (l'enjeu), et le risque.

Dans la figure n°1.2 on illustre qu'une inondation ne constitue pas un risque dans une zone inhabitée, aucun élément vulnérable n'y étant en théorie présent en termes de sécurité civile. Si au contraire elle touche une zone densément peuplée, où des infrastructures importantes sont implantées, le risque sera présent et pourra être fort. (Bachi, 2011).

Pour mieux comprendre l'aléa inondation, nous détaillerons ci-dessous les notions élémentaires suivantes ; la crue, l'inondation, les principaux paramètres caractérisant l'aléa

inondation, les types d'inondations et les causes de formation des crues et des inondations, et aussi les facteurs de prédisposition aux inondations, les facteurs de déclenchements du ruissellement, et les facteurs aggravants aux inondations.

1.2.1. Définition de la crue et du l'inondation

La crue: correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère qu'une rivière est en crue lorsque son débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen. De façon plus pratique, 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. (Bachi, 2011).

L'inondation: L'inondation est une submersion temporaire par l'eau de terres qui ne sont pas submergées en temps normal. Cette notion recouvre les inondations dues aux crues de rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau intermittents méditerranéens ainsi que les inondations dues à la mer dans les zones côtières.

L'inondation est un phénomène naturel qui constitue une menace susceptible de provoquer des pertes de vie humaine et le déplacement de populations. Elle peut également nuire à l'environnement et compromettre gravement le développement économique. C'est la catastrophe la plus fréquente : la moitié des catastrophes naturelles mondiales sont des inondations. Certaines sont liées à des phénomènes qui se renouvellent chaque année comme la mousson. D'autres à des circonstances météorologiques particulières, comme les cyclones ou les orages violents. Elles peuvent également être dues à l'effet simultané de plusieurs phénomènes.

1.2.2. Principaux paramètres de l'aléa inondation

1.2.2.1/Paramètre de l'inondation

L'importance de l'inondation dépend de:

- la hauteur d'eau.
- la vitesse du courant.
- la durée de la crue.

Ces paramètres sont conditionnés par:

- la précipitation.
- l'état du bassin versant.
- les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur, etc.).

Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines. (Bachi, 2011).

1.2.2/Paramètre spécifiant de l'aléa inondation

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour caractériser l'aléa inondation :

a) Période de retour : la notion de période de retour « T » n'est qu'une autre façon de caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène à un moment donné. Statistiquement, on la définit comme l'inverse de la probabilité d'occurrence de dépassement « P » de ce phénomène ; $T=1/P$. Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale. On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) ; plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale ($Q_{0,1}$) et la crue centennale ($Q_{0,01}$). (Bachi, 2011).

b) Hauteur et durée du submersion: la hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. Lorsque la durée de submersion est importante, des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent malpropre, contaminée par les égouts ou parfois le mazout échappé des cuves. Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau. (Bachi, 2011).

c) Vitesse du courant: la vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité, la dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/ vitesse. À titre d'exemple, à partir de 0,5 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure. (Bachi, 2011).

d) Volume de matière transportée: ce volume est communément appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport solide. (Bachi, 2011).

1.2.3. Type des inondations

Il existe 4 types d'inondation :

L'inondation à monté lente: les inondations de plaine se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe ensuite son lit moyen et éventuellement son lit majeur. Après une ou plusieurs années pluvieuses, il arrive que la nappe (masse d'eau contenue dans le sol) affleure le terrain et qu'une inondation spontanée se produise. On parle alors d'inondation par remontée de nappe phréatique. Ce phénomène concerne les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines. (Bachi, 2011).

L'inondation à montée rapide: lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, les eaux de ruissellement se concentrent rapidement dans le cours d'eau engendrant des crues rapides (torrentielles sur les cours d'eau à fortes pentes > à 6 %), brutales (rapides) et violentes (vitesse et charriage de matériaux). Généralement le temps de concentration est inférieur à 12h ce qui rend parfois difficile l'information de la population. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments et de flottants (bois morts...) ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt de matières transportées. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui s'ils viennent à céder, libèrent une vague pouvant être très dangereuse voire mortelle.

L'inondation par ruissellement pluvial (diffus): l'imperméabilisation du sol due aux aménagements (bâtiments, routes, parkings...) limitent l'infiltration des précipitations dans le sol et accentuent le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues. Lorsque ce dernier se produit en milieu urbain on appelle cela le ruissellement urbain.

L'inondation par submersion marine: cela désigne une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques extrêmes, pouvant cumuler dépression atmosphérique, vent violent, forte houle, associés aux phénomènes marégraphiques provoquant une élévation du niveau moyen de la mer, aggravés lorsque ces phénomènes se conjuguent à l'occasion d'une tempête. (Bachi, 2011).

1.2.4. Cause de formation de d'inondation

Il est important de connaître les manières de formation des crues et des inondations ; un même territoire peut être inondé dans des proportions identiques par des crues différentes, leur hydrogramme respectif traduisant des modalités de déroulement différentes. Les causes de formation peuvent fractionner en deux styles ; causes directes et phénomènes aggravant l'aléa.

1.2.4.1. Facteurs prédispositions

Sont les facteurs physiques, sociaux, économiques, et environnementaux qui augmente le risque d'un phénomène naturel qu'ils sont aussi les facteurs de susceptibilité.

❖ **Abondance des précipitations:** c'est le principal facteur explicatif des crues et des inondations. On peut distinguer plusieurs types :

- **Les averses brutales de type orageux** où les orages porteurs de précipitations ont des lames d'eau de 200 à 300 mm en quelques heures. On peut citer comme exemples l'intensité pluviométrique de 10 mm/min. Si l'on observe qu'une intensité de 01 mm/min représente un débit d'eau météorique de $16,6 \text{ m}^3 / \text{s}/\text{km}^2$, il n'est pas surprenant que certains petits bassins versants puissent fournir des débits spécifiques record, parfois supérieurs à $30 \text{ m}^3 / \text{s}/\text{km}^2$ pendant quelque temps, avec les conséquences catastrophiques que l'on suppose.

- **Les averses durables** qui sont moins brutales car elles comportent en fait des séries d'averses successives entrecoupées de périodes de tranquillité, mais elles sont tout aussi

Chapitre I: Le risque hydrologique

dévastatrices. L'exemple de la crue la plus représentative est celui de la Saintes en 1994 qui fut inondée plusieurs semaines.

- **Les pluies de type orographique et cyclonique** ; à titre d'exemple une pluie de 1136 mm en 24 heures au Philippines. En règle générale, la puissance de la crue et les dégâts qu'elle occasionne sont d'autant plus forts que les précipitations sur le bassin versant ont été fortes, intenses et durables, que les quotients d'écoulement sont plus élevés et que la morphologie et la nature des matériaux se prêtent à l'érosion. (Bachi, 2011).

❖ **Fusion brutale du neige** : elle est fréquente en Europe à la fin du printemps et au début de l'été. En effet, en fin d'hiver l'arrivée de front chaud (avec vent et pluie) va fusionner rapidement la neige qui couvre les bassins versants montagneux (Alpes, Pyrénées en France par exemple) ce qui provoque de grandes crues particulièrement importantes sur un sol parfois gelé et sans végétation. Mais le plus souvent l'alimentation d'origine neigeuse se combine à celle des averses. (Bachi, 2011).

❖ **Débâcle des glaces fluviale** : celle-ci intervient à la suite de la rupture de barrages naturels de glace que ce soit en haute montagne (Alpes) ou dans les pays des hautes latitudes (cas de grands fleuves sibériens ou canadiens). Dans le dernier cas le phénomène est saisonnier ; chaque hiver les températures glaciales gèlent les eaux des fleuves d'abord en surface, puis progressivement en profondeur. De grands embâcles se produisent interdisant peu à peu tout écoulement superficiel. Cependant dans les parties amont des cours d'eaux, la prise par les fleuves est moins effective du fait d'une position plus méridionale (donc relativement plus chaudes), si bien que l'eau restée à l'état liquide s'accumule en de grands lacs temporaires. Dès l'arrivée du printemps, la conjonction du réchauffement des températures et de la poussée fantastique des eaux accumulées en arrière des barrages de glace, amène tôt ou tard à la rupture de ces derniers. A ce moment-là, s'effectuent les vastes débâcles qui emportent tout sur leur passage. Ces crues catastrophiques et heureusement très rares, ne sont pas gérables une fois déclenchées. Seule la prévention est possible, par exemple par un dynamitage préalable des embâcles dès que ceux-ci atteignent un certain seuil. (Bachi, 2011).

❖ **Accidents**: ex : rupture accidentel de barrage naturel ou artificiel. Parfois cet accident est lui-même lié à un autre phénomène exceptionnel (glissement de terrain, lié à des précipitations importantes, volcanisme, séisme...). (Bachi, 2011).

1.2.4.2. Facteurs déclenchement

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

❖ Influence des facteurs déclenchements 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. (Bachi, 2011).

- **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. (Bachi, 2011).

- **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. (Bachi, 2011).

- **Facteurs biogéographiques** : la végétation joue un rôle climatique complexe, elle agit sur le ruissellement, retient une part des pluies, évapore l'eau, etc. 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. (Bachi, 2011).

❖ **Influence des facteurs anthropiques:**

- Occupation de zones riveraines : la concentration des personnes et l'accumulation des biens dans les champs d'inondation génère le risque d'inondation par accroissement des enjeux, augmentation des vulnérabilités et absence de prévention-précaution.
- Imperméabilisation forte : conséquences d'aménagements urbains ou agricoles.
- Défiance des dispositifs de protection: digues, déversoirs. (Bachi, 2011).

1.2.4.3. Les facteurs aggravants d'inondations:

Sont des facteurs aggravées par certains aménagement et activité humains. On les résume en principaux points suivants:

❖ **Artificialisation des cours d'eaux:** les remblais, les enrochements et les recalibrages contraignent la rivière, l'empêchant de dissiper son énergie et accélérant son écoulement, avec le risque de provoquer davantage de dégâts en cas d'inondations, notamment dans les secteurs plus à l'aval.

❖ **Drainage de zones humides:** la destruction de ces zones tampons entraîne une montée des eaux plus rapide et un risque de débordement plus important. En effet, l'eau drainée s'écoule plus rapidement vers les cours d'eau.

❖ **Imperméabilisation des sols:** l'imperméabilisation des sols par des aménagements urbains (routes, parkings, toitures, etc.) favorise le ruissellement de surface et conduit à une montée plus rapide des eaux.

❖ **Disparition des haies et mise à nu des sols:** La végétation permet de retenir l'eau en favorisant l'infiltration et sa suppression amplifie les risques d'érosion des sols et d'inondations.

1.3. Méthodes de mesure le risque d'inondation

Afin de déterminer le risque d'inondation, il existe deux méthodes d'estimation le risque ; ces méthodes sert à estimer ou donner une approximative de l'aléa inondation pour protéger les zones qui ont des incertitudes de risque d'inondation, et pour contrôler et gérer le processus d'inondation, cours des eaux et les vallées.

❖ **Les méthodes traditionnelles:** c'est une unité monétaire qui est choisie. Les crues sont alors exprimées à travers un montant de dégâts causés et leur réduction par un montant de dégâts évités et un coût d'aménagement, de sorte que le champ de l'hydrologie et de l'hydraulique se trouve déporté vers le champ de l'économie. Cette pratique n'apparaît pas satisfaisante en ce que la comparaison s'effectue sur un bénéfice et un coût de protection globaux, ne tenant aucun compte de la diversité de la situation hydraulique et du besoin de protection. (Bachi, 2011).

❖ **La méthode inondable:** propose la démarche inverse, à savoir rester dans le champ de l'hydrologie et exprimer la vulnérabilité en termes de hauteur d'eau, de période de retour et de durée. (Bachi, 2011).

1.4. Méthode d'étude le risque d'inondation

La prédominance de l'aléa a gommé partiellement la vulnérabilité de l'équation du risque. L'aléa étant le concept phare du risque, comment est-il évalué et quantifié dans le cas du risque inondation et est-ce qu'il y a des incertitudes associées ?

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. (Bachi, 2011).

1.4.1. 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 la 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

Chapitre I: Le risque hydrologique

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. (Bachi, 2011).

Le débit donc l'élément primordial pour l'estimation de la crue, peut être quantifié par plusieurs méthodes :

➤ Méthodes par débitmètre : comme les méthodes volumétriques, pratiquées que pour des débits très faibles, qui permettent de déterminer le débit directement à partir du temps nécessaire pour remplir d'eau un récipient de volume connu, les méthodes d'exploration du champ de vitesse qui consistent à déterminer la vitesse de l'écoulement en différents points de la section tout en mesurant la surface de la section mouillée (ces mesures s'effectuent par le jaugeage au moulinet, au flotteur, ou par des sondes électromagnétiques), les méthodes basées sur les lois de l'hydraulique dite méthodes hydraulique qui tiennent compte des forces qui régissent l'écoulement (pesanteur, inertie, viscosité...) et les méthodes par dilution qui consistent à injecter dans le cours d'eau un corps en solution, et à suivre l'évolution de sa concentration au cours du temps. (Bachi, 2011).

➤ Méthodes par limnimétrie : le limnimètre est l'élément de base des dispositifs de lecture et d'enregistrement du niveau de l'eau. Plusieurs types de limnigraphes existent ; les limnigraphes à flotteur, à pression dit aussi bulle à bulle ou des limnigraphes qui utilisent des capteurs capacitifs ou des capteurs à ultrasons. Le niveau d'eau est ainsi facilement observable, le passage du limnigramme $H=f(t)$ au hydrogramme $Q=f(t)$ se fait par l'établissement d'une courbe de tarage $Q=f(H)$ (Figure n° 1.3). Il est nécessaire de vérifier régulièrement la courbe de tarage au cours du temps, pour tenir compte d'éventuelles déficiences de l'appareil de mesure ou modifications de la section du cours d'eau. (Bachi, 2011).

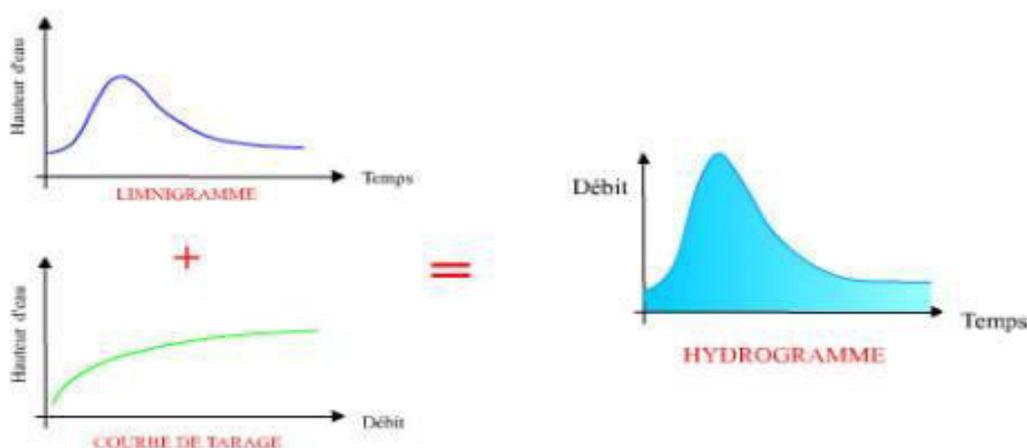


Figure n° 1.3: Hydrogramme de crue obtenu par limnimétrie. (Bachi, 2011).

1.4.2. Hydraulique pour quantifier l'aléa

Une fois que l'hydrologie arrive à déterminer le débit, on fait l'appel 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.

Pour déterminer l'aléa, il existe 3 méthodologies d'approches à combiner selon les enjeux présents. En tout état de cause les 2 premières approches sont indispensables :

- **L'approche historique** (cartes anciennes, mémoire collective, plus hautes eaux, repères de crue...)
- **L'approche hydro géomorphologique** consiste en une analyse naturaliste du territoire par photo interprétation, cartographie, visite de terrain. Cela donne une enveloppe inondable mais ne permet pas d'avoir des hauteurs et vitesse. On sait juste qu'il y a eu de l'eau dans le passé.
- **Les études hydrologiques et hydrauliques** permettent de construire un modèle mathématique informatisé qui reproduit finement les conditions d'écoulement théorique. Cela permet ici d'obtenir des hauteurs d'eau et éventuellement des vitesses. (Bachi, 2011).

1.4.2.1. 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 conséquent, 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. (Bachi, 2011).

1.4.2.2. 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 déterminer, identifier, chiffrer, quantifier, localiser et analyser les effets dommageables de l'aléa sur les enjeux. Différentes démarches méthodologiques permettent d'analyser et d'évaluer la vulnérabilité. (Bachi, 2011).

- **Démarches quantitatives:** elles se fondent 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. (Bachi, 2011).

Ainsi les méthodes développées sont de deux types :

a. Des démarches analytiques *a priori* qui consistent à traduire les vulnérabilités des zones exposées au risque d'inondation en unité monétaire et à réaliser des constats d'endommagement débouchant sur des simulations de sinistres.

b. Des démarches dites « phénoménologiques » *a posteriori* qui consistent à analyser les vulnérabilités à partir de retours d'expérience, à estimer le coût moyen annuel à l'échelle du bassin versant et calculer les dommages potentiels. (Bachi, 2011).

- **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. Deux méthodes peuvent être présentées :

a) Méthode inondabilité du CEMAGREF : cette méthode construit une quantification dite objective du risque permettant d'exprimer sur une carte synthétique un Risque Maximum Acceptable ; c'est-à-dire d'accepter de prendre certains risques en échange de certains bénéfices. A chaque type d'occupation du sol correspond ainsi un objectif de protection correspondant au risque maximum acceptable. L'acceptabilité serait une propriété intrinsèque de l'occupation des sols. L'objectif de protection est exprimé à l'aide des critères

Chapitre I: Le risque hydrologique

hydrologiques qui sont : la période de retour, la durée de submersion, la profondeur d'eau et la vitesse de l'eau. La création d'une échelle commune de mesure « le temps de retour » pour chacune des variables aléa et vulnérabilité permet d'établir une comparaison explicite de ces variables aboutissant à une mesure du risque, qui distingue :

❖ Des zones sous-protégées pour lesquelles le risque est dit positif ou à déficit de protection ;
Aléa > Vulnérabilité.

❖ Des zones surprotégées pour lesquelles le risque est dit négatif ou à crédit de protection ;
Aléa < Vulnérabilité. (Bachi, 2011).

b) Techniques hiérarchiques multicritères : qui a pour objectif de caractériser la vulnérabilité des zones urbaines et des projets d'aménagement exposés au risque à partir du mode d'occupation du sol. La vulnérabilité est appréhendée de manière chiffrée à partir de données qualitatives variées. Chaque critère de vulnérabilité est standardisé, puis pondéré en fonction de son importance supposée. Au final un indice d'évaluation unique définit la valeur de l'occupation du sol en termes d'enjeux économiques et humains. (Bachi, 2011).

Conclusion

La plupart des experts définissent le risque comme « Risque = aléa*vulnérabilité», alors que d'après cette formule, un même risque peut être le produit d'un aléa fort avec une vulnérabilité faible, d'un aléa moyen et une vulnérabilité moyenne ou d'un aléa faible et une vulnérabilité forte.

Il est donc préférable de définir le risque d'une façon plus générale

«Risque = F(aléa, vulnérabilité) »

Où F est une relation qui dépend de problèmes analysés, et en représentant l'aléa et la vulnérabilité par deux axes dans un espace plan pour obtenir des courbes d'isorisque

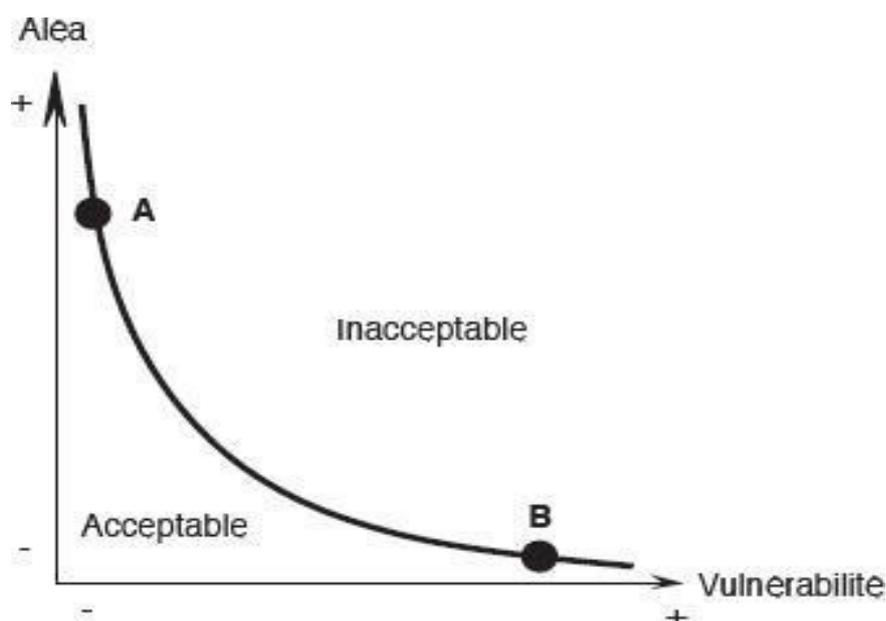


Figure n° 1.4: Courbe isorisque.

Alors, étudier le risque inondation comme un croisement d'un aléa et d'enjeux, eux-mêmes caractérisés par une vulnérabilité, constitue un enrichissement du concept par rapport à la définition trop limitatrice : risque = aléa. La réflexion sur la gestion et l'évaluation du risque s'en trouve enrichie, puisqu'elle ne peut plus se limiter aux seules mesures de protections mais doit intégrer celles sur les enjeux et leur vulnérabilité.

La capacité qu'a un aléa à causer des dommages résulte donc de ses caractéristiques propres, mais aussi des caractéristiques du milieu touché. Une analyse complète et fiable du risque lié aux inondations ne peut donc s'affranchir d'un de ces deux éléments, à savoir l'aléa et la vulnérabilité, et doit intégrer de manière précise l'ensemble de leurs caractéristiques. (Marion TANGUY, 2012).

Dans le cas de l'aléa inondation, ces caractéristiques varient selon les études:

- La vitesse des flots.
- la hauteur de l'eau.
- la durée ou la fréquence de l'inondation.
- la température de l'eau.
- l'étendue de l'inondation ou encore la concentration en sédiments peuvent être considérés (Gleyze, 2002)

Chapitre I: Le risque hydrologique

Selon notre travail, on n'utiliser que les caractéristiques qui sont les plus susceptibles d'influencer ; la vulnérabilité qui est l'étendue spatiale de l'inondation, l'intensité des pluies dans la zone d'étude et la fréquence de l'inondation.

La vulnérabilité et l'aléa seront quant à présenter à l'aide du modèle numérique du bassin versant de la zone d'étude : « Oued Zmor ».

Introduction

La wilaya de Biskra est située au sud - est de l'Algérie aux portes du Sahara (fig.2.1). Elle représente un point de contact entre le grand nord d'Algérie et le vaste sud d'Algérie et de ce fait elle présente une diversité climatique. Cette diversité l'expose toujours au risque hydrologique tel que: l'inondation.

Les inondations en Biskra sont liées aux principaux oueds dans la ville en temps des pluies saisonnières, parmi eux « oued Zmor ». Il prend une large importance dans la commune de Biskra, car il est situé au centre la zone urbaine ouest de la ville.

En ce chapitre, on présente la ville de Biskra et la zone du « Oued Zmor » et les caractéristiques nécessaires de l'étude.

2.1. Situation géographique et administrative de la ville de Biskra

La ville de Biskra est localisée au sud-est algérien entre la région des Aurès et les Zibans et s'étend sur une superficie de près de 21 671 km² et périmètre total de 1132 km. Le Chef-lieu de la wilaya est située à 400 km au Sud-est de la capitale « Alger », avec une altitude de 112m au niveau de la mer.

Elle est délimitée :

- Au nord par la wilaya de Batna.
- A l'est par la wilaya de Khenchela.
- Au nord-ouest par la wilaya de M'sila.
- A l'ouest par la wilaya de Djelfa.
- Au sud-est par la wilaya d'El Oued.
- Au sud par la wilaya d'Ouargla.

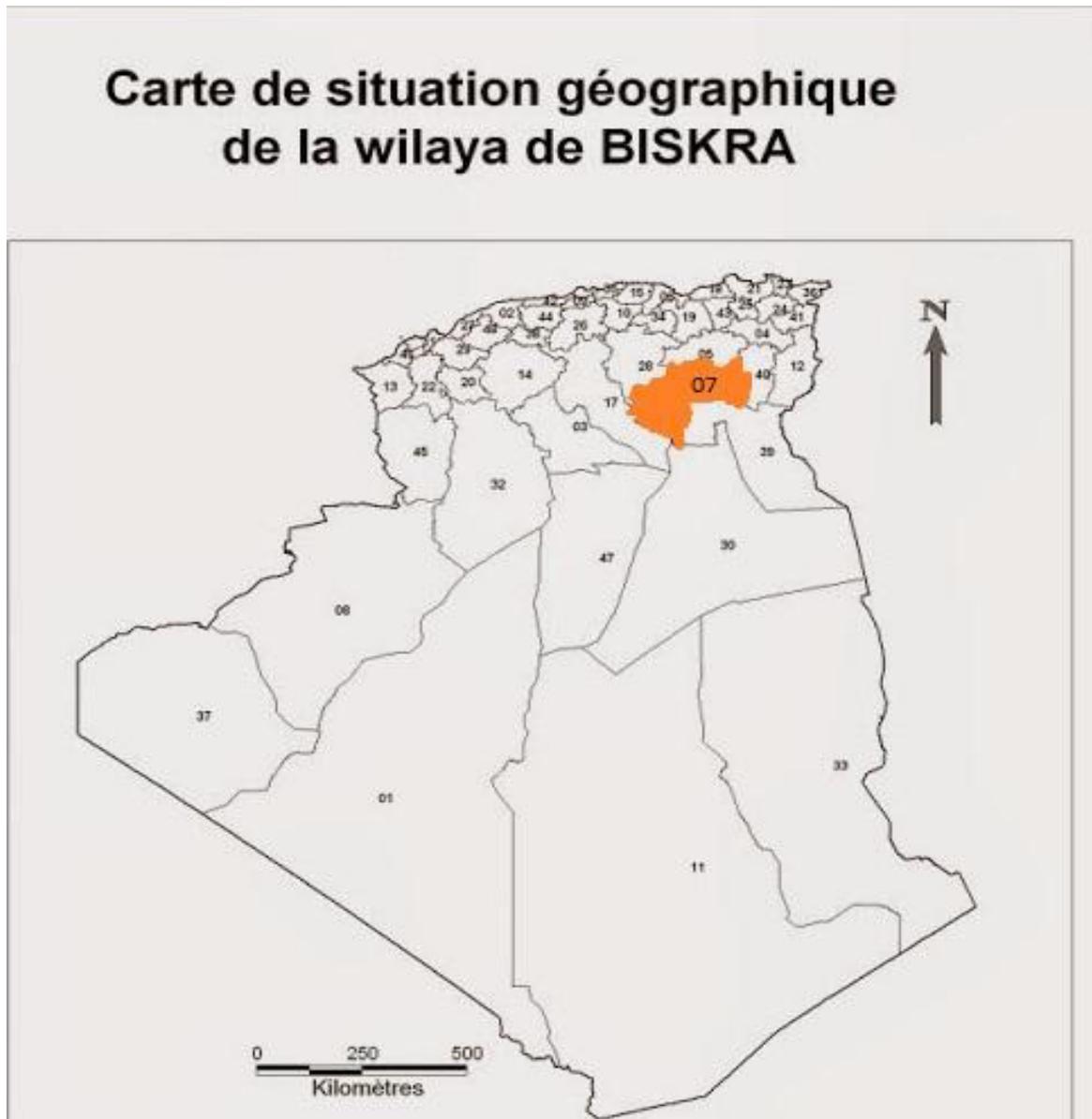


Figure n° 2.1: Situation géographique de la wilaya de Biskra (ANRH Biskra).

2.2. Situation topographie de Biskra

La wilaya de Biskra a les coordonnées suivants:

- Longitude : $X_1= 4.136845996^\circ$ $X_2= 6.773284002^\circ$.
- Latitude : $Y_1= 33.3548100^\circ$ $Y_2= 35.2588100^\circ$.

La carte de la topographie d'Algérie indique que la région de Biskra se situe dans l'intervalle du 0-600m d'altitude et donc l'une des régions la plus basses d'Algérie. Ceci est un facteur naturel de déclenchement des inondations dans cette région du sud-est de l'Algérie. (d'après l'ADE de Biskra).

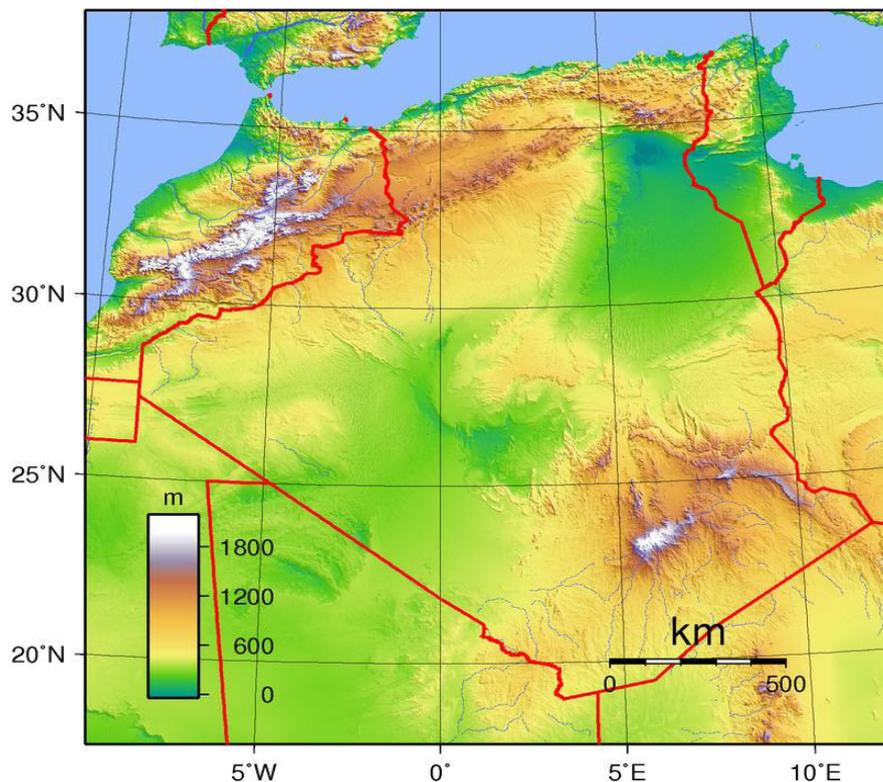


Figure 2.4: Carte de la topographie d'Algérie

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Algeria_Topography.png)

2.3. Situation démographique

La population totale de la wilaya est estimée à 775 797 habitants (recensement de 2010), soit une densité de population estimée par 1 612 hab/Km² (recensement de 2010). (figure 2.5) sur une superficie estimée par 127.55 Km².

La commune de Biskra a 218 476 habitants (recensement de 2010) et se place au 10ème rang des villes les plus peuplées d'Algérie avec une répartition aléatoire.

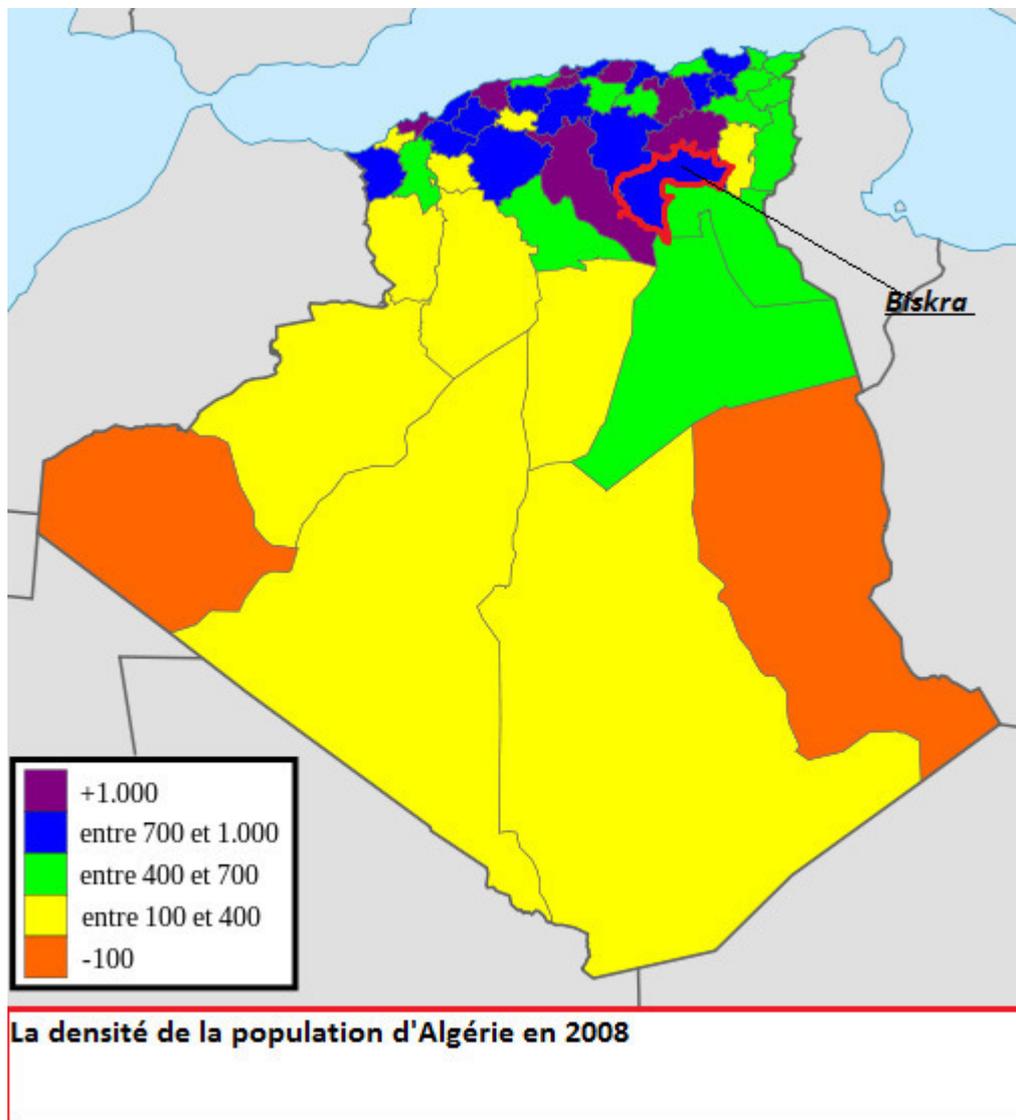


Figure n° 2.5: Carte de densité de la population d'Algérie.

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Algeria_Topography.png)

2.4. Relief de la région de Biskra

La région présente un relief diversifié avec, au nord des massifs montagneux qui cèdent rapidement place, un peu plus, au Sud aux plaines puis aux vastes étendues steppiques et sahariennes parsemées d'oasis verdoyantes.

2.5. Climat de la région de Biskra

Le climat de Biskra est un climat saharien, sec en été et très agréable en hiver. La pluviométrie est en moyenne entre 120 et 150 mm/an. La température moyenne sur toute l'année est de 20,9 °C.

2.6. Présentation de la zone du « Oued Zmor »

Introduction

Oued Zmor est le 2eme important oued dans la ville de Biskra à cause de sa position stratégique. Il est situé au centre de la zone ouest de la ville et longe toute la zone urbaine, subit souvent le phénomène cyclique des crues qui à chaque manifestation occasionnent d'importants préjudices entre la subversion des voies et la menace de la sécurité de la population.

La présentation du situation du « Oued Zmor » est basée sur les données fiables du ANRH et ADE de Biskra selon le projet les mesures et les estimations du projet d'aménagement du l'Oued.

2.6.1. Situation géographique du « Oued Zmor »

Oued Zmor est situé dans la zone ouest de la ville de Biskra (figure 2.6) ; localisé à l'entrée Nord de la ville. La zone d'étude figure sur la carte d'état-major BISKRA n° 320, échelle 1/50 000 aux coordonnées Lambert vertical suivant:

$$X_1 = 772.000$$

$$X_2 = 774.000$$

$$Y_1 = 174.000$$

$$Y_2 = 177.000$$



Figure n° 2.7: Monticules qui contournent l'assiette du centre-ville de Biskra

2.6.4. Réseau hydrographique naturel

Comme on l'a déjà signalé précédemment, le centre-ville de Biskra est entouré d'une chaîne de monticules favorise la naissance d'une multitude de ravineaux et de plusieurs oueds.

A l'Est, on trouve Oued Biskra alimenté à l'amont par plusieurs oueds entre autre on a:

- Oued Khelidj Ben Souidi.
- Oued Branis.
- Oued Lefrahi.
- Oued el Besbes.
- Oued Lakhdar.

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude

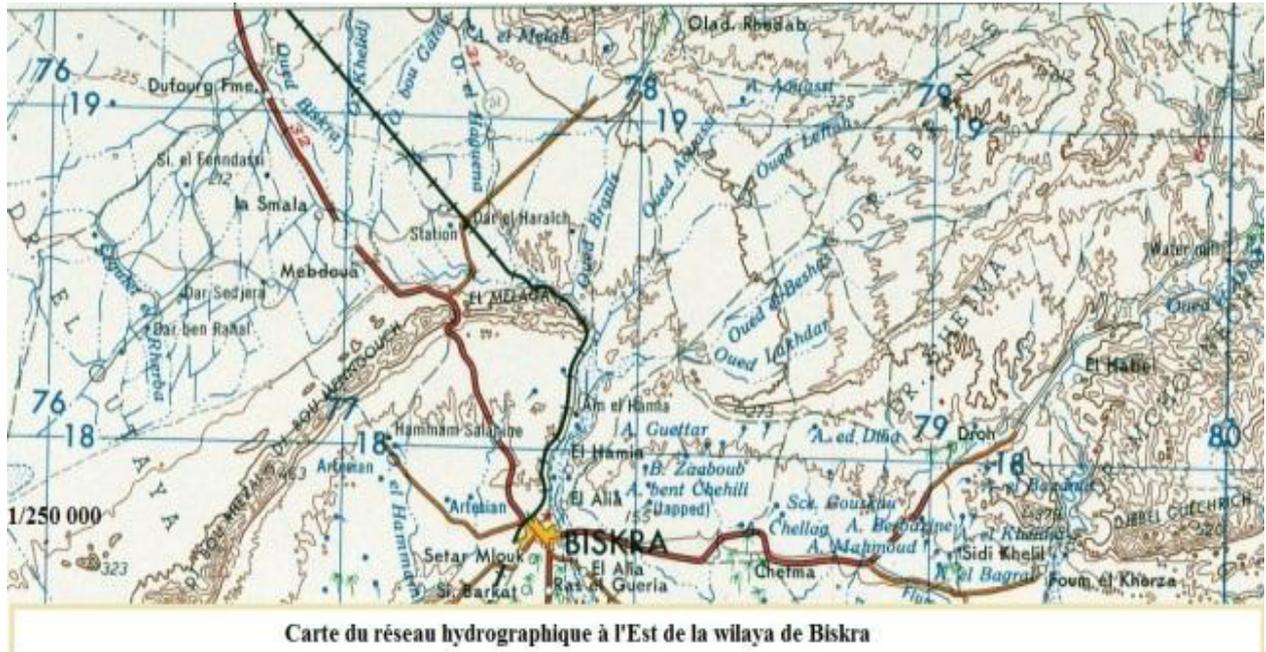


Figure n° 2.8: Carte du réseau hydrographique au Nord-Est de Biskra.(ANRH).

- A l'ouest, on trouve Oued Zmor qui traverse les monticules Ed Delouet Brahim et El Corab au niveau du passage dit foug Maouia. Il est alimenté en cours de trajet par les affluents suivant:

- Oued Hammam.
- Oued Hassi Mebrouk.
- Oued El Tera.
- Oued Leham.

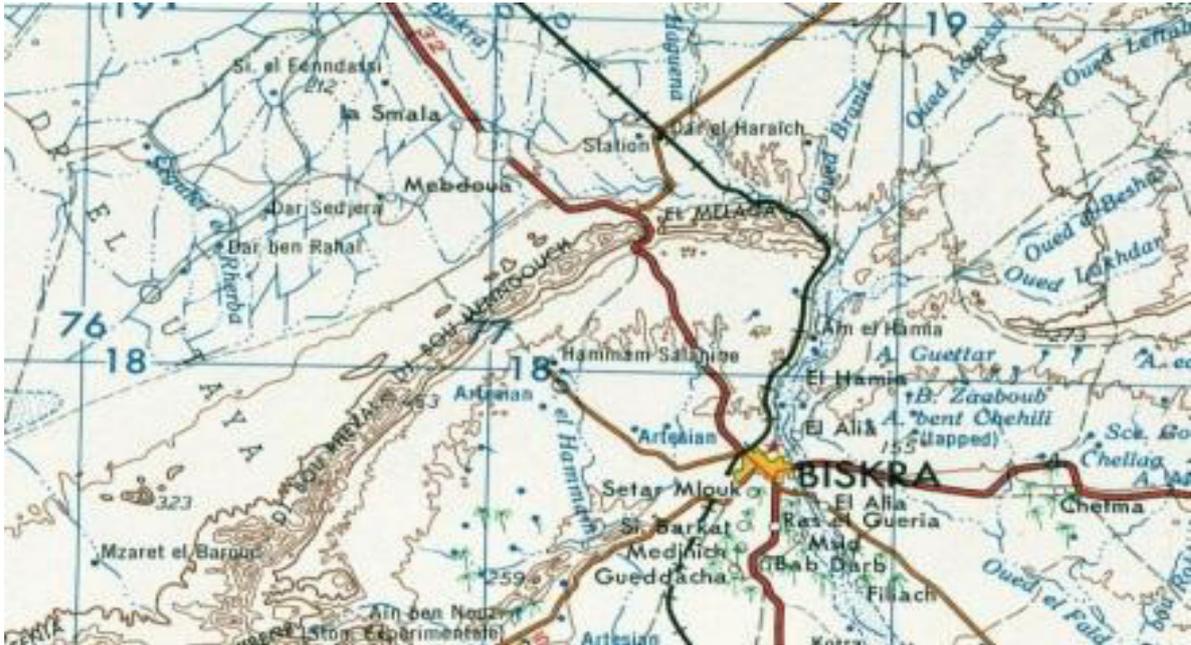


Figure 2.9: réseau hydrographique à l'Ouest de Biskra. (ANRH)

2.7. Climatologie de la zone d'étude

Les conditions climatiques de la zone d'étude sont prédéterminées par la situation géographique de cette zone, notamment, par le fait qu'elle se trouve à la limite des monts sud de l'Atlas et du Sahara, par la nature de circulation de l'air et par le relief environnant. Les conditions climatiques se forment sous l'influence des masses continentales de l'air du Sahara où le climat est sec et chaud et les masses de l'air provenant de la Méditerranée où le climat est plus doux et plus humide.

Les caractéristiques des facteurs climatiques principaux sont données sur la base des observations faites sur le réseau des stations météorologiques qui se trouvent dans la région étudiée ou à proximité de celle-ci, et qui possèdent de données les plus représentatives.

La description plus détaillée des caractéristiques météorologiques est ci-dessous:

2.7.1. Température de l'air

Les valeurs de température moyenne et extrême dans la région concernée par l'étude de poste de Biskra sont données dans le tableau suivant:

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude

Tableau n° 2.1: Valeurs de température moyenne et extrême dans la zone d'étude. (ANRH)

T C°	MOIS												an
	S	O	N	D	Ja	F	M	A	M	J	Jt	Ao	
Moy	28.1	21.5	15.9	12.1	11.1	13.2	16.3	19.4	24.5	29.2	32.2	32.3	21.3
Max.	43.5	38.4	29.5	26.5	24.0	28.0	31.3	38.0	40.0	46.0	47.5	49.2	49.2
Min.	12.0	8.2	2.0	-1.0	-1.0	0.2	1.0	5.5	8.4	16.4	20.2	19.2	-1.0

Le climat de la zone d'étude est caractérisé par l'été sec et l'hiver relativement doux. La température moyenne annuelle de l'air varie de 21°C à 22°C.

L'été est très chaud, la température moyenne varie de 29°C à 33°C. Les valeurs maximales absolues varient de 46°C à 50°C, celle minimales de 16°C à 21°C.

L'hiver est relativement doux, les températures moyennes mensuelles varient de 11°C à 14°C. Les valeurs absolues maximales sont de 24°C à 28°C, les valeurs absolues minimales sont de l'ordre de (-1°C) à 0°C.

Le mois le plus froid est le mois du janvier. Sa température moyenne varie dans les limites de 10°C – 11°C. Les mois les plus chauds sont Juillet et Aout, avec des températures moyennes de 32°C- 33°C.

La valeur moyenne mensuelle de l'humidité relative de l'air varie de 64% à 58% entre Octobre et Mai et très sec pendant la période de Juin à Septembre.

2.7.2. Régime des vents

La fréquence moyenne interannuelle des vents de différentes directions est donnée dans le tableau suivant:

Tableau n° 2.2: fréquence moyenne interannuelle des vents

Direction	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
Fréquence %	11.4	6.5	2.0	0.5	5.6	24.7	14.8	4.4	30.1

Les caractéristiques du régime des vents est donnée d'après les renseignements obtenus à la station météorologique de Biskra où les données des observations sont les plus complète.

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude

Les vents prédominants sur le territoire étudié sont des vents des directions sud-ouest et ouest. La vitesse maximale moyenne du vent est 29 m/s alors que la vitesse des rafales de peut atteindre 58 m/s.

2.7.3. Précipitations atmosphériques

La région concernée par l'étude est caractérisée par l'irrégularité des précipitations atmosphériques. On constate le changement vertical des précipitations bien distingué en fonction de l'altitude.

À cause du manque d'une station pluviométrique dans la zone Ouest de Biskra où se trouve « Oued Zmor » ; nous avons utilisé la station ONM de Biskra (altitude = 124m) dont la répartition mensuelle des précipitations observées est donnée dans la tableau suivant:

Tableau n°2.3: précipitation atmosphérique mensuelle moyenne de la station de Biskra

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Juil	A	Total
P _{moy} (mm)	14.1	10.5	17.2	9.8	17.3	10.4	15.1	13.7	10.4	4.9	0.5	2.2	126

L'analyse des données des observations des précipitations de la station météorologique de Biskra permet de tirer les conclusions suivantes:

- La valeur des précipitations annuelles est très variable.
- Le régime des pluies annuelles et leurs quantités totales accusent bien l'influence de deux centres sur le climat de la région- du Sahara et de la Méditerranée.
- La répartition annuelle des précipitations accuse l'existence de deux périodes bien distinctes: période humide du Septembre à Mai durant laquelle il tombe 80 à 90% de la somme annuelle des précipitations, et la période sèche du Juin à l'Aout.
- La valeur minimale des précipitations est enregistrée en mois du Juillet et Aout.
- La valeur des précipitations journalières importante.

Données pluviométriques de la station de Biskra

- Pluie moyenne annuelle: P_{moy.an} = 140 mm.

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude

- Moyenne des pluies journalières maxima annuelles: $P_{j,max,moy} = 28.8$ mm.
- Exposant climatique: $b = 0.19$.
- Coefficient de variation: $C_v = 0.60$.

Introduction

Les dernières décennies ont été marquées par la révolution technologique en informatique et particulièrement dans la télédétection qui a investi l'hydraulique et l'hydrologie. Ces domaines utilisent l'information géographique, soit selon une méthode classique manuelle ou selon un système numérique, exprimé de plusieurs manières comme le radar, les images aériennes « photogrammétrie » prises par satellite, ou des cartes numériques acquises et traitées par la télédétection.

La télédétection a permis de développer de nombreux produits, dont le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Ce modèle aide à la représentation du terrain et les éléments caractérisant de la surface.

L'objectif de ce chapitre est de réaliser le modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude « Oued Zmor » en tant qu'outil d'étude du risque hydrologique dans des sites non observés. Cela est effectué à partir des données satellitaires et de la base des données du Système Information Géographique « SIG ». Afin de construire le MNT de cette zone, on a utilisé le logiciel « ArcGis » avec ses compléments, et USGS Earth Explorer.

Toutes les données des caractéristiques du bassin versant de « Oued Zmor » d'après les données d'ADE de Biskra.

3.1. Conception du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

3.1.1. Définition d'un modèle numérique de terrain MNT

Le MNT est une représentation numérique et mathématique de l'altitude d'un point quelconque de la surface terrestre d'une zone géographique, dans un système référentiel bien défini. Il reste l'une des plus importantes sources de données utilisées pour l'extraction de nombreux paramètres utilisés tels que la pente, la direction d'écoulement de l'eau, l'indice topographique, etc. Cependant, il reste une représentation spatiale de la réalité.

Un MNT, même de meilleure exactitude, reste une approximation de la réalité du terrain. (Mohamar, Aurore et Charles, 2014).

3.1.2. Domaines d'utilisation du modèle numérique de terrain MNT

- **Topographie** : le MNT sert principalement à représenter les formes topographiques d'un site. La schématisation 3D de la surface du sol, sans construction ni végétation, aboutit à la création d'un référentiel topographique très précis.

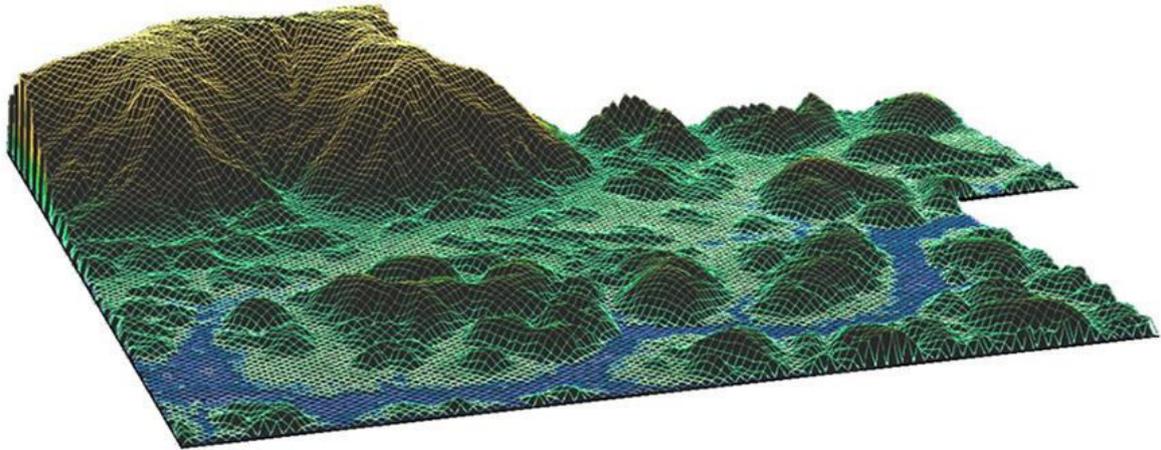


Figure 3.1: Exemple d'un modèle numérique de terrain topographie.
(<http://www.altoa.org/fr/produits-mns-et-mnt.html>).

▪ **Hydrologie :** le MNT est un outil fiable permettant la compréhension des formes et mouvements hydrologiques. Il permet le repérage des cours d'eau, des zones humides, talwegs, fossés...etc. De plus, ce modèle est utile pour l'élaboration de Plan de Prévention des Risques Inondations (PPRI). Il permet de détecter les bassins versants et la direction des écoulements, de réaliser une modélisation hydraulique et de créer une simulation des inondations.

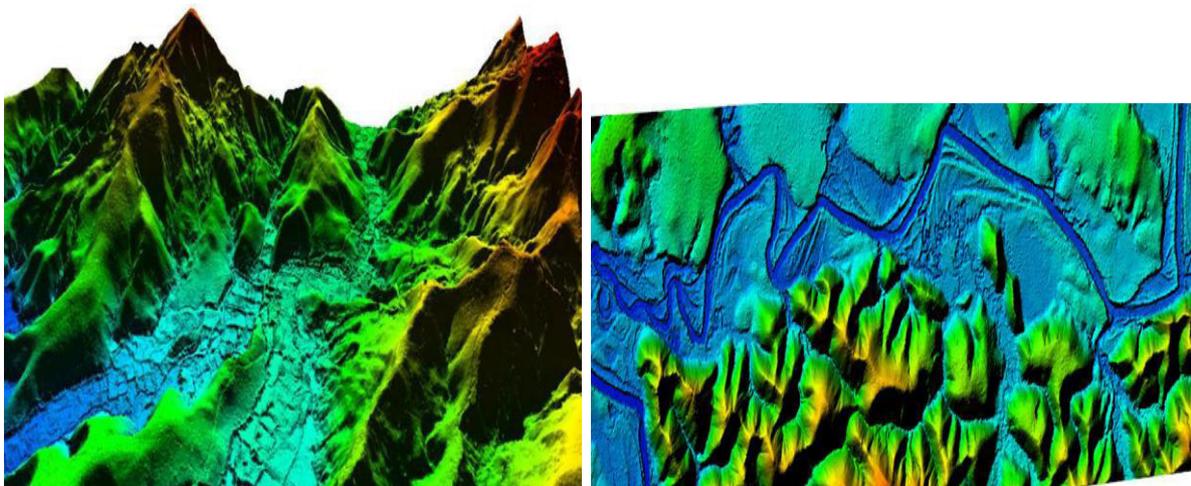


Figure 3.2: Exemple d'un modèle numérique de terrain hydrologique.
(<http://www.altoa.org/fr/produits-mns-et-mnt.html>).

- **Géologie** : le MNT sert également à la caractérisation des zones géologiques à ciel ouvert telles que les carrières, les zones minières et aurifères...etc. L'analyse des données topographiques permet aux exploitants de calculer les volumes d'extraction (Évaluation précise des cubatures) et de prévoir l'aménagement futur de ces zones.

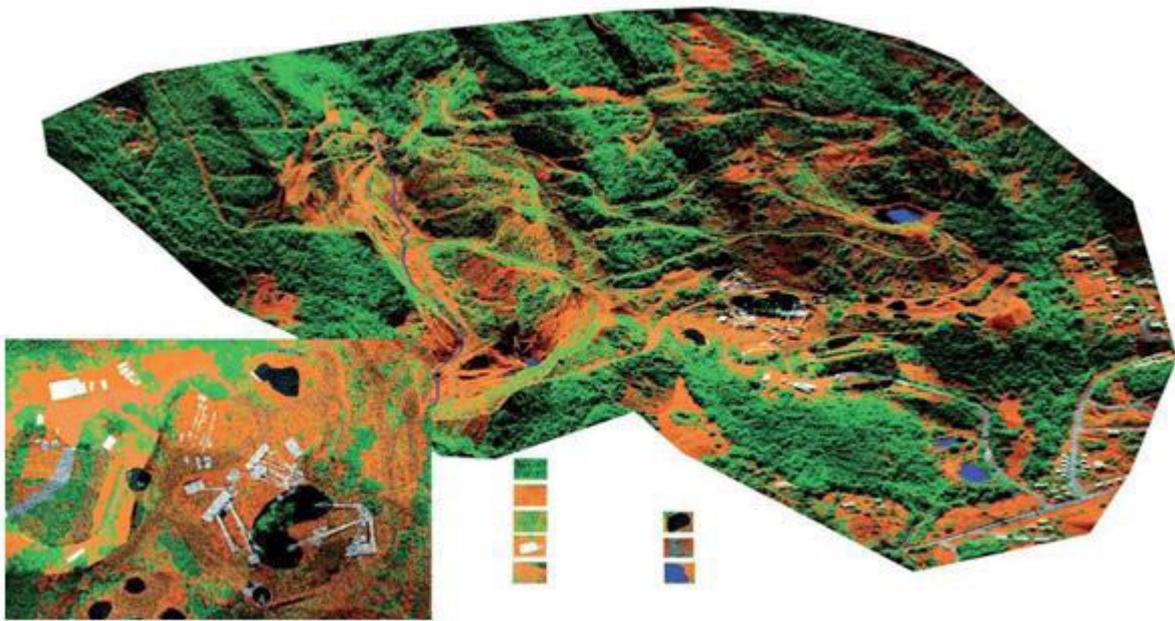


Figure 3.3: Exemple d'un modèle numérique de terrain géologique.
(<http://www.altoa.org/fr/produits-mns-et-mnt.html>).

- **Archéologie** : Le MNT permet de mettre en évidence les microreliefs liés aux activités humaines anciennes (anciens chemins, murets, restes de bâtiments...).

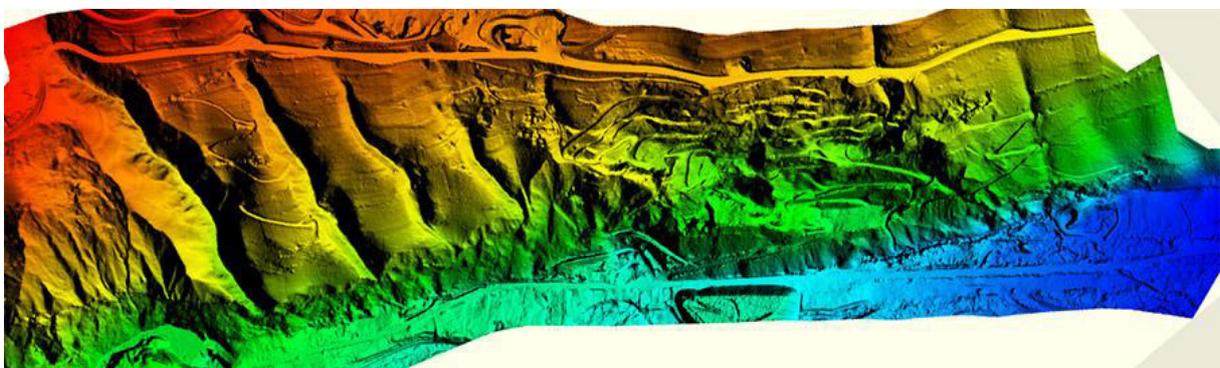


Figure n°3.4 : Exemple d'un modèle numérique de terrain archéologique.
(<http://www.altoa.org/fr/produits-mns-et-mnt.html>).

3.1.3. Formats et résolution

Le MNT peut se décliner en plusieurs formats :

- **Vectorel**: .xyz, .dwg, .dxf, .shp, .las...
- **Raster** : ASCII Grid, Mapinfo Grid, .tif, .kmz, .png...

La résolution du MNT peut varier selon les projets (50 cm, 1m, 5m...). Cette résolution dépend du besoin du client. La fréquence des points laser émis par le système Lidar et l'altitude de vol sont adaptées de manière à obtenir une densité de points suffisante (souvent plusieurs points par m²) et donc une résolution conforme au cahier des charges. (<http://www.altoa.org/fr/produits-mns-et-mnt.html>).

3.2. Matériels utilisés au cours de réalisation le MNT

3.2.1. Données satellitaires

3.2.1.1. Les images (MNT)

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation de la surface d'un terrain ou d'une planète, créée à partir des données d'altitude du terrain. Le MNT ne prend pas en compte les objets présents à la surface du terrain tels les plantes et les bâtiments.

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines : la NASA et la NGA (exNIMA). Ces données altimétriques ont été recueillies au cours d'une mission de 28 jours en février 2018.

3.2.1.2. Les images satellitaires (ASRTM)

Afin d'étudier l'évolution des états de surface de la zone Ouest de Biskra où est situé « Oued Zmor », nous avons analysé une seule scène d'images « ASRTM » pendant tout le mois de Février 2018. « ASRTM » a une résolution du 30m.

Ces images sont traitées sur le format « Aster Global DEM » avec une résolution du 30 m encore, et avec les trois formats de Shuttle Radar Topography Mission « SRTM ».

L'imagerie satellitaire est prise en système de projection du « WGS 1984 » par des coordonnées géographique en degrés décimaux et inversé au système de référence Nord Sahara zone 31 UTM.

3.2.1.3. Les images Google Earth

Un jeu de données a été utilisé pour la mise en place de la cartographie diachronique de l'occupation du sol pour les dates les plus récentes. En effet, les images satellitaires de Google Earth de très haute résolution (Images Spot, filiale d'Astrium) ont permis de bien identifier les différentes classes et de faire la correspondance avec leur réponse spectrale sur les images satellitaires « SRTM » et « Aster Global DEM ». Elles ont aussi servi pour la vérification et la validation des classifications.(Ould Sidi Mohamed,2016).

3.2.2. Logiciels utilisés

3.2.2.1. ArcGis 10.3

ArcGis Desktop comprend une suite d'applications intégrées : *ArcMap*, *ArcCatalog* et *ArcToolbox*. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement.

ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches «Nord» et autres éléments.(Ould Sidi Mohamed,2016).

Chapitre 3: Elaboration du MNT du « Oued Zmor »

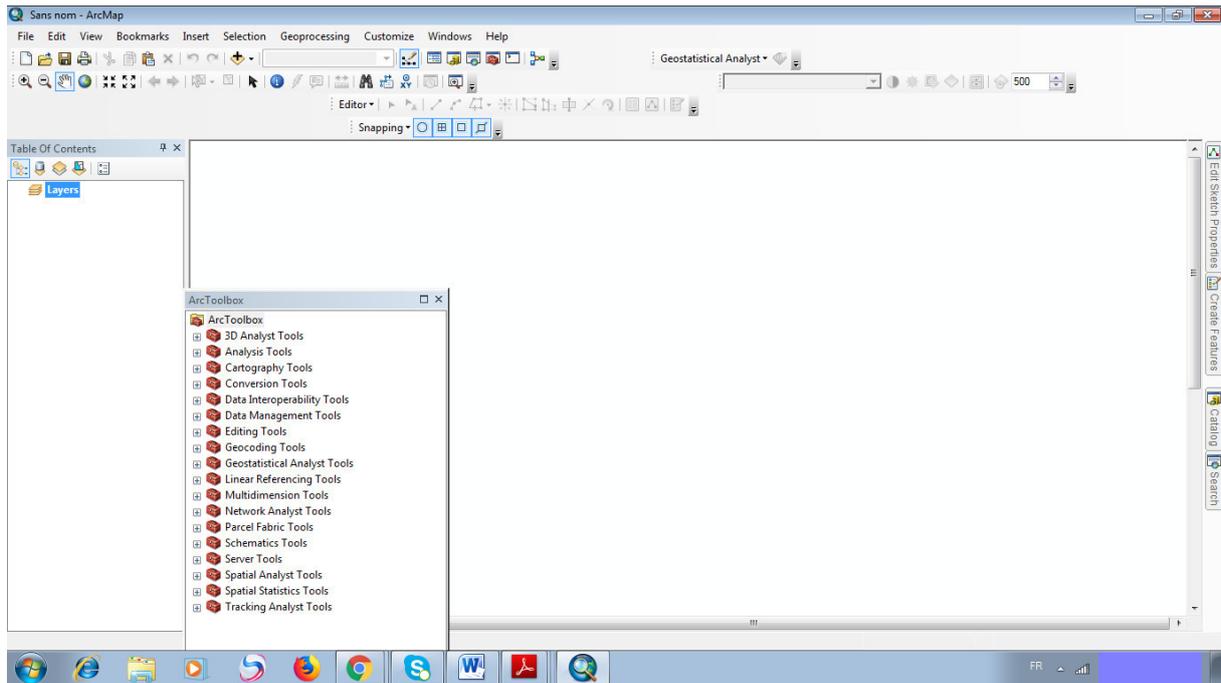


Figure n° 3.5: Interface du logiciel ArcGis avec la liste d'application Arc Toolbox.

3.2.2.2. Google Earth Pro

C'est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies satellitaires. Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises.

3.2.2.3. Earth Explorer

Earth Explorer de l'United States Geological Survey (USGS) permet la recherche et l'acquisition de plusieurs types de données sur les Etats-Unis ou d'autres régions de la planète.

Pour utiliser toutes ces données, il est nécessaire de s'enregistrer sur le site de l'USGS, ce qui se fait instantanément. Pour sélectionner les espaces à étudier, on dispose sur la partie droite de l'écran d'une interface Google maps facile d'utilisation, les jeux de données sont disposés sur la partie gauche de l'écran sous forme de couches (*layers*) sélectionnables. Le plus difficile sera bien sûr de rendre compatibles les formats, les datums, et les systèmes de projection, en vue de l'intégration dans un SIG.

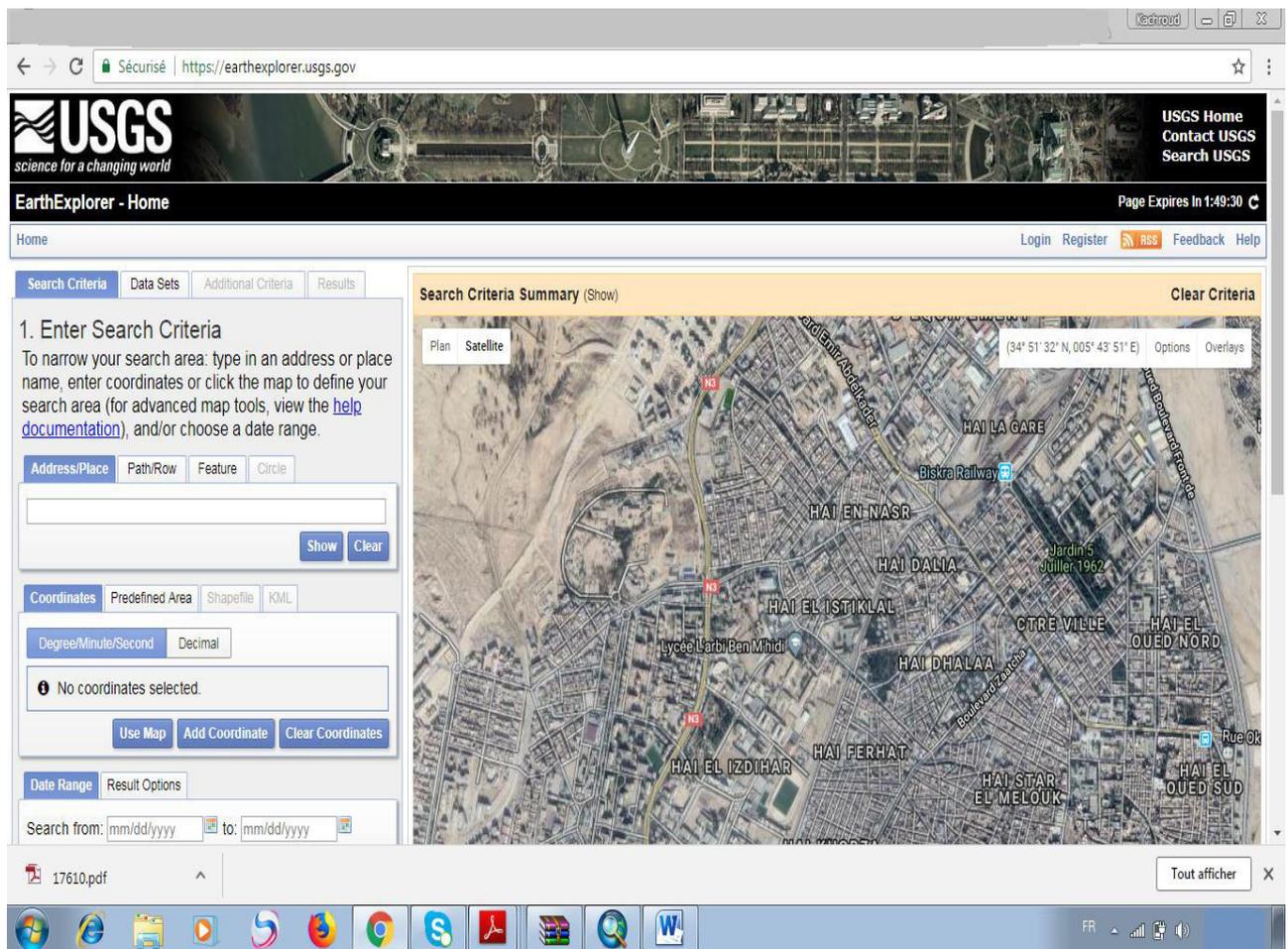


Figure n°3.6: Interface de « Earth Explorer ».

3.3. Méthodologie générale à la réalisation du MNT

3.3.1. La modélisation hydrologique

Le bassin versant topographique est le collecteur des eaux de précipitations qui ruissellent jusqu'au plan d'eau qui en est le réceptacle.

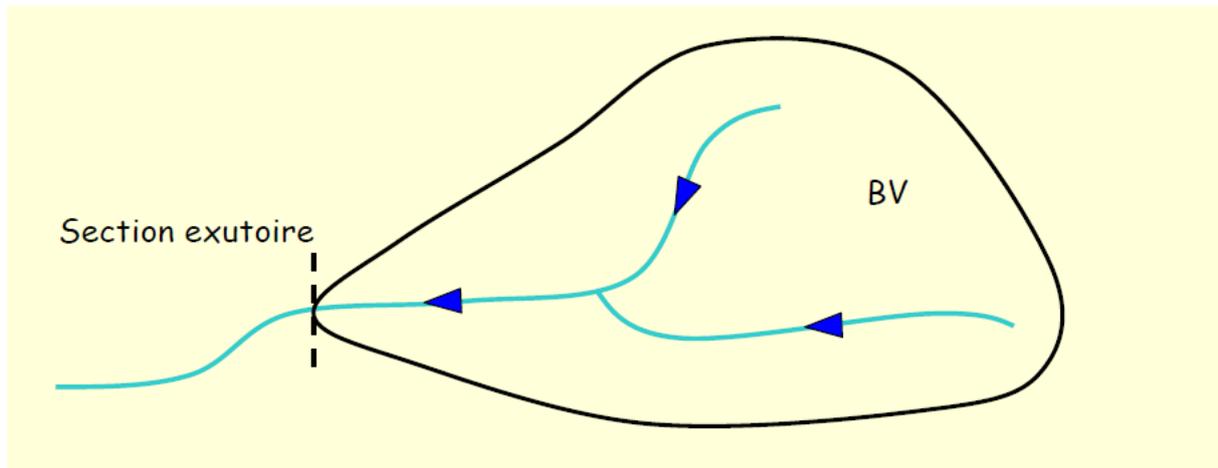


Figure n°3.7: Exemple de bassin versant.

On considère ainsi que tout le contour du plan d'eau représente un exutoire potentiel. C'est pourquoi le contour du plan d'eau est transformé en points espacés, distance qui correspond à la résolution du MNT. A chaque point sera associé un « sous bassin versant », l'ensemble des sous-bassins formant le bassin versant total du plan d'eau. La délimitation du bassin versant topographique n'a théoriquement besoin que d'un exutoire, à partir duquel les géotraitements permettent de remonter les lignes de plus grande pente et de dessiner les lignes de crêtes.

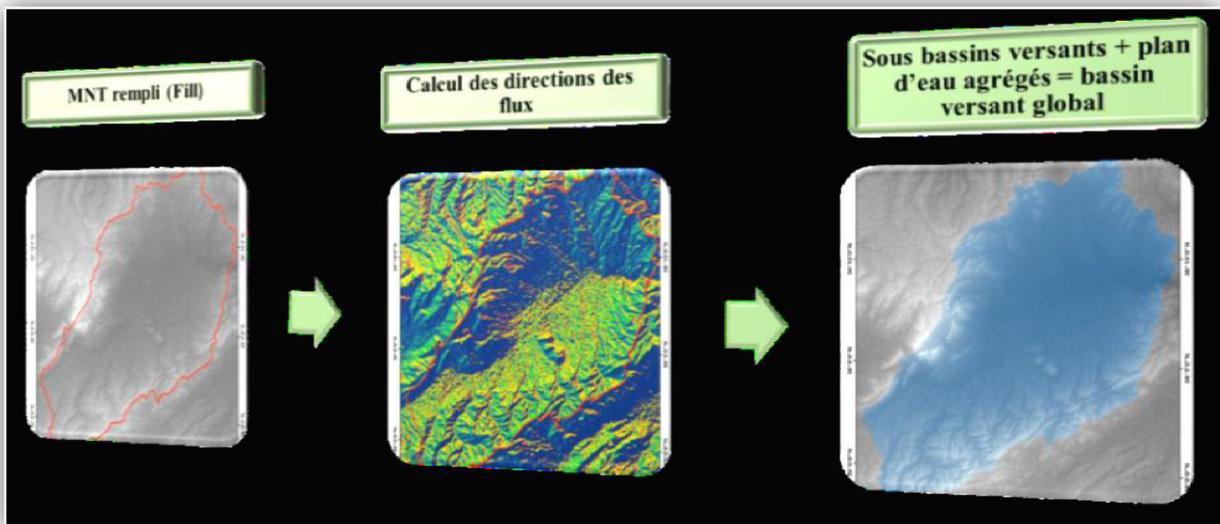


Figure n°3.8: Illustration de la chaîne de géotraitement pour la délimitation du bassin versant d'un plan d'eau.

Sous ArcGis le MNT a subi le traitement de remplissage pour donner un modèle hydrologique correct (outil « Fill »), puis les directions de flux ont été calculées (Flow

Chapitre 3: Elaboration du MNT du « Oued Zmor »

direction) et (Flow accumulation). Le sous bassin versant est ensuite calculé pour chaque point de contour en utilisant l'outil Watershed de « ToolBox ArcGis / Spatial Analyst / Hydrology ». Ces sous bassins versants sont transformés en polygones (couche vectorielle) puis les réunit avec la surface du plan d'eau pour former un bassin versant global (Ould Sidi Mohamed, 2016). Les étapes nécessaires dans les figures suivantes:

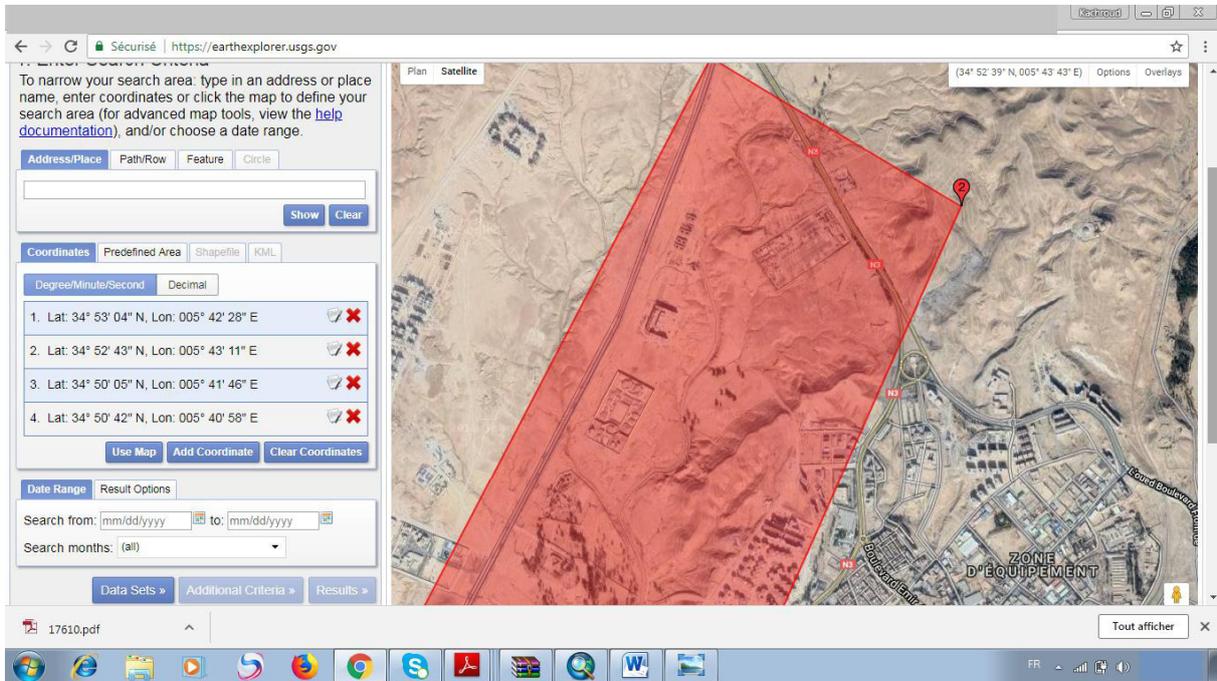


Figure n°3.9: Délimitation et élévation du MNT à partir du « Earth Explorer ».

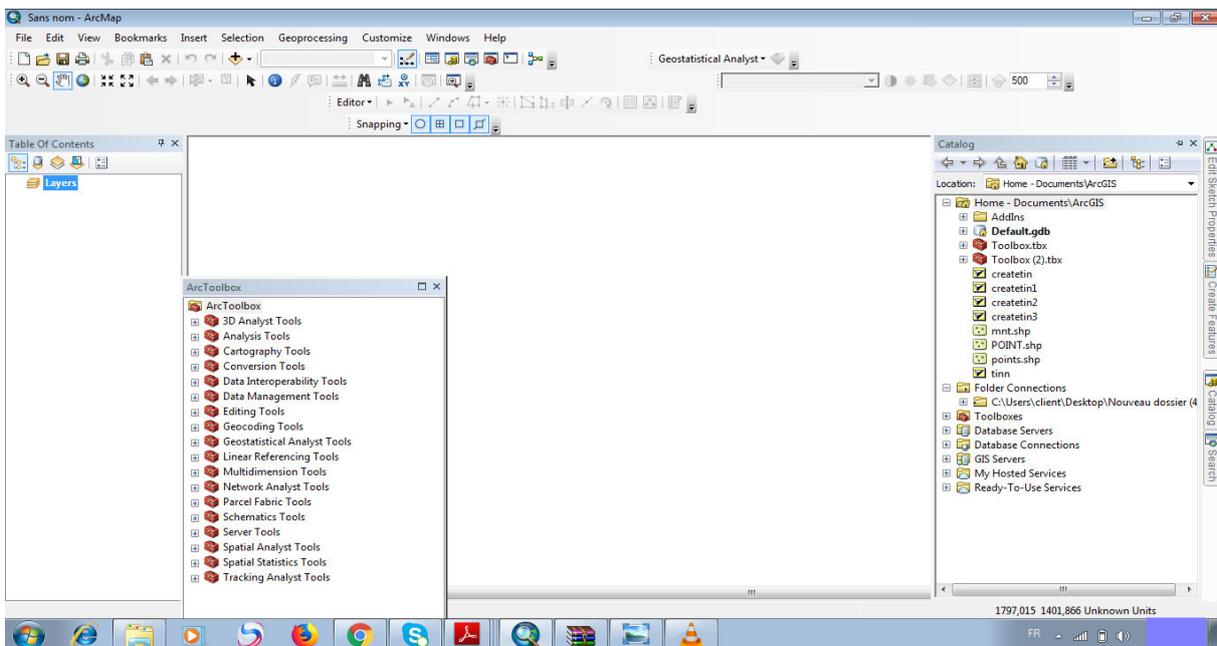


Figure n°3.10: Application de « Catalog » pour élévation du dossier MNT et les outils de l'application ArcToolbox.

Chapitre 3: Elaboration du MNT du « Oued Zmor »

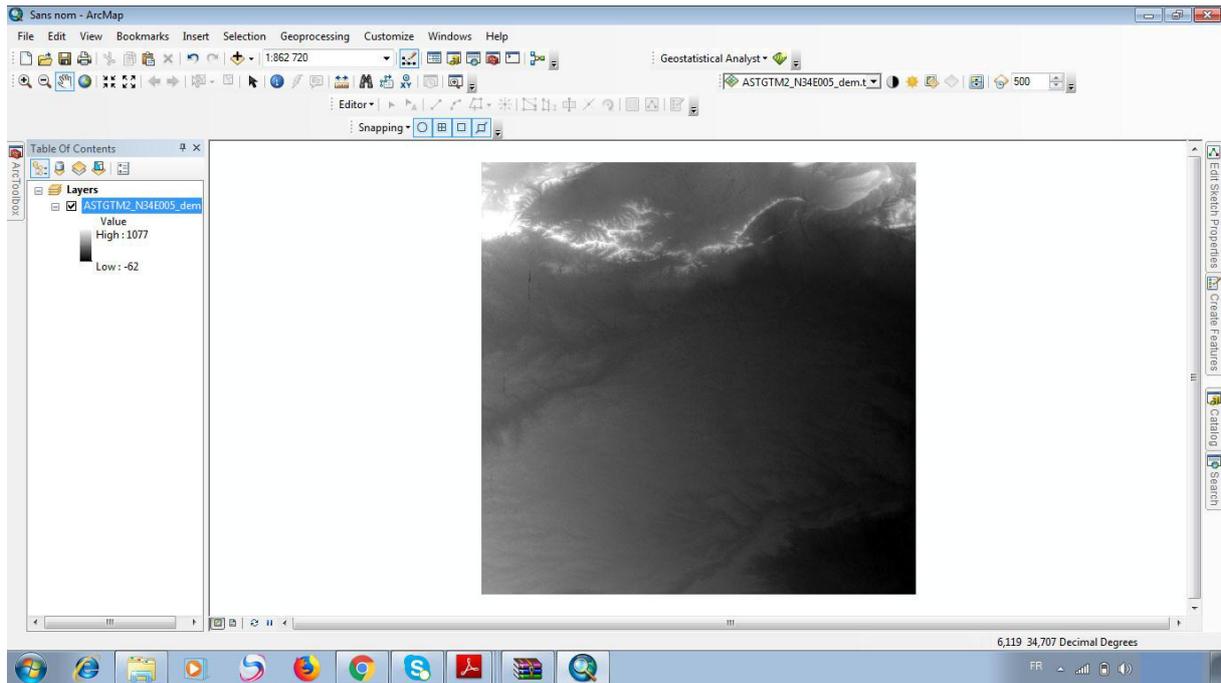


Figure n° 3.11: Elévation et ouverture du dossier MNT.

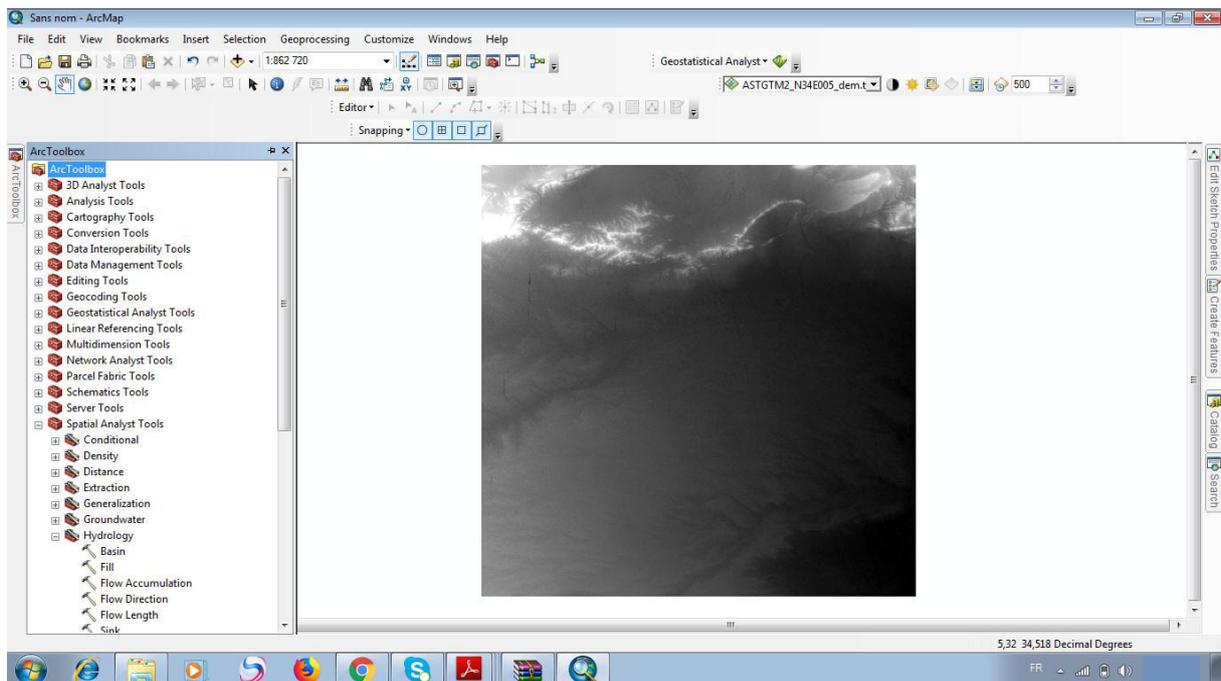


Figure n°3.12: Traiter et réalisation des cartes du MNT par l'application ArcToolbox et les outils du ArcGis.

3.3.2. Processus d'extraction du réseau hydrographique

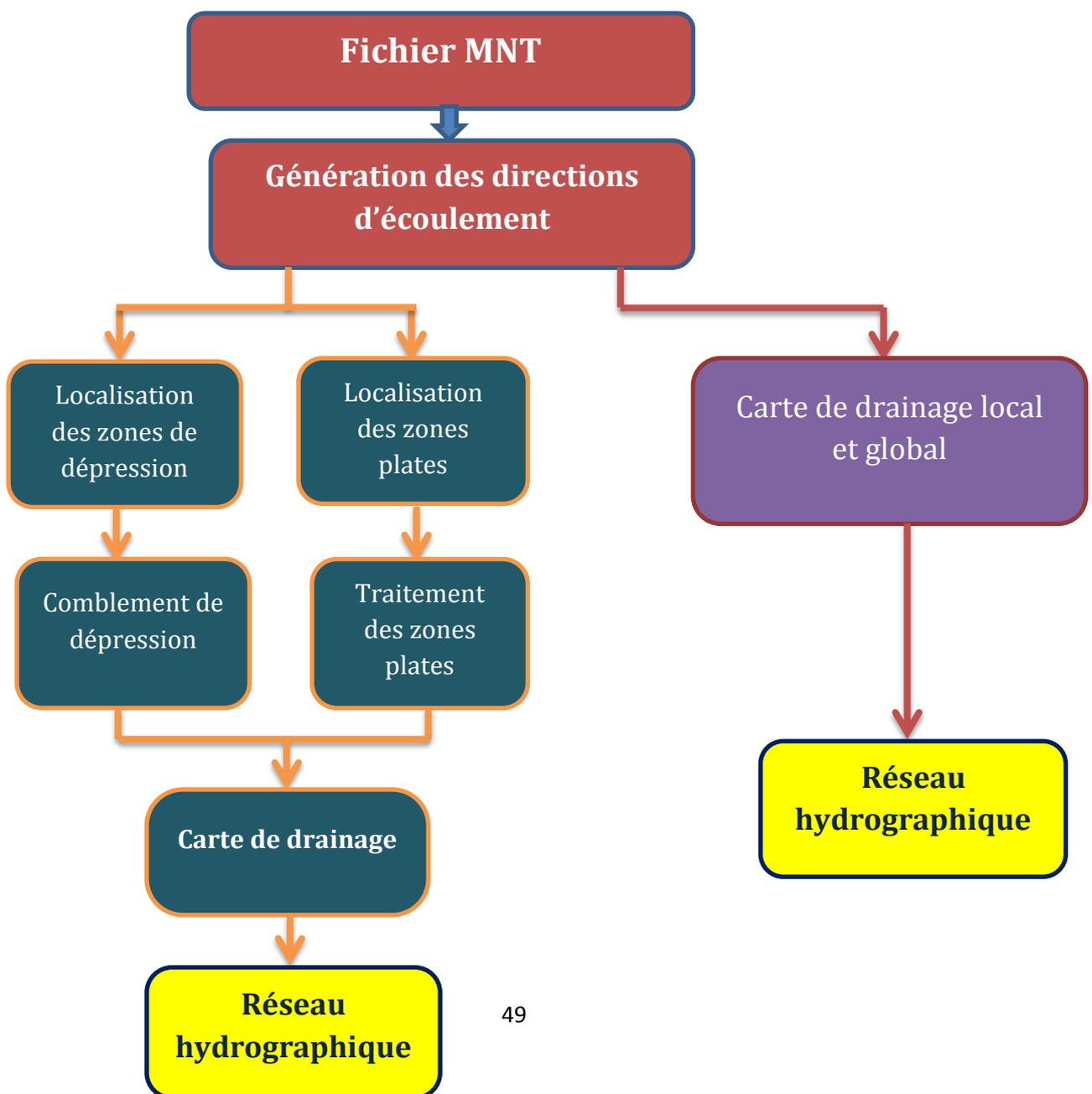
Nous avons utilisé un processus d'extraction du réseau hydrologique basé sur une analyse hydrologique qui utilise le MNT.

Chapitre 3: Elaboration du MNT du « Oued Zmor »

Dans cette approche, les méthodes d'extraction retiennent le principe d'un cheminement naturel des eaux entraînées par la gravité et guidées par la topographie. Elles s'appuient sur la détermination des directions d'écoulement de l'eau en chaque cellule de résolution ou pixel à partir des valeurs altimétriques du MNT, sachant que l'eau emprunte le chemin défini par la ligne de plus grande pente. Ainsi les cellules se déversent les unes dans les autres en fonction de la pente locale et de ceci un ensemble cohérent de talwegs principaux pourra être déduit. (Ould Sidi Mohamed,2016).

Les étapes de traitement que nous proposons sont schématisées par l'organigramme fonctionnel suivant :

Figure n°3.13: Organigramme du processus d'extraction du réseau hydrologique.



3.4. Réalisation du modèle numérique de terrain de la zone d'étude

3.4.1. Situation du bassin versant du « Oued Zmor »

L'oued Zmor fait partie du bassin versant de lac « Chott Melhir » qui est l'un des derniers vestiges de l'étendue aquatique jadis cette région.

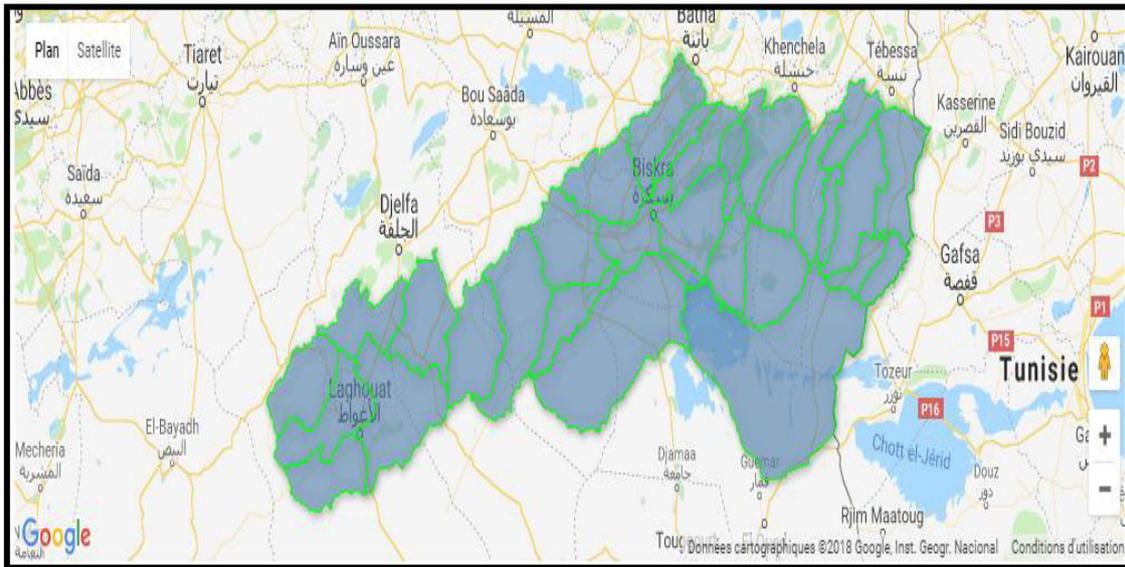


Figure n°3.14: Situation du bassin versant de lac « Chott Melhir » (<http://www.abhs.dz/bassin-et-sous-bassin-versant/>).



Figure n°3.15: présentation du « Oued Zmor » (Google Earth Pro).

3.4.2. Caractéristiques du bassin versant du « oued Zmor »

- Le bassin versant du « Oued Zmor » se compose de trois sous bassins, avec les caractéristiques suivants:

3.4.2.1. Superficie (S): défini comme la totalité de la surface drainée par un cour d'eau principale, et ses affluents, cette surface est séparée par une ligne de partage des eaux. Elle est mesurée à l'aide du planimètre.

Tableau n° 3.1: Superficie des sous bassins (d'après les données d'ADE Biskra).

Bassin versant	Superficie km ²
Sous bassin Oued Zmor 01	15.66
Sous bassin Oued Zmor 02	53.44
Sous bassin Oued Zmor 03	76.23

3.4.2.2. Périmètre (P): mesuré à l'aide du curvimètre.

Tableau n° 3.2: Périmètre des sous bassins du bassin versant d'Oued Zmor.

Bassin versant	Périmètre km
Sous bassin Oued Zmor 01	18.00
Sous bassin Oued Zmor 02	38.86
Sous bassin Oued Zmor 03	40.92

3.4.2.3. Longueur du talweg principal

La longueur de l'oued depuis le point le plus éloigné du bassin versant est mesurée au curvimètre est évaluée à:

Tableau n° 3.3: Longueur du talweg principal

Bassin versant	Longueur du talweg principal Km
Sous bassin Oued Zmor 01	7.33
Sous bassin Oued Zmor 02	9.43
Sous bassin Oued Zmor 03	13.34

3.4.2.4. Coefficient de compacité de Gravelius K_c

Il est établi en comparant le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il est égal à 1 pour un bassin circulaire et croit d'autant plus que la compacité diminue.

$$K_c = 0.28 \frac{p}{\sqrt{A}} \quad (3.1)$$

Où p : périmètre en Km.

A: superficie en Km².

Tableau n° 3.4: Coefficient de compacité K_c

Bassin versant	Coefficient de compacité K_c
Sous bassin Oued Zmor 01	1.27
Sous bassin Oued Zmor 02	1.49
Sous bassin Oued Zmor 03	1.31

- A partir des données du coefficient de compacité on trouve que le bassin versant d'Oued Zmor a une forme plus ou moins allongé car $K_c > 1$.

- La compacité du bassin nous traduit la réponse du bassin pour un épisode de crue. Quand le bassin versant est de forme allongé, le temps mis par une goutte d'eau pour parcourir

Chapitre 3: Elaboration du MNT du « Oued Zmor »

la distance entre un point éloigné et l'exutoire est plus grand ; le temps de réponse est donc plus important et le débit de pointe peut être atténué. Tandis que la forme ramassée traduit par un indice de Gravelius faible favorise un temps court de circulation des eaux jusqu'à l'exutoire avec une augmentation du risque des crues.

3.4.2.5. Rectangle équivalent

C'est une notion qui a été introduite afin de comparer facilement des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

Soit : l et L la largeur et la longueur du rectangle, on a alors :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right) \quad (5.2)$$

L : longueur en Km.

K_c : coefficient de Compacité.

A : Superficie en Km^2 .

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right) \quad (5.3)$$

l : largeur en Km.

K_c : coefficient de Compacité.

A : Superficie en Km^2 .

On adopte les données suivantes de la largeur et la longueur de chaque sous bassin:

Tableau n° 3.5: longueur des sous bassins versants d'Oued Zmor: (L)

Bassin versant	Longueur (km)
Sous bassin Oued Zmor 01	6.6
Sous bassin Oued Zmor 02	16.14
Sous bassin Oued Zmor 03	15.51

Tableau n° 3.6: largeur des sous bassins versants d'Oued Zmor (l)

Bassin versant	Largeur (Km)
Sous bassin Oued Zmor 01	2.36
Sous bassin Oued Zmor 01	3.32
Sous bassin Oued Zmor 01	4.9

3.4.2.6. Relief du bassin versant du « Oued Zmor »

Le relief est considéré comme l'un des facteurs d'influence de la réponse hydrologique et par conséquent de la forme de l'hydrogramme de crue. Une pente plus forte entraîne une durée plus faible de concentration des eaux de ruissellement dans le réseau de drainage. Le relief du bassin versant est souvent caractérisé par une courbe hypsométrique où l'on porte sur l'axe des abscisses, les altitudes et sur l'axe des ordonnées, la surface.

L'altimétrie joue un rôle essentiel dans l'étude du comportement hydrologique d'un bassin versant. En effet, plusieurs paramètres physiques, comme la pente moyenne, par exemple, dépendent des caractéristiques altimétriques. L'altitude du bassin versant peut également jouer un rôle important sur les conditions climatiques du bassin (pluviosité).

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques comme la précipitation, la température et débit spécifique étant fonction de l'altitude. Il est intéressant de construire les courbes hypsométriques, dont les figures sont données ci-dessous

3.4.2.6.1. Courbes hypsométriques du bassin versant du « Oued Zmor »

A partir des données des altitudes (tableau n°3.7) nous avons réalisé les courbes hypsométriques qui permettent de donner une vision à la forme réelle du bassin versant du « Oued Zmor ».

Tableau n° 3.7: Altitude et pourcentage de la superficie de chaque sous bassin versant d'Oued Zmor :

Chapitre 3: Elaboration du MNT du « Oued Zmor »

Bassin Versant	Altitude (m)	Superficie S (Km²)	Superficie S (%)
Sous Bassin 01	397	0	0
	300	13.92	88.89
	200	15.28	97.57
	115	15.66	100
Sous Bassin 02	494	0	0
	400	2.86	5.35
	300	46.03	86.13
	200	50.97	95.38
	100	53.29	99.72
	95	53.44	100
Sous Bassin 03	494	0	0
	400	7.55	9.90
	300	67.09	88.01
	200	73.77	96.77
	100	76.09	99.82
	85	76.23	100

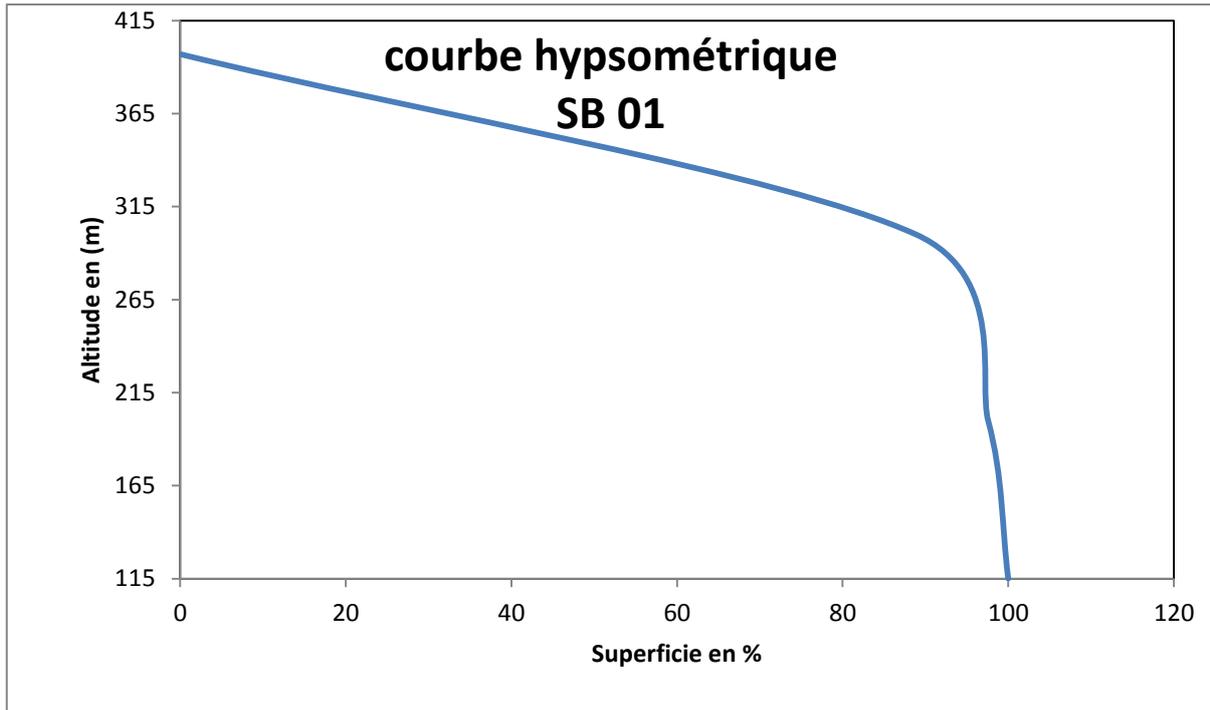


Figure n° 3.16: Courbe hypsométrique de sous bassin versant n° 01 d'Oued Zmor.

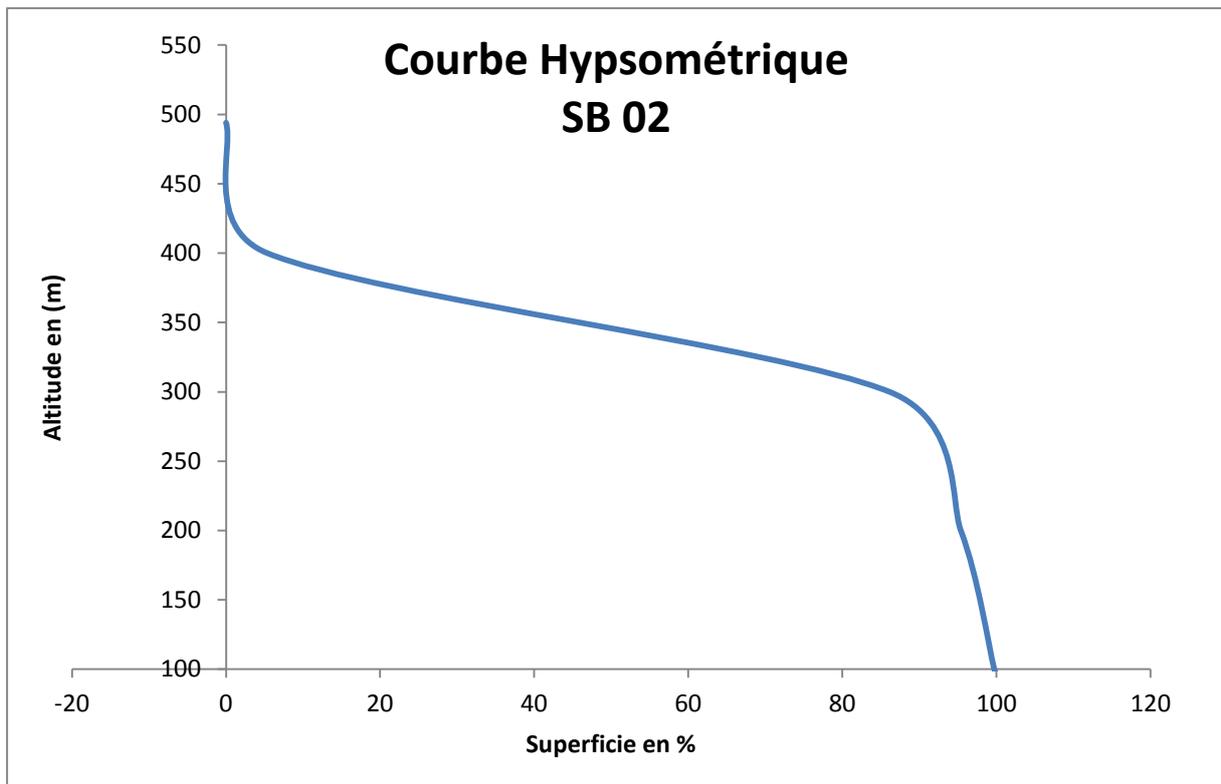


Figure n° 3.17: Courbe hypsométrique de sous bassin versant n° 02 d'Oued Zmor.

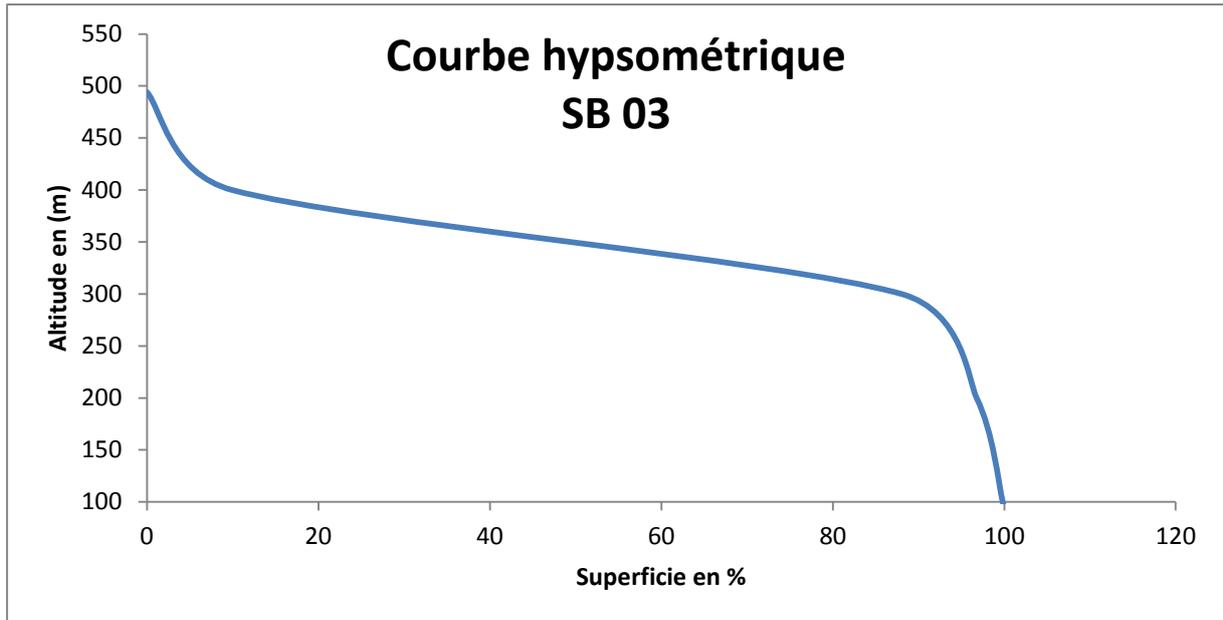


Figure n° 3.18: Courbe hypsométrique de sous bassin versant n 03 d'Oued Zmor.

3.4.2.6.2. Dénivelé simple (D_m)

La dénivelée ne dépend que de l'hypsométrie et de la forme. Elle est obtenue directement de la courbe hypsométrique par la formule suivante :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \quad (3.4)$$

On résume les résultats obtenus de chaque sous bassin versant de « Oued Zmor » dans le tableau suivant:

Tableau n° 3.8: Dénivelé simple des sous bassins versants de «Oued Zmor ».

Bassin Versant	Dénivelé simple (m)
Sous bassin Oued Zmor 01	135
Sous bassin Oued Zmor 02	200
Sous bassin Oued Zmor 03	185

3.4.2.6.3. Altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit à partir de la courbe hypsométrique. Elle est définie comme suit:

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum(H_i * S_i)}{S_t} \quad (3.5)$$

Où: H_{moy} : l'altitude moyenne en (m).

H_i et S_i : la hauteur en (m) et la superficie en (Km^2) comprise entre deux courbes de niveau successives.

S_t : la surface totale du sous bassins versant en (Km^2).

Tableau n° 3.9: altitude moyenne des sous bassins versants de « Oued Zmor »

Bassin Versant	H_{moy} (m)
Sous bassin Oued Zmor 01	170.17
Sous bassin Oued Zmor 02	166
Sous bassin Oued Zmor 03	160

3.4.2.6.4. Altitude minimale et maximale

Elles peuvent être évaluées directement sur des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin, tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas. Dans notre cas, nous les avons évaluées à partir du MNT.

Altitude maximale = 134 m.

Altitude minimale = 95.

3.4.2.7. Pente moyenne du bassin versant de « Oued Zmor »

L'évaluation de la pente moyenne peut s'effectuer à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. Nous avons utilisé le modèle numérique du terrain (MNT) précédent avec les outils SIG ArcGis pour réaliser la carte des pentes du bassin versant d'« Oued Zmor ».

La figure n° 3.19 présente une carte des pentes du bassin versant d'« Oued Zmor ». On remarque que les pentes varient de 0 à 43 degré. La figure montre que le bassin versant caractérisé par changement de pente comme le profil en long preuve (figure n°3.21), et la majorité de la surface est une région plus basse. Cette partie basse a une pente de 0 à 10 degré étend sur une large surface du bassin versant ; cela provoque un fort déclin aux cours d'eau et augmente la vitesse et débit d'écoulement dans cette partie basse du bassin versant.

Les pentes de bassin versant changent selon la nature morphologie et géologie de la région, tel qu'il est près des lignes partage des eaux notons que la pente est variée de 10 à 43 degré et ces valeurs sont les plus élevées par rapport toutes les pentes de bassin versant, et près les affluents de l'oued et le cours d'eau principal de l'oued on a une pente de 0 à 10 degré ce fait changement fort et brusque de pente sur toute la superficie de drainage, ce changement brusque de forme convexe est montré par le profil en long de l'oued dans la figure n°3.21 exprime par pente de -1.% à 1.4%. Cette partie du changement de pente brusque en direction de l'exutoire provoque la réponse rapide du réseau hydrographique aux pluies. Ceci cause une augmentation de la vitesse et donc du débit d'écoulement. C'est un facteur de déclenchement naturel d'inondation.. Cependant, près de l'exutoire où qu'il y a eu hausse, alors on a une autre pente entre 10 et 43 degré.

D'après les résultats obtenues de la carte des pentes du bassin versant de « Oued Zmor » et on résume que :

- La plupart de la surface du bassin versant est une région très basse avec une pente qui varie entre 0 et 10 degré.
- Le bassin versant est caractérisé par des changements de pente et ce fait des variations de pente en 3 partie essentiels: de 10 à 43degré / de 0 à 10 degré / de 10 à 43 degré.
- Les pentes du bassin versant représentent un facteur de déclenchement naturel d'inondation et de la crue.

Chapitre 3: Elaboration du MNT du « Oued Zmor »

- Les changements brusques des pentes influencent directement sur l'écoulement et particulièrement lors des fortes crues où on peut prévoir un étalement sur toute la partie basse du bassin versant.

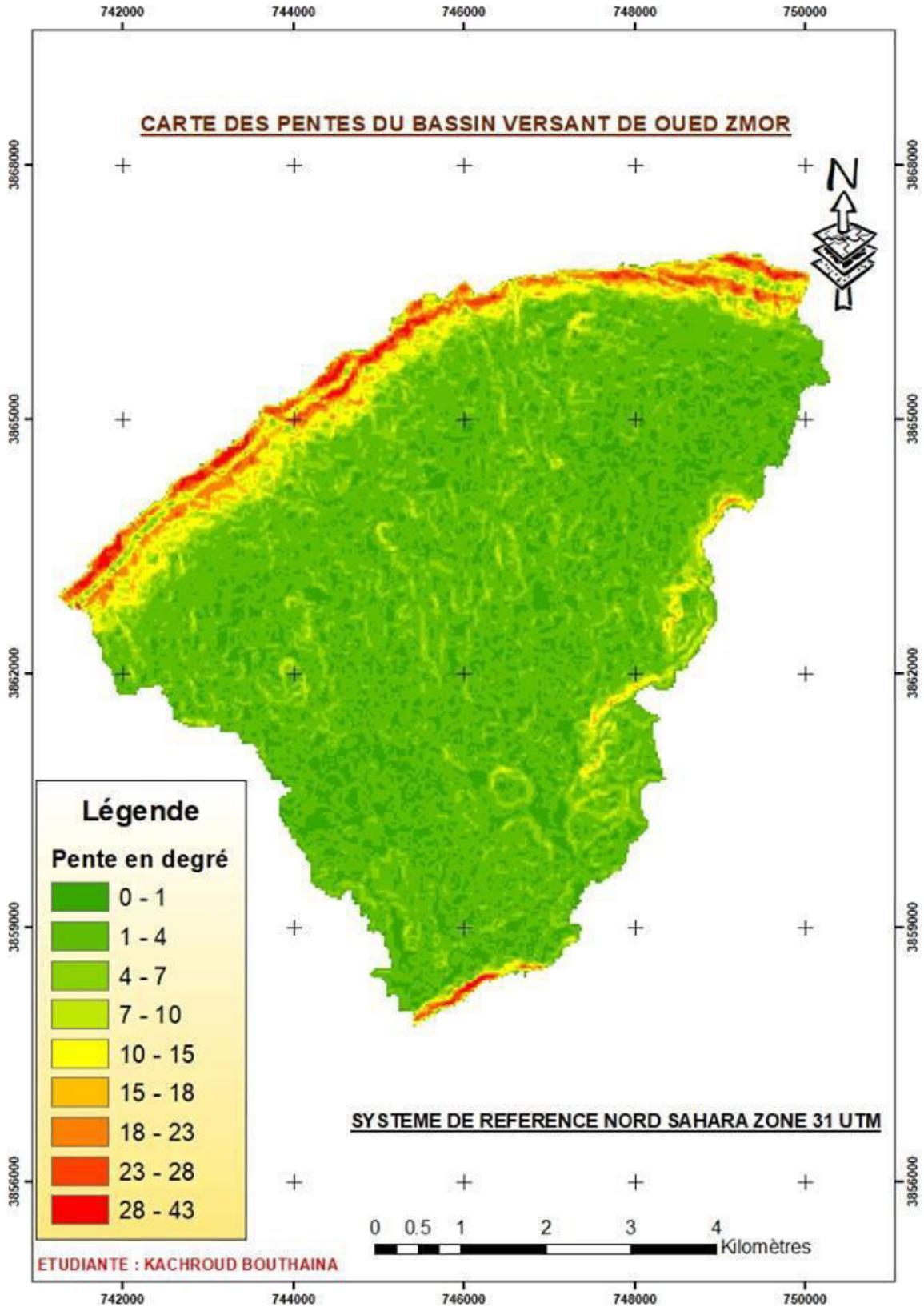


Figure n° 3.19 : Carte des pentes du bassin versant d' « Oued Zmor ».

3.5. Réseau hydrographique du bassin versant du « Oued Zmor »

L'oued Zmor est l'un des affluents d'oued Melah qu'il prend naissance dans altitudes d'oued Djebel bou Rhezal à l'Ouest de Biskra ville. Parmi ses affluents on cite, Oued Zmor, Oued el Hamura, Oued Hassi Mabrouk.

La carte du réseau hydrographique du bassin versant de « Oued Zmor » (figure 3.20) a été réalisée par nos soins sous le programme du « ArcGis » à partir d'une image satellitaire du Modèle Numérique du Terrain (MNT) prise par le satellite ASTRM avec une résolution du 30m du programme « Earth Explorer » du système international « United States Geological Survey » (USGS). Cette image sur le format « Aster Global DEM » avec une résolution du 30 m, et avec les trois formats de « Shuttle Radar Topography Mission » c.à.d: STRM avec la même résolution précédente. L'imagerie satellitaire prise en système de projection du « WGS 1984 » par des coordonnées géographiques en degrés décimaux et inversé au système de référence Nord Sahara zone 31 UTM.

Le réseau hydrographique du bassin versant du « Oued Zmor » est présenté dans la figure n° 3.20. La figure montre que le réseau hydrographique se décrit par un cours d'eau principal de l'ordre 3 qui représente « Oued Zmor », et plusieurs affluents d'ordres 2 et 1.

Alors les affluents de « Oued Zmor » jouent un rôle important dans le drainage du réseau hydrographique du ce bassin versant notamment lorsque le bassin versant est moyennement allongé et causé d'une réponse rapide du réseau hydrographique aux pluies.

En effet, le cours d'eau principal du « Oued Zmor » de l'ordre 3 a été configuré et aménagé pendant 2008 avec un canal de forme trapézoïdale. Cependant les affluents et les cours d'eau de l'ordre 1 et 2 qui drainent la vallée de « Oued Zmor » représentent toujours un risque d'inondation qui menace la zone Ouest de la ville de Biskra à cause de plusieurs facteurs:

- La répartition aléatoire des affluents de « Oued Zmor » par une façon naturelle comme la carte du réseau hydrographique montre dans la figure n° 3.20.
- Les affluents de « Oued Zmor » s'étendent sur une large superficie de la zone naturelle et les cours d'eau sont longs et s'étendent aussi des plusieurs kilomètres ce qui augmente leur potentiel d'écoulement avec le temps en raison des facteurs climatiques.
- L'imperméabilité du sol de la zone de « Oued Zmor » par l'effet de l'urbanisation.

Chapitre 3: Elaboration du MNT du « Oued Zmor »

- Augmentation du ruissellement de surface qui présente un facteur essentiel de drainage des affluents de l'Oued, ceci a cause du manque de la couverture végétation et l'urbanisation qui est plus élevée dans la zone de l'Oued.

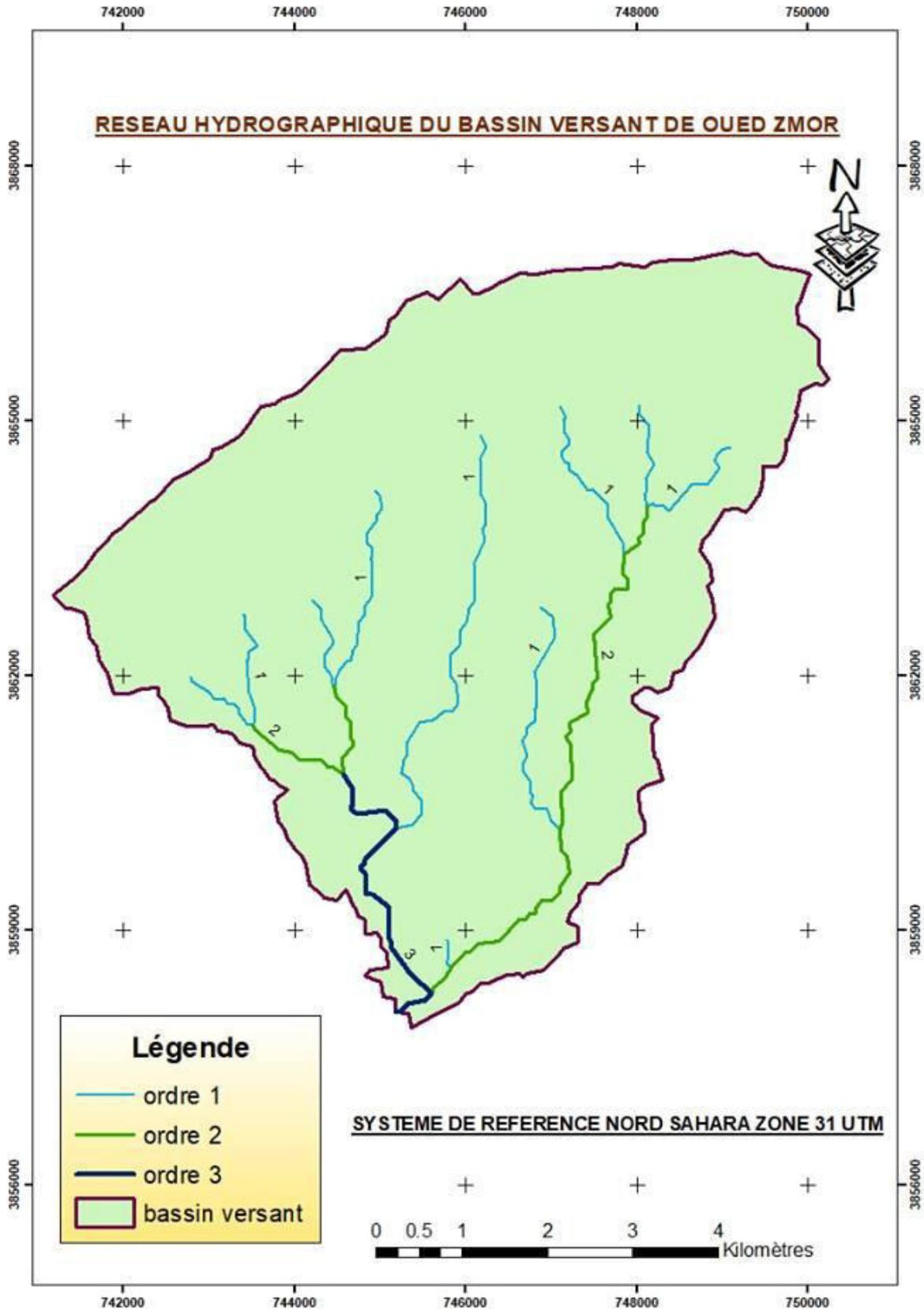


Figure n°3.20: le réseau hydrographique du bassin versant du « Oued Zmor »

3.6. Le profil en long de « Oued Zmor »

Le profil en long d'un cours d'eau est un graphique qui met en rapport la variation de l'altitude du lit ou du fond de la vallée et la distance.

Sur un profil en long, on peut observer les variations de pente qui se succèdent au long d'un cours d'eau. Ces variations sont importantes car elles peuvent donner de façon indirecte des informations sur les climats antérieurs, sur l'augmentation amont-aval des débits, sur la charge sédimentaire transportée et sur les caractéristiques du bassin versant (<http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2008>).

Dans cette partie, nous avons réalisé le profil en long de « Oued Zmor » qui est montré à la figure n° 3.21 à partir de « Google Earth ».

L'image a été prise trois fois successivement le 16 février 2018 avec les paramètres satellitaire suivants:

- Altitude = 16.64 Km.
- Elévation = 416 m.
- 34°55'08.30'' N.
- 5°52'22.43'' E.
- Date des images satellitaires: 31/12/2015.



Figure n°3.21: profil en long du « Oued Zmor ».

Ce profil se divise en 8 huit segments basées sur les changements de la pente de 1.4%

Chapitre 3: Elaboration du MNT du « Oued Zmor »

à -1.0 %, avec leur altitude de 90m à 134m où le cours d'eau présente la forme d'une courbe convexe où:

- Sa longueur principale d'environ à 5.82Km.
- Une altitude maximale égale à 134m et minimum 90m.
- La pente hydrographique moyenne varie de -1.0% à 1.4%
- La pente hydrographique maximale varie de -4.9% à 4.4%..

D'après le profil en long de « Oued Zmor » on observe que le terrain du l'oued est caractérisé par des ruptures de pente en trois essentiel secteur.

Le premier secteur présente 1.5Km de longueur avec des altitudes très forts par rapport tous l'oued qui sont entre 90m et 135m, dans la partie aval de ce secteur ; le profil en long présente une rupture de pente assez fort sous forme d'une courbe convexe, où le deuxième secteur commence avec des faibles altitudes entre 90m et 117m et une distance de 3Km, où on se trouve une rupture de pente, et le dernier secteur caractérisé par une distance de 1.3 Km et des assez faibles altitudes 90m avec une pente égale à 1.2%.

Ces trois secteurs par leurs ruptures de pente expliquent les forts débits de l'oued et donnent une estimation à l'énergie forte des cours d'eau en période de crues.

Conclusion

Le modèle numérique du terrain MNT est un outil d'aide à la décision dans la gestion du l'environnement. Dans notre étude nous avons utilisé le modèle numérique de terrain pour bien décrire le bassin versant de « Oued Zmor » dans la zone Ouest de Biskra.

Introduction:

La conception de tout ouvrage hydraulique nécessite que soit précisé le niveau de performance souhaité. Ce niveau de performance est souvent déterminé en fonction des dommages potentiels et de la sévérité des aléas météorologiques susceptibles d'entraîner un dysfonctionnement ou un dépassement de capacité de l'ouvrage en question. Ainsi, dans le cas des infrastructures de gestion des eaux pluviales, la dimension des différentes composantes du système (par ex. conduites, bassins de rétention, etc.) est établie en fonction de la période de retour des événements de pluies intenses (Ahmadi Kingumbi & Alain Mailhot.,2010). Cette information est souvent exprimée sous la forme de courbes Intensité–Durée–Fréquence (IDF) obtenues à partir d'une étude statistique des événements extrêmes enregistrés sur un territoire donné.

Le but de ce chapitre est d'étudier les précipitations dans la zone Ouest de Biskra malgré le manque de station pluviométrique dans la zone considérée, et d'établir les courbes IDF qui permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique, d'autre part d'estimer les débits de projet et des débits de crue, et aussi de déterminer des pluies de projet. En pratique, l'établissement des courbes IDF s'effectuera à travers deux étapes, la première concernera une analyse fréquentielle ayant pour but d'estimer les événements de pluies extrêmes probables, tandis que la seconde aboutira au tracé des courbes IDF.

4.1. Méthodologie

Ce travail est basé sur l'étude de séries de données de la station pluviométrique de la ville de Biskra, située au siège de l'ANRH et qui est considérée comme étant une station de référence. Nous avons d'abord présenté et interpréter les statistiques descriptives des données de la série pluviométrique, à l'échelle annuelle ainsi que pour les précipitations maximales journalières. Ensuite nous avons procédé à une analyse fréquentielle des précipitations maximales journalières élaborée en plusieurs étapes :

1. Vérification des hypothèses de base :Indépendance par le test de « Wald-Walfowitz », Stationnarité par le test de « Kendall » et enfin Homogénéité par le test de « Wilcoxon ».

2. Ajustement des lois théoriques pour les valeurs extrêmes : Gumbel, loi des valeurs extrêmes généralisées (G E V), Gamma, LogNormal, Pearson type 3, de Weibull, et Exponentiel.
3. Tester l'adéquation des ajustements par le test de χ^2
4. Choix du modèle d'ajustement le plus approprié selon les critères statistiques AIC et BIC
5. Estimation des quantiles, c'est-à-dire les pluies journalières extrêmes pour des fréquences rares ou des périodes de retour grandes

Une fois les quantiles estimés, on procède à l'établissement des courbes IDF dont la détermination est basée sur l'équation de Montanari.

4.2. Analyse des données pluviométriques

4.2.1. Présentation du logiciel Hyfran

Hyfran est un logiciel dont le but est d'effectuer l'ajustement de plusieurs lois statistiques à une série de données. Il permet de simplifier l'ajustement d'une distribution statistique à un échantillon aléatoire. Ce logiciel a été développé par l'INRS –EAU en collaboration avec le service hydraulique (division hydrologie) de Hydro-Québec. Il est initialement conçu pour l'analyse de fréquence des événements extrêmes. (Belarbi,2010)

4.2.2. Présentation des données pluviométriques

Pour l'étude des précipitations moyennes mensuelles et les précipitations journalières maximales nous nous sommes basés sur les données pluviométriques fournies par l'ANRH de la station de Biskra 061416, pour une période d'observation de 31 ans (1978-2009).

Tableau n°4.1: Précipitation atmosphérique mensuelle moyenne de la station de Biskra

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Juil	A	Total
P _{moy} (mm)	14.1	10.5	17.2	9.8	17.3	10.4	15.1	13.7	10.4	4.9	0.5	2.2	126

Chapitre 4: Etablissement des courbes IDF

D'après le tableau n° 4.1, on remarque que la période la plus pluvieuse s'étale du mois de Septembre à Mai, avec un maximum au mois de Janvier (17.3mm). La période sèche s'étale du mois de Juillet au mois d'Août, avec un minimum au mois de Juillet (0.5mm).

Le tableau n° 4.2 présente les données annuelles de pluie.

Tableau n°4.2: Précipitations totales annuelles et journalières maximales enregistrées à la station de Biskra (code 061416)

Année	Pjmax (mm)	Pannuelle (mm)
1978	/	/
1979	49	115,8
1980	23	110,2
1981	/	/
1982	/	/
1983	7	24,3
1984	19,7	107,9
1985	23	110,7
1986	24,6	115,1
1987	15,5	79
1988	10,6	72,8
1989	/	/
1990	50	143
1991	29	119,7
1992	/	/
1993	14,2	63,6
1994	26,6	106,3
1995	27	199
1996	43,5	137,4
1997	/	/
1998	52,5	112,8
1999	23,1	128,8
2000	25,5	78,9
2001	17,3	57,1
2002	39,8	131
2003	66,3	252,2
2004	29,5	124,5
2005	/	/
2006	42,3	146,6
2007	11,6	61,4

Chapitre 4: Etablissement des courbes IDF

2008	32	310,3
2009	17,6	193,1

Il est à noter des lacunes d'observation sur quelques années. Nous avons présenté les observations du tableau n° 4.2 dans l'histogramme de la figure n°4.1, afin de faciliter la lecture et la comparaison des observations de la pluviométrie à la station de Biskra.

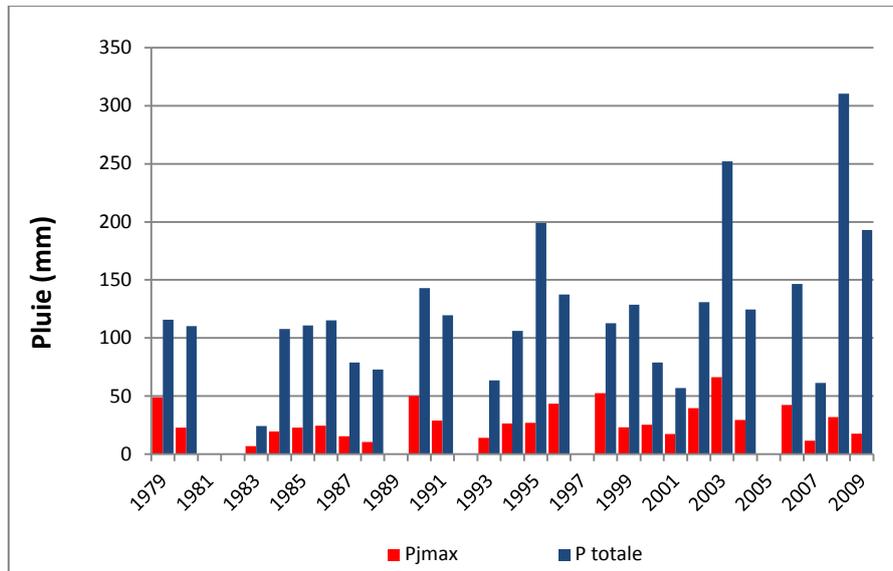


Figure n° 4.1: Histogramme des précipitations de la station de Biskra 061416 (1978 – 2009).

- D'après la figure 4.1 l'année la plus pluvieuse est celle de 2008 avec un maximum de 310.3mm et précipitation maximale journalière de 32mm, et l'année la plus sèche correspondre à 1983 avec une valeur de 24.3mm. Cependant, la précipitation journalière maximale a atteint un pic en 2006 avec une valeur de 66.3mm, et elle a très faible en 1983 avec une valeur de 7mm.

Nous avons établi en figure 4.2 une régression entre les pluies annuelles et les pluies journalières maximales.

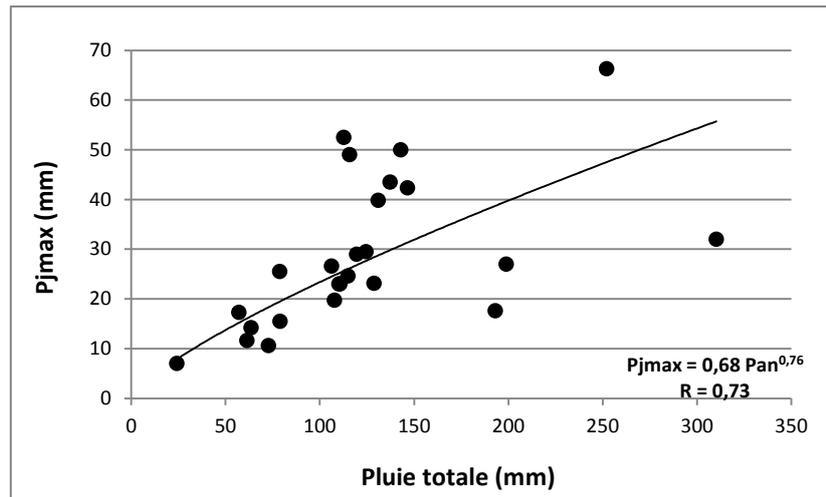


Figure n°4.2: Relation entre $P_{j,max}$ et $P_{annuelle}$

4.2.3. Statistiques descriptives des données pluviométriques

4.2.3.1. Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles

Afin de bien connaître la précipitation annuelle ($P_{annuelle}$) de la zone Ouest de Biskra pendant la période étudiée de 1978 à 2009, on résume les caractéristiques statistiques descriptives de la précipitation annuelle de station de Biskra (061416) du 1978 à 2009 à dans le tableau n°4.3, cela à partir du tableau n°4.2 des données pluviométriques et de la figure n°4.1:

Tableau n°4.3: Caractéristiques statistiques de la précipitation annuelle (P_{annuel}) :

Valeur caractéristique	Pannuelle (mm)
Moyenne	124,1
Ecart type	62,1
Coefficient de variation	0,5
Médiane	115,1
Maximum	310,3
Minimum	24,3
1 ^{er} Quartile	79
3 ^{ème} Quartile	137,4

4.2.3.2. Caractéristiques statistiques descriptives des précipitations journalières maximales

Le résumé des observations journalières maximales $P_{j,max}$, est donné au tableau 4.4. Nous avons ensuite réalisé le Box-Plot des observations (figure n°4.3)

Tableau n°4.4: Caractéristiques statistiques descriptives des $P_{j,max}$

Statistique	Valeur
Nb. d'observations	25
Minimum	7,000
Maximum	66,300
Amplitude	59,300
1er Quartile	17,600
Médiane	25,500
3ème Quartile	39,800
Moyenne	28,808
Ecart-type (n-1)	14,895
Coefficient de variation	0,507
Asymétrie (Pearson)	0,764
Aplatissement (Pearson)	-0,092

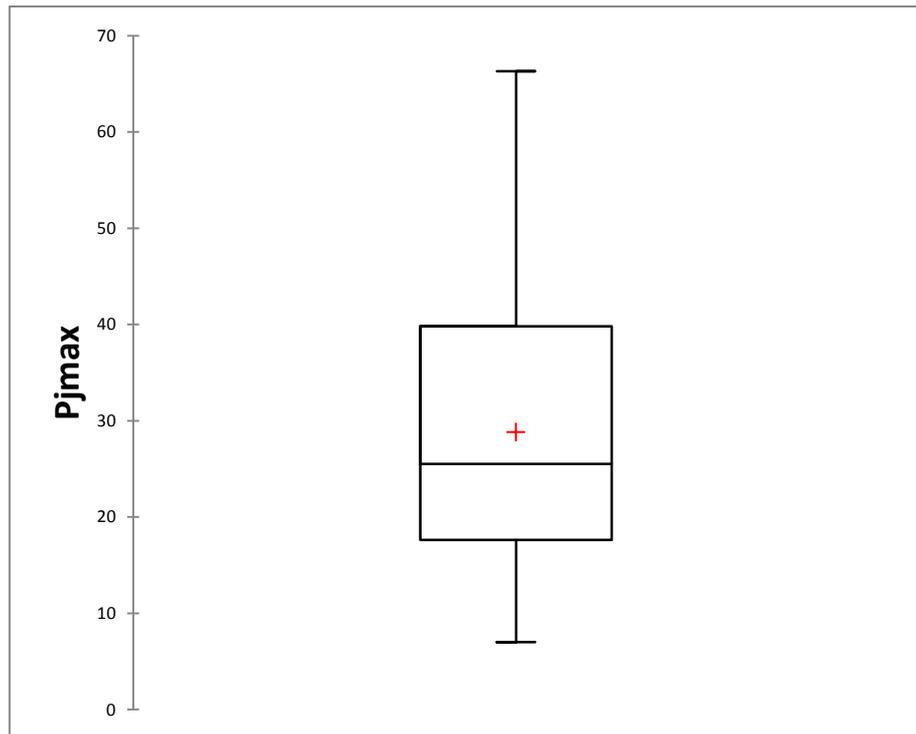


Figure n°4.3: Box-Plot de $P_{j,max}$.

4.2.3.3. Histogramme des fréquences des pluies journalières maximales

Pour bien comprendre la répartition des précipitations journalières maximales on classe les fréquences de l'effectif des observations de précipitation journalière maximale selon l'histogramme suivant:

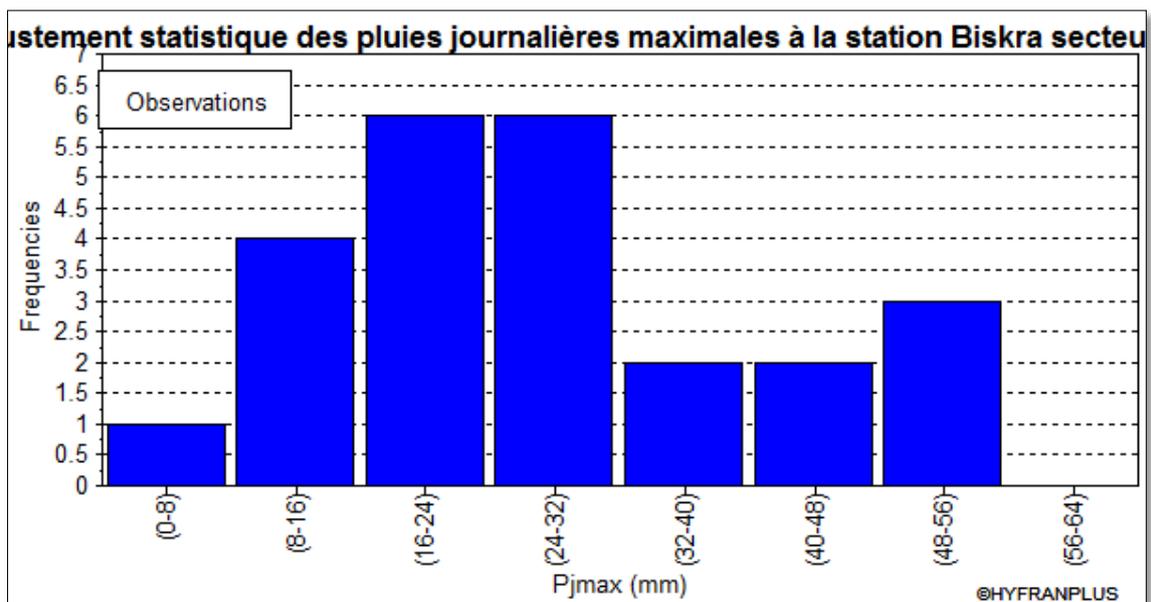


Figure n°4.4: Histogramme de fréquence de $P_{j,max}$

L'histogramme montre que la fréquence de ($P_{j,max}$) la plus forte est située sur les classes d'effectif 16-24 mm et 24-32mm.

4.3. Ajustement statistique des précipitations journalières maximales

Cette partie est consacrée à l'étude des événements extrêmes de précipitation. Il s'agit des précipitations journalières maximales de la zone Ouest de Biskra.

Dans notre cas nous allons procéder à l'ajustement statistique des données pluviométriques extrêmes de la zone considéré, en se référant à la méthodologie adoptée en § 4.1 Les résultats ont été obtenus grâce aux logiciels Hyfran et XIStat.

4.3.2. Vérification des hypothèses de base

Il existe plusieurs techniques statistiques adaptées à l'analyse de la stationnarité, de l'indépendance, et d'homogénéité d'une série pluviométrique

4.3.2.1. Indépendance (test de Wald-Wolfowitz):

Ce test s'applique sur les données $P_{j,max}$ afin de démontrer l'indépendance des valeurs selon deux hypothèses H_0 et H_1 .

Tableau n°4.5: Test d'indépendance.

Hypothèse d'indépendance	Résultat	Conclusion
<ul style="list-style-type: none">- H_0 = l'observation est indépendante.- H_1 = l'observation est dépendante.	<ul style="list-style-type: none">- Valeur statistique: $U = 1.38$.- p-value: $p = 0.169$.	Nous acceptons H_0 à un niveau de signification de 5%.

✓ **Décision:** H_0 est acceptée, et l'hypothèse de l'indépendance est vérifiée.

4.3.2.2. Stationnarité (test de Mann Kendall)

Le test de stationnarité de Mann Kendall est un test non paramétrique, utilisé pour analyser les données collectées au fil du temps pour des tendances constamment croissantes ou décroissantes dans les valeurs de P_{jmax} .

Tableau n°4.6: Test de stationnarité.

Hypothèse de stationnarité	Résultat	Conclusion
<ul style="list-style-type: none"> - H_0 = aucune tendance n'est apparente dans les observations. - H_1 = il y a une tendance dans les observations. 	<ul style="list-style-type: none"> - Valeur statistique: $K = 0.659$ - p-value: $p = 0.510$. 	Nous acceptons H_0 à un niveau de signification de 5%.

✓ **Décision :** H_0 est acceptée, et l'hypothèse de stationnarité est vérifiée.

4.3.2.3. Homogénéité (test de Wilcoxon)

C'est un test statistique non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse selon laquelle la distribution des données est la même dans deux groupes.

Tableau n°4.6: Test d'homogénéité.

Hypothèse d'homogénéité	Résultat	Conclusion
<ul style="list-style-type: none"> - H_0 = les moyennes des deux échantillons sont égales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Valeur statistique: $W = 0.919$. - p-value: $p = 0.358$. 	Nous acceptons H_0 à un niveau de signification de 5%.

Chapitre 4: Etablissement des courbes IDF

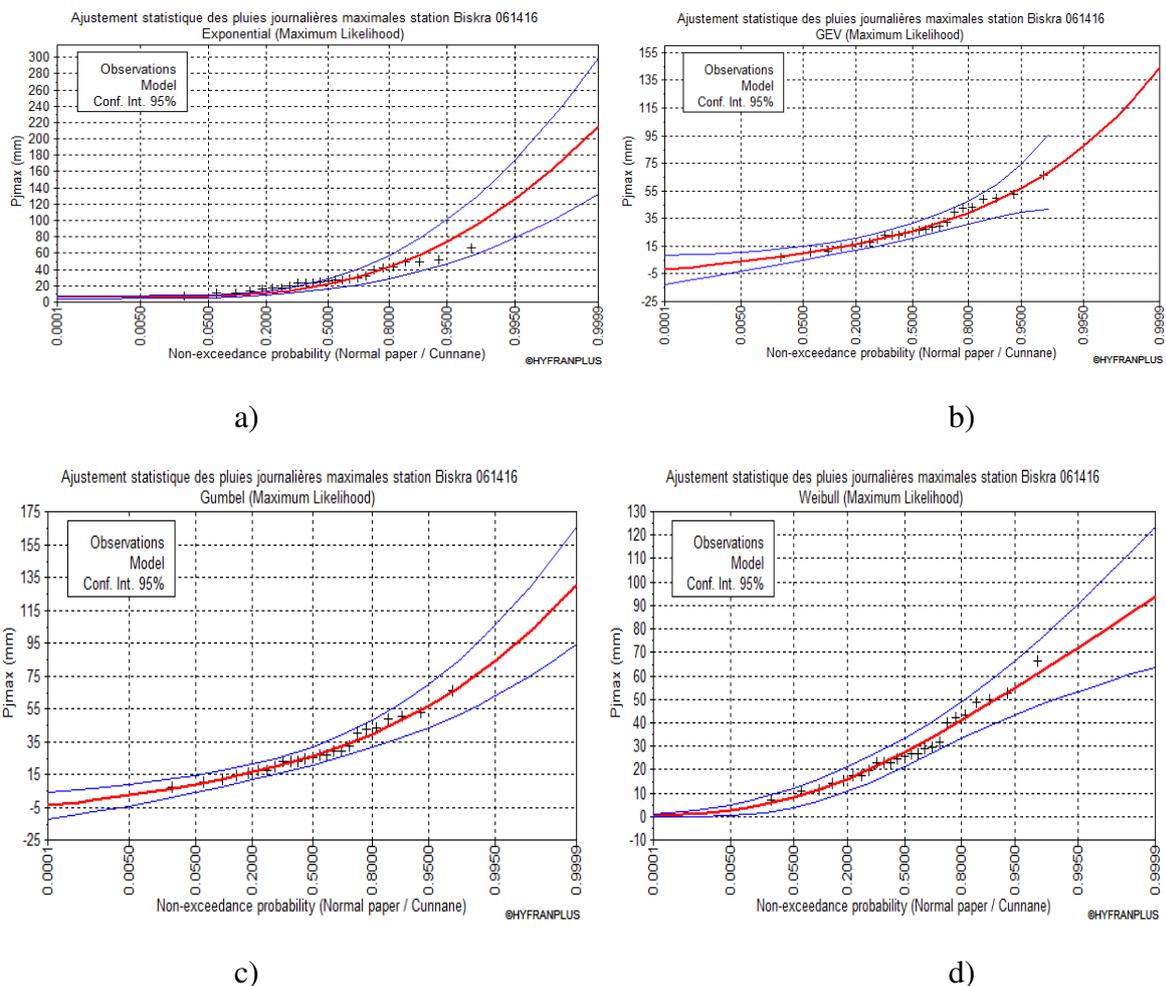
- H_1 = les moyennes des deux échantillons sont différentes.		
--	--	--

✓ **Décision** : H_0 est acceptée, et l'hypothèse d'homogénéité est vérifiée.

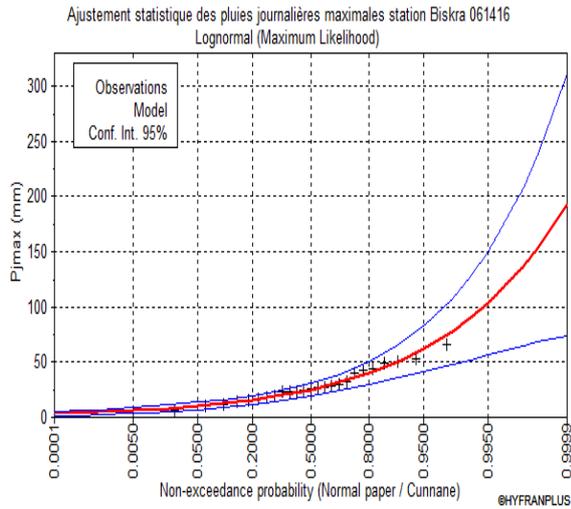
D'après les résultats obtenus, les hypothèses de base sont vérifiées, ce qui nous permet de poursuivre l'ajustement.

4.3.3. Graphiques d'ajustement des pluies maximales journalières

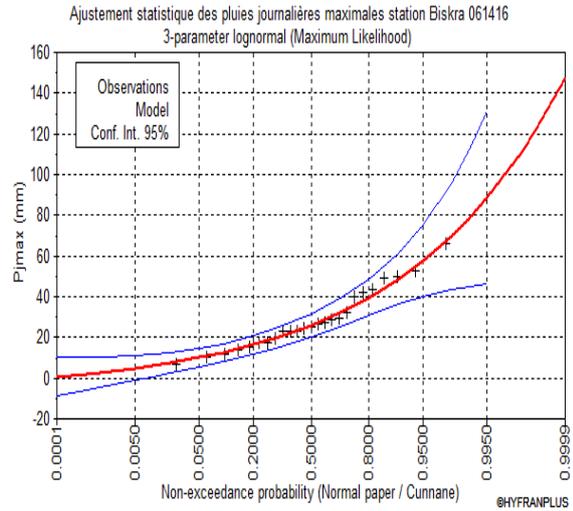
Les graphiques d'ajustement sont réalisés pour les pluies journalières maximales de la station de Biskra 061416. Les résultats sont présentés à la figure n°4.5.



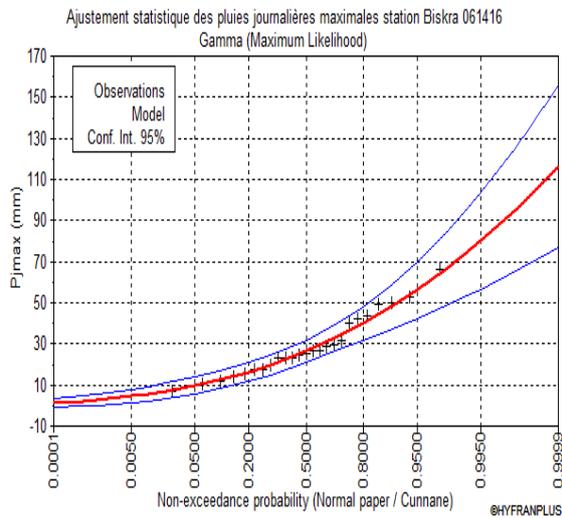
Chapitre 4: Etablissement des courbes IDF



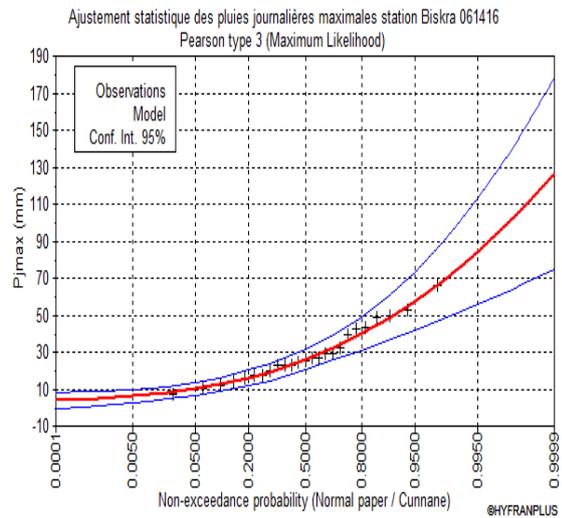
e)



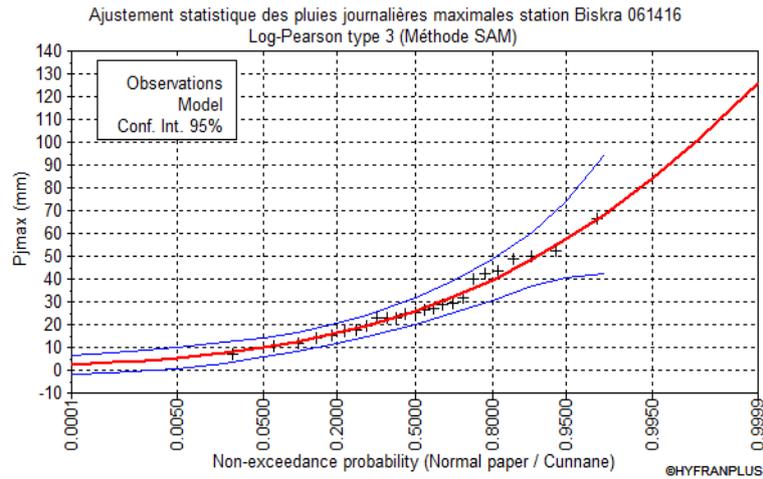
f)



g)



h)



i)

Figure n°4.5: Graphiques d'ajustement statistique des pluies journalières maximales de la station de Biskra 061416.

- a) Exponentielle ; b) GEV ; c) Gumbel ; d) Weibull ; e) LN2 ; f) LN3 ; g) Gamma ; h) Pearson 3 ; i) Log Pearson 3

D'après les graphiques d'ajustement, les pluies journalières maximales extrêmes diffèrent d'un modèle à autre. L'ajustement de chaque loi doit être validé par le test d'adéquation qui est dans ce cas celui du χ^2 .

4.3.4. Test d'adéquation des graphiques d'ajustement et choix du modèle approprié:

Les hypothèses d'adéquation sont :

H_0 = Les observations suivent une distribution : Gumbel, GEV, Gamma, LogNormal, Pearson type 3, de Weibull, Exponentiel.

H_1 = Les observations ne suivent pas une distribution : Gumbel, GEV, Gamma, LogNormal, Pearson type 3, de Weibull, Exponentiel.

Tableau n°4.7: Test d'adéquation des lois ajustées.

Modèle d'ajustement	Statistique de χ^2	p-value	Décision
Exponentielle	6.08	0.1933	H_0 acceptée
GEV	0.48	0.9233	H_0 acceptée
Gumbel	0.48	0.9233	H_0 acceptée

Chapitre 4: Etablissement des courbes IDF

Weibul	3.28	0.5121	H ₀ acceptée
Log normale 2	0.98	0,9180	H ₀ acceptée
Log normale 3	0.98	0,9180	H ₀ acceptée
Gamma	1,6	0,8088	H ₀ acceptée
Pearson type 3	0.48	0.9233	H ₀ acceptée
Log Pearson type 3	0.48	0.9233	H ₀ acceptée

Les résultats du test d'adéquation montrent que tous les modèles sont acceptés. Toutefois on peut a priori désavantager les distributions qui ne sont pas complètement bornées pour les grandes périodes de retour, car les quantiles ne sont pas correctement estimés. Les distributions retenues : Exp, Gumbel, Weibull, LN2, Gamma et Pearson 3, seront confrontés aux critères statistiques AIC et BIC qui sont en fait des critères d'aide à la décision (tableau n°4.8). Le meilleur modèle est celui caractérisé par les plus faibles valeurs des critères AIC et BIC.

Tableau n°4.8: Résultats des ajustements selon les critères AIC et BIC pour une période de retour de 100 ans(en gras la meilleure loi)

Modèle	nombre de paramètres	Quantile	BIC	AIC
Gamma	2	73,148	206,938	204,501
Gumbel	2	75,919	207,536	205,098
Lognormal	2	89,96	207,547	205,109
Weibull	2	67,388	207,837	205,399
Pearson type 3	3	76,66	209,943	206,286
Exponential	2	110,705	212,593	210,155

La figure n°4.6 rapporte une comparaison graphique des lois retenues.

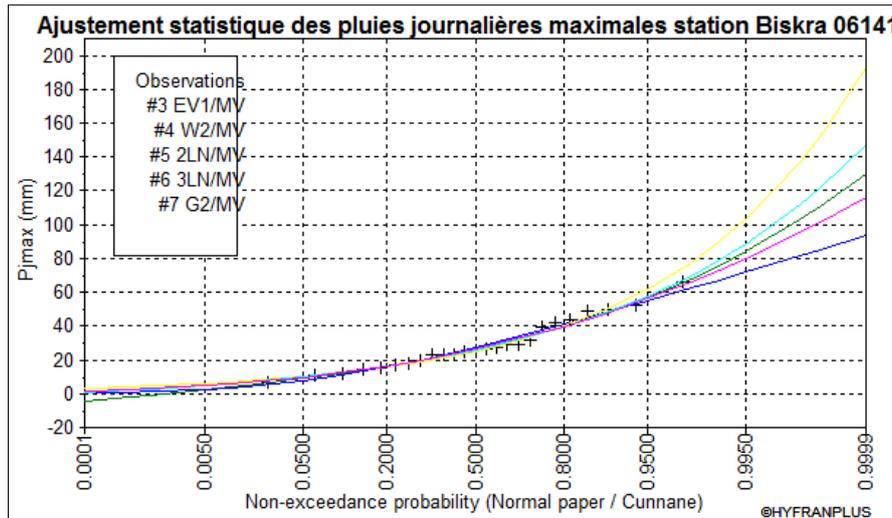


Figure n°4.6: Comparaison graphique des lois retenues.

4.3.5. Estimation des quantiles

La lecture du tableau permet de décider sur le modèle adéquat pour la prévision des P_{jmax} . Le modèle ainsi retenu est la loi Gamma. Ainsi nous pouvons estimer les P_{jmax} probables pour les périodes de retour usuelles, soit : 100 ans, 50 ans, 20 ans, 10 ans et 5 ans..

Tableau n°4.9: Estimation des quantiles de P_{jmax} .

Période de retour T (ans)	Probabilité de dépassement	Quantile P_{jmax} (mm)	Intervalle de Confiance (95%)	
100	0,01	73,1	52,7	93,6
50	0,02	66,1	48,5	83,6
20	0,05	56,3	42,5	70,1
10	0,1	48,4	37,4	59,4
5	0,2	39,9	31,6	48,2

On a pu déduire que la valeur maximale enregistrée à la station Biskra, soit 66,1 mm est de fréquence cinquantennale, c'est-à-dire une période de retour de 50 ans.

4.4. Etablissement des courbes Intensité-Durée-Fréquence

4.4.1. Définition des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF)

Les statistiques de l'intensité, durée, fréquence (IDF) caractérisant la pluviométrie représentent les relations entre les intensités, la durée et la fréquence des pluies. Celles-ci donnent ainsi la probabilité de diverses intensités de pluies pour diverses durées (5, 10, 30 minute et 1, 2, 6...heures) en un lieu donné. Des courbes sont dérivées de ces statistiques dont chacune représente une certaine fréquence ou une certaine période de retour. (Belarbi, 2010)

4.4.2. Utilisation des courbes Intensité-Durée-Fréquence

Les courbes IDF ne sont pas une fin en soi, mais sont construites dans un but bien précis. Elles permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique au droit d'une station et d'autre part de calculer succinctement des débits de projet et d'estimer des débits de crues ainsi que de déterminer des pluies de projet utilisées en modélisation hydrologique et cela dans le but de dimensionner les ouvrages hydraulique (barrages, drains agricoles...). (Belarbi, 2010)

4.4.3. Courbes Intensité-Durée-Fréquence de la zone d'étude

4.4.3.1. Pluies et leurs intensités à différentes Fréquences

Les résultats obtenus précédemment (Estimation des quantiles), nous ont permis de sélectionner les quantiles que nous avons déterminés, en comparant les maximaux journaliers observés aux résultats d'ajustement par la loi Gamma.

Les précipitations exceptionnelles (P_{ct}) de durée (t) inférieur à 24h (de courte durée) sont reliées à la précipitation journalière fréquentielle P_{jmax} selon la relation de Montanari (Mohyont, 2014).

$$P_{t,T} = P_{jmax\ probable} \left(\frac{t}{24}\right)^b \quad (4.1)$$

Avec :

Chapitre 4: Etablissement des courbes IDF

$P_{t,T}$: La pluie de courte durée de fréquence égale à celle de $P_{j_{max}}$ en (mm).

$P_{j_{max} \text{ probable}}$: La pluie maximale journalière pour différentes fréquences.

t : la durée en heures.

b : Exposant climatique. Il est calculé en fonction de $f(X, Y, Z, P_{j_{max}})$ par la formule (4.2) (Habibi, 2012. Bouaïchi, 2014).

$$b = -0,00003 X + 0,00094 Y - 0,00009 Z + 0,0024 P_{j_{max}} - 0,03 \quad (4.2)$$

$b = 0.19$ (Biskra) selon la synthèse régionale ANRH, (1984) page 43.

4.4.3.2. Intensités maximales à différentes fréquences

La détermination des intensités maximales pour différentes périodes de retour se fait selon la relation :

$$I_{max} = \frac{P_{ct} \text{ (mm)}}{\Delta t \text{ (h)}} \quad (4.3)$$

I_{max} : Intensité maximale (mm/h)

Δt : Intervalle de référence (min ou heure)

Les différentes valeurs des pluies de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences sont représentées au tableau n°4.10. Les courbes IDF sont données à la figure n°4.7 et 4.8

Tableau n°4.10 : Pluies de courte durée (mm) et leurs intensités (mm/h) à différentes périodes de retour.

Δt (heures)	P_{ct} 100ans	I_{max} 100ans	P_{ct} 50ans	I_{max} 50ans	P_{ct} 20ans	I_{max} 20ans	P_{ct} 10ans	I_{max} 10ans	P_{ct} 5ans	I_{max} 5ans
0,5	35,03	70,07	31,68	63,36	26,98	53,96	23,20	46,39	19,12	38,24
1	39,96	39,96	36,14	36,14	30,78	30,78	26,46	26,46	21,81	21,81
1,5	43,17	28,78	39,03	26,02	33,24	22,16	28,58	19,05	23,56	15,71
2	45,59	22,80	41,22	20,61	35,11	17,56	30,19	15,09	24,88	12,44
2,5	47,56	19,03	43,01	17,20	36,63	14,65	31,49	12,60	25,96	10,38
3	49,24	16,41	44,53	14,84	37,92	12,64	32,60	10,87	26,88	8,96

Chapitre 4: Etablissement des courbes IDF

3,5	50,70	14,49	45,85	13,10	39,05	11,16	33,57	9,59	27,68	7,91
4	52,01	13,00	47,03	11,76	40,06	10,01	34,43	8,61	28,39	7,10
4,5	53,18	11,82	48,09	10,69	40,96	9,10	35,21	7,83	29,03	6,45
5	54,26	10,85	49,06	9,81	41,79	8,36	35,93	7,19	29,62	5,92
5,5	55,25	10,05	49,96	9,08	42,55	7,74	36,58	6,65	30,16	5,48
6	56,17	9,36	50,79	8,47	43,26	7,21	37,19	6,20	30,66	5,11
6,5	57,03	8,77	51,57	7,93	43,93	6,76	37,76	5,81	31,13	4,79
7	57,84	8,26	52,30	7,47	44,55	6,36	38,30	5,47	31,57	4,51
7,5	58,61	7,81	52,99	7,07	45,14	6,02	38,80	5,17	31,99	4,27
8	59,33	7,42	53,65	6,71	45,69	5,71	39,28	4,91	32,38	4,05
8,5	60,02	7,06	54,27	6,38	46,22	5,44	39,74	4,67	32,76	3,85
9	60,67	6,74	54,86	6,10	46,73	5,19	40,17	4,46	33,12	3,68
9,5	61,30	6,45	55,43	5,83	47,21	4,97	40,59	4,27	33,46	3,52
10	61,90	6,19	55,97	5,60	47,67	4,77	40,98	4,10	33,79	3,38
10,5	62,47	5,95	56,49	5,38	48,12	4,58	41,36	3,94	34,10	3,25
11	63,03	5,73	56,99	5,18	48,54	4,41	41,73	3,79	34,40	3,13
11,5	63,56	5,53	57,48	5,00	48,96	4,26	42,09	3,66	34,69	3,02
12	64,08	5,34	57,94	4,83	49,35	4,11	42,43	3,54	34,98	2,91
12,5	64,58	5,17	58,39	4,67	49,74	3,98	42,76	3,42	35,25	2,82
13	65,06	5,00	58,83	4,53	50,11	3,85	43,08	3,31	35,51	2,73
13,5	65,53	4,85	59,25	4,39	50,47	3,74	43,39	3,21	35,77	2,65
14	65,98	4,71	59,67	4,26	50,82	3,63	43,69	3,12	36,02	2,57
14,5	66,43	4,58	60,06	4,14	51,16	3,53	43,98	3,03	36,26	2,50
15	66,86	4,46	60,45	4,03	51,49	3,43	44,27	2,95	36,49	2,43
15,5	67,27	4,34	60,83	3,92	51,81	3,34	44,54	2,87	36,72	2,37
16	67,68	4,23	61,20	3,82	52,13	3,26	44,81	2,80	36,94	2,31
16,5	68,08	4,13	61,56	3,73	52,43	3,18	45,07	2,73	37,16	2,25
17	68,46	4,03	61,91	3,64	52,73	3,10	45,33	2,67	37,37	2,20
17,5	68,84	3,93	62,25	3,56	53,02	3,03	45,58	2,60	37,58	2,15
18	69,21	3,85	62,58	3,48	53,31	2,96	45,83	2,55	37,78	2,10
18,5	69,57	3,76	62,91	3,40	53,58	2,90	46,06	2,49	37,97	2,05
19	69,93	3,68	63,23	3,33	53,86	2,83	46,30	2,44	38,17	2,01

Chapitre 4: Etablissement des courbes IDF

19,5	70,27	3,60	63,54	3,26	54,12	2,78	46,53	2,39	38,36	1,97
20	70,61	3,53	63,85	3,19	54,38	2,72	46,75	2,34	38,54	1,93
20,5	70,94	3,46	64,15	3,13	54,64	2,67	46,97	2,29	38,72	1,89
21	71,27	3,39	64,44	3,07	54,89	2,61	47,19	2,25	38,90	1,85
21,5	71,59	3,33	64,73	3,01	55,14	2,56	47,40	2,20	39,07	1,82
22	71,90	3,27	65,02	2,96	55,38	2,52	47,61	2,16	39,25	1,78
22,5	72,21	3,21	65,29	2,90	55,61	2,47	47,81	2,12	39,41	1,75
23	72,51	3,15	65,57	2,85	55,85	2,43	48,01	2,09	39,58	1,72
23,5	72,81	3,10	65,84	2,80	56,08	2,39	48,21	2,05	39,74	1,69
24	73,10	3,05	66,10	2,75	56,30	2,35	48,40	2,02	39,90	1,66

A partir de résultats du tableau, on trace enfin les courbes IDF (figure n°4.8et 4.9)

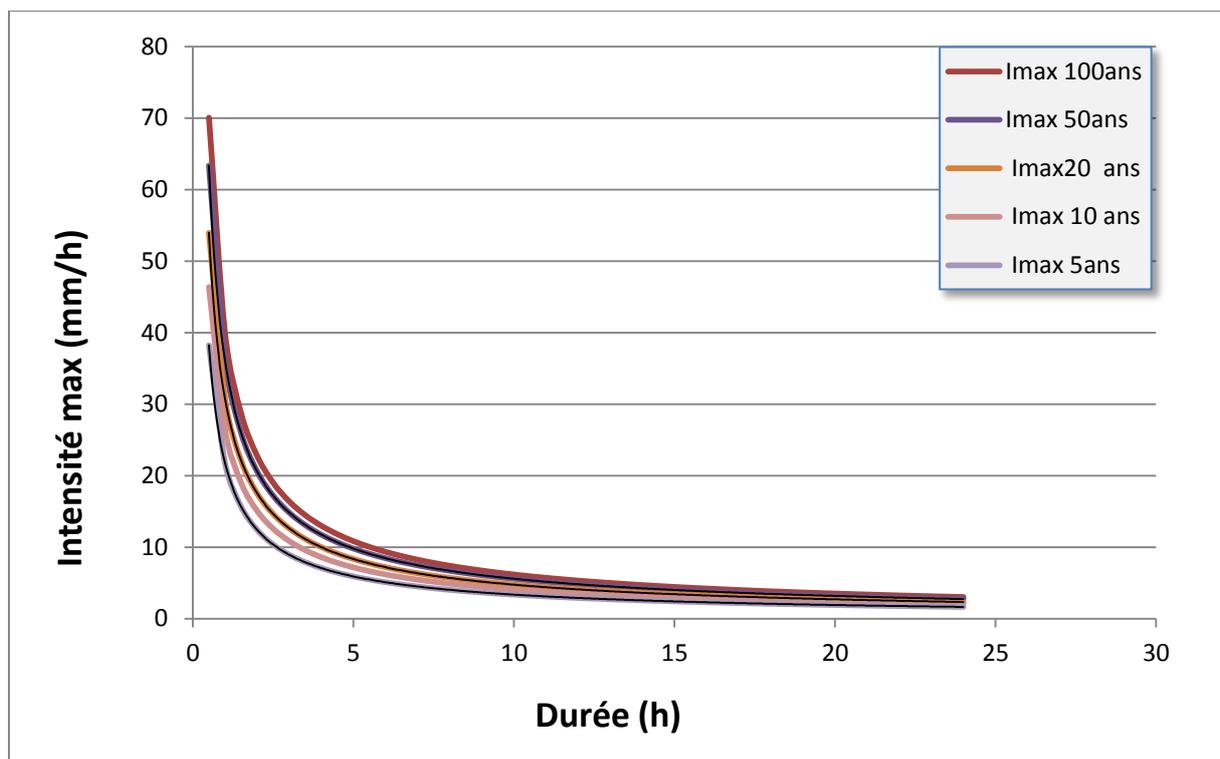


Figure 4.7 : Famille de courbes Intensité-Durée-Fréquence de la station Biskra ville

Pour une meilleure exploitation de ces courbes, on préfère en pratique la transformation bi log des courbes. Le résultat est montré à la figure 4.9.

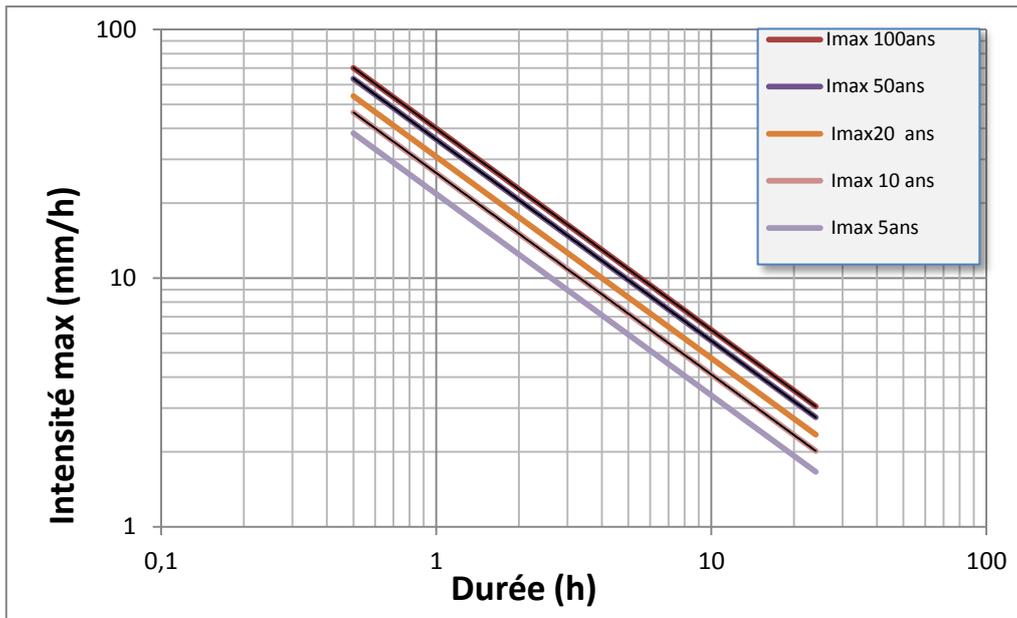


Figure 4.8 : Courbes logarithmiques Intensité-Durée-Fréquence.

Conclusion

On a pu déduire de l'ajustement statistique des P_{jmax} que la valeur maximale enregistrée à la station Biskra, soit 66,1 mm est de fréquence cinquantennale, c'est-à-dire une période de retour de 50 ans.

D'autre part les courbes IDF des pluies maximales pour la région Ouest de Biskra et particulièrement « Oued Zmor » ont été estimées par la relation de Montanari.

Les estimations ont été faites à partir des ajustements statistiques de données pluviométriques extrêmes de la région d'étude.

Conclusion générale

L'objectif général de ce travail est d'étudier l'aléa d'inondation dans la zone Ouest de Biskra à l'aide d'un modèle numérique du terrain. Dans cette étude on a essayé de présenter brièvement les risques hydrologiques et ses composants: la vulnérabilité qui exprime les enjeux de la gestion d'environnement, et l'aléa avec ses dimensions, afin que mettre en évidence à l'aléa d'inondation du « Oued Zmor » sur le territoire du la zone Ouest de Biskra. Au terme de cette étude du risque d'inondation dans la zone Ouest de Biskra, on provient aux conclusions suivantes:

En général, le bassin versant du « Oued Zmor » est situé une zone basse avec une superficie de 145.33 Km² et de forme moyennement allongé.

Le bassin du «Oued Zmor » appartient au grand bassin versant de Chott Melghir. Il possède un climat semi-aride, peu pluvieux en hiver et très chaud et sec en été.

Le modèle numérique de terrain a présenté plusieurs facteurs d'aléa d'inondation dans la zone Ouest de Biskra.

D'autre part, l'ajustement statistique des Pjmax a preuve que la valeur maximale enregistrée à la station Biskra, soit 66,1 avec une période de retour de 50 ans.

Les courbes IDF des pluies maximales pour la région Ouest de Biskra et particulièrement « Oued Zmor » ont été estimées par la relation de Montanari, où les estimations ont été faites à partir des ajustements statistiques de données pluviométriques extrêmes de la région d'étude.

Références Bibliographiques

- (AhmadiKingumbi / Alain Mailhot), 2010: « Courbes Intensité–Durée–Fréquence (IDF): comparaison des estimateurs des durées partielles et des maximums annuels ». *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, 55:2, 162-176, DOI:10.1080/02626660903545995.
- Marion TANGUY, 2012: « CARTOGRAPHIE DU RISQUE D’INONDATION EN MILIEU URBAIN ADAPTÉE À LA GESTION DE CRISE ANALYSE PRÉLIMINAIRE ». Thèse du doctorat en Sciences de l’eau, Institut national de la recherche scientifique – Québec –.
- (OLLIEROU Remuald / QUANTINET Bendjamin), 2004: « Vulnérabilité une notice d’avenir ». Axe syndynique, Ecole National Supérieur de Mine – SAINT ETIENNE –.
- Jean-François GLEYZE,(2002): « Le Risque ». -Institut Géographique National- Laboratoire COGIT.
- BACHI MOHAMED,(2011): « PROBLEMATIQUE DU RISQUE INONDATION EN MILIEU URBAIN ; CAS DE L’AGGLOMERATION DE SIDI BEL ABBES. Thème Magister en Hydraulique ,Département d’Hydraulique – univ. Tlemcen –.
- BELARBI Fadila, (2010): « Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA » . Thème de Magister en Hydraulique. Département d’Hydraulique – univ. Tlemcen.
- Recensement d’Algérie de 2010.
- (Mohamar Moussa OUEDRAOGO / Aurore DEGRE / Charles DEBOUCHE) , 2014: « le modèle numérique de terrain de haute résolution, ses erreurs et leur propagation ». *BASE* [En ligne], Volume 18 (2014), Numéro 3, 407-421. Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. Unité Systèmes Sol – Eau. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique).

Références Bibliographiques

- .ElhousseinOuld Sidi Mohamed, (2016): « Evolution Spatiotemporelle des Lacs de la Région d'El-Kala (Nord-Est algérien) ». Thème de Master, - Département des Sciences de la Terre et de l'Univers - univ. Ouargla.
- Synthèse projet d'aménagement « OuedZmor » ADE -Biskra-, (2005) phase hydrologique.
- Synthèse régionale ANRH -Biskra-, (1984) page 43.

Sites Web:

- (<https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICRISQU.HTM>).
- (<http://philippevallee.weebly.com/risques-naturels-hydrologiques.html>).
- (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Algeria_Topography.png).
- (<http://www.altoa.org/fr/produits-mns-et-mnt.html>).
- <http://www.abhs.dz/bassin-et-sous-bassin-versant/>).
- (<http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2008.>).