

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR
Faculté de Technologie Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
EN HYDRAULIQUE

Faculté de Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique
Spécialité : Hydraulique Urbaine



INTITULÉ

ÉTUDE DU RISQUE D'INONDATIONS ET CARTOGRAPHIE DES ZONES VULNÉRABLES : CAS DE L'OUED SAIDA

PAR
ZENASLI HAYET
ZANA BELHADEF

Soutenu le – / – / 2020, devant le jury composé de :

Mme KIES . S	Président
Mr. KOURAT.S	Encadreur
Mme HAKEM. M	Examineur

Année Universitaire : 2019-2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Didicace

Je dédie ce travail à :

- Mes chers parents.
- Mon mari Mohamed et ma petite fille Yasmine.
- Mes sœurs.
- Et tous les gens que j'aime et qui m'aiment.

ZENASLI Hayet

Didicace

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes que j'aime et en particulier :

- Mes parents
- Mes sœurs
- Mon frère
- A tout mes professeurs
- Mes amis

Belhadez zana . . .

Remerciement

Nous remercions tout d'abord notre dieu tout puissant de nous avoir donné toute La patience le courage nécessaire pour accomplir ce travail.

Nous remercions surtout Monsieur KOURAT Sofiane pour l'encadrement qu'il nous a assuré, pour sa compréhension et sa patience avec nous.

Nous le remercions pour la façon dont il a su nous mettre en confiance pendant les moments difficiles, pour ses remarques constructives, et pour sa connaissance parfaite du domaine dont il a fait preuve.

Nous le remercions également de son aide importante au moment de la rédaction de ce mémoire. Nous lui exprimons toute notre gratitude pour son expérience, son art de la multi-compétence, son soutien inconditionnel et ses qualités humaines. Sans elles, ce travail n'aurait peut-être pas abouti.

Et enfin, un grand merci à tous ceux et celles Qui nous a aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

RÉSUMÉ

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social. En effet la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et tous les moyens disponibles possibles. Ce travail représente une étude de modélisation et simulation hydraulique sur l'oued de Saida, et une exposition de la cartographie des zones vulnérables d'inondation par l'approche de la modélisation hydraulique de l'Oued de Saida et en appuyant sur la contribution du système d'information géographique (SIG) et de la modélisation hydraulique (HEC RAS). Cette cartographie semble comme l'un des moyens très efficace dans le cadre d'une gestion efficiente. En constituant un moyen d'information de la population sur les risques d'inondations, et dont à eux appartient le choix de la stratégie de lutte contre le risque inondation.

Mots Clés :

Crues, Inondations, zones vulnérables, Oued de Saida, Modélisation.

ملخص

تعد الجزائر من البلدان التي واجهت ظاهرة الفيضانات والتي تتجلى بشكل كارثي، وتشكل عائقا رئيسيا للتنمية الاقتصادية والاجتماعية. في الواقع، قد أصبحت إدارة هذا الخطر ضرورة أكثر فأكثر والتي يجب أن تشمل جميع الجهات الفاعلة وجميع الوسائل الممكنة المتاحة.

يمثل هذا العمل دراسة نمذجة ومحاكاة هيدروليكية لواد سعيدة، ومعرضا لرسم خرائط مناطق الفيضانات الضعيفة من خلال نهج النمذجة الهيدروليكية لواد سعيدة وبالاعتماد على مساهمة نظام المعلومات الجغرافية والنمذجة. فهذه الخريطة تعتبر كأحدى الطرق الفعالة من أجل تسيير محكم. تشكل وسيلة سريعة في إعلام السكان بأخطار الفيضانات. و ذلك من أجل اختيار الخطة المناسبة لمحاربة خطر الفيضان.

الكلمات :

الفيضانات، واد سعيدة، الخريطة، النمذجة الهيدروليكية.

TABLE DES MATIÈRES

1	LES INONDATIONS ET LES CRUES : GENERALITES	20
1.1	Introduction	20
1.2	Généralité sur les inondations et les crues	20
1.2.1	Concept du risque d'inondation	20
1.2.2	Inondation	23
1.2.3	Crue	23
1.3	Paramètres fondamentaux d'un cours d'eau	24
1.3.1	Les différents lits d'un cours d'eau	24
1.3.2	Rive – berge	24
1.3.3	La ripisylve	25
1.3.4	Alluvions et substratum	26
1.4	Causes et L'origine des inondations	26
1.4.1	L'origine des inondations	26
1.4.2	Causes de formation des crues et des inondations	26
1.5	Les différents types d'inondation	28
1.5.1	Inondation par remontée des nappes	28
1.5.2	Les inondations par débordement directe (débordement des plaines) . . .	29
1.5.3	Inondations par crues torrentielles	29
1.5.4	Inondation par ruissellements pluvial	29
1.6	Ampleur des Inondations	30
1.6.1	Les inondations à l'échelle mondiale	30
1.6.2	Les pires inondations de l'histoire du monde	31
1.6.3	Les inondations en Algérie	33
1.7	CAUSES ET TYPES D'INONDATIONS CATASTROPHIQUES EN ALGÉRIE	35
1.8	Conclusion	36
2	PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	37
2.1	Introduction	37
2.2	Situation géographique de la willaya de Saida	37

2.3	Présentation du Bassin versant de l'oued Saida	38
2.4	Caractéristiques générales du bassin versant de l'oued Saida	39
2.4.1	Caractéristiques physique du bassin d'oued Saida	39
2.4.2	La morphologie du bassin versant de l'Oued Saida	40
2.4.3	Caractéristiques du relief	41
2.5	Les altitudes caractéristiques	43
2.6	Les indices de pente	45
2.6.1	Indice de pente moyenne	45
2.6.2	Indice de pente globale Ig	45
2.6.3	Indice de pente de Roche Ip	46
2.6.4	La dénivelée spécifique	46
2.7	Réseau hydrographique	48
2.7.1	Hiérarchisation du réseau	48
2.7.2	Densité de drainage Dd	49
2.8	Géomorphologie	50
2.8.1	Morphologie	50
2.8.2	Topographie	50
2.8.3	Sols	50
2.8.4	Occupation de sol	51
2.9	Géologie et lithologie	52
2.10	Stratigraphie	54
2.10.1	Socle primaire	54
2.10.2	Mésozoïque	54
2.10.3	Trias	54
2.10.4	Le Jurassique	54
2.11	Climatologie	55
2.11.1	Etude des précipitations	55
2.11.2	Les données pluviométriques	55
2.11.3	Température	64
2.11.4	Régime climatique	65
2.12	Vents	72
2.13	Humidité	73
2.14	Conclusion	74
3	Outils et Techniques de Cartographie du risque Inondation	75
3.1	Introduction	75
3.2	Définition de la Cartographie	76
3.3	Pourquoi ces cartes ?	76
3.4	Production des cartographies des zones inondables et de risque	76
3.4.1	Méthodologie	76
3.4.2	Modélisation hydrologique	76
3.4.3	Modélisation hydraulique	77
3.4.4	Cartographie de l'aléa	77

3.4.5	Cartographique de la vulnérabilité	77
3.5	Méthodes de Cartographie du risque Inondation :	78
3.5.1	Méthode de La cartographie des risques dans le cadre de la Convention Canada Québec	78
3.5.2	Méthode des zones d'saturabilités (Etats Unis d'Amérique)	78
3.5.3	La méthode INONDABILITÉ (France)	79
3.6	Les outils utilisés pour l'aide à la cartographie du risque d'inondation	79
3.6.1	La Télédétection Spatiale et Aérienne (Photographie Aérienne et Images Satellites)	79
3.6.2	Des Modèles Hydrologiques/Hydrauliques	80
3.6.3	Le Système d'Information Géographique SIG	80
3.7	Outils puissants pour cartographier le risque inondation	80
3.7.1	Système d'Information Géographique(SIG)	80
3.8	Conclusion	84
4	Modélisation Hydrologique et Hydraulique	85
4.1	Introduction	85
4.2	ÉTUDE HYDROLOGIQUE	85
4.2.1	collecte de l'information	86
4.2.2	Les Paramètres d'un échantillon et d'une population	87
4.2.3	Statistiques et calcul des probabilités en hydrologie	89
4.2.4	Les différentes lois de probabilités à une seule variable utilisées en hydrologie	91
4.2.5	L'Adéquation d'une loi de probabilités	92
4.3	L'ajustement de la série des débits instantanés maxima annuels (QIX) aux lois de distribution	93
4.3.1	Description du logiciel Hydrolab	94
4.3.2	Lancement de l'ajustement	96
4.3.3	L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gauss	96
4.3.4	L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Galton	97
4.3.5	L'ajustement de la série (QIX) à la loi exponentiel	99
4.3.6	L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gumbel	100
4.4	Le choix du modèle statistique adéquat pour la série des débits maxima annuels(QIX)	101
4.5	ETUDE HYDRAULIQUE	101
4.5.1	TYPOLOGIE DES MODELES	102
4.5.2	CHOIX DU TYPE DE MODELE HYDRAULIQUE	102
4.5.3	PRESENTATION DU MODELE HEC-RAS	103
4.6	Conclusion	105
5	Cartographie Aléa, vulnérabilité et synthèse du risque	106
5.1	Introduction	106
5.2	ETAPES DE SIMULATION PAR HEC-RAS	107
5.2.1	CREATION D'UN NOUVEAU PROJET	107

5.2.2	PREPARATION DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES POUR L'HEC RAS	107
5.2.3	FORMATION DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN « MNT TIN »	107
5.2.4	DONNEES HYDROMETRIQUES ET CONDITIONS AUX LIMITES .	110
5.2.5	SIMULATION HYDRAULIQUE	110
5.3	Résultats et discussion	111
5.4	CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION	112
5.5	Conclusion	113

LISTE DES TABLEAUX

2.1	Répartition hypsométrique du bassin versant de l'oued Saida	42
2.2	Répartition altimétrique du bassin versant de l'oued Saida	44
2.3	Classification du relief selon <i>Ig</i> d'ORSTOM	45
2.4	Fraction des surfaces entre les courbes de niveau	46
2.5	Classification du relief selon <i>Ds</i>	47
2.6	Caractéristiques des stations pluviométriques	55
2.7	Les données pluviométrique de la station de Saida	57
2.8	Les données pluviométriques de la station de Sidi Boubeker (1971-2009)	58
2.9	Répartition mensuelle des précipitations aux niveaux de la station de Saida et de Sidi Boubkeur	60
2.10	Répartition saisonnière des précipitations aux niveaux de la station de Saida et de Sidi Boubkeur	61
2.11	Les résultats de calcul de la lame d'eau écoulée a la station de Saida par la méthode de THIESSEN	62
2.12	Les résultats de calcul de la lame d'eau écoulée a la station de Sidi Boubkeur par la méthode de THIESSEN	63
2.13	Les températures moyennes, minimales et maximales enregistrées dans la station de Rebahia	64
2.14	Moyenne mensuelle des précipitations et des températures à la station de Saida .	65
2.15	Moyenne mensuelle des précipitation et des températures à la stations de Sidi Boubkeur	66
2.16	Résultats de calcul de l'indice de Demartonne	68
2.17	Valeurs des resultats obtenus en appliquant la methode de MORAL	68
2.18	Indices de MORAL	69
2.19	Evapotranspiration réelle d'après TURC	69
2.20	Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) relatives aux 12 mois . . .	70
2.21	Le calcul de l'ETR au niveau de la station de Saida	70
2.22	Resultats de l'ETR d'après les différentes méthodes	71
2.23	Le Bilan hydrique du bassin versant de Saida	71

2.24	Fréquence du vent	72
2.25	la variation de la vitesse moyenne mensuelle en m/s des vents dans la region de Saida durant la période 1983-2012	72
2.26	Humidité moyenne mensuelle station de Saida(1983-2012)	73
4.1	Exemple de données hydrométriques de la station de Saida 1980-1982	86
4.2	La série des débits maxima annuels QIX	87
4.3	Les caractéristiques empiriques de la série des débits maxima annuels($QIXA$)	88
4.4	Résultats d'adéquation de la loi de Gauss par le test de chi-carré	97
4.5	Résultats d'adéquation de la loi de Galton par le test de chi-carré	98
4.6	Résultats d'adéquation de la loi de Gumbel par le test de chi-carré	100
4.7	Estimations des débits correspondant aux différents périodes de retour suivant la loi de Gumbel pour la station de Saida	101

TABLE DES FIGURES

1.1	Le risque d'inondation	21
1.2	Définition du risque	21
1.3	Aléa	21
1.4	L'enjeu	23
1.5	Rive - berge (ROUABAH W, 2015)	24
1.6	Les trois espaces d'une berge (ROUABAH Wafa, 2015)	25
1.7	Schéma représente les différents types d'inondations	28
1.8	Inondations par remontée de nappe	28
1.9	Inondations de plaine	29
1.10	Inondation par crue torrentielle	29
1.11	Inondation par ruissellements	29
1.12	Type de catastrophes naturelles survenues dans le monde de 1990 à 2007. (DJE-BALI K ,2015)	31
1.13	Crue de des pluies torrentielles au Soudan	31
1.14	Crue de des pluies torrentielles au France (var)	31
1.15	Inondation en Corée de Nord (Séoul)	32
1.16	Crue de des pluies torrentielles au Louisiane	32
1.17	Skikda-Les allées : Inondations du 28 Décembre 1984 (MAOU A, 2011)	33
1.18	Inondation de Beb El-Oued	33
1.19	Inondation dans la vallée du M'zab Ghardaïa	34
1.20	Crues d'Oued d' Amsel dans la wilaya de Tamanrasset	34
1.21	Crue de Ain l'Ahdjar dans la wilaya de Saïda	34
2.1	Localisation de la wilaya de Saïda	38
2.2	Le bassin versant de l'oued Saida	39
2.3	rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued Saïda	41
2.4	Carte Hypsométrique du bassin versant de l'oued Saida	42
2.5	Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Saida	43
2.6	Carte des Altitudes du bassin versant de l'oued Saida	44
2.7	Carte des pentes du bassin versant de l'oued Saida.	47

2.8	Hierarchisation du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Saida . . .	49
2.9	Carte de densité de drainage. (AMEUR.W et BENTABET.L, 2019)	50
2.10	Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Saida	52
2.11	Carte Géologique du bassin versant de l'oued Saida	53
2.12	Coupe lithostratigraphique de la région de Saida (d'après Clair, 1952 et Pitaud, 1973).	54
2.13	Localisation des stations pluviométriques	55
2.14	Répartition des précipitations moyennes annuelles à la station de Saida	59
2.15	Répartition des précipitations moyennes annuelles à la station de Sidi Boubkeur	59
2.16	Histogramme de répartition des précipitations mensuelles aux niveaux des stations de Saida et de Sidi Boubkeur	60
2.17	Répartition saisonnière des précipitations à Saida et Sidi Boubkeur	61
2.18	Carte de polygone de Thiessen	64
2.19	Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Saida	64
2.20	Courbe pluviométrique de la station de Saida	66
2.21	Courbe pluviométrique de la station de Sidi Boubkeur	67
2.22	Abaque d'indice d'aridité de Demartonne	68
2.23	Histogramme des fréquences du vent dans la région de Saida	72
2.24	la courbe de la vitesse moyenne du vent dans la région de Saida	73
2.25	Humidité relative à l'air station de Saida	74
3.1	La modélisation doit respecter le principe de parcimonie	77
3.2	Schéma du risque	78
3.3	Les composants d'un SIG (TCHIOFFO KODJO.G, 2008)	81
3.4	Fonctionnement d'un SIG (TATSO P, 2011)	83
3.5	Scanner automatique, utiliser pour le scannage de plans (KOUBA Y, 2018)	83
3.6	Image satellite prise par le satellite	84
4.1	Histogramme de répartition mensuelle des débits de pointes durant la période d'étude 1980-2010	87
4.2	l'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gauss	96
4.3	L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Galton	97
4.4	L'ajustement de la série (QIX) à la loi exponentiel	99
4.5	L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gumbel	100
4.6	Fenêtre principale du logiciel HEC-RAS.	103
4.7	Représentation des termes de l'équation d'énergie	104
5.1	Création de nouveau projet HEC-RAS.	107
5.2	Combinaison de données topographiques de résolutions différentes	107
5.3	Diagramme récapitulant la méthode de préparation du dossier de données topographiques pour le HEC RAS par le HEC GeoRAS	109
5.4	Principaux thèmes de Ras créés par HEC GeoRAS (RASGeometry)	109
5.5	La Géométrie de l'Oued Saida dans le logiciel HEC RAS	109
5.6	Fenêtres des données	110

5.7	Fenêtres de simulation	111
5.8	Résultats de simulation sous forme d'un tableau détaillé	111
5.9	Résultats de simulation en 3D	112
5.10	Traçage des tronçons dans l'outil HEC-GeoRAS	113
5.11	Carte Aléa	113
5.12	Carte Vulnérabilité du risque d'inondation	113

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau peut être une aubaine comme elle peut être une source de problèmes ; elle engendre des situations contradictoires d'une fois de pénuries et d'autre fois d'inondations. Ainsi les inondations sont à l'origine de plus de 80% des catastrophes naturelles enregistrés dans le monde entre 1996 et 2006 provoquant ainsi des dégâts estimés à 500 000 de personnes décédées et de 600 milliards de dollars de pertes économiques(MADI R,2014). De ce fait, elles sont parmi les catastrophes naturelles qui causent des pertes et des dommages matériels dans le monde. Elles constituent le risque le mieux distribué sur la planète.

L'Algérie, est parmi les régions méditerranéennes qui sont affectées par des crues qui engendrent des inondations dues généralement aux débordements des cours d'eau traversant des villes et des agglomérations. Ces crues dont l'apparition est soudaine, souvent difficilement prévisibles, de temps de montée rapide et de débit spécifique relativement important, elles sont généralement liées à des épisodes pluvieux intenses et se manifestent sur des bassins de taille modérée. Plusieurs catastrophes provoquées par ses crues ont été recensées en Algérie (Alger en novembre 2001 Sidi Bel Abbès en avril 2007, Saida en 2008, Ghardaïa et Béchar en octobre 2008, etc.) (Yahiaoui, 2012).

Dans les zones steppiques, et plus particulièrement dans la région de Saida, le climat est très agressif. Les pluies torrentielles sont fréquentes en automne, au moment où la couverture végétale est absente. Des intensités, dépassant 36 mm/h ont été observées, générant des crues violentes, rapides et chargées, ayant une efficacité élevée en transport solide telles que la crue de 2008 et la crue de 2012 qui ont causées des catastrophes matérielles et humaines.

La dernière décennie, après de longues années relativement calmes, a remis en lumière les conséquences désastreuses que peuvent causer les inondations. La représentation cartographique du risque inondation représente dès lors un enjeu fort. Il s'agit non seulement de ne pas "oublier" des événements passés, mais aussi de visualiser les conséquences d'un événement : emprise de la zone inondable impactant le fonctionnement d'un territoire, estimation des coûts de dommages résultants des inondations, afin d'orienter des choix de développement du territoire (Anne JACOD et Yohan SOLTERMANN).

Notre étude s'articulera autour de quatre chapitres :

Premier chapitre : Généralité sur les inondations, en distinguant la présentation des notions

et concepts fondamentaux liés au risque d'inondation, ces types et ces causes, ces origines ainsi que une idée générale sur le risque inondation (aléa et vulnérabilité) Deuxième chapitre : est consacré, à la présentation de la zone d'étude : le bassin versant de l'oued Saida dans le nord-ouest Algérien à faire l'étude de pluviométrie de la région de Saïda et de Sidi Boubeker. Troisième chapitre : précise les différentes approches et techniques utilisées pour cartographier le risque inondation. Il montre que la réalisation de la carte des inondations passe automatiquement par la découverte et la superposition de deux cartes ; la carte d'aléa et de vulnérabilité. Quatrième chapitre : MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE . Cinquième chapitre : CARTOGRAPHIE ALÉA, VULNÉRABILITÉ ET SYNTHÈSE DU RISQUE Enfin une conclusion générale sera donnée à la fin du travail.

CHAPITRE 1

LES INONDATIONS ET LES CRUES : GENERALITES

1.1 Introduction

Les inondations constituent le phénomène touchant le plus de personnes à l'échelle mondiale. Elles représentent néanmoins davantage un risque économique en raison de dégâts matériels induits qu'un risque léthal pour la population affectée. La comparaison par rapport aux autres types de catastrophes naturelles montre, (KOVACS Y & DOUSSIN N & GAUSSENS M, 2007). Plus de 3 milliards de personnes ont été affecté par les inondations depuis 2018 dans le monde.

1.2 Généralité sur les inondations et les crues

1.2.1 Concept du risque d'inondation

Le concept de risque relatif aux inondations est en soi assez complexe puisque qu'il ne peut se définir qu'en considérant simultanément, un phénomène physique (en l'occurrence, la présence d'eau), et une utilisation sociale de ce même espace qui souffre de cette présence d'eau. (DJEALI K ,2015).

Il y a risque lorsque nous sommes sur une parcelle avec une occupation du sol incompatible avec l'aléa. Le risque étant déterminé par le croisement entre l'aléa et la vulnérabilité, il faut être capable de les comparer. Ceci est possible avec les modèles hydrologiques en débit, durée et fréquence qui permettent de traduire dans la même unité les deux facteurs. Si la vulnérabilité est plus faible que l'aléa, nous considérons la parcelle comme ne présentant pas de risque. Elle est correctement protégée, voire surprotégée. Dans le cas contraire, nous aurons une parcelle à risque qu'il faudra protéger ou évacuer.



FIGURE 1.1 – Le risque d'inondation

La notion de « risque » est classiquement définie comme la résultante de deux paramètres l'aléa et vulnérabilité.

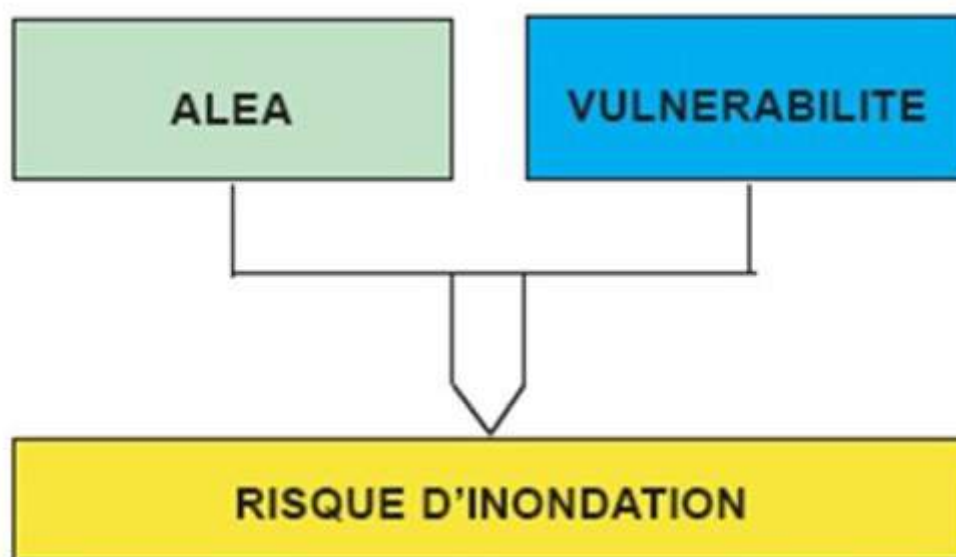


FIGURE 1.2 – Définition du risque

a) L'aléa : En général l'Aléa est une possibilité de l'apparition d'un phénomène ou un événement résultant de facteur ou processus qui échappent au moins en partie à l'homme, « Il est défini par une probabilité qui prend en compte l'occurrence et l'intensité du phénomène considéré et qui est en fonction de la durée et de l'espace considérés (BOUGUETOFF A, 2015). Pour une inondation, « le terme d'aléa s'applique au phénomène physique considéré, la crue fait l'objet de l'essentiel des travaux en hydrologie et hydraulique appliqués à la gestion des risques D'inondation. Il dépend du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique(YAHIAOUI A ,2012).



FIGURE 1.3 – Aléa

Les Caractéristique des aléas : Un aléa se caractérise par trois variables sont :

- Le type d'évènement (sa nature).
- L'intensité d'évènement.
- Probabilité d'occurrence d'un évènement ou la fréquence.
- Sa localisation et son étendue spatiale.
- Quantifier un aléa revient à estimer sa probabilité d'occurrence et son intensité (HALLIL A, 2016).

b) Vulnérabilité : La vulnérabilité de l'occupation des sols aux inondations traduit le fait que les dommages économiques directs et indirects, et plus au moins sévères, apparaissent lorsque l'eau inonde une parcelle(YAHIAOUI A ,2012).

En trouve beaucoup définition dans la littérature, parmi lesquelles on choisit deux définitions officielles.

La définition de MEDD (le Ministère de l'Ecologie et de Développement Durable français) ; « La vulnérabilité est le niveau des conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux »,

La définition de NOAA (National Océanique and Atmosphérique Administration) ; « la susceptibilité des ressources à être affectées par des aléas ». (AISSA M, 2016) La notion de vulnérabilité peut être résumée en quatre points :

- La perception sociale de l'aléa ;
- L'aléa et ses conséquences prévisibles sur les enjeux ;
- Les précautions prises pour limiter l'effet de l'aléa ;
- Les enjeux (AISSA M, 2016).

c) **L'enjeu** C'est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par une inondation.



FIGURE 1.4 – L'enjeu

1.2.2 Inondation

Le terme inondation fait traditionnellement référence au débordement des eaux en surface qui submerge les terrains voisins. Ainsi, le risque inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut déborder de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial (BACHI M, 2011).

On définit l'inondation : « submersion temporaire par l'eau de terres qui ne sont pas submergées en temps normal. Cette notion recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau intermittents méditerranéens ainsi que les inondations dues à la mer dans les zones côtières et elle peut exclure les inondations dues aux réseaux d'égouts » (IDRISSI A, 2017).

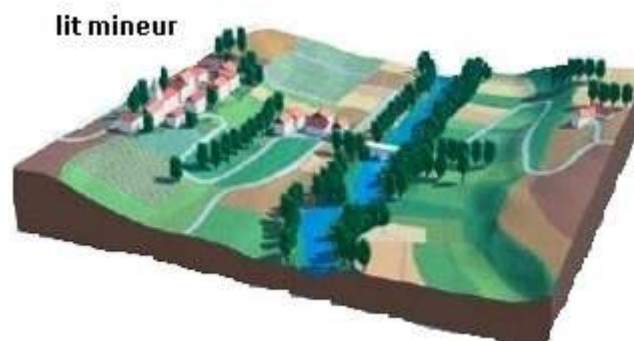
1.2.3 Crue

Une crue correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau dans le lit mineur et débordement dans son lit moyen ou majeur.

Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de Pointe et son volume (BACHI M, 2011).

1.3 Paramètres fondamentaux d'un cours d'eau

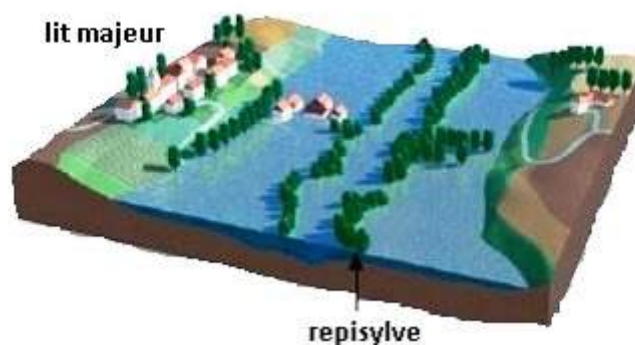
1.3.1 Les différents lits d'un cours d'eau



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



b. Lit moyen : Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve (Bacha M ,2010).



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

1.3.2 Rive – berge

Rive et berge sont souvent confondues à tort. La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Sa localisation est donc assez précise. La rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique (ROUABAH W, 2015).

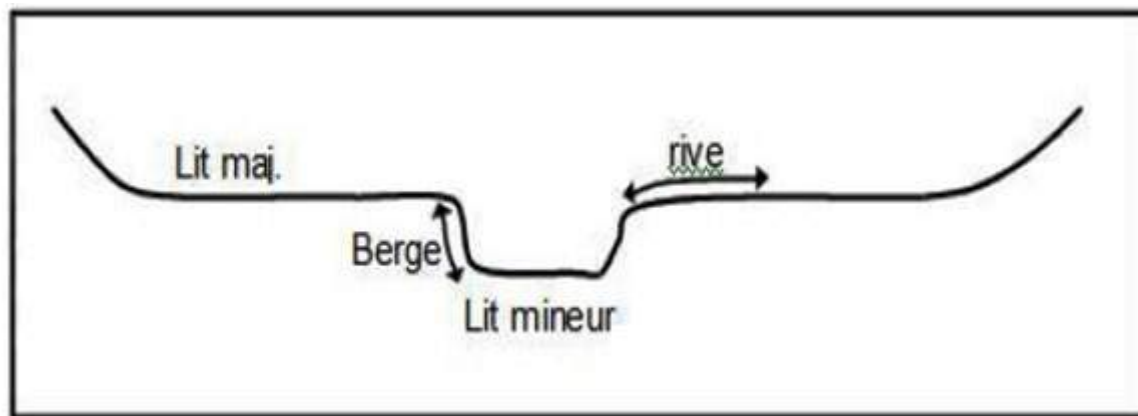


FIGURE 1.5 – Rive - berge (ROUABAH W, 2015)

1.3.3 La ripisylve

La ripisylve est la végétation abondante et variée qui borde les rivières. Le rôle de la Ripisylve sur les crues peut être important ; lorsqu'elle occupe une part significative du lit majeur, elle augmente notablement la rugosité du lit, d'où deux conséquences de nature hydraulique :

- Une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc une réduction des effets érosifs du courant ;
- Un écrêtement des crues pour l'aval. . (BACHI M, 2011)

a) Rôle de la ripisylve dans la vie des cours d'eau :

- Sur la faune et la flore ;
- Sur le paysage ;
- Sur la température de l'eau ;
- Pour l'épuration des eaux ;
- Sur l'écoulement des crues ;
- Sur la tenue et protection des berges contre l'érosion (ROUABAH W, 2015).

Il est facile de comprendre que ces aspects sont pour l'essentiel très largement positifs.



FIGURE 1.6 – Les trois espaces d'une berge (ROUABAH Wafa, 2015)

Le rôle de la ripisylve sur les crues peut être important. Lorsqu'elle occupe une part significative du lit majeur, elle augmente notablement la rugosité du lit. D'où trois Conséquences de nature hydraulique :

- Localement une augmentation des débordements, ce qui ne constitue pas forcément une gêne tout au moins dans ce type de milieu ;
- Une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc une réduction des effets érosifs du courant ;
- Globalement, pour l'aval, un écrêtement des crues. D'autre part la ripisylve joue un rôle indirect sur les crues car les arbres arrachés se regroupent peu à peu sous forme d'embâcles qui provoquent des débordements localisés importants, surtout lorsqu'ils se produisent au niveau des ponts (ROUABAH W, 2015).

1.3.4 Alluvions et substratum

Une rivière coule généralement sur ses alluvions. Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Les alluvions recouvrent le substratum rocheux formé d'une roche dure ou bien d'une roche plus ou moins tendre (schistes, grès, marnes...)(DJEBAI K ,2015).

1.4 Causes et L'origine des inondations

1.4.1 L'origine des inondations

Elles sont causées par plusieurs facteurs, dont on cite :

- Causes d'origine naturelle : généralement elles correspondent aux phénomènes météorologiques et climatiques tels que : pluies exceptionnelles, pluies torrentielles, fonte des neiges,...etc.

- b. Causes d'origine humaine directe : des modifications dans le système fluvial des cours d'eau (largeur, longueur, pente, etc.) par la construction d'ouvrages hydrauliques, le drainage, l'irrigation, la dégradation des sols ... etc.
- c. Causes d'origine humaine indirecte elles sont liées par les facteurs suivants :
 - la pollution.
 - le réchauffement climatique qui a modifié les conditions climatiques.
 - L'émission de gaz à effet de serre provoque la fonte des glaciers des pôles (nord et sud)

Ceci entraîne la montée du niveau des océans et des cours d'eau ainsi que la procréation de cyclones d'intensité importante.

1.4.2 Causes de formation des crues et des inondations

- a) **Influence du climat** : Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel. Elles Interviennent par :
 - * Leur répartition spatiale.
 - * Leur répartition temporelle (AISSA M, 2016)
- b) **Le processus de formation de crues et inondations** : Comprendre le processus à l'origine des crues et des inondations suppose d'analyser les différents facteurs contribuant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau.
- c) **L'eau mobilisable** : La source de l'eau mobilisable capable d'engendrer des inondations peut s'agir :
 - * De la fonte de neiges ou de glaces au moment d'un redoux, associée ou non à des pluies ;
 - * Des pluies répétées et prolongées de régime océanique, qui affecteront plutôt un grand bassin versant ;
 - * D'averses relativement courtes mais intenses qui pourront toucher la totalité de la superficie de petits bassins versants de quelques kilomètres carrés.
- d) **Le ruissellement** : L'intensité de la pluie joue un rôle non négligeable en créant, au-delà d'une certaine valeur, un film d'eau à la surface du sol, qui va conduire à un écoulement maximum.
- e) **Le temps de concentration (ou durée caractéristique)** : Qui est défini par la durée nécessaire pour Qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci(AISSA M, 2016).

- f) Le débordement : Le phénomène de débordement est consécutif à la propagation d'un débit supérieur à celui que peut évacuer le lit mineur, dont la capacité est généralement limitée à des débits de crues de période de retour de l'ordre de 1 à 5 ans. Il peut se produire une ou plusieurs fois par an ou seulement tous les dix ans en moyenne voire tous les cent ans.
- g) **La propagation de la crue** : Qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation (AISSA M, 2016).
- h) **La période de retour de crues** : Qu'est-ce que la période de retour de crues ? Il s'agit d'une probabilité de réalisation du phénomène ou de son dépassement. Généralement elle est classée ainsi :
- * Crue fréquente : dont la période de retour est comprise entre un et deux ans ;
 - * Crue moyenne : dont la période de retour est comprise entre 10 et 20 ans ;
 - * Crue exceptionnelle : dont la période de retour est de l'ordre de 100 ans ;
 - * Crue maximale vraisemblable : qui occupe l'intégralité du lit majeur et dont la période de retour est proche du millénaire. Cependant, depuis la Directive Cadre Inondation, la caractérisation des crues varie : ainsi la crue centennale devient une crue moyenne.

1.5 Les différents types d'inondation

En fonction de l'événement créateur de la catastrophe, On peut distinguer plusieurs types d'inondation : inondations de plaine, inondations par remontée de nappe, inondations par crues torrentielles, inondations par ruissellement pluvial on cite dans le schéma ci-dessus :

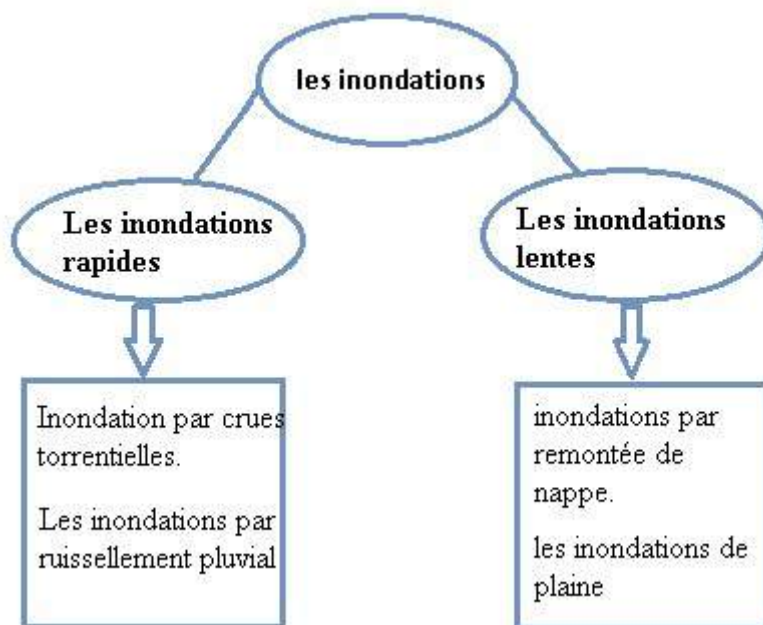


FIGURE 1.7 – Schéma représente les différents types d'inondations

1.5.1 Inondation par remontée des nappes

Le risque d'inondation dû à une crue peut être accru par un risque de remontée des eaux des nappes phréatiques. Dans certains endroits et sous certaines conditions une élévation Exceptionnelle du niveau de ce type de nappe entraîne un type particulier d'inondation dit "inondation par remontée de nappe" (BELOULOU L, 2008).

Les désordres liés à ce type d'inondation se traduisent par des remontées sous bâtisses, l'ennoyage des ouvrages souterrains, tassements de remblai, des glissements de terrain, des perturbations sur les réseaux publics, des pressions sous les constructions, etc.



FIGURE 1.8 – Inondations par remontée de nappe

1.5.2 Les inondations par débordement directe (débordement des plaines)

Elles sont générées par des crues lentes et progressives (l'eau monte de quelques centimètres par heure). Elles se produisent souvent après une longue période de pluies, lorsque les sols sont saturés d'eau, plutôt durant la période des hautes eaux (en hiver). Elles ne créent pas de danger pour les vies humaines, sauf en cas d'imprudence, mais peuvent s'étaler sur plusieurs semaines, et

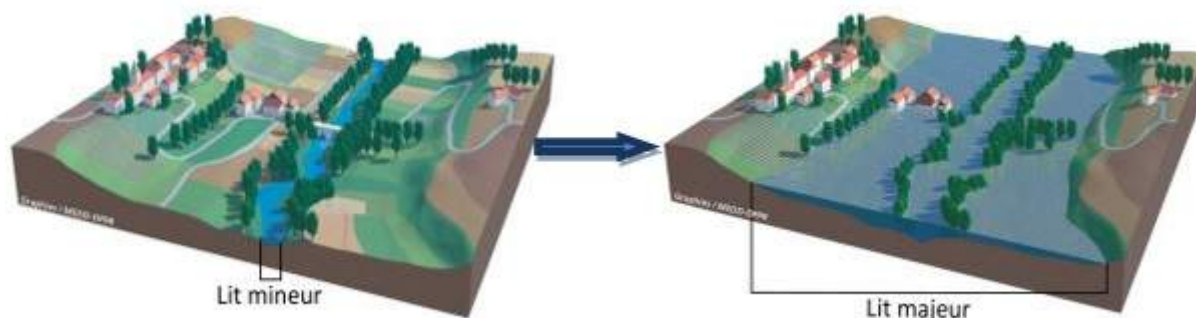


FIGURE 1.9 – Inondations de plaine

1.5.3 Inondations par crues torrentielles

Ce type de crue se forme par enrichissement du débit d'un torrent matière solide qui accroît fortement son pouvoir érosif. L'enrichissement en matériaux peut provenir de l'arrachement des berges dû au débit anormal du cours d'eau ou à un ruissellement important sur le bassin versant amenant une importante charge solide. Cette dernière affecte les petits bassins Versants d'une Dizaine de km^2 (HALLIL A, 2016).

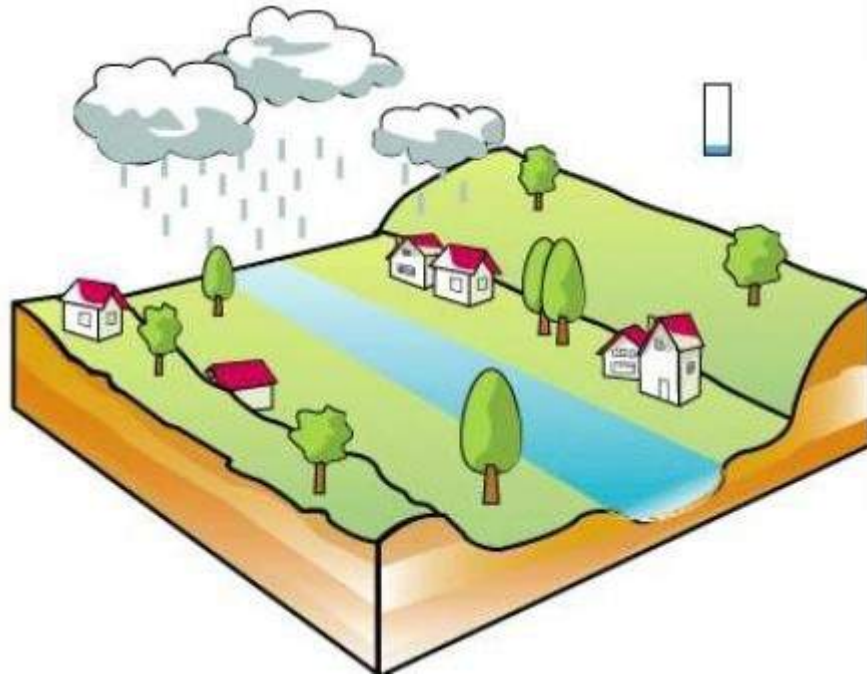
Les spécialistes retiennent cinq critères pour définir la crue torrentielle : la rapidité de la réponse du cours d'eau, sa pente, le nombre de Froude, le transport solide, les effets de ces crues.



FIGURE 1.10 – Inondation par crue torrentielle

1.5.4 Inondation par ruissellements pluvial

Les inondations par ruissellement recouvrent des phénomènes physiques différents selon qu'elles se produisent en milieu rural, périurbain ou urbain. Mais ces phénomènes se caractérisent par leur soudaineté et leur courte durée, ce qui les rend peu prévisibles et difficilement maîtrisables en période de crise. Il s'agit de phénomènes très locaux, intéressant les petits bassins versants(AISSA



M, 2016).

FIGURE 1.11 – Inondation par ruissellements

1.6 Ampleur des Inondations

1.6.1 Les inondations à l'échelle mondiale

Au cours des deux dernières décennies, les inondations ont constitué les catastrophes les plus récurrentes (Figure 1.12). A l'échelle mondiale, elles représentent 34% des catastrophes naturelles enregistrées entre 1990 et 2007 (DJEBALI K ,2015).

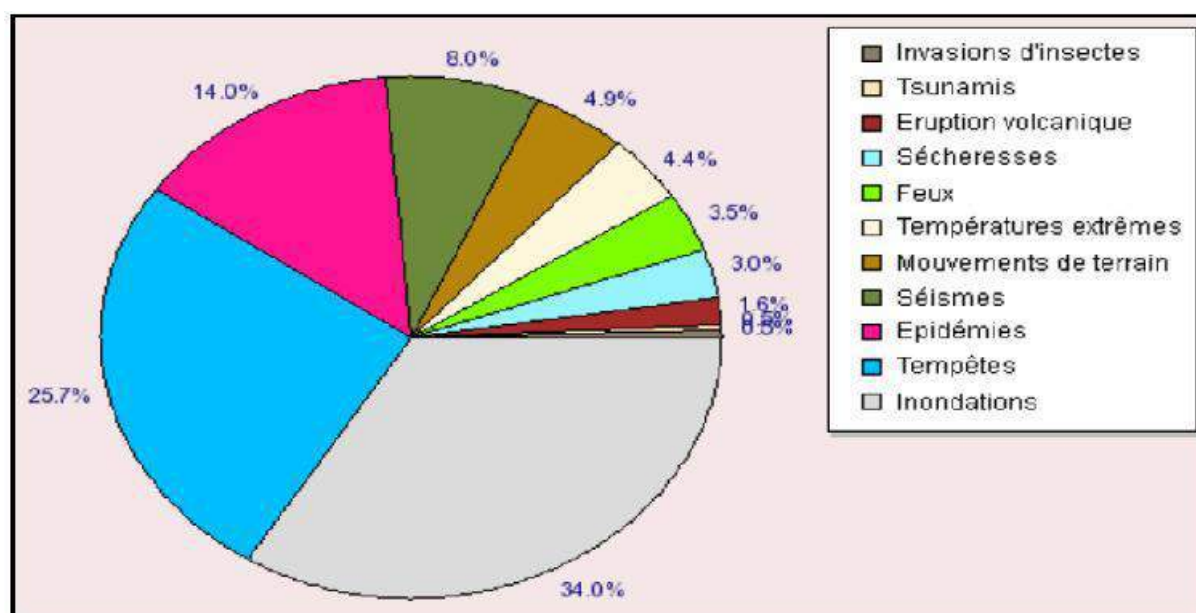


FIGURE 1.12 – Type de catastrophes naturelles survenues dans le monde de 1990 à 2007. (DJEBAI K ,2015)

1.6.2 Les pires inondations de l'histoire du monde

- * **Le 4 et 5 août 1988** : C'est le nord du pays et la ville de Khartoum qui sont les plus touchés par des pluies torrentielles qui touchent le pays. Durant les trois premières semaines du mois d'août, Plus de 80 % de la surface de la ville est sous les eaux, près de 200 000 logements et abris sont détruits. L'inondation a fait 78 morts et des centaines de blessés.



FIGURE 1.13 – Crue de des pluies torrentielles au Soudan

- * **Le 14 juin 2010** : Les inondations du Var, des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse survenues en 2010 sont tenues comme les plus importantes que le pays ait connu ces dernières années. Les fortes précipitations allèrent de 150 mm à 397 mm dans le centre et l'est de la région. Les crues firent au total 26 morts et disparus dont dix rien que dans la ville de Draguignan. Sur le milliard d'euros de dégâts, 875 millions concernent des biens assurables des particuliers, des entreprises et des collectivités, 179 millions des biens non assurables des collectivités.



FIGURE 1.14 – Crue de des pluies torrentielles au France (var)

- * **Le 29 août au 2 septembre 2016** : Les inondations dans le nord-est de la Corée du Nord (Séoul), qui ont fait des centaines de morts ou de disparus, sont le "pire désastre" survenu dans le pays depuis la Seconde guerre mondiale, 138 personnes ont été tuées et 400 autres sont portées disparues le long du fleuve Tumen. Au moins 29.800 logements et 900 édifices publics ont été détruits tandis que 180 morceaux de route et plus de 60 ponts ont subi de gros dégâts.



FIGURE 1.15 – Inondation en Corée de Nord (Séoul)

* **En août 2016** : de fortes pluies causent des inondations dans tout l'État de Louisiane est qui existe au Sud des États-Unis, et les rivières Amite et Comite connaissent des crues record. Le bilan s'établit à 13 victimes, et 60 000 habitations sont détruites. Plus de 106 600 résidents se sont inscrits pour obtenir l'aide de l'Agence fédérale des situations d'urgence.



FIGURE 1.16 – Crue de des pluies torrentielles au Louisiane

1.6.3 Les inondations en Algérie

L'Algérie est confrontée aux phénomènes de crues et inondations, qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et sociale (YAHIAOUI A, 2012). Au cours de la décennie écoulées, nous avons pu avoir les données de quelques inondations parmi lesquelles :

- * **Le 28 décembre 1984 au 03 janvier 1985** : Les pluies torrentielles à Skikda qui dépassent parfois les 100 mm/j sont à l'origine d'un certain nombre de débordements d'oueds dans le bassin : 137 mm à Zardézas et 111.2 mm à Ramdane Djamel enregistrées le 29/12/1984 (MAOU A, 2011).



FIGURE 1.17 – Skikda-Les allées : Inondations du 28 Décembre 1984 (MAOU A, 2011)

- * **29 septembre au 02 octobre 1994** : Plusieurs inondations catastrophiques sont enregistrées à Ghardaïa, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt et Sidi Bel Abbès causent des dégâts importants :

 - **Ghardaïa** : dégâts matériels évalués à 270 millions de dinars.
 - **Laghouat** : dégâts matériels évalués à 5 millions de dinars dans le secteur de l'hydraulique.
 - **Mascara** : deux morts et importants dégâts matériels.
 - **Tissemsilt** : neuf morts.
 - **Sidi Bel Abbès** : deux morts (YAHIAOUI A, 2012).

- * **Le 10 novembre 2001** : Des pluies diluviennes se sont abattues sur Alger et plusieurs villes limitrophes mais le danger était signalé à Alger exactement à Bab el Oued où les eaux avaient inondé les rues, en 48 heures seulement, il était tombé l'équivalent de 210 mm de pluie sur la capitale. Plus de 800 morts, une centaine de disparus et des dégâts matériels estimés à 33 milliards de dinars.



FIGURE 1.18 – Inondation de Beb El-Oued

- * **Le 01 octobre 2008** : une inondation exceptionnelle due aux crues de plusieurs oueds convergeant dans la vallée du M'zab Ghardaïa ont décimé plus de 60 personnes par surprise et causé d'énormes dégâts matériels à la ville de Ghardaïa.



FIGURE 1.19 – Inondation dans la vallée du M'zab Ghardaïa

- * **Le 15 septembre 2015** : de fortes chutes de pluie se sont abattues sur la ville de Tamanrasset provoquant des crues d'Oued Amsel entraînant des pertes humaines importantes (13 victimes) et des pertes matérielles considérables.



FIGURE 1.20 – Crues d'Oued d' Amsel dans la wilaya de Tamanrasset

- * **Le 27 octobre 2008** : Deux personnes ont trouvé la mort et une autre a été blessée dans la daïra de Ain Lahdjar à la suite des pluies torrentielles qui se sont abattues sur la wilaya de Saïda.



FIGURE 1.21 – Crue de Ain l'Ahdjar dans la wilaya de Saïda

1.7 CAUSES ET TYPES D'INONDATIONS CATASTROPHIQUES EN ALGÉRIE

L'Algérie est l'un des pays les plus confrontés aux phénomènes de crues et des inondations qui se manifestent de façon catastrophiques telles que les inondations de Mars 1973 sur l'Est Algérien, de Janvier 1992 sur le centre Algérien, de Janvier 1999 sur l'Ouest du Sahara Algérienne, d'Octobre 2000 à Sidi Bel Abbès et de novembre 2001 sur la cote Algéroise (inondation de Bab El Oued). Ces événements sont imprévisibles dans le temps et dans l'espace et ils constituent une contrainte majeure pour le développement économique et social [OUFELLA 2003]. Les précipitations se caractérisent en Algérie par une très forte irrégularité tant interannuelle que saisonnière entraînent ainsi des étiages extrêmement sévères des cours d'eau et des fortes crues et des inondations engendrant des dégâts humains et matériels considérables. La genèse des crues et leurs impacts sur l'environnement se varient d'une région à une autre en fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols qui les caractérisent [MERABET 2006]. D'une manière générale, les causes de formation des inondations survenues en Algérie peuvent être classées en trois types :

1. Causes liées à des situations météorologiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité tels que les inondations de décembre 1957 des bas sins du Mazafran et du Sebaou, de l'automne 1969 en Algérie et en Tunisie, de Mars 1974 des bassins versants de l'Algerois et du Sebaou, de Décembre 1984 sur tout l'Est Algérien, de 1997 du bassin de la Mekerra à Sidi Bel Abbès et les inondations de 18 avril 2007 de Moulay Slissen etc. [MERABET 2006, OUFELLA 2003, BAHLOULI 2001].
2. Causes provoquées par des facteurs liés à l'effet de l'homme : la défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales, le gonflement des oueds par les débris et les détritiques sont autant de facteurs qui provoquent des dégâts lors des averses saisonnières ; les cas de la ville de Tiaret inondée presque à chaque hiver et la plaine du Mزاب où des inondations se produisent tous les 02 à 03 ans illustrent parfaitement l'influence de ces facteurs dans l'apparition du phénomène d'inondation [MERABET 2006, OUFELLA 2003, BAHLOULI 2001].
3. Causes produites dans des régions présentant un environnement topographique défavorable comme le cas des villes traversées par des oueds (Bordj Bou Arréridj, Oued R'hieu, Sidi Bel Abbès) ou situées au pied d'une montagne (Ain Defla, Batna, Medea).

Ces inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont de deux types :

- **Inondations engendrées par des crues torrentielles** : elles affectent les petits bassins versants de quelques dizaines de Km^2 et elles sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses se produisant généralement en automne et été. Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de la soudaineté et de la rapidité avec lesquelles elles se produisent, les ruissellements extrêmement rapides et violents peuvent

intervenir moins d'une heure après la pluie et les débits des oueds passent de quelques m^3/s à plusieurs milliers de m^3/s en 02 ou 03 heures seulement. L'Inondation de la ville de Oued R'hiou, (le 20 octobre 1993) où 20 minutes de pluies ont fait 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus, est l'exemple parfait de ce type de crues [MERABET 2006].

- **Inondations des grands bassins versants** : elles résultent le plus souvent des précipitations importantes généralisées sur des grandes étendues et caractérisées par leur quantité et leur durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. Les crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisibles sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides. En Algérie, ce type d'inondation survient généralement en saison hivernale entre les mois de Décembre et Mai [MERABET 2006].

1.8 Conclusion

Enfin, l'inondation est considérée comme un événement climatique extrême. Ces inondations sont déclenchées par différents facteurs tels que la quantité de pluie ou bien encore l'état des sols. Souvent qualifiée de risque naturel, elle est lourde de conséquences (pertes humaines, sociales, économiques et environnementales) tant pour les pays développés que pour les nations en développement bien que tous ne soient pas affectés de la même manière. La capacité à gérer l'impact de l'inondation varie également d'un pays, d'une région, d'une communauté et d'un groupe de population à l'autre.

CHAPITRE 2

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

2.1 Introduction

Le bassin versant de l'oued Saïda fait partie du grand bassin de la Macta qui s'étend au nord-ouest de l'Algérie, qui est caractérisée par un climat du type semi-aride. Les précipitations sont très irrégulières dans le temps et dans l'espace, ceci va engendrer des écoulements très irréguliers. Les caractéristiques physiques, climatiques et géologiques d'un bassin versant sont des paramètres qui influent directement sur le régime d'écoulement d'un bassin versant (ruissellement, infiltration, évaporation, évapotranspiration) Nous détaillerons ses caractéristiques d'Oued Saïda dans ce chapitre.

2.2 Situation géographique de la wilaya de Saida

La ville de Saida est située dans le nord-ouest de l'Algérie à environ de 70 km au nord de Mascara, 180 km au sud d'Oran, 95 km au l'ouest de sidi Bel Abbas et 152 km au l'est de Tiaret. Elle est surnommée la ville des eaux a cause de ses sources (Figure 2.1). Saida est couvre une superficie de totale de $6765,40 \text{ km}^2$. Le territoire de la wilaya se distingue par une palette d'entités géologique, géomorphologie, hydrogéologique, bioclimatique, pédologique et sociale en plus des richesses naturelles importantes et variées. (BRIZINI.Z, et BEDDANE.Y, 2019). Saida est le chef-lieu d'une wilaya de 330641 habitants (Recensement de la population et de l'habitat, RGPH 2008) composée de 16 communes regroupées en 06 Daïras.

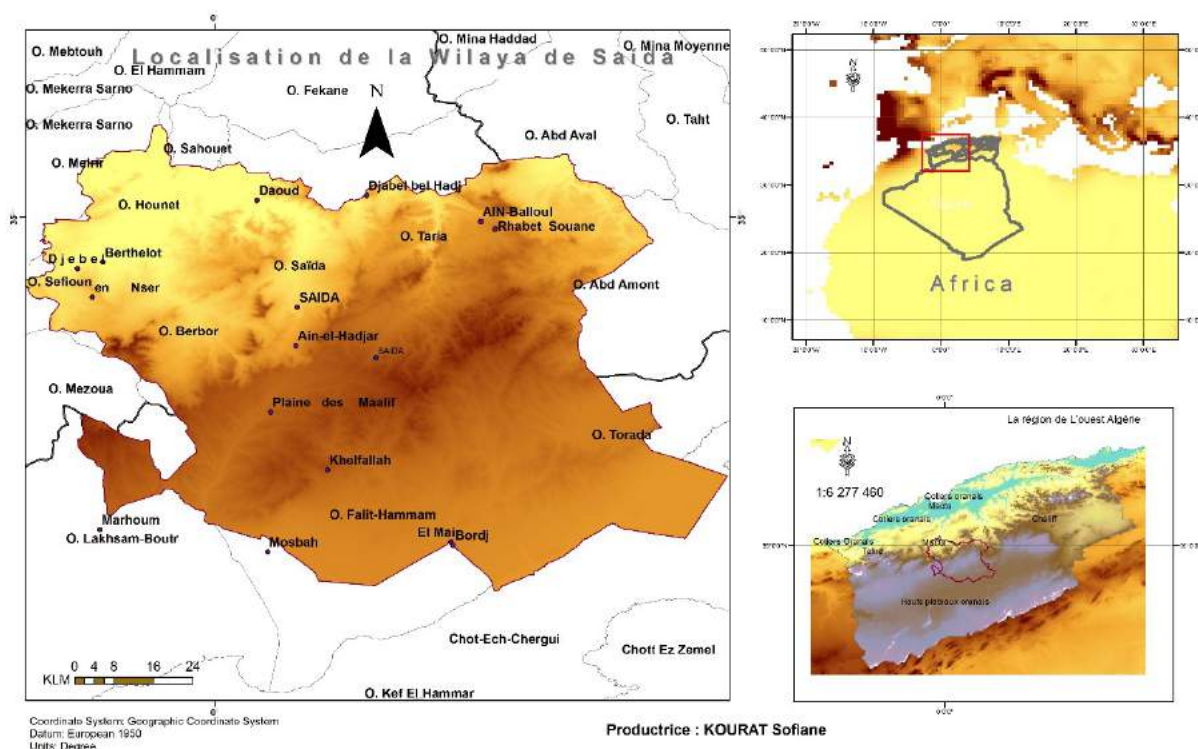


FIGURE 2.1 – Localisation de la wilaya de Saïda

2.3 Présentation du Bassin versant de l'oued Saïda

Le bassin versant de l'Oued Saïda, se présente comme un bassin montagneux dominé. Il s'étend dans les Monts de Daïa et les Mont de Saïda, au Sud comme à l'Est, par les hautes crêtes séparant de grand bassin du Cheliff. Au Nord et à l'Ouest, par le Djebel Abdelkrim 1203m et à l'Est par Djebel de Guemroud 1157 m, (HACHEMAOUI.C, 2012), dans les prolongements des Monts de Saïda. L'altitude des crêtes du bassin varie entre 1150 et 520 mètres, culminant à plus de 1238 m dans Djebel d'El- Hassa au Sud-ouest de Saïda. Le bassin, présentant une forme circulaire légèrement allongée, est orienté vers le Nord géographique. Il couvre une superficie globale de 644 Km^2 pour un périmètre de $164,5 \text{ Km}$ (DAHMANI.M, 2016). Le Bassin de l'oued Saïda composé par quatre sous bassin :

- Sous bassin de TEOUDA.
- Sous bassin d'AIN NAZREG.
- Sous bassin de MASSIL.
- Sous bassin de SAIDA.

Chaque sous bassin est drainé par l'oued qui lui correspond. Au niveau du cours d'eau, on peut situer les principaux points d'eau à analyser ultérieurement, ces derniers sont situés dans des zones proches du cours d'eau principal drainant le bassin versant de l'oued Saïda. Plusieurs oueds drainent le bassin versant de l'oued Saïda, parmi les plus importants on distingue du Sud au Nord :

- Oued TEBOUDA qui prend sa source à AIN TEBOUDA environ 3 KM d'AIN EL HADJAR.
- Oued SAIDA qui représente le prolongement de l'oued TEBOUDA.
- Oued NAZREG qui prend sa source à AIN ZERGA à l'est du grand bassin de Saida.
- Oued MASSIL qui prend sa source à AIN METTOUIA au pied du Djebel ZARET au nord-est du grand bassin (AMEUR W et BENTABE L, 2019).

2.4 Caractéristiques générales du bassin versant de l'oued Saida

2.4.1 Caractéristiques physique du bassin d'oued Saida

Le bassin versant de l'Oued Saida qui appartient au grand bassin versant de la Macta (Melrir, Sefioun, Sahouat) prennent naissance au niveau des massifs calcaires des monts des Daïa et de Saida, confluent en amont du barrage de Bouhanifia. Ils forment ensuite l'oued El Hammam qui traverse les basses plaines de Habra- Sig avant de se déverser à la mer.

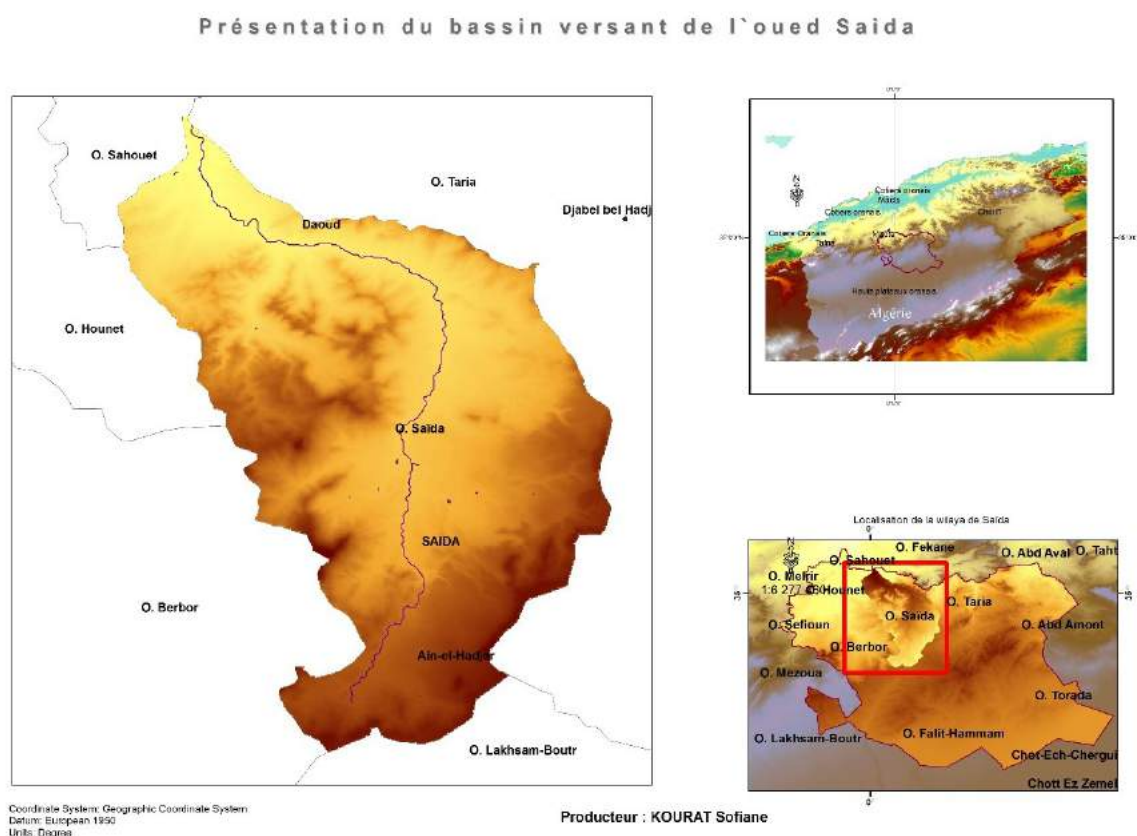


FIGURE 2.2 – Le bassin versant de l'oued Saida

2.4.2 La morphologie du bassin versant de l'Oued Saida

2.4.2.1 Caractéristiques de formes

Ce sont les caractères purement géométriques des bassins que l'on peut atteindre par le seul concours des relevés topographique. Leurs utilisations ont pour but, la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique d'un bassin versant.

- a) **Le coefficient de compacité de Gravelius** : La forme du bassin versant à une grande influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydro gramme résultant d'une pluie donnée, cette caractéristique est donnée par l'indice de Gravelius (1914) appelé aussi le coefficient de compacité, il est défini par le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface :

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.1)$$

Avec :

P : périmètre du bassin versant = 164,5 km

A : surface du bassin versant = 644 km².

On obtient : $K_G = 1,81$ ($K_G > 1$)

D'après cette valeur de K_G , on peut dire que notre bassin est de forme allongée, ce qui favorise les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau vers l'exutoire sur une distance plus importante. (BRIZINI.Z, et BEDDANE.Y, 2019).

- b) **Le rectangle équivalent** : C'est une notion pour comparer facilement des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. On suppose que l'écoulement sur un bassin donné est approximativement le même, à conditions climatologiques égales, que sur un rectangle de même superficie, ayant même coefficient de Gravelius et même répartition hypsométrique, étant entendu que la distribution des sols et de la végétation et la densité de drainage sont respectées dans les différentes aires comprises entre les courbes de niveaux. Il s'agit donc d'une transformation purement géométrique dans laquelle le contour du bassin devient un rectangle de même périmètre, les courbes de niveaux des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un des petits côtés du rectangle que nous avons appelé rectangle équivalent. Soit l et L la largeur et la longueur du rectangle. P et A le périmètre et l'aire du bassin versant.

$$L = K_G \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad \text{et} \quad I = K_G \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right]$$

Avec :

- L : longueur du rectangle (km).
- I : largeur du rectangle (km).
- KG : coefficient du Gravelius.
- A : surface du bassin versant (Km^2).

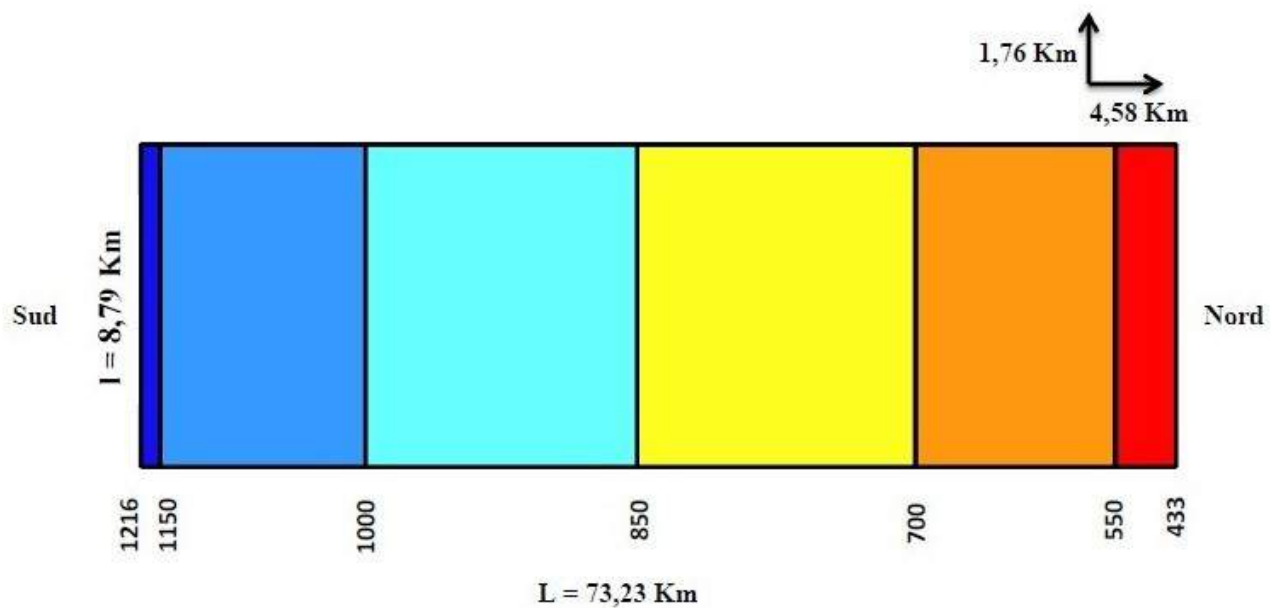


FIGURE 2.3 – rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued Saïda

2.4.3 Caractéristiques du relief

2.4.3.1 Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique du bassin : on porte une altitude donnée en abscisse et en ordonnée la surface du bassin pour laquelle chaque point est à une cote au moins égale à cette altitude. La courbe hypsométrique s'établit en planimétrant les surfaces correspondant à la définition de l'ordonnée pour chacune des courbes de niveau. Les surfaces figurant en ordonnée sont souvent calculées en pourcentage ou en fraction de la surface totale du bassin. L'abscisse moyenne de la courbe est l'altitude moyenne du bassin.

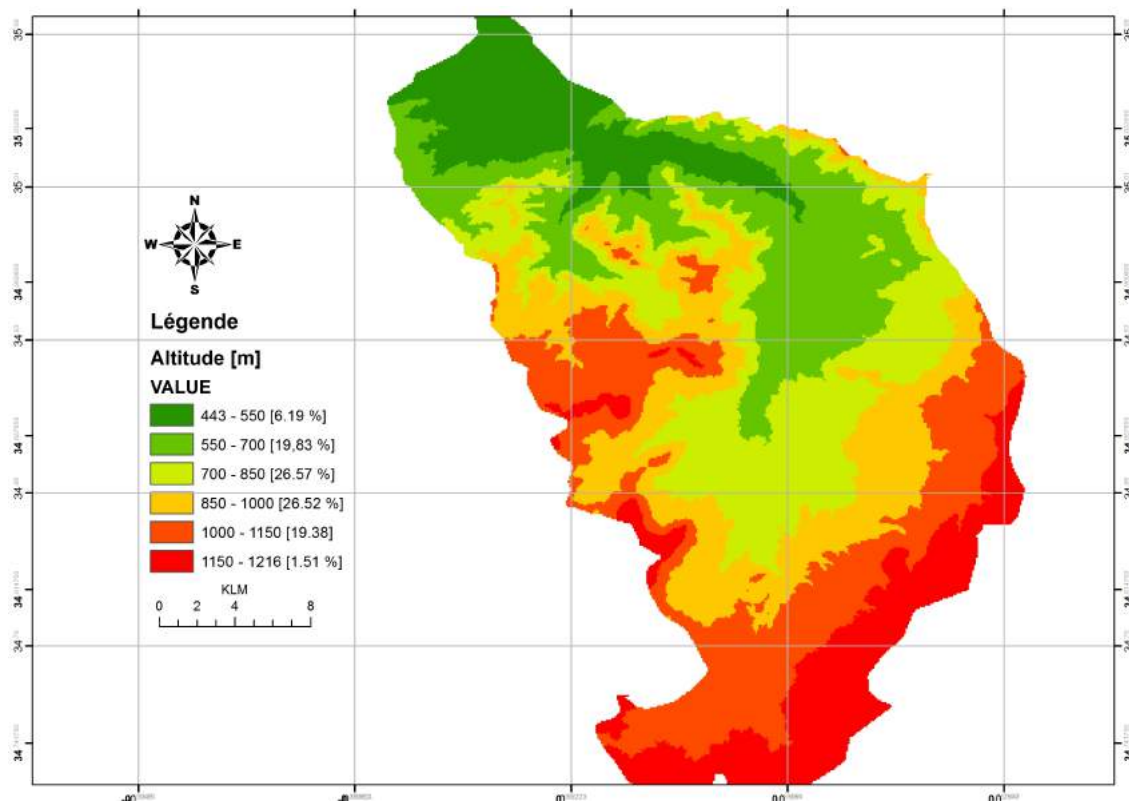


FIGURE 2.4 – Carte Hypsométrique du bassin versant de l'oued Saïda

Tranche d'altitude(m)	Surface (km^2)	Surface cumulée (km^2)	Pourcentage de la surface du bassin %	Pourcentage cumulée de la surface du bassin %
1216-1150	9.71	9.71	1.51	1.51
1150-1000	124.81	134.52	19.38	20.89
1000-850	170.82	305.34	26.52	47.41
850-700	171.10	476.44	26.57	73.98
700-550	127.72	604.16	19.83	93.81
550-433	39.84	644	6.19	100

TABLE 2.1 – Répartition hypsométrique du bassin versant de l'oued Saïda

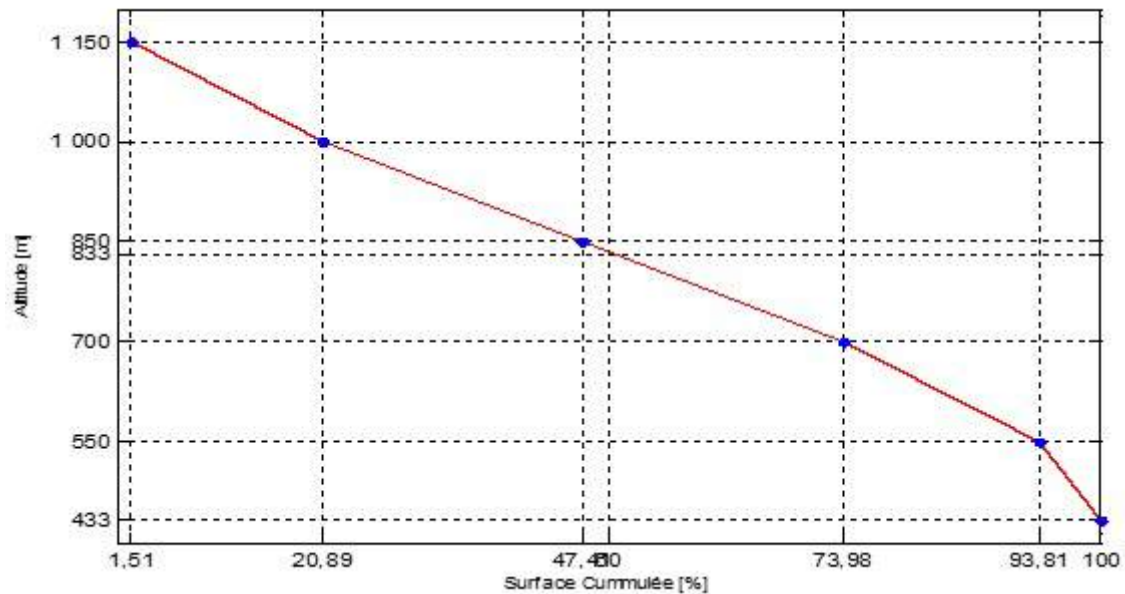


FIGURE 2.5 – Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Saida

2.5 Les altitudes caractéristiques

A partir de la courbe hypsométrique, on peut déterminer les altitudes caractéristiques du bassin versant :

- Altitude maximale : correspond au point le plus haut du bassin versant

$$H_{\max} = 1216 \text{ m}$$

- Altitude minimale : égale au point le plus bas du bassin versant

$$H_{\min} = 433 \text{ m}$$

- Altitude médiane : correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50 % de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique :

$$H_{\text{médiane}} = H_{50\%} = 833 \text{ m}$$

- Altitude moyenne : se déduit directement de la courbe hypsométrique, on peut la définir comme suit :

$$H_{\text{my}} = \sum \frac{A_i \cdot H_i}{A} \quad (2.2)$$

Avec :

- H_{moy} : Altitude moyenne du bassin (m) $\Rightarrow H_{\text{moy}} = 831.79 \text{ m}$

- A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau (km^2).
- h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).
- A : surface totale du bassin versant (km^2).

TABLE 2.2 – Répartition altimétrique du bassin versant de l'oued Saïda

Classe d'altitudes (m)	Altitude moyenne (m)	Surface A_i (km^2)	$h_i \cdot A_i$
433 – 550	491,5	39,84	19581,36
550 – 700	625	127,72	79825
700 – 850	775	171,10	132602,5
850 - 1000	925	170,82	158008,5
1000 – 1150	1075	124,81	134170,75
1150– 1216	1183	9,71	11486,93
		$\Sigma = 644$	$\Sigma = 535675,04$

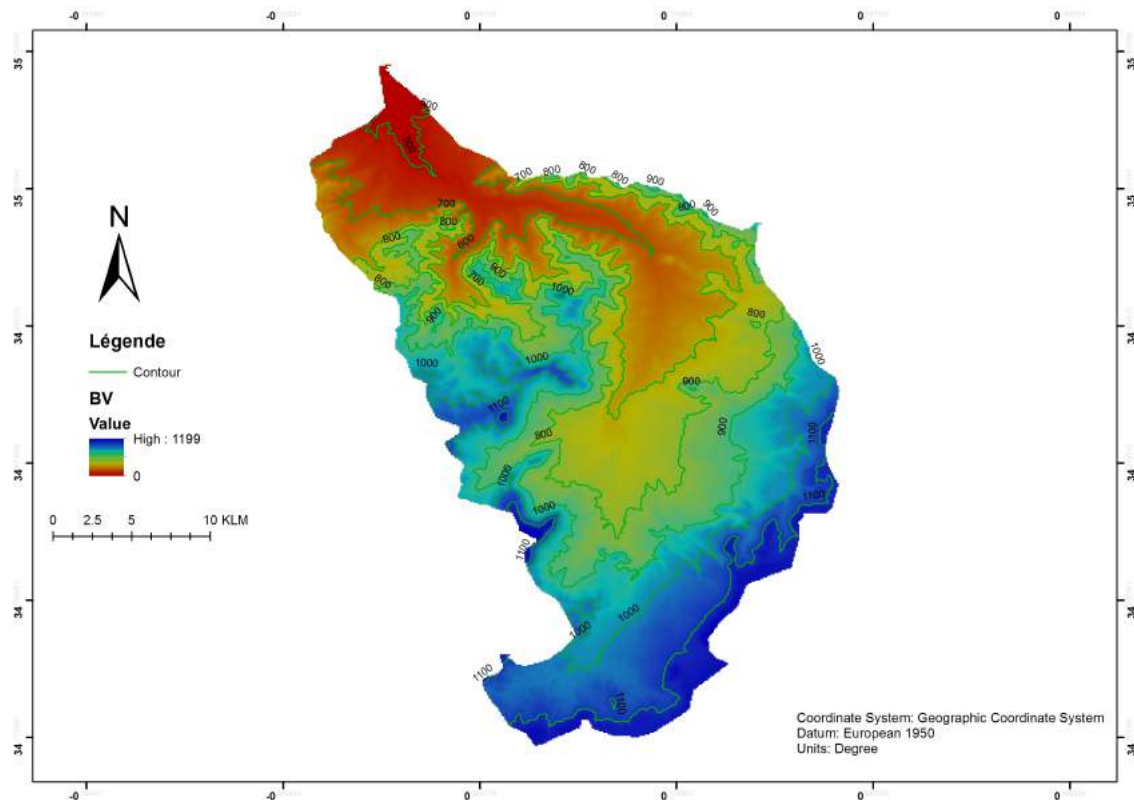


FIGURE 2.6 – Carte des Altitudes du bassin versant de l'oued Saïda

2.6 Les indices de pente

2.6.1 Indice de pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin versant, elle est considérée comme une variable indépendante, elle donne une bonne indication sur le temps de parcours de ruissellement direct, donc sur le temps de concentration T_c et influence directement le débit de pointe l'ors d'une averse il est exprimé par le rapport entre la dénivelée totale et la longueur du rectangle équivalent, il est calculé par la relation suivante :

$$I_{moy} = \frac{D}{L} \quad (2.3)$$

On obtient $I = 0.0106 \rightarrow I_{moy} = 1.06\%$ Avec :

- D : dénivelée totale du rectangle équivalent $H_{max} - H_{min} = 783$ m.
- L : longueur du rectangle équivalent en m (732300 m).

2.6.2 Indice de pente globale I_g

Pour comprendre et mettre en évidence l'influence du relief sur le ruissellement à l'intérieur d'un bassin versant, un indice de pente globale a été introduit et calculé à partir de la relation suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{2} \quad (2.4)$$

On obtient $I_g = \frac{1153-533}{73.23.10^3} = 0.0079 = 0.79\%$ Avec :

- D : dénivelée entre les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin versant tirée à partir de la courbe hypsométrique (m).
- L : longueur du rectangle équivalent (m).

TABLE 2.3 – Classification du relief selon I_g d'ORSTOM

Relief très faible	$I_g < 0,002$
Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1$
Relief très fort	$0,1 < I_g$

D'après la classification d'ORTSOM résumée dans le tableau ci-dessus, notre bassin se caractérise par un relief faible.

2.6.3 Indice de pente de Roche Ip

Pour bien visualiser l'influence de facteur pente sur le ruissellement Roche a introduit un autre indice : « indice de pente de Roche ». qui se calcule directement sur le Rectangle équivalent en appliquant la relation suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{a_i \times d_i} \quad (2.5)$$

Avec :

- L : la longueur du rectangle équivalent (Km).
- a_i : fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau voisin distant de d_i .

TABLE 2.4 – Fraction des surfaces entre les courbes de niveau

Classe d'altitude (m)	Surface en KM^2	a_i	Différence d'altitude	$a_i \times d_i$	$\sqrt{a_i \times d_i}$
433 - 550	39,84	0,062	117	7,254	2,69
550 - 700	127,72	0,198	150	29,7	5,45
700 - 850	171,10	0,266	150	39,9	6,31
850 - 1000	170,82	0,265	150	39,75	6,30
1000 - 1150	124,81	0,194	150	29,1	5,39
1150 - 1216	9,71	0,015	66	0,99	0,99
	$\Sigma = 644$				$\Sigma = 27,13$

$$\Rightarrow I_p = 3.17\%$$

2.6.4 La dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique permet de se prononcer sur le relief suivant la classification de l'office de recherche scientifique, d'outre-mer (ORSTOM).

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A} \Rightarrow D_s = 201.68m \quad (2.6)$$

Avec :

- I_g : indice de pente globale.
- A : superficie du bassin versant (Km^2).

TABLE 2.5 – Classification du relief selon Ds

Relief très faible	$DS < 10 \text{ m}$
Relief faible	$10 \text{ m} < DS < 25 \text{ m}$
Relief assez faible	$25 \text{ m} < DS < 50 \text{ m}$
Relief modéré	$50 \text{ m} < DS < 100 \text{ m}$
Relief assez fort	$100 \text{ m} < DS < 250 \text{ m}$
Relief fort	$250 \text{ m} < DS < 500 \text{ m}$
Relief très fort	$500 < DS$

La dénivèlle spécifique du bassin versant de l'oued Saida est de $201.68\text{m} < 250\text{m}$, donc le relief assez fort.

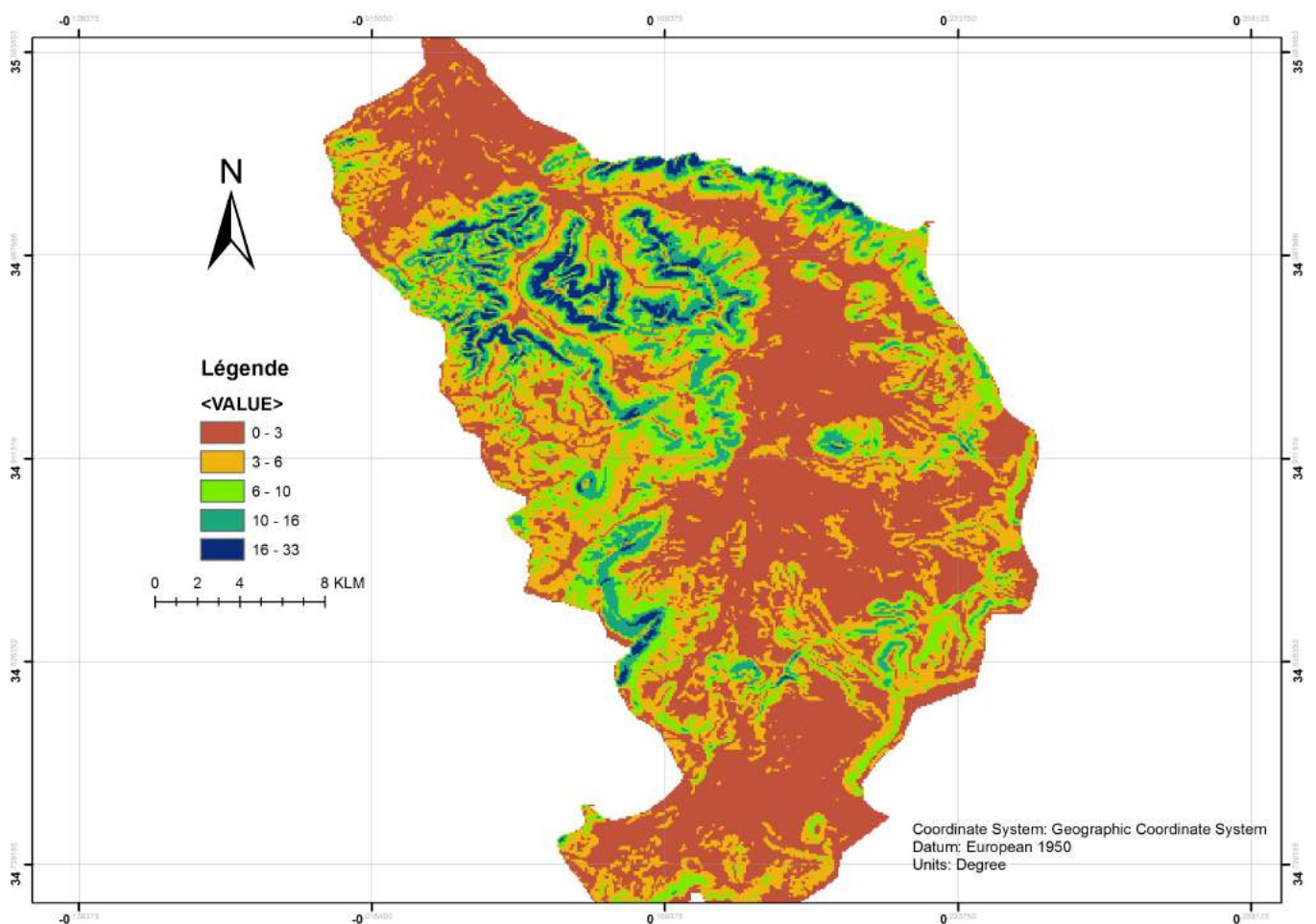


FIGURE 2.7 – Carte des pentes du bassin versant de l'oued Saida.

2.7 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Il peut donc prendre une multitude de formes, la différence du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux.

- La géologie : la nature de substratum influence la forme du réseau hydrographique.
- Le climat : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses, très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- La pente du terrain : elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.
- Cours d'eau : dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle l'écoulement est présent, contrairement dans les plaines les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

2.7.1 Hiérarchisation du réseau

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs. Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle de Strahler :

- Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1,
- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n+1$,
- Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre.

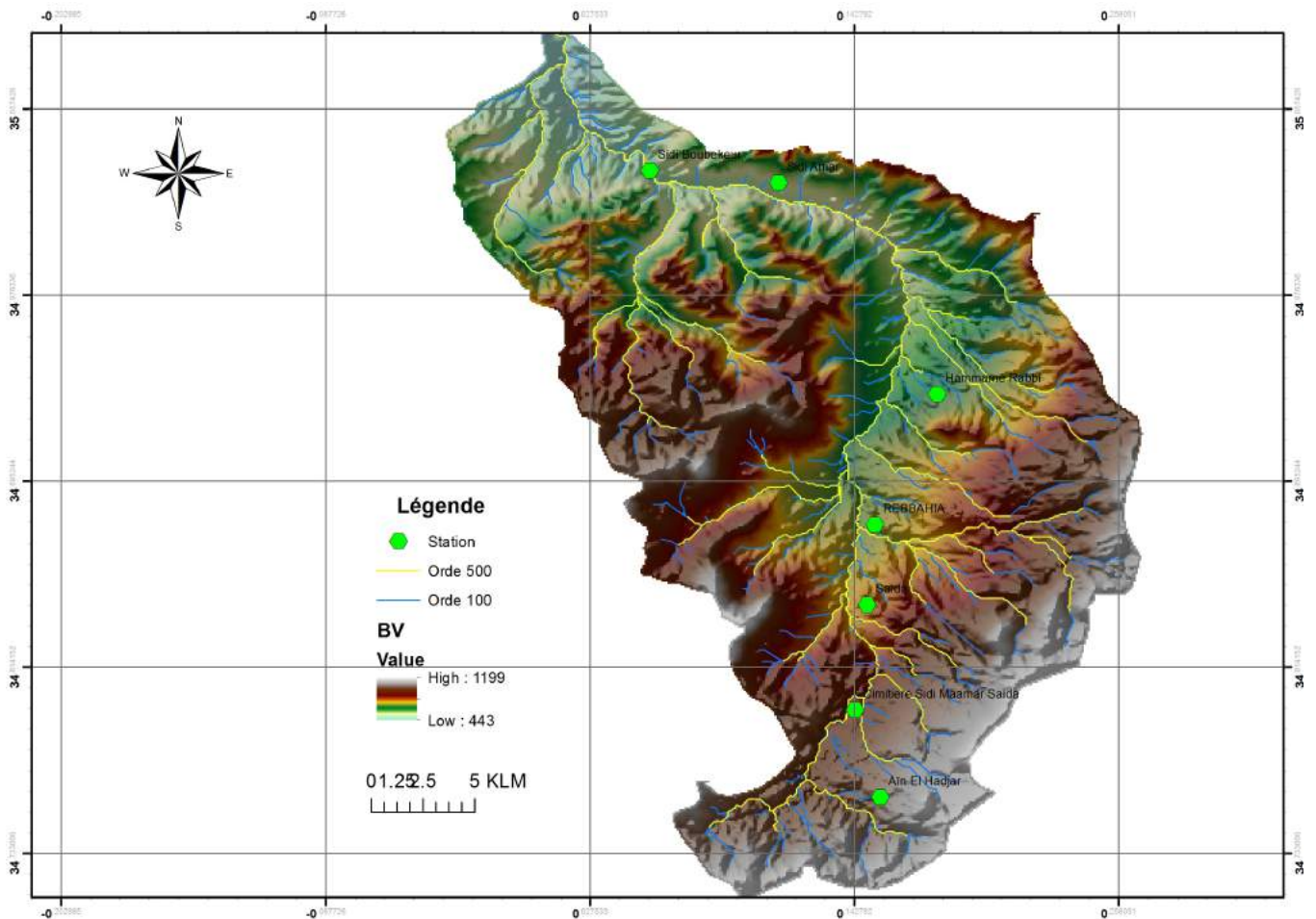


FIGURE 2.8 – Hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Saida

2.7.2 Densité de drainage Dd

C'est le paramètre le plus important qui caractérise le chevelu hydrographique, il correspond au rapport entre la longueur totale du cours d'eau et la surface du bassin.

$$Dd = \frac{\sum Li}{A} \Rightarrow Dd = 1,19 \quad km/km^2 \quad (2.7)$$

Avec :

- Dd : Densité de drainage (km/km^2) ;
- Li : Longueur cumulée des thalwegs (km) ;
- A : Surface du bassin versant (km^2) ;

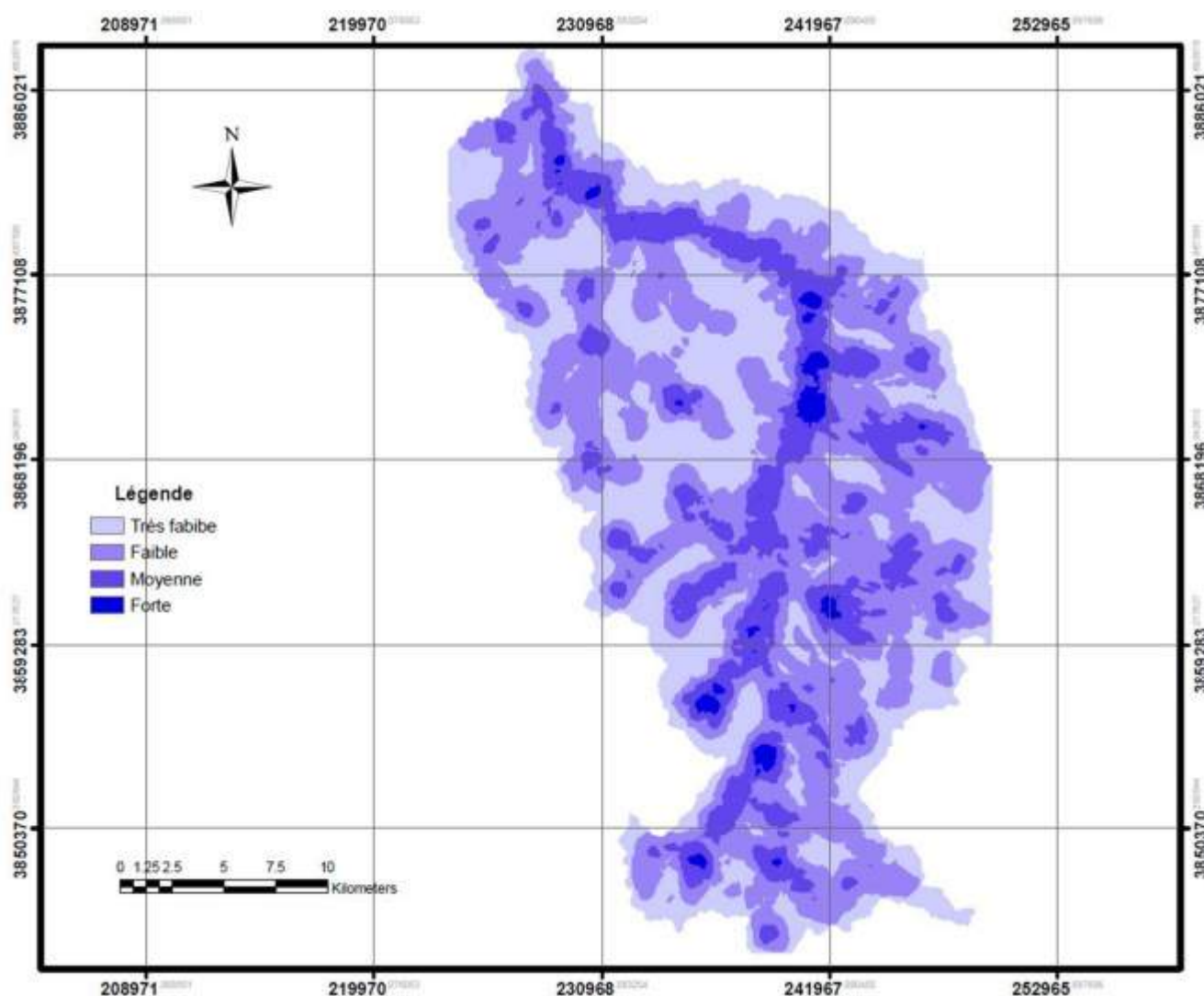


FIGURE 2.9 – Carte de densité de drainage. (AMEUR.W et BENTABET.L, 2019)

2.8 Géomorphologie

2.8.1 Morphologie

Le relief propose une diversité considérable. Il est à distinguer trois types de terrains d'après leur aspect géomorphologique.

- Zones montagneuses** : Elles sont formées essentiellement par la chaîne de Djebel Sidi Youssef d'une altitude de 1338 m et d'orientation Sud-Ouest/Nord-Est, des versants gauches de la vallée de Saida (Djebel Abd El Krim, Djebel Kerroua), des versants droits de la même vallée (Djebel Hadjra El Baida, Djebel Kodjel) et du massif de Djebel Khenifer d'une altitude de 1246 m.
- Zone platoïde** : Elle englobe les plateaux d'Ain Sultane, de Tidernatine, les plaines d'Oum-Djane et de Tamesna.
- Une vallée (Oued Saida)** : La vallée de l'Oued Saida est d'orientation Sud-Nord et d'une altitude de 800 m (hormis la partie la plus au Nord orientée Sud-Est / Nord-Ouest).

2.8.2 Topographie

La topographie générale de la région d'étude est relativement plane car les classes de pentes inférieures à 12 % occupent environ 84 % de la superficie totale de la région. Le reste soit 16 % du territoire de la région ont une déclivité bien marquée avec néanmoins une classe intermédiaire 12 - 25 %.

2.8.3 Sols

Les sols sont dépendants de la morphologie topographique et se classent comme suit :

- Versants : occupés par des sols minéraux bruts comportant très peu d'éléments friables, à l'origine de sols bruns calcaires ou rouges fersialitiques ainsi que par des sols à dominance argileuse, peu calcaire et isohumiques sur les versants à formation argilo-gréseuse.
- plateaux : sols assez diversifiés formant une mosaïque où se distinguent des sols calcimagnésiques, minéraux bruts, fersialitiques et bruns calcaires.
- terrasses et plaines alluviales : sols peu évolués d'apport alluvial ou colluvial, localement hydromorphes et des sols bruns calcaires (B. BENYAMINA, 2012).

2.8.4 Occupation de sol

La région de Saida est très majoritairement occupée par la steppe. En grande partie, cette steppe est composée de sols quasi nus. Elle se localise dans la partie sud de la région. L'alfa est des autres faciès de cette steppe. Elle est également présente de manière importante.

La forêt occupe une part non négligeable de la région. En effet, elle représente environ 26 % de la surface totale.

Au centre de la région une importante zone d'agriculture, principalement céréalière. Elle occupe près de 34 % de la surface de la région.

Enfin, il faut souligner qu'une part non négligeable de la région est constituée par ces espaces naturels fragiles que sont les chotts.

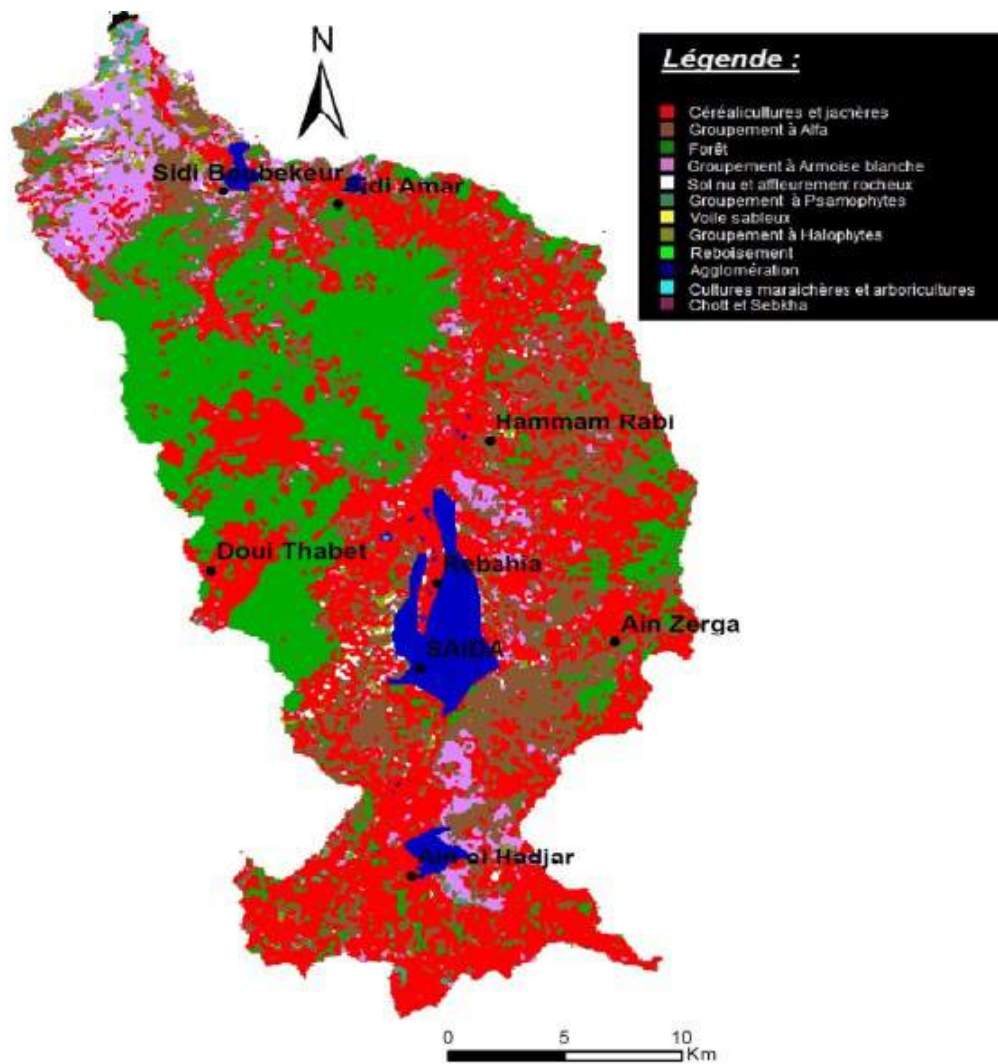


FIGURE 2.10 – Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Saida

2.9 Géologie et lithologie

La géologie joue un rôle primordial dans toutes les phases d'exécution d'un programme de mise en valeur des ressources en eaux. En effet, la lithologie des terrains, les structures géologiques et la tectonique sont parmi les facteurs qui conditionnent :

- le ruissellement de surface et l'écoulement,
- l'alimentation naturelle et la vidange de nappes,
- la constitution et le renouvellement des ressources en eaux souterraines, - les possibilités d'implantation et l'exécution d'ouvrages hydrauliques.

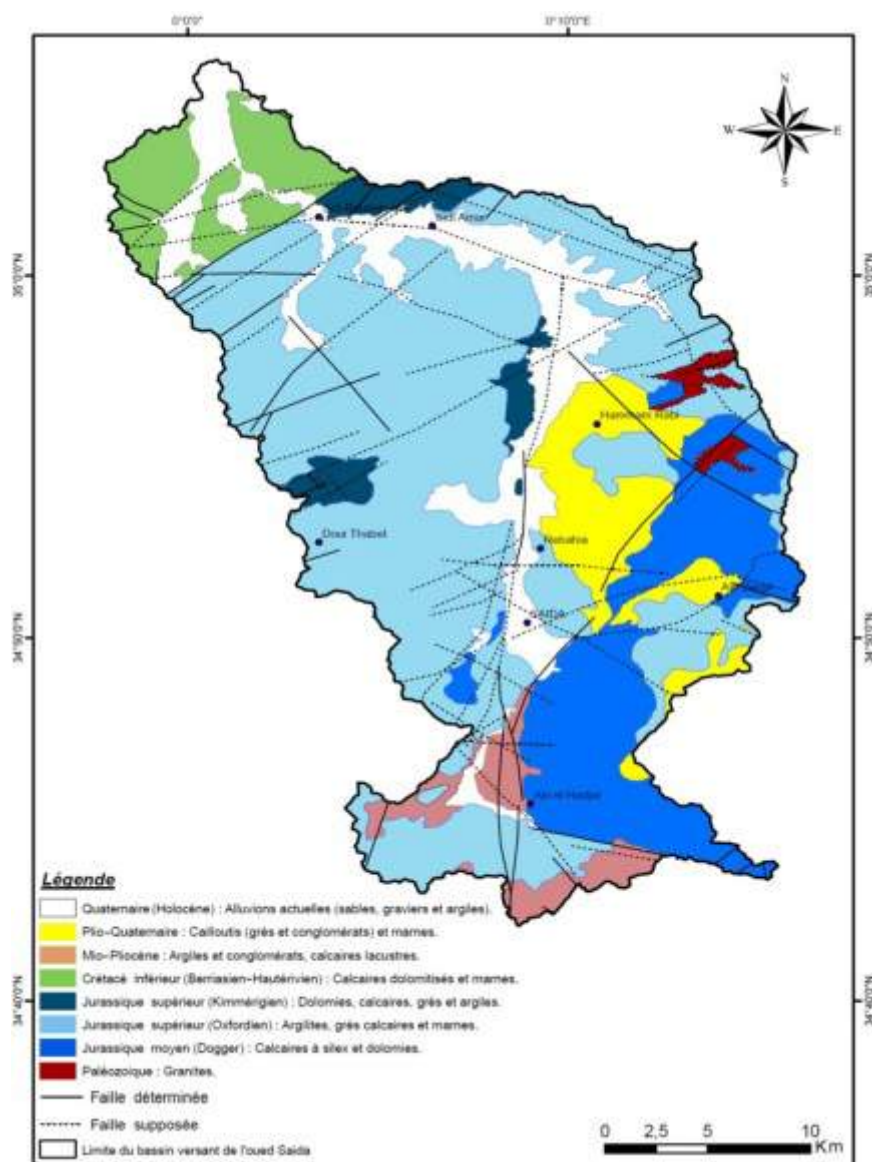


FIGURE 2.11 – Carte Géologique du bassin versant de l'oued Saïda

2.10 Stratigraphie

La lithostratigraphie de la région de Saida se présente comme le montre la figure 2.12.

Épaisseur en mètre	Âge	Log	Descriptions géologiques
20	Quaternaire		Limons plus ou moins sableux et travertins.
75	Tertiaire		Argile brique sableuse ou gypseuse à intercalation de calcaire et de graviers, galets.
100	Sénénien		Calcaires gris clairs à pâte fine très altérés à la partie supérieure.
300	Barrémien		Grès de Youb (anciennement appelé Berthelot).
310	Kimméridgien		Dolomies de sidi Boubekeur (anciennement appelé Charrier), marno-calcaire de Raourat, calcaire de Stah, antérieurement appelé dolomies de Tiemcen, enfin calcaires de Zarifet.
180	Lusitanien		Grès de sidi Amar anciennement appelé Franchetti, avec rares passées carbonatées et argiles sableuses. Les grès présentent une stratification entrecroisée.
250	Callovo-Oxfordien		Argiles de Saida: (puissante série argilo gréseuse).
150	Aaléno-Bajo-Bathonien		Dolomies cristallines et calcaires fissurées.
25	Toarcien		Marne d'Essafah (marno-calcaire et marnes).
30	Domérien		Dolomies cristallines bréchiques avec argile.
90	Trias		Argiles salines, grès argileux, basalte.
30	Primaire		Schistes, granites, rhyolites, diorites.

FIGURE 2.12 – Coupe lithostratigraphique de la région de Saida (d'après Clair, 1952 et Pitaud, 1973).

2.10.1 Socle primaire

Il affleure dans le môle de Tiffrit et à l'Est de Hammam Rabbi au djebel Modzbab. Il est représenté par des schistes et quartzites avec la présence d'intrusions granitiques et granulitiques et de coulées de laves basaltiques.

2.10.2 Mésozoïque

Les dépôts du Mésozoïque se rencontrent sur l'ensemble de la région et recouvrent les roches du Paléozoïque. Les formations du Secondaire sont représentées par un complexe de roches

volcaniques et sédimentaires.

2.10.3 Trias

Reposant transgressivement sur une couche bigarrée du Paléozoïque, la série du Trias est recouverte par différents niveaux du Jurassique et des dépôts du Plio- Quaternaire. Il dessine le môle de Tiffrit.

L'ensemble du Trias est formé de trois membres dont deux sont sédimentaires et le troisième qui est le plus important est basaltique. Les formations à gypse sont relativement peu importantes. L'ensemble, de nature volcano-détritique est imperméable et a une épaisseur d'environ 100 m (G. Pitaud, 1973).

Le Trias n'apparaît pas dans notre bassin versant.

2.10.4 Le Jurassique

Il est constitué de trois membres principaux successifs (G. Pitaud, 1973) :

- Groupe carbonaté inférieur constitué du Jurassique inférieur et moyen dolomitique.
- Groupe détritique intermédiaire constitué du Callovo-Oxfordien argileux gréseux et du Lusitanien gréseux.
- Groupe carbonaté supérieur constitué du Kimméridgien dolomitique.

2.11 Climatologie

Les paramètres climatiques jouent un rôle important dans le fonctionnement du régime hydrologique des cours d'eau dans un bassin versant, pour cela nous allons examiner tous les paramètres climatiques telles que la précipitation, la température, l'humidité et les vents.

2.11.1 Etude des précipitations

Sous le terme précipitations, on englobe toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface d'un bassin versant (pluies, neiges, grêles), les précipitations constituent l'élément le plus important qui conditionne le régime d'écoulement des cours d'eau et l'alimentation des nappes souterraines.

En régime climatique méditerranéen, on distingue deux régimes principaux de précipitation :

- Les précipitations frontales de convergences, dues à l'opposition des grandes masses d'air polaires et tropicales, elles sont responsables des chutes de neige en altitude.
- Les précipitations de convection dues à l'ascension rapide des masses d'air chaudes tropicales provoquant ainsi une situation instable orageuse et des averses très violentes.

Les précipitations du front polaire sont les plus fréquentes et les plus abondantes, elles provoquent, à peu près seules, le régime des pluies d'Hiver, alors que les précipitations de convection sont à l'origine des averses orageuses de printemps et d'été.

L'analyse des pluies basée sur les relevés pluviométriques au niveau des stations permettra de déterminer la précipitation moyenne annuelle représentative de l'ensemble du bassin versant. Deux stations pluviométriques font l'objet de notre étude, les données pluviométriques ont recueillies au niveau de l'ANRH (Agence Nationale des ressources hydrique) de la wilaya de Saida.

TABLE 2.6 – Caractéristiques des stations pluviométriques

Station	Code	Longitude (X)	Latitude (Y)	Altitude (m)
Saida	111104	268.5	178.8	750
Sidi-boubkeur	111102	259.3	195.7	195.7

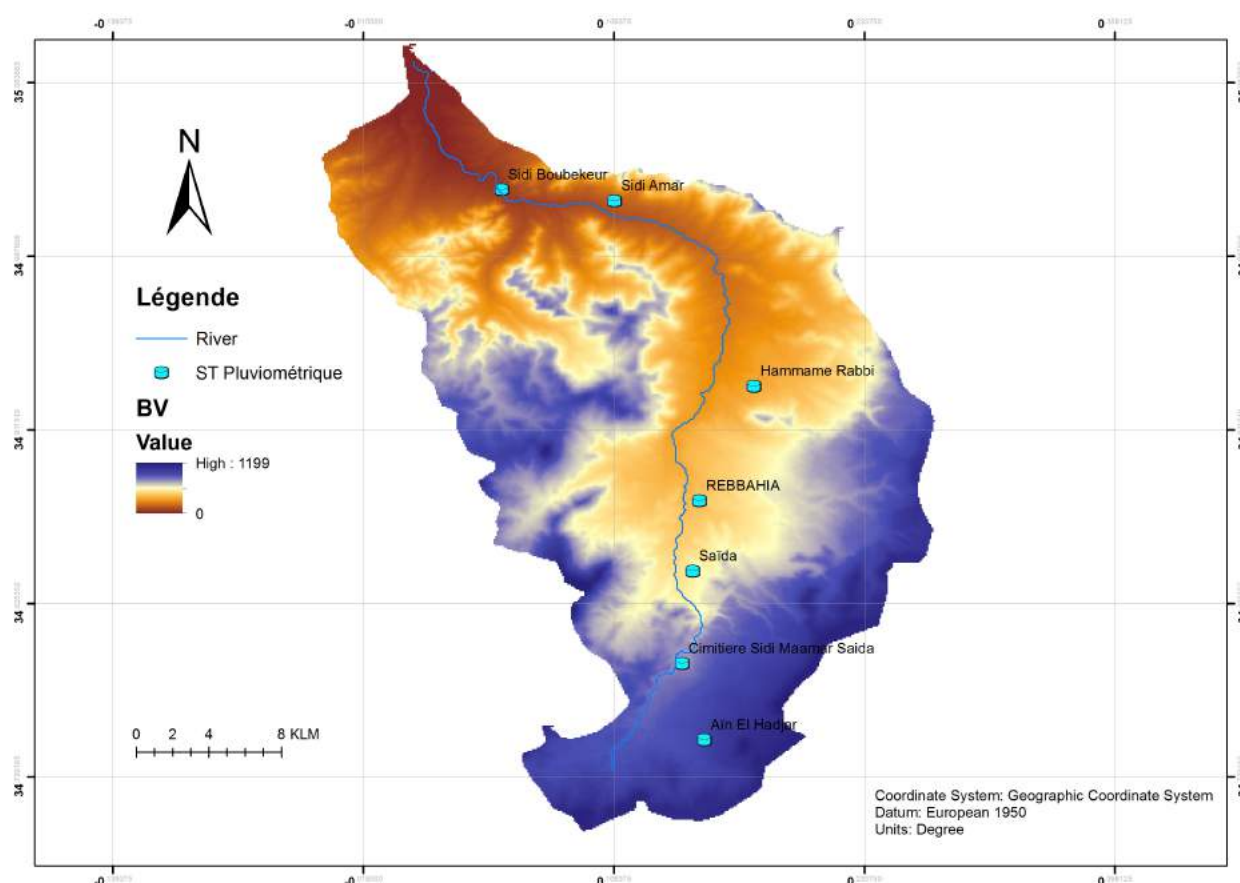


FIGURE 2.13 – Localisation des stations pluviométriques

2.11.2 Les données pluviométriques

Les données pluviométriques fournies sous forme des précipitations annuelles enregistrées au niveau de la station pluviométrique de Saida (code 11-11-01) et la station de Sidi Boubkeur (11-11-02), les données sont présentées dans Le tableau (1.9) et le Tableau (1.10) ci-dessous. L'information pluviométrique est importante pour la connaissance de la nature de la transformation pluie –débit sur le bassin versant. Les données disponibles sont validées sur une période

de 38 ans (1977-2015) au niveau de la station de Saida et de 39 ans au niveau de la station de Sidi Boubkeur (1971-2010).

TABLE 2.7 – Les données pluviométrique de la station de Saida

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	annuel
1978	0	0	0	0.1	42.1	19	9.7	32.4	21	0	0	0	147.7
1979	0	49.7	34.6	8.6	22	55.3	21.9	38	5.7	22	0.6	0.2	278,7
1980	14.4	75.9	30.2	42.7	30.6	11.3	76.7	24.2	24.7	2.7	0	0.8	363.5
1981	20	10.3	46.2	97.1	1.5	45.5	58.5	42	15.7	10.1	0	6.3	407.8
1982	0	6.5	0	8.2	24	43.6	30.8	92.9	32.8	5.4	0.4	0	263.7
1983	2.1	69	74.7	32.9	0	16.9	23.8	2.7	6	0	0	0	246.9
1984	0	0	113	13.8	33.5	12.9	23.2	5.2	23.2	0	0	0	252.4
1985	23.1	7.7	32.2	27.2	51.1	41.6	42.8	13.4	8	23.3	0	19	304.5
1986	10.5	133	19.8	15.2	33.8	91.6	9.6	15.7	6.4	0	0	0	367.2
1987	19.1	9.9	32.8	13.1	70.4	9.9	11.5	14.4	6.2	2.1	3	2	194,4
1988	11.8	17.1	42.4	6.7	3.3	18.7	49.1	41.2	11.7	39.3	0	55	296,2
1989	8.2	5.2	10.4	15.5	75.7	0	6.2	26.1	23.5	5.1	0	0	175,9
1990	7.6	0	25.4	55.3	25.8	22.9	192	3.3	20.2	0	2.9	3.7	359,6
1991	9.4	56.8	9.8	23.8	12.9	20.7	80.1	58	56.7	7.7	12	9.8	347,2
1992	3.6	22.1	25.5	10.2	1.2	21.4	11.6	34.5	10.7	0	2.5	6	173.3
1993	23.5	32.6	39	15.2	35	29.6	2.4	15.6	5.8	0	0.9	1.9	208.1
1994	57.6	70.6	21.9	6.6	34.4	2.7	73.7	23.4	0	23.5	0	14	354.7
1995	25.5	35.1	23	69.8	45.9	80.5	94	72.5	38.5	57.8	23	13	595.6
1996	13.9	10.3	6.6	30.2	51	2.4	5.2	103	15.5	0	0.8	58	296.8
1997	44.2	23.3	59.1	30.5	10.3	25.5	9.4	13.6	39.1	1	0	15	270,8
1998	5.7	4.5	9.5	11	62.5	51.6	65.4	0	0.6	0	0	0	210,8
1999	28.6	70.4	32.7	119	0	0	4.7	9.9	23.2	0.3	0	0.9	289,7
2000	17.4	63.4	58.3	20.6	44.7	51	4.8	19.4	11.7	0	0	4.6	296,3
2001	25.2	26.6	45.5	10.1	0	9.6	24.5	37.3	72.2	0	0	17	279.4
2002	0	8.8	54.8	14.5	102	61.2	22.1	28.1	26.6	5.2	12	13	347,1
2003	9.8	70.6	40.6	47.4	25.9	34.7	6.2	25.4	104	13.1	0	11	388,5
2004	24.5	33	44.8	32.4	10.1	27	32.9	6.5	0	3.5	0.4	0	250,8
2005	33.3	41.6	68.6	14.8	86.4	37.7	7.4	98.8	0	5	0	0	468.8
2006	5.3	10.2	40	75.8	5.3	27.7	33.4	25.8	13.5	0	1.8	0.9	239,4
2007	25.1	163	0	19.2	12.6	6	13.8	16.5	68.3	10.6	24	0.5	380
2008	71.7	102	55.6	91.3	96.5	22	54.4	79	14.2	0	0.5	0.5	584
2009	84.9	1.6	29.5	37.8	48.7	90.5	43.8	17.6	57	1.8	0	34	449,2
2010	1.5	51.7	33.5	15.2	11.3	15.9	33.4	79.3	77	61	0.8	19	399.3
2011	0	57.1	57.7	21.8	18.4	56	44.3	101	18.5	3.1	0	0	378.2
2012	2.6	55.1	210	11.9	97.6	24.3	64.4	105	37.3	0	0	10	618.8
2013	20.1	5.7	40.9	64.9	49.7	36.6	24.2	4.4	9.5	29.5	0	0	285.5
2014	40.4	46.6	52.1	40	25.1	66.6	17.5	0	9.1	9.5	0	0	306.9
2015	2.5	38.4	8.9	0	7.5	54.9	65.7	57.8	38.4	10.3	0	0	275.4

TABLE 2.8 – Les données pluviométriques de la station de Sidi Boubeker (1971-2009)

Année	Sept	Oct.	Nov	Déc	Jan.	Fev	mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Annuel
1971	5.1	2.6	2.9	7.6	81.1	3.5	36.4	18.5	109.1	0	31	0	297.8
1972	0	0	0	37.5	20	44	55.3	31.7	0	25.06	0	0	235
1973	0	3.9	37	130.7	0	58.9	65.4	125	4.2	11.2	0	0	436.3
1974	2	13	16	0	31.4	33.9	78.3	58	20.4	22.3	0	0	276.3
1975	0	0	52	20.6	17.7	78	17.6	51	64	25.4	0	14.4	341.9
1976	9.6	86	18	56	42	5	29	20	19	32.5	4	0	322.1
1977	0	35	57	5	35	10	33	30	21	0.3	0	0	229.2
1978	0	6	22	10	16.2	72	29	45	4	10	0	0	2181.8
1979	11	45	23	68	23	15	66	28	21	0	0	2.8	303
1980	11	11	23	105	22	42	29	0	0	6	0	0	247.5
1981	0.5	2	0	6	21	56	9	65	36	0	2	0	197.2
1982	0	69	64	51	0	0	14	0	0	0	0	0	197.3
1983	0	0	3	22	32	40	0	3	70	0	0	0	170.1
1984	0	0	205	18	33	10	7	12	30	0	0	0	314.1
1985	8	0	33	6	86	60	45	23	6	8	0	7	280.9
1986	44	30	18	22	47	70	19	3	12	0	0	0	265
1987	5	11	25	17	60	10	7	10	16	17	17	0	194.3
1988	18	9	28	4	4	12	0	0	0	18	0	19	111.6
1989	9	13	10	8	70	0	0	24	40	0	18	0	190.7
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	15	59	20	17	16	14	50	46	30	13	7	0	285.5
1992	0.4	20	34	8	0	35	8	41	18	0	0	0	164
1993	8	30	43	22	31	36	0	21	2	0	7	3	202.6
1994	35	43	36	13	24	34	105	13	1	3	0	1	308.5
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	8	8	7	24	42	2	0	77	15	0	5	43	229.7
1997	39	25	59	28	21	31	6	25	48	0	0	0	280.5
1998	0.7	2	9	24	28	42	36	0	2	1	0	0	145
1999	47	27	46	79	0	0	5	8	35	0	5	0	251.3
2000	33	52	39	8	56	45	2	11	11	0	1	1	257
2001	21	16	67	26	1	4	23	51	55	6	0	4	274
2002	0	12	61	6	101	62	19	24	22	0	0	5	310
2003	11	41	31	42	33	33	8	26	48	23	4	15	319.9
2004	17	30	60	44	7	24	27	12	0	10	0	0	220.9
2005	14	43	79	27	71	27	12	16	0	5	2	0	342.3
2006	9	6	21	80	25	33	70	49	1	0	0	0	291.2
2007	40	205	0	24	22	9	17	11	68	6	8	0	435
2008	20	114	72	67	80	20	36	66	56	2	0	0	530.2

2.11.2.1 Répartition des précipitations moyennes annuelles

Pour une période de 38 ans s'étalant de 1977 -2015 au niveau de la station de Saida et une autre de 37 ans s'étalant de 1971-2009 au niveau de la station de Sidi Boubkeur ,les observations des précipitations moyennes annuelles.

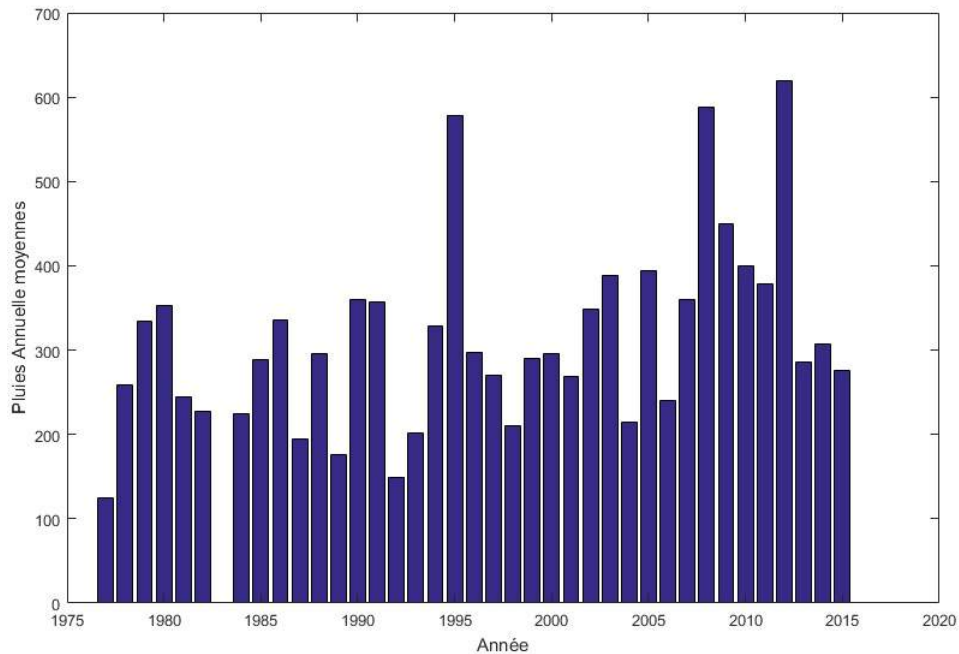


FIGURE 2.14 – Répartition des précipitations moyennes annuelles à la station de Saida

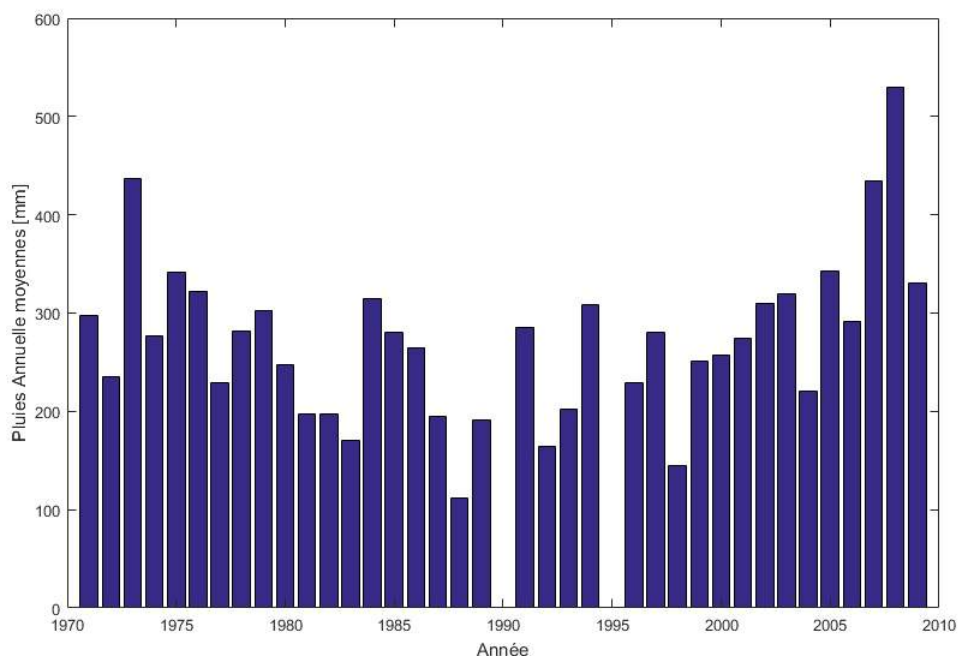


FIGURE 2.15 – Répartition des précipitations moyennes annuelles à la station de Sidi Boubkeur

D'après les deux figures ci-dessus, on remarque une irrégularité des moyennes annuelles des précipitations au niveau des deux stations pluviométriques, cette irrégularité est due à l'influence de plusieurs facteurs (Altitude, éloignement par rapport à la mer, vents, humidité).

2.11.2.2 Répartition mensuelle des précipitations

Nous avons étudié la répartition des précipitations à l'échelle mensuelle aux niveaux des deux stations Saida et Sidi Boubkeur pour caractériser le régime climatique de la région.

TABLE 2.9 – Répartition mensuelle des précipitations aux niveaux de la station de Saida et de Sidi Boubkeur

Station	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Jt.	Aout.
Pluie Saida	20	42	36	31	34	31	36	31	25	7	3	8
Pluie Sidi Boubkeur	12	30	39	31	33	31	27	29	25	7	3	3

Une première exploration des données relatives aux précipitations, nous laisse affirmer que, dans cette localité, on peut distinguer deux grandes périodes :

- Une Période pluvieuse** : qui correspond au mois de la saison d'Automne (Septembre, Octobre et novembre), de la saison d'Hiver (Décembre, Janvier et Février) et de la saison de printemps (Mars, Avril et Mai), la moyenne de précipitation la plus élevée au niveau de la station de Saida correspond à celle du mois d'Octobre, et du mois de Novembre à la station de Sidi Boubkeur.
- Une période sèche** : qui coïncide avec la période estivale ou les précipitations sont faibles (juin, juillet et Aout).

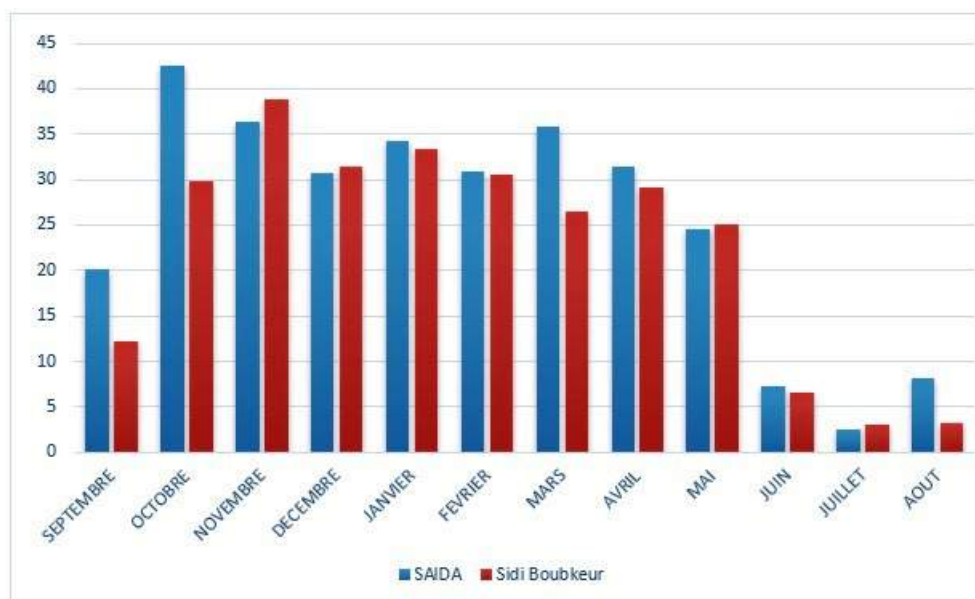


FIGURE 2.16 – Histogramme de répartition des précipitations mensuelles aux niveaux des stations de Saida et de Sidi Boubkeur

2.11.2.3 Répartition saisonnière des précipitations

TABLE 2.10 – Répartition saisonnière des précipitations aux niveaux de la station de Saida et de Sidi Boubkeur

	Automne			Hiver			Printemps			été			Année %
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	100%
SAIDA	31.52%			32.47%			30.11%			5.88%			304.8
SIDI BOUB-KEUR	29.96%			35.32%			29.93%			4.77%			269.72

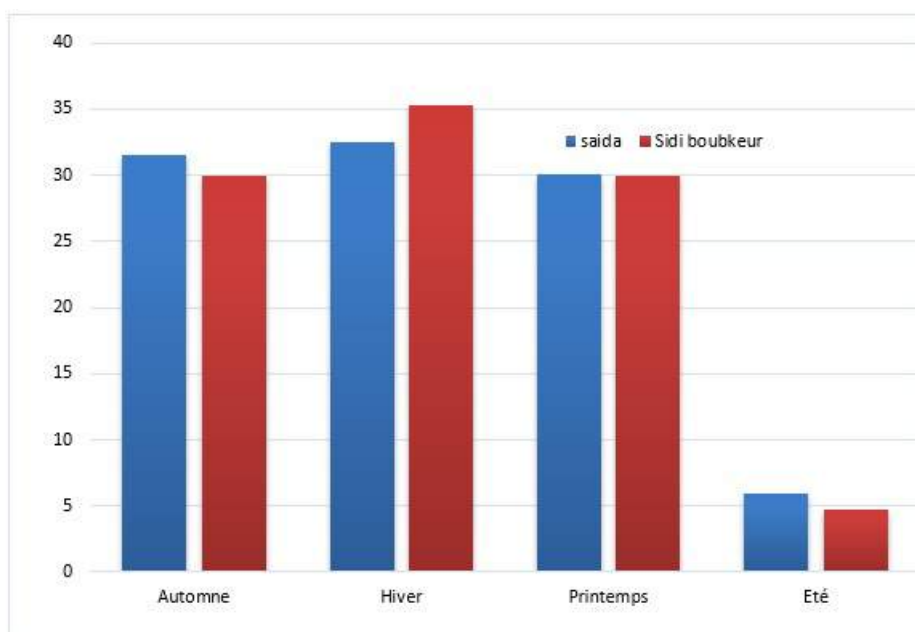


FIGURE 2.17 – Répartition saisonnière des précipitations à Saida et Sidi Boubkeur

A partir des données des précipitations annuelles qui ont été enregistrées au niveau de la station de Saida et la station de Sidi Boubkeur, le calcul sur la période d'étude considérée, montre qu'une année pluviométrique peut être divisée en quatre saisons : printemps (P), Automne (A), Hiver (H) et été (E). statistiquement, on observe deux saisons orageuses similaires : l'Automne et le printemps relevant des quantités pluviométriques comparable (environ 61% du total annuel), l'hiver, de Décembre à Mars est la saison la plus pluvieuse représente 32% et 35% de précipitation annuelle, par contre l'été représenté la saison sèche pendant laquelle les précipitations sont assez rares (5% de précipitation annuelle. Le mois d'Aout constitue le début de la saison pluviale.

2.11.2.4 Détermination de la lame d'eau précipitée

Le calcul de la lame d'eau s'effectue par la méthode de THIESSEN.

$$P_t = \frac{\sum p_i s_i}{S} \quad (2.8)$$

Avec :

- P_i :précipitation moyenne annuelle
- s_i :surface de polygone (Saida=166 km²) (Sidi Boubkeur = 156 km²)

TABLE 2.11 – Les résultats de calcul de la lame d'eau écoulee a la station de Saida par la méthode de THIESSEN

Année	<i>Pi</i>	<i>Si</i>	<i>Pi</i> <i>.Si</i>	Année	<i>Pi</i>	<i>Si</i>	<i>Pi</i> <i>.Si</i>
1977	124.3	166	20633.8	1997	271	166	44953
1978	258.6	166	42927.6	1998	211	166	34993
1979	334.2	166	55477	1999	290	166	48090
1980	353.2	166	58631.2	2000	296	166	49119
1981	244.6	166	40603.6	2001	268	166	44538
1982	228.1	166	37864.6	2002	348	166	57751
1984	224.6	166	37283.6	2003	389	166	64491
1985	289	166	47974	2004	215	166	35707
1986	335.8	166	55742.8	2005	394	166	65338
1987	194.4	166	32270.4	2006	240	166	39790
1988	296.2	166	49169.2	2007	360	166	59793
1989	175.9	166	29199.4	2008	588	166	97591
1990	359.5	166	59677	2009	449	166	74567
1991	357.2	166	59295.2	2010	399	166	66284
1992	149.3	166	24783.8	2011	378	166	62781
1993	201.5	166	33449	2012	619	166	102721
1994	328.7	166	54564.2	2013	286	166	47393
1995	578.6	166	96047.6	2014	307	166	50945
1996	296.8	166	49268.8				$\sum$ 308461

TABLE 2.12 – Les résultats de calcul de la lame d'eau écoulee a la station de Sidi Boubkeur par la méthode de THIESSEN

Année	Pi	Si	Pi .Si	Année	Pi	Si	Pi .Si
1971	297.8	156	46456.8	1991	285.5	156	44538
1972	235	156	36660	1992	164	156	25584
1973	436.3	156	68062.8	1993	202.6	156	31605.6
1974	276.3	156	43102.8	1994	308.5	156	48126
1975	341.9	156	53336.4	1996	229.7	156	35853.2
1976	322.1	156	50247.6	1997	280.5	156	43758
1977	229.2	156	35755.2	1998	145	156	22620
1978	281.8	156	43960.8	1999	251.3	156	39202.8
1979	303	156	47268	2000	257	156	40092
1980	247.5	156	38610	2001	274	156	42744
1981	197.2	156	30763.2	2002	310	156	48360
1982	197.3	156	30778.8	2003	319.9	156	49920
1983	170.1	156	26535.6	2004	220.9	156	34476
1984	314.1	156	48999.6	2005	342.3	156	53398.8
1985	280.9	156	43820.4	2006	291.2	156	45427.2
1986	265	156	41340	2007	435	156	67860
1987	194.3	156	30310.8	2008	530.2	156	82711.2
1988	111.6	156	17409.6	2009	330.9	156	51636
1989	190.7	156	29749.2				$\sum 683592$

D'après les tableaux ci-dessus la lame d'eau précipitée à Saida et Sidi Boubkeur est de 478.97 et 1061.47 respectivement.

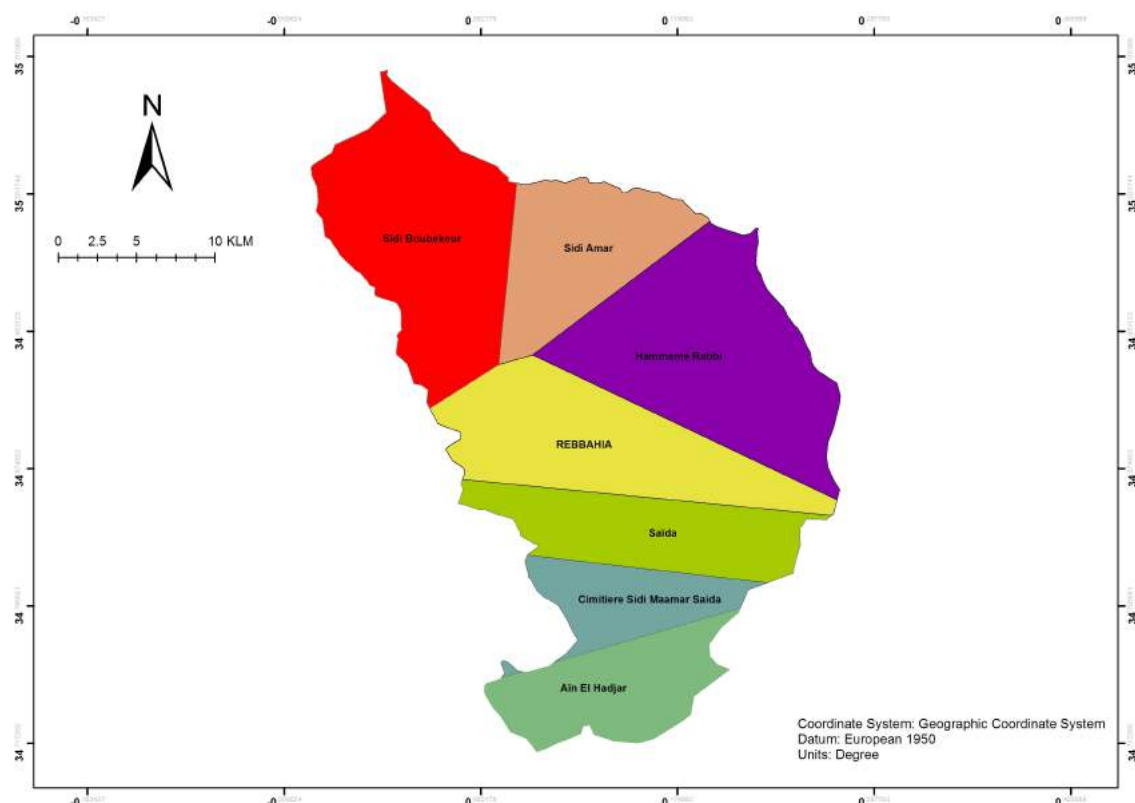


FIGURE 2.18 – Carte de polygone de Thiessen

2.11.3 Température

Les températures sont un facteur important dans la détermination du type de climat d'une région, ces températures sont caractérisées par des observations moyennes, minimales et maximales. A cet effet on doit s'intéresser dans l'étude climatique du bassin versant de Saida aux températures minimales, maximales et moyenne dans la détermination du climat, les données sont celles relevées au niveau de la station de Rebahia dont ils sont illustrés dans le tableau (2.13).

TABLE 2.13 – Les températures moyennes, minimales et maximales enregistrées dans la station de Rebahia

T (C)	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JT	AT	Moyenne an- nuelle
Min	15.2	10.9	7.4	4.2	3.6	2.9	5.1	6.6	9.9	14.2	17.7	18.3	9.67
Moy	22.4	17.2	12.5	8.9	7.6	9.1	11.3	13.3	17.4	22.6	26.6	22.7	16.83
Max	30.3	23.9	18.4	14.5	13	15.1	17.9	20.4	25.2	31	35.7	35.3	23.42

D'après le tableau (2.13) on remarque que le mois de Janvier et le mois de février sont les mois les plus froids avec une température minimale de 2.9 C les mois de juillet et Aout sont les mois les plus chaud avec une température maximale de 35.7 C.

On remarque aussi que le bassin versant de l'oued Saida subit durant l'année deux grandes saisons caractéristiques, une saison très froide s'étend de Novembre à Avril dont les températures minimales avoisinent les 2.9 C et une saison chaude et sec avec une température maximale estimée à 35.7 C, sous l'influence du régime saharien.

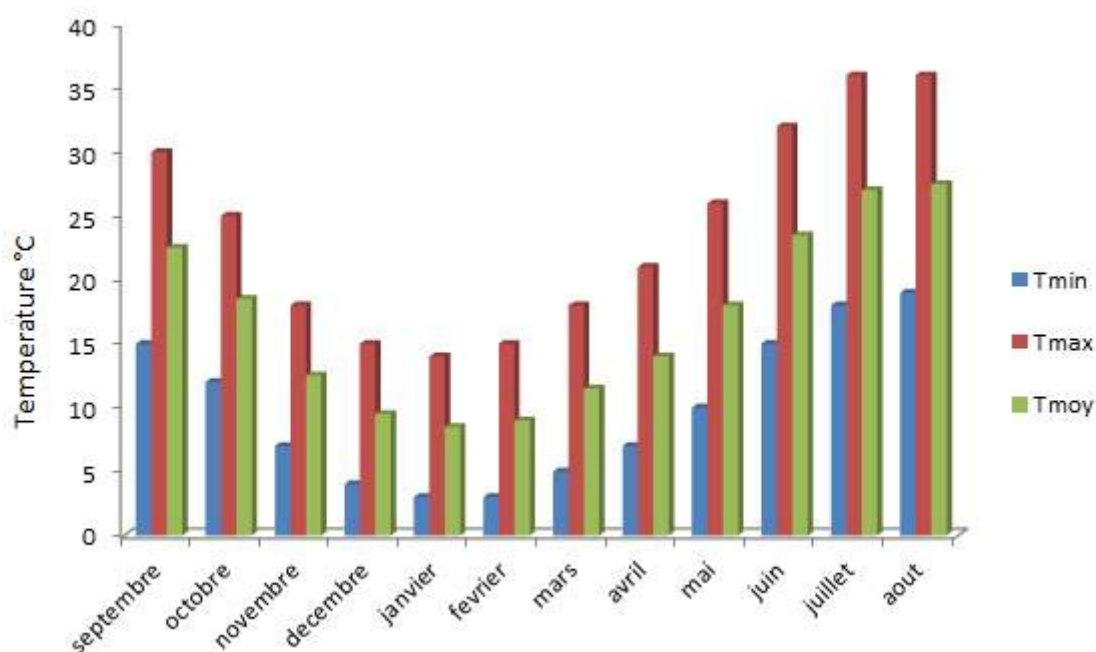


FIGURE 2.19 – Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Saida

D'après l'Agence Natinale des ressources hydriques ,en période estivale ,les maxima absolus peuvent atteindre les 42 C et 47 C en temps de Sirocco. Durant la période hivernale et sous l'influence continentale, les températures saisonnières s'abaissent parfois en dessous de 0 C d'ou l'apparition de phénomène de gelé et de verglas.

2.11.4 Régime climatique

2.11.4.1 La courbe pluviométrique

Pour GAUSSEN et BANGLOUS, un mois sec est celui ou la moyenne mensuelle des précipitations est inferieur ou égale au double la température .cette relation $P=2t$ permet d'établir des diagrammes pluviometriques sur lesquels les températures sont portées sur une echelle double de celle des précipitations.

TABLE 2.14 – Moyenne mensuelle des précipitations et des températures à la station de Saida

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
P(mm)	20	42	36	31	34	31	36	31	25	7	3	8
T(C)	22.5	18.5	13	9.5	8.5	9	11.5	14	18	24	27	27.5

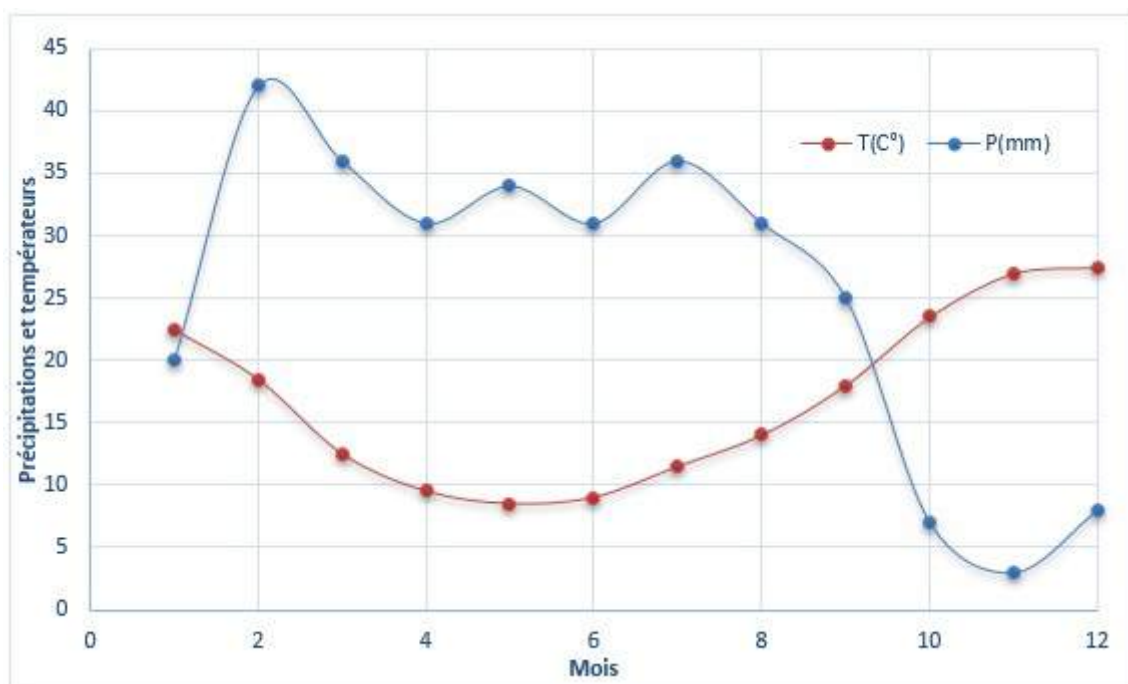


FIGURE 2.20 – Courbe pluviométrique de la station de Saida

On observe que pour la station de Saida la courbe des précipitations passe au dessus de celle des température d'Octobre à Avril définissant ainsi la période humide qui caractérise la région de Saida durant la saison d'automne et la saison d'Hiver tandis que la période sec occupe les autres mois.

TABLE 2.15 – Moyenne mensuelle des précipitation et des températures à la stations de Sidi Boubkeur

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
P(mm)	12	30	39	31	33	31	27	29	25	7	3	3
T(C)	22.5	18.5	12.5	9.5	8.5	9	11.5	14	18	23.5	27	27.5

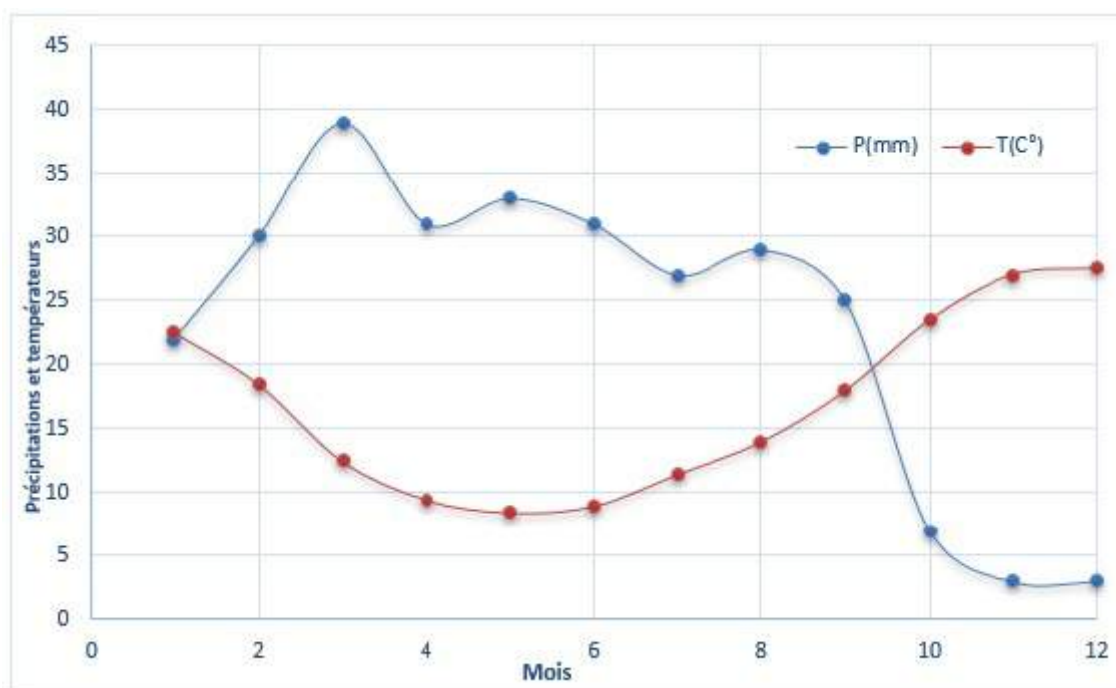


FIGURE 2.21 – Courbe pluviométrique de la station de Sidi Boubkeur

On observe que pour la station de Sidi Boubkeur la courbe des précipitations passe au dessus de celle de la température de Novembre à février définissant ainsi la période humide dans la région de Sidi boubkeur durant la saison d'Automne ,tandis que la période sec occupe les autres mois de l'année.

2.11.4.2 Indice de DE MARTONNE

En 1923, Demartonne à défini l'indice d'aridité, c'est le rapport entre la moyenne annuelle des précipitations ; P(mm) et la moyenne annuelle de la température(c) :

$$I = \frac{P}{T + 10} = \frac{289}{26.83} = 10.77 \quad (2.9)$$

- I : indice d'aridité de DEM.
- P : précipitation moyenne annuelle en mm.
- T : température moyenne annuelle.

Une fois l'indice d'aridité est calculé ,il y'a lieu de le reporter sur le climogramme de Demartonne pour déduire le climat correspond à la ville considérée. Selon Demartonne :

- Pour des valeurs de I inférieures à 5 on est en présence de régime hyer-aride.
- Pour les valeurs de I comprises entre 5 et 10 on est en présence d'un régime désertique.
- Pour les valeurs de I comprises entre 10 et 20 on est en présence d'un régime semi-aride.

TABLE 2.16 – Résultats de calcul de l'indice de Demartonne

Station	P(mm)	T(C)	I	Type de climat
Saida	289	16.83	10.77	Semi-aride

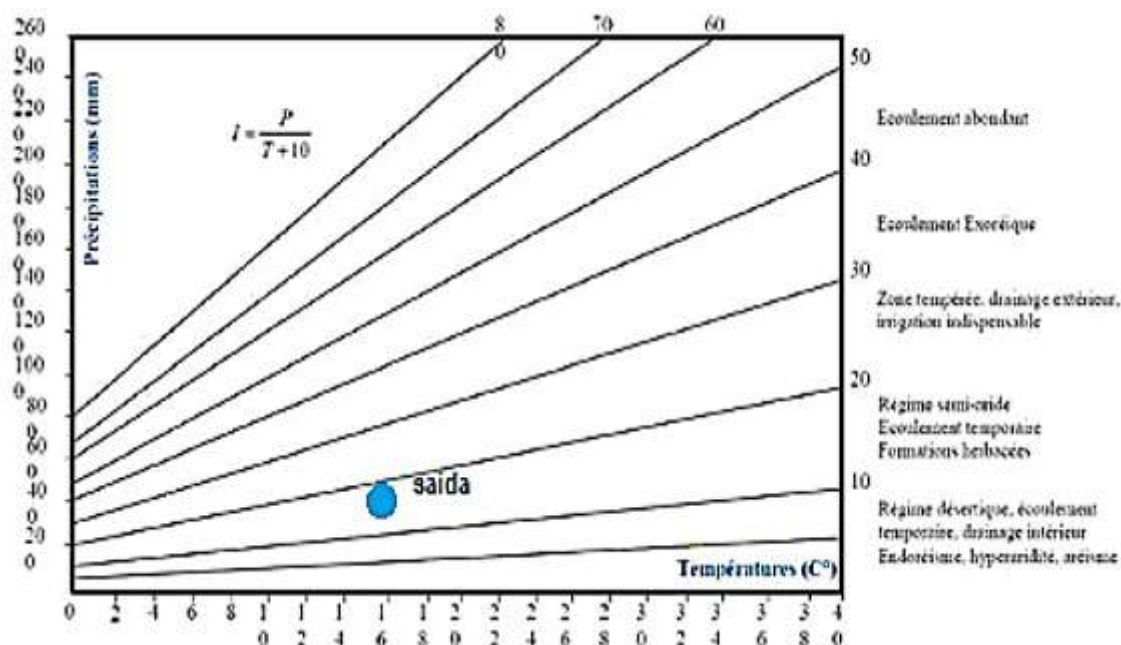


FIGURE 2.22 – Abaque d'indice d'aridité de Demartonne

2.11.4.3 Indice de MORAL

La méthode de MORAL nous permet de réléver les mois humides et les mois secs durant la saison .on applique cette méthode sur le bassin versant de l'oued Saida ,on obtient les resultats suivants :

TABLE 2.17 – Valeurs des resultats obtenus en appliquant la methode de MORAL

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	Moy an-nuelle
P(mm)	20	24	36	31	34	31	36	31	25	7	3	8	289
T(C)	22.5	18.5	12.5	9.5	8.5	9	11.5	14	18	23.5	27	27	16.83
Iam	0.41	1.18	1.55	1.58	1.81	1.62	1.65	1.21	0.72	0.13	0.04	0.12	-
Catégorie	sec	humide	humide	humide	humide	humide	Humide	humide	sec	aride	aride	aride	-
Im	0	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	-1	-1	4

TABLE 2.18 – Indices de MORAL

Station	P(mm)	T(C)	Ia	Im
Saida	289	16.83	0.94	4

D'après le tableau on distingue que la région de Saida se caractérise par une année de 7 mois d'humidité et 5 mois de sechresse, donc la region de Saida est soumise glabalement a un régime semi-Aride à hiver humide.

2.11.4.4 Deficit d'ecoulement

C'est un facteur essentiel du bilan hydrique ,il est représenté par l'évapotranspiration définie comme étant la quantité d'eau évaporée du sol et de la surface d'eau libre et transpiré par les plantes.Le calcul de l'évapotranspiration réelle ou déficit d'ecoulement est effectué par plusieurs relations.

2.11.4.4.1 Methode de TURC

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (2.10)$$

Avec :

- L : $330 + 25T + 0.05T^3$.
- P : Précipitation moyenne annuelle (mm).
- T : Température moyenne annuelle (C).

Nous obtenons les résultats suivants :

TABLE 2.19 – Evapotranspiration réelle d'après TURC

Station	P(mm)	T(C)	ETR(mm)	ETR%
Saida	289	16.83	289	100%

2.11.4.4.2 La méthode de THORNTHWAITE

2.11.4.4.2.1 Evapotranspiration potentielle Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) relatives aux 12 mois de l'année sont présentées au tableau ci-dessous.

TABLE 2.20 – Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) relatives aux 12 mois

Mois	T (C)	I	E.T.P. non corrigées (cm)	Coefficient de correction	E.T.P. corrigées (cm)
Septembre	22,5	9,75	10,08	1,03	10,38
Octobre	18,5	7,25	7,11	0,97	6,90
Novembre	12,5	4	3,54	0,87	3,08
Décembre	9,5	2,64	2,17	0,86	1,87
Janvier	8,5	2,23	1,78	0,88	1,57
Février	9	2,43	1,97	0,85	1,68
Mars	11,5	3,53	3,05	1,03	3,14
Avril	14	4,75	4,33	1,09	4,72
Mai	18	6,95	6,77	1,2	8,13
Juin	23,5	10,41	10,89	1,2	13,06
Juillet	27	12,85	13,94	1,22	17,01
Août	27,5	13,21	14,40	1,16	16,71
Annuel	16,83	80,02			88,24

L'évapotranspiration potentielle calculé et corrigé par la methode de THORNTHWAITE donne une valeur de 882.4 (mm)elle montre un maximum en Juillet et un minimum en Fevrier

2.11.4.4.2.2 L'évapotranspiration réelle (ETR) Le bilan de THORTHWAITE fait intervenir d'une part l'ETR et d'autre part les précipitations . Pour le calcul de l'ETR deux cas sont considérés :

- Si les précipitations du mois sont superieures à l'ETP,l'ETR est égale à l'ETP.
- Si les précipitations mensuelles sont inferieur à l'ETP ,l'ETR sera égale à P.

TABLE 2.21 – Le calcul de l'ETR au niveau de la station de Saida

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	ANNUEL
P(mm)	20	42	36	31	34	31	36	31	25	7	3	8	304
ETP(mm)	103	69	31	19	16	17	31	47	81	130	169	166	882.4
ETR(mm)	20	42	31	19	16	17	31	31	25	7	3	8	249
Déficit Agricole	83.2	27	0	0	0	0	0	16	56	123	126	166	636.6

Pour la station de Saida l'ETR annuel est de 249 mm ,le déficit Agricole est de 636 mm allant de Avril à Octobre avec un maximum en Aout.

2.11.4.4.2.3 Discussion et Résultats Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle et réelle obtenues par les différentes méthodes sont résumées dans le Tableau ci-dessous.

TABLE 2.22 – Resultats de l'ETR d'après les différentes méthodes

Paramètre	methode	Valeur (mm)	Precipitation%
ETP	THORNTHWAITE	249.3	85.67
ETR	TURC	291	100

Nous retiendrons la valeur de THORNTHWAITE qui est de l'ordre de 249.3 mm pour calculer le bilan hydrologique.

Afin d'établir le bilan hydrique du bassin nous avons estimé le facteur evapotranspiration par plusieurs méthodes empirique et le ruissellement par la formule de TIXERONT-BERKE-LOFF.L'infiltration ne peut être déduite que de l'équation du bilan hydrique.

TABLE 2.23 – Le Bilan hydrique du bassin versant de Saida

Méthode	P(mm)	ETR(mm)	P- ETR=R+I	R(mm)	I(mm)
THORNTHWAITE	289	249.3	39.7	10.33	29.37
TURC	289	291	/	/	/

Le ruissellement est calculé par la formule de TIXERONT –BERKALOFF :

$$R = \frac{P^3}{3.ETP^2} \quad (2.11)$$

Avec :

- P : précipitation moyenne annuelle en (mm) ;
- R : ruissellement en (mm)
- ETP : evapotranspiration potentielle ; déterminée précédement en (mm) vaut 882.4 (mm).

Ces resultats restent sommaire et loin de représenter la réalité sur le terrain ,ils nous donnent une idée sur la quantité d'eau reprise par l'évapotranspiration dans le bassin versant de l'oued Saida.

2.12 Vents

La région de Saida ,comme toutes les régions de l'ouest de l'Algérie en générale et les hauts plateaux en particulier , est une région ventée surtout pendant la saison hivernale durant laquelle les vents dominants sont qui soufflent du Nord et Nord-Ouest (tableau).Le vent est un élément important dans la caractérisation du climat,il est un élément dont l'étude s'avère très complexe ,car plusieurs paramètres y interviennent tel que la mesure de la vitesse du vent et de sa direction ,l'effet de la rugosité du sol et l'effet de la stabilité de l'atmosphère.

TABLE 2.24 – Fréquence du vent

direction	Nord	Nord-est	Est	Sud- Est	Sud	Sud- ouest	Ouest	Nord- ouest
F(%)	14.7	2.2	1.4	2.9	10.6	3.2	7.2	8.9

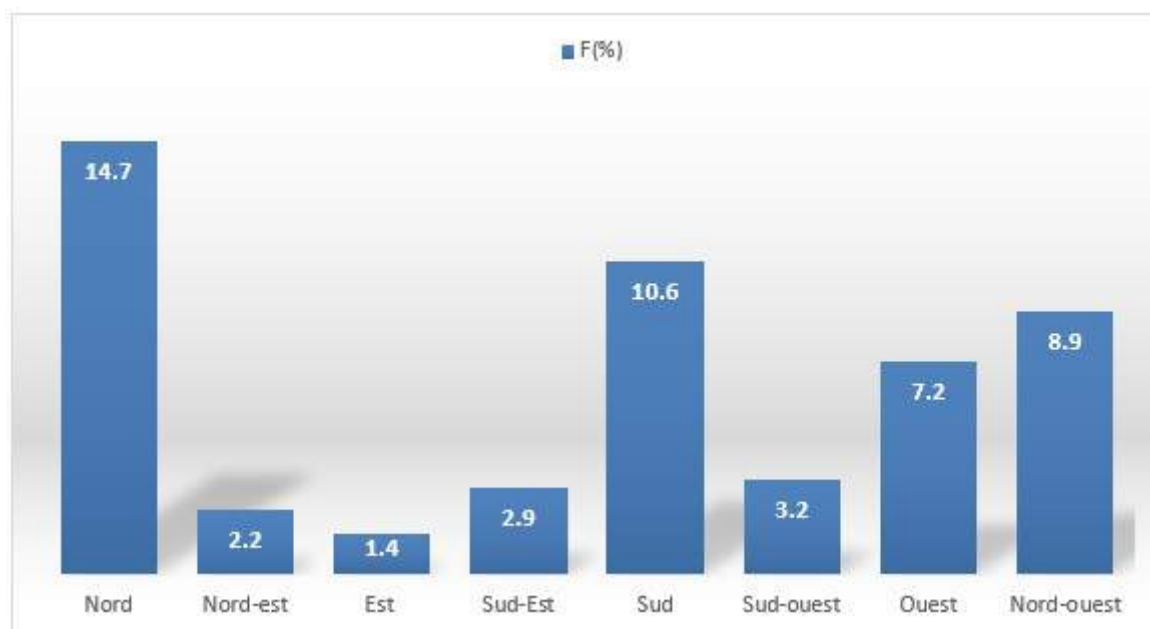


FIGURE 2.23 – Histogramme des fréquences du vent dans la région de Saida

TABLE 2.25 – la variation de la vitesse moyenne mensuelle en m/s des vents dans la region de Saida durant la période 1983-2012

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Vitesse moyenne du vent(m/s)	2.3	2.3	2.6	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	3	2.8

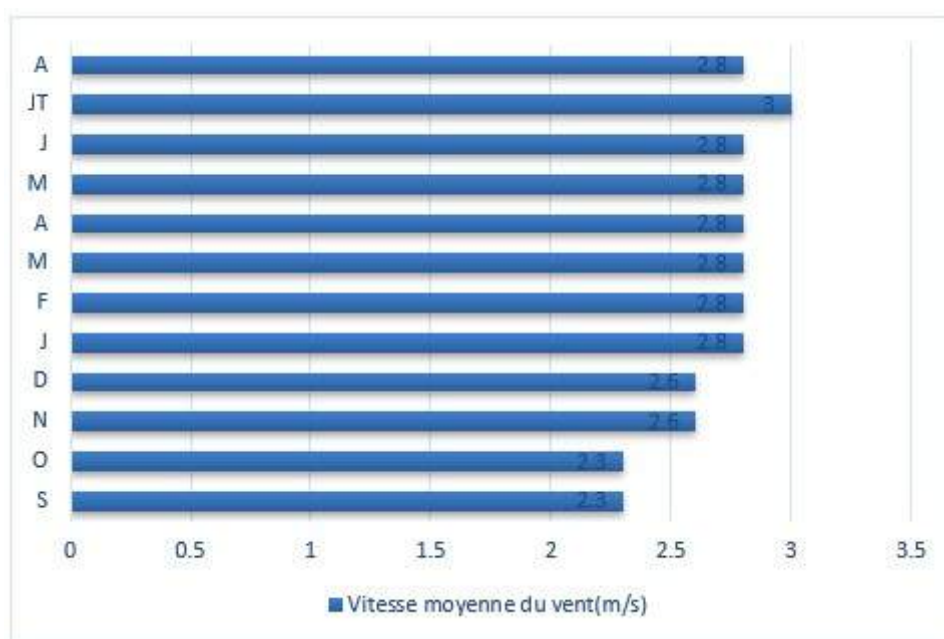


FIGURE 2.24 – la courbe de la vitesse moyenne du vent dans la région de Saida

Pour la période d'étude considérée, la vitesse moyenne annuelle des vents dans la région de Saida varie entre les valeurs 2.3 m/s et 3 m/s avec une moyenne de 2.7 m/s

2.13 Humidité

L'humidité dans la région de Saida est généralement élevée en début d'hiver et au printemps, elle oscille entre 39% et 71% (tableau), ceci traduit un caractère de sécheresse estivale.

TABLE 2.26 – Humidité moyenne mensuelle station de Saida(1983-2012)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Humidité%	53	60	67	71	69	67	64	61	50	47	39	41

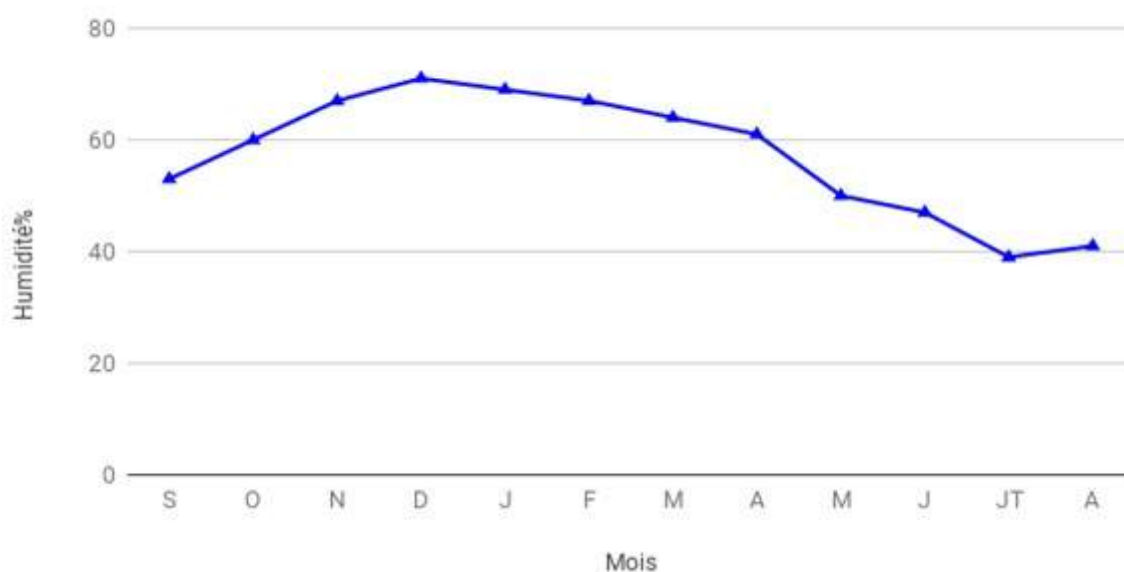


FIGURE 2.25 – Humidité relative à l'air station de Saida

D'après les données on remarque que durant les mois d'automne et d'hiver l'humidité est plus élevée par rapport aux mois d'été et du printemps ce qui confirme les résultats obtenus par la méthode de MORAL.

2.14 Conclusion

Le bassin versant du oued Saida présentant une forme circulaire légèrement allongée ce qui favorise les faibles débits de pointe de crue, l'altitude maximale dans le bassin est de 1216 m par contre l'altitude minimale est de 433 m, le bassin versant de saida se caractérise par un relief faible avec une pente moyenne de 1.06%, le temps de concentration du bassin est de 13.20 heures , le sol du bassin est caractérisé par cinq types de sols, terrasse alluvial a sol alluviaux , argile marneux, sol brun calcaire, le karst, sol brun rouge, le climat du bassin est de climat semi aride caractérisée par deux saisons, une saison humide et une autre sèche ou les températures maximales peuvent atteindre 47C-48C par contre les températures minimales sont avoisine 0C-4C.

CHAPITRE 3

OUTILS ET TECHNIQUES DE CARTOGRAPHIE DU RISQUE INONDATION

3.1 Introduction

Parmi les nombreuses caractéristiques des inondations, leur grande variabilité spatiale, leur magnitude et la difficulté d'en prévoir les conséquences moyennes à long terme compliquent la tâche des aménagistes. Les autorités concernées désirent toutefois avoir une idée la plus précise possible, et le plus possible sous une forme cartographique, des conséquences des inondations futures sur les bâtiments et infrastructures actuelles et potentielles situées dans la plaine inondable, et cela tout en limitant le coût et la durée des études pour y parvenir. Or, les méthodes actuelles de cartographie des zones inondables sont conçues pour représenter, soit la probabilité de certains événements jugés problématiques pour des fins de prévention (ex : les cartes « 20-100 ans » de la Convention Canada Québec),. À notre connaissance, aucune méthode ne permet de cartographier le risque moyen annuel de dommages directs aux parcs résidentiels en tenant compte à la fois de la probabilité des aléas et de la vulnérabilité du terrain (son exposition aux aléas) en zone inondable. Le développement d'une nouvelle méthode de cartographie unitaire des dommages directs d'inondations semblait une voie intéressante pour répondre aux différentes préoccupations à l'égard de la prévention de ces risques.

3.2 Définition de la Cartographie

La cartographie est définie comme l'ensemble des études et des opérations scientifiques, techniques, et artistiques, intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration, de l'établissement et de l'utilisation de cartes, plans et autres modes d'expression (BACHI.M, 2011).

3.3 Pourquoi ces cartes ?

Les cartes ont pour objectif de permettre de repérer les zones sensibles aux inondations afin de pouvoir déterminer les actions de prévention et de protection à mettre en œuvre pour réduire à la fois la fréquence des inondations et leur impact. Elles fournissent une vision globale du territoire, mais compte tenu de la méthodologie, ne permettent pas une interprétation à la parcelle (l'échelle de la carte d'inondation pluviale est expressément restreinte au 1/10.000, avec des mailles de 20 m, pour éviter une interprétation exagérément précise de la localisation des zones à risque ; le bon sens est toujours de mise sur le terrain pour localiser plus finement les surfaces et infrastructures potentiellement inondées).

3.4 Production des cartographies des zones inondables et de risque

3.4.1 Méthodologie

Pour atteindre ces résultats cartographiques, plusieurs étapes ont été nécessaires : la construction d'un modèle hydraulique (avec calage et validation), la simulation d'événements passés observés puis la réalisation des cartes de risque. (JACOD A et SOLTERMANN Y, 2015)

3.4.2 Modélisation hydrologique

La modélisation hydrologique représente une étape essentielle pour l'estimation des dangers d'inondation, car elle permet d'appréhender le comportement hydrologique d'un bassin versant lors de crues de référence. La modélisation doit respecter le principe de parcimonie qui statue que la complexité du modèle doit s'adapter aux données disponibles et aux besoins du projet.

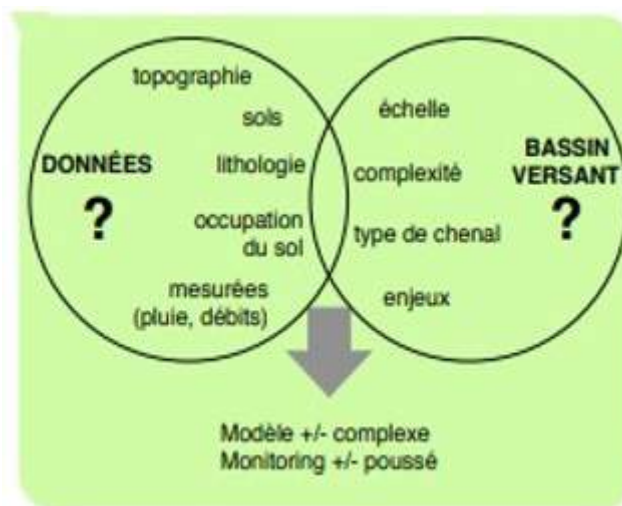


FIGURE 3.1 – La modélisation doit respecter le principe de parcimonie

3.4.3 Modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique est un outil couramment employé pour la compréhension, l'analyse et la gestion des inondations. En particulier elle est d'un grand intérêt pédagogique (création de cartes d'inondations pour l'information des populations : prévention), prospectif (outil d'aide à la décision : protection et prévention), mais aussi pour la prévision des inondations (HOSTACHE.R, 2006).

La modélisation hydraulique permet d'obtenir par le calcul, dans tous les secteurs exposés, les caractéristiques hydrauliques des écoulements (hauteur d'eau, vitesses du courant) atteintes pour les gammes de débit simulées. Elle permet ensuite de dresser une cartographie des zones inondables à partir du report en plan des résultats hydrauliques. Elle permet enfin de définir et de tester les aménagements hydrauliques, dans le cadre de la gestion globale ou locale des inondations ou de l'amélioration des écoulements (BACHI.M, 2011).

3.4.4 Cartographie de l'aléa

L'aléa se représente par une carte qui permet d'identifier les zones où les inondations sont susceptibles de se produire, de façon plus ou moins étendue et fréquente. Il repose sur la combinaison des deux notions suivantes : la récurrence d'une inondation et la submersion. La carte d'aléa qui sera obtenue représente l'ensemble des surfaces inondables pour la crue de référence (décennale, cinquantennale ou centennale), hiérarchisées selon les hauteurs d'eau. Les simulations sont réalisées en conditions stationnaires.

3.4.5 Cartographie de la vulnérabilité

L'objectif ici est de produire une représentation qui permette une compréhension immédiate du niveau de vulnérabilité. Deux approches complémentaires ont été développées. Une première représentation présence/absence d'enjeux dans la zone inondable dont la lecture est affinée par l'utilisation d'une sémiologie ciblée sur la typologie des enjeux dont la vulnérabilité aux

inondations peut impacter le fonctionnement et l'activité du territoire. Cette approche permet de traduire le schéma conceptuel suivant :

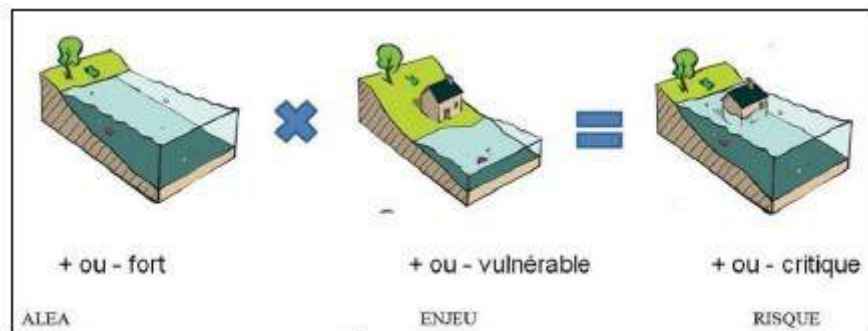


FIGURE 3.2 – Schéma du risque

La deuxième représentation est ciblée sur une spatialisation de l'estimation financière des dommages conséquents aux inondations. L'activité agricole et le bâti ont été ciblés dans cet exercice. D'autres types d'activité auraient pu faire l'objet de ce travail, sous réserve de la disponibilité des fonctions de dommage particulières. Ces cartographies sont reliées à une référence visuelle accessible et connue, l'échelle de crue représentative de la zone concernée. Le cartouche représentant l'échelle de crue sur la carte permet de situer l'importance de la crue en comparant la hauteur de l'événement à l'échelle de niveau de vigilance (JACOD A et SOLTERMANN Y, 2015).

3.5 Méthodes de Cartographie du risque Inondation :

3.5.1 Méthode de La cartographie des risques dans le cadre de la Convention Canada Québec

La méthode utilisée actuellement au Québec a servi jusqu'en 2001 dans le cadre d'un Convention Canada Québec relativement à la Cartographie et à la Protection des Plaines d'inondation et au Développement durable des Ressources en eau.

Le contexte de normalisation dans lequel sont utilisées ces cartes permet de réglementer la construction dans ces zones. Ainsi, de périodes de retour de 20 ans dit les zones de grand courant, toutes constructions, ouvrages ou travaux sont interdits avec cependant des possibilités d'exclusion ou de dérogation pour des fins d'utilité publique. de périodes de retour de 100 ans dit les zones de faible courant, toutes constructions, ouvrages ou travaux « non immunisés » sont interdits avec encore là des possibilités d'exclusion ou de dérogation. D'autres dispositions sont aussi attachées aux cartes produites.

La base de cette méthode est exclusivement hydrologique/hydraulique ; il parle proprement d'une méthode de cartographie des aléas et non du risque, donc elle ne considère que l'aléa et son rapport avec le terrain (BLIN.P, LECLERC.M et SECRETAN.Y et MORSE.B ,2005).

3.5.2 Méthode des zones d'saturabilités (Etats Unis d'Amérique)

Aux États-Unis le problème des inondations généralement régie par la «Federal Emergency Management Agency » (FEMA) dans le cadre du «National Flood Insurance Program »(NFIP). le base de ce programme sur une entente établie entre les communautés locales (états, comtés...) et le gouvernement fédéral. Cette convention spécifie que les communautés doivent prendre des mesures d'aménagement pour réduire les risques des inondations à l'égard pour les nouvelles constructions. Ces zones sont appelées "Special Flood Hazard Areas" (SFHA). bien qu'une telle entente est réalisée, le gouvernement fédéral dote ces communautés d'une assurance les protégeant financièrement contre les pertes dues aux inondations (BLIN.P, LECLERC.M et SECRETAN.Y et MORSE.B ,2005).

3.5.3 La méthode INONDABILITÉ (France)

La méthode Inondabilité, propose un outil de simulation et de cartographie du risque d'inondation. quantifier l'aléa et la vulnérabilité en unités de période de retour, qui permet une comparaison homogène de deux grandeurs a priori très différentes ; La cartographie des deux variables s'effectue en deux couches séparées pour une zone donnée qui sert à évaluer, le cas échéant, les besoins d'intervention. La procédure d'estimation de la vulnérabilité fait intervenir la notion d'acceptabilité des dommages par les intervenants du milieu et pour ce faire, nécessite le recours à diverses formes de négociation et de sensibilisation. En effet, s'ils doivent demeurer en sécurité, ils doivent décider du seuil de préjudice. Exprimé sous forme de probabilité de submersion, qu'ils seraient prêts à accepter. Ce terme de probabilité sera ajouté à la forme classique d'estimation des dommages. (BLIN.P, LECLERC.M et SECRETAN.Y et MORSE.B ,2005)

3.6 Les outils utilisés pour l'aide à la cartographie du risque d'inondation

3.6.1 La Télédétection Spatiale et Aérienne (Photographie Aérienne et Images Satellitaires)

La télédétection est définie comme l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer les propriétés physiques et biologiques des objets grâce à des mesures prises à distance, sans contact physique avec eux (BACHI. M, 2011). Les caméras sont les capteurs aériens à distance les plus anciens et les plus utilisés pour la cartographie des risques d'inondation. Cependant il existe de plus en plus d'offres commerciales permettant de choisir le type de capteur (photographie aérienne analogique et maintenant numérique, scanner, laser, etc.) et le type de plateforme. Formes (avions, hélicoptères, etc.). (TANGUY. M, 2012). Ces cartes des inondations fournissent des informations sur les conséquences et la vulnérabilité des inondations. Ces images, satellites ou aériennes, sont riches en informations qui peuvent être d'une

grande utilité pour la gestion des crues et notamment la modélisation hydraulique (MADI.R, 2014)

3.6.2 Des Modèles Hydrologiques/Hydrauliques

Les modèles hydrologiques sont utilisés principalement pour prévoir les débits des crues correspondants aux différentes périodes de retour d'un territoire donné. Tandis que les modèles hydrauliques ont pour principal attrait de simuler numériquement des crues hypothétiques ou réelles ce qui permet de caractériser l'aléa dans l'espace et le Outils et Techniques de Cartographie du Risque Inondation temps (hauteurs d'eau, vitesses d'écoulement, débits, durées de submersion...). Ils permettent ainsi de prédire les conséquences potentielles d'une crue et de fournir des informations très utiles aux décideurs, tant en contexte de crise, que pour la prévision et la prévention. Par ailleurs, ils ont besoin d'observations de crues réelles pour s'affranchir la véritable rivière, confirmer les hypothèses et valider la simulation numérique(MADI.R, 2014).

3.6.3 Le Système d'Information Géographique SIG

Dans le domaine de la gestion d'inondation, le SIG joue un rôle majeur, il autorise la création des cartes de référence pour la prévention et la cartographie des dégâts, l'intégration de tout type d'information (carte d'aléa et de vulnérabilité et regroupe les deux dans une même interface pour faire extraire la carte du risque inondation), une meilleure visualisation des différents scénarios, une meilleure présentation des idées et une meilleure appréhension de l'étendue des solutions possibles (BOUKHATEM.L et ABBASSA.M, 2017).

3.7 Outils puissants pour cartographier le risque inondation

3.7.1 Système d'Information Géographique(SIG)

3.7.1.1 Définition

C'est la traduction de l'acronyme anglais GIS, qui signifie à la fois Géographique Information Systems et Géographique Information Science. Parmi une dizaine de définition reconnue on peut dire que le SIG est un Système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage des données à référence spatiale à fin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion(KELLOUCHE A, 2009).

3.7.1.2 Histoire du SIG (Système d'Information Géographique)

Premièrement les SIG sont parus pendant les années 60 au Canada et aux Etats Unis. Les chercheurs de Canadian Géographique Information System (1964) sont les premiers qui ont utilisés les SIG pour rassembler des informations relatives à l'usage du sol, et des données

concernant l'environnement, sur une grande partie du Canada. Deux autres institutions aux États-Unis à savoir le « New York Land Use Information System (1967) » et le « Minnesota Information System (1969) » ont aussi utilisés les SIG durant cette décade. Depuis lors, les coûts et les difficultés techniques ont largement réduit (KOUBA Y, 2018).

3.7.1.3 Les composants d'un SIG

Un SIG est constitué de cinq composants majeurs tels que présentés par le schéma ci-dessous :



FIGURE 3.3 – Les composants d'un SIG (TCHIOFFO KODJO.G, 2008)

3.7.1.3.1 Les matériels informatiques Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome. Des systèmes client-serveur en intranet, extranet voire via Internet facilitant ensuite et de plus en plus la diffusion des résultats (TCHIOFFO KODJO.G, 2008).

3.7.1.3.2 Les logiciels Le logiciel SIG fournit des outils et des fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations. Ce sont des outils de saisie et de traitement d'informations géographiques, de stockage de bases de données (SGBD), de requêtes, d'analyse et de visualisation via des interfaces utilisateur graphiques pour une facilité d'utilisation. En bref, le logiciel permet la cohérence des trois dimensions des systèmes d'information géographique.

3.7.1.3.3 Les données Les données représentent le contenu même des SIG. Elles peuvent être des cartes géographiques et/ ou des informations relatives à ces objets. C'est la composante la plus importante d'un SIG. Les données géographiques peuvent être, soit importées à partir de fichiers, soit saisies par un opérateur (TATSO P, 2011).

3.7.1.3.4 Les utilisateurs Un SIG est avant tout un système et ce sont ses utilisateurs (le personnel qui entretient et gère le système) qui lui permettent de fonctionner pour livrer tout son potentiel au besoin de l'homme. Les utilisateurs et potentiels utilisateurs d'un SIG sont principalement :

- Les techniciens et ingénieurs chargés de la conception, de l'entretien et de la gestion du SIG ;
- Les techniciens et personnels qualifiés à l'utilisation quotidienne du SIG dans leur ;
- Les décideurs utilisant le SIG comme moyen d'aide à la prise des décisions (TATSO P ,2011).

3.7.1.3.5 Méthodes et savoir-faire Un SIG nécessite les connaissances techniques et diverses compétences qu'une ou plusieurs personnes peuvent entreprendre. Doit connaître les concepts de système de référence et de projection, d'analyse de données, d'opérations et de modélisation, de traitement statistique, de biologie graphique et de cartographie et de traitement graphique. Il doit savoir traduire les questions qui lui sont posées en requêtes informatiques.

3.7.1.4 Types de Données Dans un SIG

3.7.1.4.1 Données Spatiales Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique définissant ainsi la position dans l'espace, la forme (point, ligne, polygone) et la taille (périmètre, surface) de cette entité(BACHI. M, 2011).

3.7.1.4.2 Données Associées Ces données permettent de compléter la représentation spatiale de l'entité géographique, elles renferment les données de classification (ranger l'entité), d'identification (numéro permettant d'identifier l'entité) et les données attributaires (information propre à chaque objet identifié). La prise de documents cartographiques dans un SIG, peut se faire de deux modes différents : mode vecteur et mode raster (BACHI. M, 2011).

- **Représentation en mode vectoriel :** En mode vectoriel, le point avec ses coordonnées est le porteur de l'information géométrique. Les lignes et les surfaces se comprennent comme une suite définie de points caractéristiques. Les données vectorielles sont la plupart du temps le résultat de la numérisation manuelle ou semi-automatique. De façon générale, dans les données vectorielles on distingue les points, les lignes et les surfaces qui sont toujours représentés en couches différentes(TATSO P ,2011)
- **Représentation en mode raster :** Les données raster ont comme élément essentiel le pixel (Picture élément). Les pixels sont répartis dans un raster de façon régulière en lignes et colonnes comme indique la figure 5 ci dessous. Les lignes et les surfaces ne peuvent être représentées que par l'enchaînement de pixel unique. Un objet ne peut donc être représenté que de façon approximative ; c'est ainsi que la taille du pixel-raster (résolution spatiale) conditionne l'exactitude de la représentation. (TATSO P ,2011) Les données raster sont issues essentiellement de la photographie aérienne, des images satellitaires, ou d'un plan scanné affichés dans le SIG en tant qu'image.

3.7.1.5 Les fonctionnalités des SIG

Un Système d'informations géographique comporte les cinq groupes de fonctionnalités suivantes dénommées « les cinq A » :

1. Acquisition : intégration et échange de données. (Import-export)
2. Archivage : structuration et stockage de l'information géographique sous forme numérique.
3. Abstraction : modélisation du réel selon une certaine vision du monde.
4. Analyse : analyse spatiale (calculs liés à la géométrie des objets, croisement de données thématiques)
5. Affichage : représentation et mise en forme, notamment sous forme cartographique avec la notion d'ergonomie et de convivialité. (ABDOULAYE B, 2009)

3.7.1.6 Fonctionnement d'un SIG

Les cinq fonctionnalités de base du SIG lui permettent de créer une plateforme virtuelle des informations du monde réel sous forme de couches thématiques superposables au moyen des cartes géographiques. Cette technologie à la fois et simple et puissant (à la base du fonctionnement de toute application SIG digne de ce nom) a démontré sa puissance de résolution des problèmes complexe du monde réel. Il est illustré par la figure ci-dessous : (TATSO P, 2011).

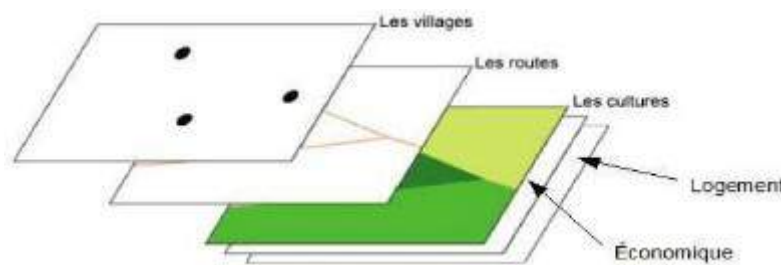


FIGURE 3.4 – Fonctionnement d'un SIG (TATSO P, 2011)

3.7.1.7 Modes d'acquisition de données

L'obtention des données spatiales consiste au rassemblement de différentes sources permettant la saisie des données dans le but de leurs intégrations dans un SIG. Nous exposons dans ce qui suit les différentes méthodes d'acquisition de données spatiales (KOUBA Y, 2018).

- a) **Numérisation (La digitalisation)** : La digitalisation est adaptée à la représentation vectorielle. Cette technique assure la préservation des informations présentées dans le document de base. Un traitement préalable sur les documents de base peut s'avérer nécessaire si ceux-ci sont trop chargés (KOUBA Y, 2018).
- b) **Photogrammétrie Aérienne** : Cette méthode est utilisée pour constituer les cartes à moyenne échelle dans les pays dont la couverture cartographique est déficiente ou pour la constitution de plan à grand échelle pour un coût avantageux (BACHI. M, 2011).

- c) **Scannage de plans** il saisit la géométrie d'un plan existant à l'aide d'un scanner. Convient parfaitement à la représentation raster (Figure 3.5). Ce mode de saisie est rapide et peu coûteux. Si la donnée est scannée et géo référencée c'est de la donnée «raster ».



FIGURE 3.5 – Scanner automatique, utiliser pour le scannage de plans (KOUBA Y, 2018)

- d) **Images satellites** : Les satellites d'observation de la terre, fournissent des données transmises sous forme d'images numériques en mode raster (Figure III.6). Les données doivent subir certains traitements rectificatifs avant de les intégrer dans un SIG (KOUBA Y, 2018).

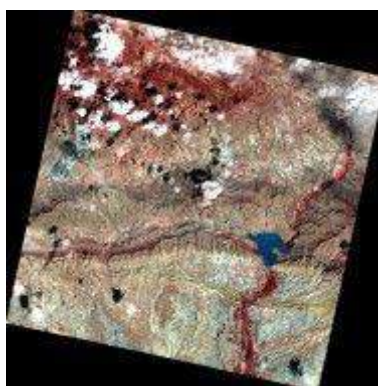


FIGURE 3.6 – Image satellite prise par le satellite

- e) **Import de fichiers** :

C'est une façon de réduire le coût de saisie par récupération des données existantes et de les convertir au format, au système d'unité et au système de projection souhaité. Pour cela, on utilise des interfaces qui permettent soit de transformer directement ces données dans le format interne du SIG récepteur grâce à des bibliothèques de conversion, soit de passer par l'intermédiaire d'un format d'échange reconnu par une fonction d'importation de données du SIG récepteur (BACHI. M, 2011).

3.8 Conclusion

La présente recherche a permis de mettre au point un concept intégré de cartographie du taux d'endommagement direct moyen annuel que subirait, à l'eau libre, une résidence quelconque située en zone inondable par rapport à sa position et son mode d'implantation dans le terrain.

Dans cette Chapitre, il nous est apparu utile d'introduire quelques notions essentielles sur le concept de la cartographie et les outils Puissants pour Cartographier le risque d'inondation systèmes d'information géographique (SIG).

CHAPITRE 4

MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

4.1 Introduction

4.2 ÉTUDE HYDROLOGIQUE

Elle a pour but de prédire sur les débits de pointes des crues de l'Oued Saida convenant aux différentes périodes de retour. Plusieurs méthodes statistiques ou déterministes peuvent être utilisées pour avoir ces informations. Néanmoins, l'analyse fréquentielle, une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés afin d'en définir les probabilités d'apparition future) reste la meilleure façon de réaliser ce but surtout qu'on est devant la nécessité de détermination de la période de retour. Cette analyse comprend généralement les trois étapes suivantes :

1. la première consiste a rassembler une série de données des débits de pointes enregistrés Par la station de la ville de Saida ensuite extraire la série des débits maxima annuels *QIXA* ,classer et mettre en ordre cette série et utiliser les statistiques descriptives pour condenser l'information a l'aide de valeurs types telles que la moyenne ,écart-type..ect.
2. la deuxième étape consiste à analyser les résultats afin de leur adapter le modèle probabiliste le plus adéquat qui décrit la probabilité d'apparition d'un débit max de valeur donnée (Ajustement a une loi de probabilité). et c'est du choix du modèle fréquentiel que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle .parmi les quelles on mentionnera les plus fréquentes tel que la loi de GUMBEL et la loi de GALTON ,la loi de GAUSS.l'analyse fréquentielle se faite a l'aide du logiciel « HYDROLAB »
3. la troisième étape consiste a effectuer des tests d'adéquation des lois de probabilité tel que le test de chi carré et le test de kolmogorov-Smirnov.

4.2.1 collecte de l'information

Les données disponibles sont de deux types pluviométrique et hydrométrique, elle sont obtenues par l'ANRH (l'Agence National des ressources Hydrique de la Wilaya de Saida).

4.2.1.1 Les données Hydrométriques

Le bassin versant de l'oued Saida comprend plusieurs stations hygrométriques dont la station de Saida (code 11-11-01) située en Amont du bassin versant sur l'oued Saida, et la Station de sidi boubkeur (code 11-11-02) située en Aval du bassin versant. Notre travail n'a porté que sur la station de Saida pour laquelle les données sont disponibles et validées sur une période de 30 ans (1980-2010) sous forme d'une série de 265 valeurs de débit de pointe.

TABLE 4.1 – Exemple de données hydrométriques de la station de Saida 1980-1982

Date	Hauteur(cm)	Débits(m3/s N°	Date	Hauteur(cm)	Débits(m3/s
02/01/1980	32	0,16	26 27/12/1981	19	0,07
10/02/1980	23	0,11	27 13/01/1982	19	0,05
02/03/1980	22	0,1	28 20/01/1982	18	0,05
01/04/1980	23	0,1	29 01/02/1982	19	0,06
03/05/1980	21	0,09	30 14/02/1982	20	0,07
02/06/1980	19	0,08	31 22/02/1982	22	0,07
14/09/1980	18	0,05	32 14/03/1982	22	0,07
04/11/1980	20	0,05	33 17/04/1982	29	0,11
20/12/1980	41	0,34	34 02/05/1982	24	0,13

D'après le tableau des données hygrométrique on à remarqué une irrégularité interannuelle du régime d'écoulement de l'oued Saida .Les fortes débits sont remarqués durant les mois d'automne et d'hiver (Décembre, Janvier, Février et mars) par contre les faibles débits sont remarqués durant les mois d'été juin ,juillet et aout l'augmentation de débits durant la saison d'hiver est la conséquence des fortes pluies.

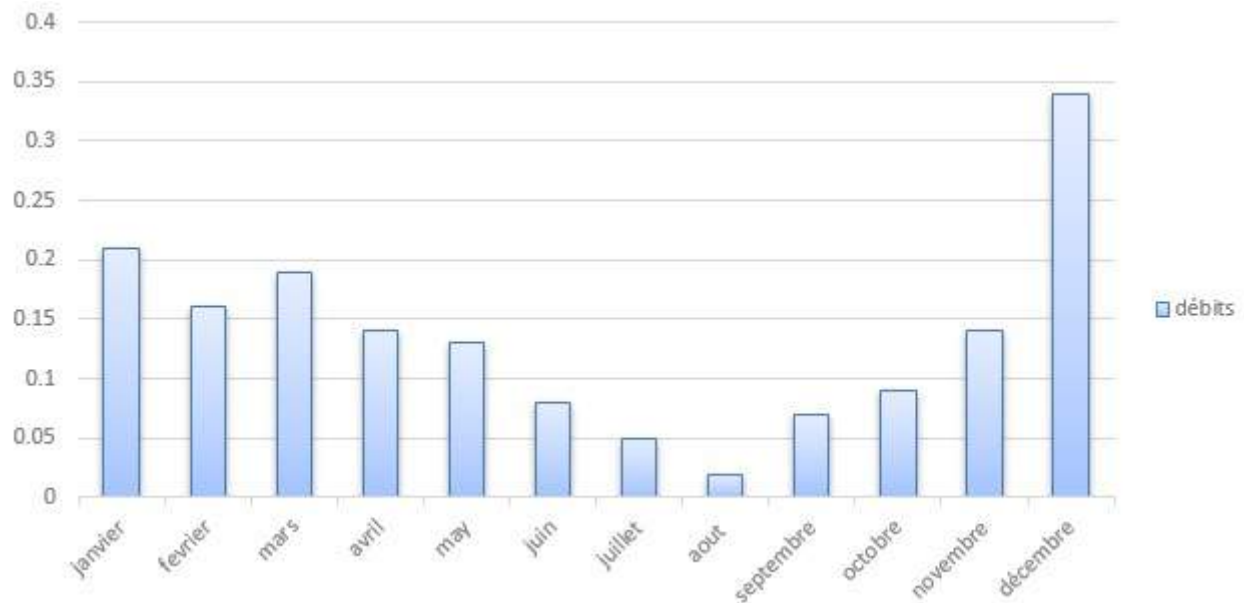


FIGURE 4.1 – Histogramme de répartition mensuelle des débits de pointes durant la période d'étude 1980-2010

L'utilisation des données hygrométrique a permis d'extraire la série des débits maxima annuels $QIXA$ qui est représentée dans le tableau ci-dessous.

TABLE 4.2 – La série des débits maxima annuels QIX

Année	$QIXA$	Année	$QIXA$	Année	$QIXA$
1980	0,34	1990	0,07	2000	0,05
1981	0,21	1991	0,07	2001	0,04
1982	0,19	1992	0,11	2002	0,03
1983	0,08	1993	0,07	2003	0,08
1984	0,14	1994	0,09	2004	0,02
1985	0,18	1995	0,07	2005	0,07
1986	0,16	1996	0,05	2006	0,06
1987	0,13	1997	0,06	2007	0,2
1988	0,08	1998	0,04	2008	0,1
1989	0,12	1999	0,08	2009	0,06

4.2.2 Les Paramètres d'un échantillon et d'une population

Cette opération consiste à la caractérisation de l'échantillon et le calcul des indicateurs qui décrivent la série statistique. Ces indicateurs sont classés en trois types :

1. le premier indicateur informe sur la position des données telle que la moyenne arithmétique.

2. - la deuxième catégorie d'indicateurs informe sur la dispersion des données et leur niveau de regroupement autour de la moyenne tels que la variance, l'écart -type et les valeurs extrêmes minimale et maximale.
3. la troisième catégorie d'indicateurs, caractérisant la forme de l'échantillon tels que les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement.

Ces indicateurs sont très utilisés dans les études hydrologiques des cours d'eau.

Soit $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ un échantillon aléatoire de taille n issu d'une population de taille infinie, les caractéristiques empiriques de cet échantillon sont : - La moyenne arithmétique ou moment centré d'ordre 1 :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4.1)$$

- la variance ou moment centré d'ordre 2 :

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (x - \bar{x})^2 \quad (4.2)$$

- Moment centré d'ordre 3 :

$$m_3 = \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (4.3)$$

- Moment centré d'ordre 4

$$m_4 = \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (4.4)$$

- Coefficient de variation :

$$Cv = \frac{s}{x} \quad (4.5)$$

- Coefficient d'asymétrie :

$$C_s = \frac{m}{s^3} \quad (4.6)$$

- Coefficient d'aplatissement :

$$C_k = \frac{m^4}{s^4} \quad (4.7)$$

Les caractéristiques empiriques de la série des débits instantanés maxima annuels (QIXA) sont résumées dans le tableau (4.3)

TABLE 4.3 – Les caractéristiques empiriques de la série des débits maxima annuels($QIXA$)

La taille	30
La moyenne	0,1016
Médiane	0,08
Mode	0,07
Ecart-type	0,0682
Variance	0.102
Coefficient de variation	0.672
Coefficient d'aplatissement	5.67
Coefficient d'asymétrie	1,756
Minimum	0,02
Maximum	0,34

4.2.3 Statistiques et calcul des probabilités en hydrologie

4.2.3.1 Notion d'événement : (symbole a, b)

Le mot est employé dans son sens trivial : telle chose s'est produite (événement réalisé), peut se produire (événement possible), etc on note que l'événement a n'est pas produit par le symbole $\bar{a}$ (événement contraire) un certain nombre d'opération dites « logiques » peuvent être définies sur les événements notamment :

Somme logique ou réunion : symbole $a + b$, signifie que a ou bien b s'est produit, c'est également un événement.

Produit logique ou intersection : symbole a, b , signifie que a et b se sont produits, c'est également un événement, etc, nous n'insisterons pas.

4.2.3.2 Notion de probabilité

Soit une collection d'événements possible $a, b, \dots$. L'épreuve est l'opération élémentaire qui permet de réaliser un de ces événements, ou plusieurs d'entre eux simultanément. Probabilité d'un événement élémentaire : nombre positif compris entre 0 et 1 attribué à un événement donné, soit par la structure même du problème étudié, soit par l'étude statistique d'une collection expérimentale d'événements.

4.2.3.3 Variable aléatoire

On appelle ainsi une variable X qui peut prendre des valeurs $x_1, \dots, x_2, \dots, x_n$ avec des probabilités $p_1, \dots, p_2, \dots, p_n$ (symbole v.a.).

Cas discret-cas continu : - Une variable aléatoire est dite discrète lorsque'elle ne peut pas prendre qu'un nombre dénombrable (fini ou infini) de valeurs.

- Une variable aléatoire continue, on définit la probabilité élémentaire : probabilité pour que X soit compris entre X et $x + dx$, que l'on note $f(x)$ et x . $f(x)$ est appelée densité de probabilité.

La probabilité pour que X soit compris dans l'intervalle (x_1, x_2) est donnée par :

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (4.8)$$

Pour que $f(x)$ représente vraiment une densité de probabilité, il faut que la valeur de l'intégrale de probabilité, il faut que la valeur de l'intégrale étendue à tout l'intervalle des variations possibles de X soit égale à 1. la variable aléatoire peut prendre toutes les valeurs possibles de $-\infty + \infty$.

4.2.3.4 Les Moments

On appelle moment d'ordre K la valeur de l'intégrale :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x^K f(x) \cdot dx \quad (4.9)$$

En particulier le moment de premier ordre ($K=1$) s'appelle la moyenne, on le note $\bar{X}$ ou m_1 . On appelle moment centré d'ordre K la valeur de l'intégrale :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^k \cdot f(x) \cdot d(x) \quad (4.10)$$

En particulier le moment centré de seconde ordre ($K=2$) s'appelle la variance, on le note σ_x^2 racine carré est l'écart type σ_x . On appelle écart-réduit, ou parfois variable déduite de Gauss la variable aléatoire $\frac{(x-\bar{x})}{\sigma_x}$.

Signalons enfin l'existence des paramètres statistiques suivants :

- la médiane X_m définie par :

$$\int_{-\infty}^{X_m} f(x) \cdot dx = \int_{X_m}^{+\infty} f(x) \cdot dx \quad (4.11)$$

- Le mode ou la valeur la plus fréquente correspond au maximum de la densité de probabilité. On l'obtient donc en faisant $\frac{df(x)}{dx} = 0$

4.2.3.5 La fréquence-Échantillonnage

On dit qu'un événement est favorable lorsque'il répond à l'attente. que l'on s'était fixée, arbitrairement ou non, avant l'épreuve. Dans une analyse des débits d'une rivière, si on s'intéresse aux débits supérieurs à $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, tout débit répond à cette condition sera un événement favorable. Si l'on dispose d'un échantillon de N événements, obtenus soit par des épreuves répétées, soit par l'observation à intervalles de temps réguliers d'un phénomène naturel, il peut contenir n événements favorables, c'est à dire coïncidant avec l'événement attendu. par exemple, sur un échantillon de 30 débits moyens annuels, on trouve 5 supérieurs à $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. On appelle fréquence, ou fréquence expérimentale, le rapport $F = \frac{n}{N}$ soit ici $\frac{1}{6}$. supposons maintenant que nous ayons un autre échantillon de 30 débits observés à la même station : on dit, en statistique, tiré de la même population on trouvera pour $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ une fréquence expérimentale probablement différente. il en sera de même pour d'autres échantillons, la fréquence ainsi définie est donc

également une variable aléatoire : sa loi de probabilité est dite loi d'échantillonnage . Dans le cas continu nous calculerons soit la fréquence de non dépassement (n correspondant au numéro de classement des valeurs contenues dans l'échantillon par ordre croissant), soit la fréquence de dépassement (n : numéro de classement par ordre décroissant). La première notée $F(x)$: elle correspond pour la population infinie à la probabilité de non dépassement $\int_{+\infty}^x F(x) \cdot dx$.

La seconde est notée $F_1(x)$ que l'on appelle alors fréquence théorique $F(x)$ est également désignée sous le nom de fonction .de répartition .on remarquera que la Somme des fréquences F et F_1 ,ainsi calculées est supérieurs à ce qui est illogique .soit 10 valeurs ,pour fixer les idées , classer par ordre décroissant ,la fréquence expérimentale de dépassement attribuée au $n^{\circ}3$ est $\frac{3}{10}$. Dans le classement inverse ,la fréquence de non dépassement est $\frac{8}{10}$ et la fréquence de l'événement :la valeur en question est dépassée ,égale ou non dépassée se trouve égale 1 alors que, manifestement ,elle doit être égale à l'unité ,pour lever cette anomalie en calcul $F = \frac{m}{N+1}$

4.2.4 Les différentes lois de probabilités à une seule variable utilisées en hydrologie

4.2.4.1 La loi de Gauss ou loi Normale

On peut l'introduire comme loi limite de la loi binomiale pour un nombre infini d'épreuves .elle est de forme :

$$F(Q_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{U^2}{2}} \quad (4.12)$$

Avec : $F(Q_p)$ fonction de la loi normal, U : variable réduite de Gauss , Q_p débit de pointe et $\overline{Q_p}$ et σ_{Q_p} : sont successivement la moyenne et l'écart-type de la série statistique des débit de pointe (J.P.LABORDE 2000)

4.2.4.2 La loi de Galton

On peut généraliser la loi de Gauss et la rendre dissymétrique, par des changements de variable appropriés. Le plus connu de ces changements de variable consiste à prendre comme variable gaussienne le logarithme ou une fonction linéaire du logarithme de la variable étudiée. On obtient ainsi la loi de Galton dite aussi loi de Gibrat-Gauss, on la présente traditionnellement sous la forme :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} \cdot dz \quad (4.13)$$

Avec : $z = a/\log(x - x_0) + b$ Ceci ne vas pas sans quelque inconvénient car les tables de l'intégrale sont de moins en moins usitées .il faut multiplier la variable z par $\sqrt{2}$ avant de l'introduire dans les tables actuellement classique.

Nous préférons donc d'adopter une représentation de la forme :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du \quad (4.14)$$

Avec : $u = a \log(x - X_0) = b$ Nous avons introduit pour certains besoin un changement de variable tout à fait analogue mais comportant un paramètre de moins. Dans cette loi, le

logarithme népérien de la variable : $\log x$, suit une loi de Gauss on la note :

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-y}{\sigma x}\right)^2} . du \quad (4.15)$$

Avec : $y = \log x$

4.2.4.3 La loi exponentielle

- La fonction de répartition est de la forme :

$$F(x) = 1 - e^{-px} \quad (4.16)$$

- Cette loi est parfois utilisée en hydrologie avec adjonction d'un paramètre supplémentaire :

$$F(x) = 1 - e^{-p(x-x_0)} \quad (4.17)$$

- C'est la loi dite de fuller-coutagne. On la donne en générale sous la forme :

$$X(t) = x_1(1 + \beta \log T) \quad (4.18)$$

- T étant la période de retour (inverse de la fréquence). Avec ces notations, la densité de probabilité s'écrit :

$$F(x) = \frac{1}{M\beta x_1} e^{\frac{1}{M\beta}\left(\frac{x-x_1}{x_1}\right)} \quad (4.19)$$

Avec : $M = 0.434$

4.2.4.4 La loi de Gumbel

La fonction de distribution : sous sa forme simple et généralement utilisée on a :

$$F(x) = e^{-u} \quad (4.20)$$

Avec : $u = \frac{x-x_0}{s}$

- u est la variable réduite de Gumbel, l'intervalle de variation de x est donc $x \in [-\infty, +\infty]$
- X_0 est le paramètre de position (mode)
- s est le paramètre d'échelle différent de zéro et positif.
- le coefficient d'asymétrie β_1 est constant et égal à 1.139, ce qui correspond à une dissymétrie étendue vers la droite.
- Le coefficient d'aplatissement β_2 est constant et égal à 2.4

La loi de Gumbel est donc plus pointue que la loi de Gauss. La densité de probabilité a pour expression :

$$F(u) = e^{-u} \cdot e^{-e^{-u}} \quad (4.21)$$

4.2.5 L'Adéquation d'une loi de probabilités

Après avoir ajusté un échantillon aux différentes lois de probabilités il s'avère nécessaire de tester l'adéquation d'une fonction de distribution donnée à représenter cet échantillon. Il existe plusieurs test tels que le test de chi-carré et le test de Kolmogorov-smirnov.

4.2.5.1 Le test de chi-carré

Ce test permet de faire une comparaison entre la distribution empirique et la distribution théorique. Le principe consiste à faire l'hypothèse que les deux distributions ne diffèrent pas. Si la probabilité qu'il en soit ainsi est faible, on rejette l'hypothèse et on conclura que la distribution théorique ne s'ajustent pas à l'échantillon étudié. Si au contraire cette probabilité est forte, la loi théorique sera acceptée. Soit un échantillon de taille n ($x_1, x_2, \dots, x_n$) Hypothèse : $H_0 : x_1, x_2, \dots, x_n$ sont issus d'une population distribuée selon la loi de probabilité $F(x)$ à p paramètres.

La mise en œuvre consiste à subdiviser l'échantillon en k classes équiprobables, chacune ayant une probabilité théorique : telle que $P_i = \frac{V_i}{n}$ ou V_i est l'effectif théorique (nombre d'éléments) de chaque classe i . En réalité l'effectif réel de chaque classe i est n_i , plus ou moins différent de v_i . Le problème est de vérifier si l'écart entre v_i et n_i des différentes classes est significatif.

La vérification se fait par le calcul de la moyenne des carrés des écarts entre ces deux effectifs :

$$X_{Calcul}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - V_i)^2}{V_i} \quad (4.22)$$

Cette quantité suit une loi χ^2 à u degrés de liberté. Avec $Ddl = k - 1$ X_{Calcul}^2 est comparée à une valeur tabulée X_{tabul}^2 , fonction du nombre de degré de liberté et du seuil de signification α imposé en général à 5 %.

4.2.5.2 Le test de Kolmogorov-Smirnov

Ce test se base sur la fonction de répartition empirique $F_n(x)$ définie par :

$$F_n(x) = \frac{\text{nombre d'observations}}{n} \leq X \quad (4.23)$$

La fonction théorique $F(x)$ est comparée à l'échantillon selon le principe suivant : On calcul la quantité D_n telle que :

$$D_n = \max |F(x_i) - F_n(x_i)| \quad (4.24)$$

Pour chaque événement x_i observé, on calcule sa fréquence théorique $F(x_i)$ et $F_n(x_i)$. D_n est la valeur maximale de toutes les quantités calculées $|F(x_i) - F_n(x_i)|$. Le test repose sur la valeur de D_n . Si celle-ci est assez grande, la loi sera rejetée.

4.2.5.3 Le test de Shapiro-Wilk

On observe la valeur d'une var X sur chacun des n individus d'un échantillon. Ces valeurs constituent les données : $x_1, x_2, \dots, x_n$. On cherche à montrer que X ne suit pas une loi normale

ce qui mettrait en défaut une hypothèse cruciale pour de nombreux outils statistiques comme des intervalles de confiance .

On considère donc les hypothèses : $H_0 : X$ suit une loi normale N contre H_1 ne suit pas une loi normale N Le test de Shapiro-Wilk utilise la statistique de test observé :

$$W_{Obs} = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i)^2}{(n-1)s^2} \quad (4.25)$$

Où les valeurs $a_1, \dots, a_n$ sont calculées à partir du vecteur des moyennes et de la matrice de covariance des statistiques d'ordre de n var suivant une loi normale et une loi de probabilité non-usuelle que l'on arrive à évaluer.

4.3 L'ajustement de la série des débits instantanés maxima annuels (QIX) aux lois de distribution

L'ajustement de la série des débits instantanés maxima annuels (QIX) se fait à l'aide d'un logiciel qui s'appelle Hydrolab.

4.3.1 Description du logiciel Hydrolab

Le logiciel Hydrolab a été développé par J.P. Laborde, professeur à l'université de Sofia Antipolis, en octobre 1998. Intégré sous Excel, il permet une utilisation simple d'outils hydrologiques, il est libre et gratuit. Ce logiciel traite essentiellement les points suivants :

- • L'analyse univariée (ajustements).
- L'analyse multivariée (Régressions multiples).
- L'analyse en composantes principales.
- Le comblement de lacunes dans des séries de données.
- La détection d'anomalies dans les séries de données.
- L'analyse spatiale.
- La création de fonctions statistiques classiques (Gauss, Gumbel, normale, racine normale ...).
- Des fonctions liées à l'évapotranspiration potentielle.
- Une fonction pour passer de l'évapotranspiration potentielle à réelle.
- Des fonctions de passage des coordonnées géographiques à différentes coordonnées Lambert.

Dans le cadre de notre projet, nous allons développer les fonctions que nous avons utilisées : D'après une série de valeurs, nous pouvons sélectionner plusieurs lois :

- Loi de Gumbel,
- Loi de Fuller,
- Loi Normale (ou de Gauss),
- Loi Racine Normale,
- Loi Log Normale (ou de Galton),
- Loi de Weibull.

Le logiciel permet alors de modéliser notre série de données avec la loi sélectionnée. La fréquence expérimentale est calculée par la formule suivante :

$$F(xi) = \frac{i - 0.5}{n} \quad (4.26)$$

- i :rang de classement
- n :taille de l'échantillon

Les fréquences expérimentales et la valeur des quantiles. Nous pouvons sélectionner une période de retour, et obtenir la valeur de notre série de données correspondant à la période de retour souhaitée. C'est de cette manière que nous avons déterminé le débit décennale par différentes lois.

4.3.2 Lancement de l'ajustement

Une fois les données sélectionnées, il suffit pour procéder à un ajustement, de choisir dans la barre de menu Hydrolab, le type de loi désiré. Quelques instants après le lancement, vous verrez apparaître les feuilles de résultats. Elles sont toujours de même type et superposées. Celle qui vous est visible, contient la représentation graphique de l'ajustement et les paramètres essentiels. Les feuilles de graphiques portent l'extension ".xlc" (ici précédée de Norme puisqu'il s'agit d'une loi de Gauss). Les valeurs de la variable sont toujours portées en ordonnées et les fréquences au non dépassement en abscisses, selon les échelles adaptées à la loi. La loi théorique est matérialisée par une droite en trait fort. La plupart du temps vous verrez également deux courbes en trait fin limitant un intervalle de confiance à 80% (intervalle que vous pourrez modifier).

4.3.3 L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gauss

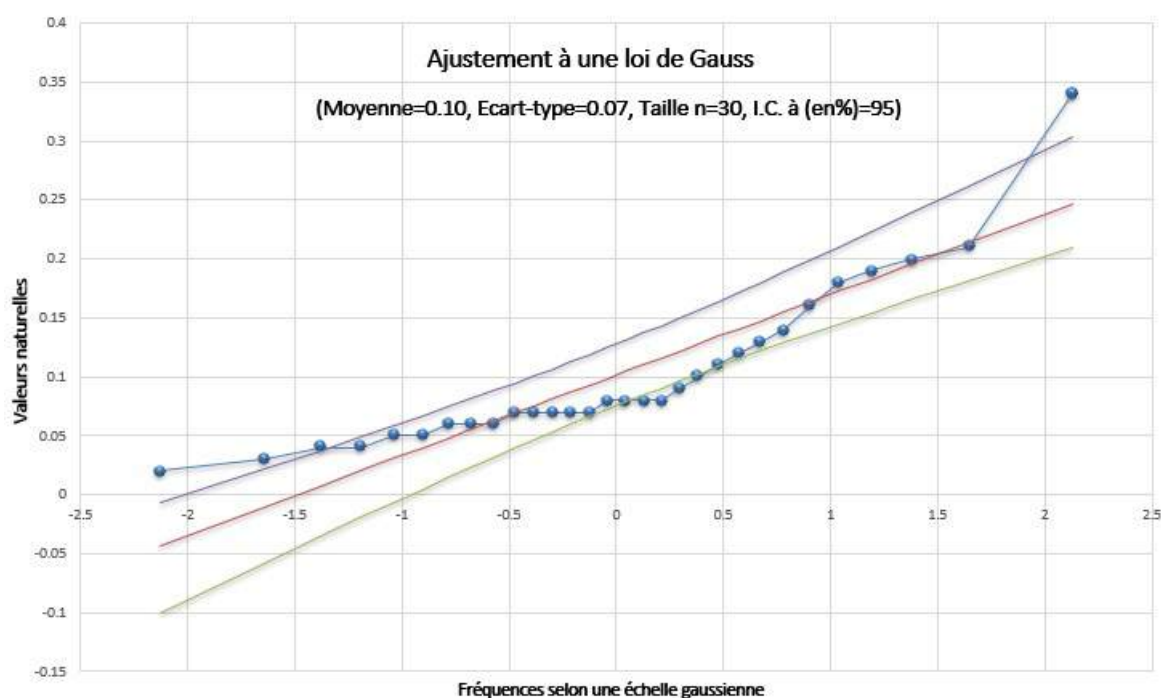


FIGURE 4.2 – l'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gauss

Les résultats des fréquences calculées avec la loi de Gauss sont présentés dans le tableau I- de l'annexe I

4.3.3.1 Le test d'adéquation de l'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gauss L'application du test de chi-carré

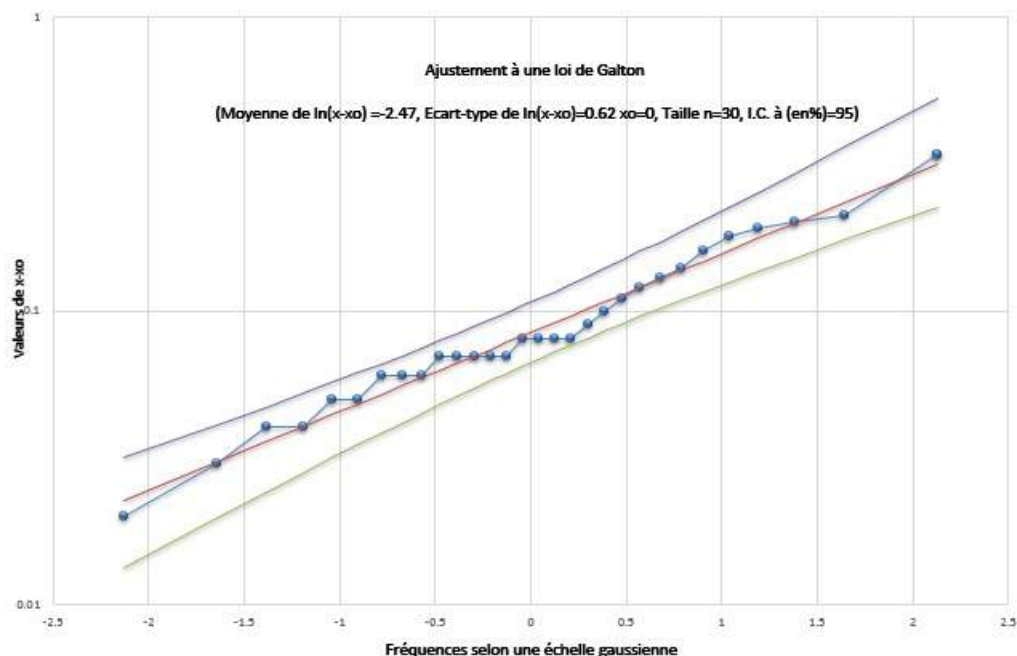
Dans ce test ,on a fixé 04 classes pour calculer l'effectif théorique V_{pi} qui est égal au rapport du nombre d'effectifs de la série sur le nombre de classes (pour notre cas , $V_{pi} = \frac{30}{4} = 7.5$),le calcul des limites de classe est passé par l'équation de Henry avec : $Q = \bar{Q} + \sigma \cdot u$ Les résultats qu'on a trouvés sont présentés dans le tableau suivant :

TABLE 4.4 – Résultats d'adéquation de la loi de Gauss par le test de chi-carré

N	Limites des classes	$p=\sum \frac{v_i}{N}$	Effectif observé : N_i	Effectif théorique V_i	$\frac{(N_i - V_i)^2}{V_i}$
1	$Q < 0.056$	0.25	6	7.5	0.3
2	$0.056 < Q < 0.1016$	0.50	14	7.5	5.63
3	$0.1016 < Q < 0.147$	0.75	4	7.5	1.63
4	$Q > 0.147$	1	6	7.5	0.3
				$\chi^2_{\text{calculé}}$	7.86
				Ddl=k-1	$\chi^2_{\text{tabulé}}$
					0.352

D'après le tableau on remarque $X^2_{\text{calculé}}$ supérieur $X^2_{\text{tabulé}} = (ddl = 3, \text{erreur} = 5\%)$ veut dire que la loi de Gauss s'ajuste avec la série des débits maxima annuels (QIX).

4.3.4 L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Galton

FIGURE 4.3 – L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Galton

Les résultats des fréquences calculées avec la loi de Galton sont présentés dans le tableau I- de l'annexe I

4.3.4.1 Le test d'adéquation de l'ajustement de la série (QIX) à la loi de Galton

TABLE 4.5 – Résultats d'adéquation de la loi de Galton par le test de chi-carré

<i>N</i>	<i>Limites des classes</i>	$p=\sum \frac{v_i}{N}$	<i>Effectif observé : Ni</i>	<i>Effectif théorique Vi</i>	$\frac{(Ni - Vi)^2}{Vi}$
1	$Q < -2.88$	0.25	0	7.5	-7.5
2	$-2.88 < Q < -2.41$	0.50	0	7.5	-7.5
3	$-2.41 < Q < -2.05$	0.75	0	7.5	-7.5
4	$Q > -2.05$	1	30	7.5	45
				$X^2_{calculé}$	45
				Ddl=k-1	$X^2_{tabulé}$ 0.352

D'après le tableau on remarque X^2_{calcul} inférieur $X^2_{tabul}(ddl = 3, erreur = 5\%)$ veut dire que la loi de Galton s'ajuste avec la série des débits maxima annuels(QIX),on remarque aussi que ,graphiquement la loi de Galton s'ajuste mieux avec la série (QIX) par rapport la loi de Gauss.

4.3.5 L'ajustement de la série (QIX) à la loi exponentiel

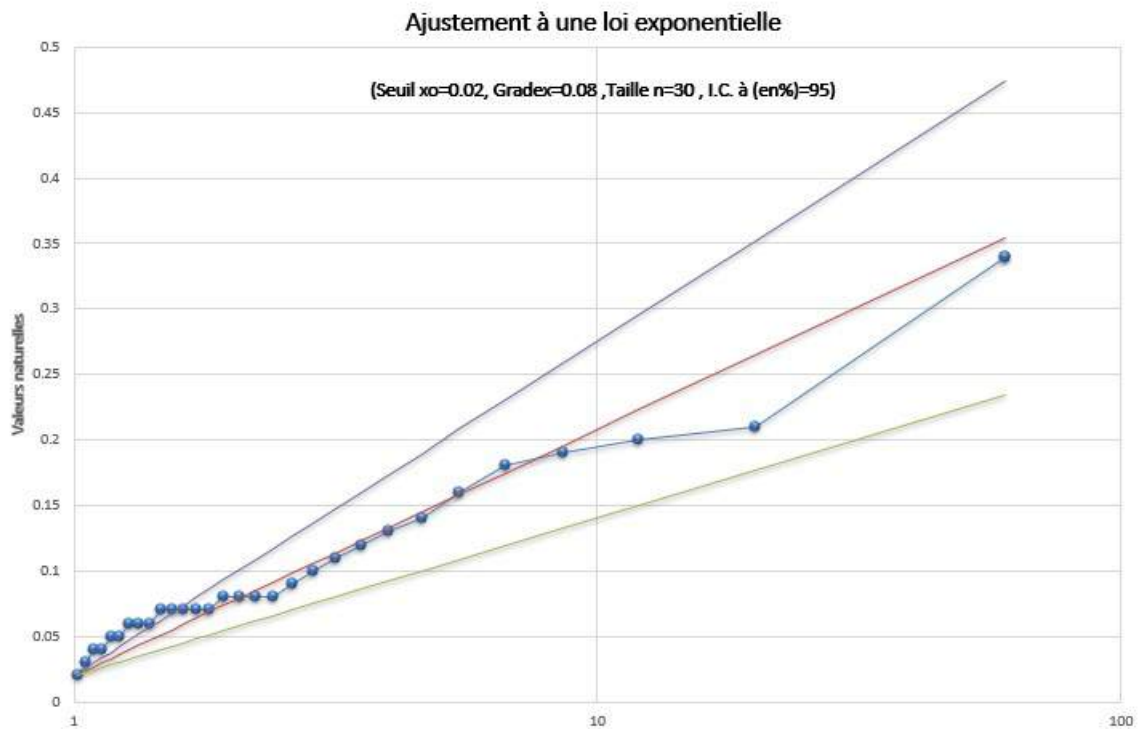


FIGURE 4.4 – L'ajustement de la série (QIX) à la loi exponentiel

Les résultats des fréquences calculées avec la loi exponentiel sont présentés dans le tableau I- de l'annexe I

4.3.5.1 Le test d'adéquation de l'ajustement de la série (QIX) à la loi exponentiel

D'après le tableau on remarque X_{calcul}^{2c} supérieur $X_{tabul}^2(ddl = 3, erreur = 5\%)$ veut dire que la loi exponentiel s'ajuste avec la série des débits maxima annuels(QIX).

4.3.6 L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gumbel

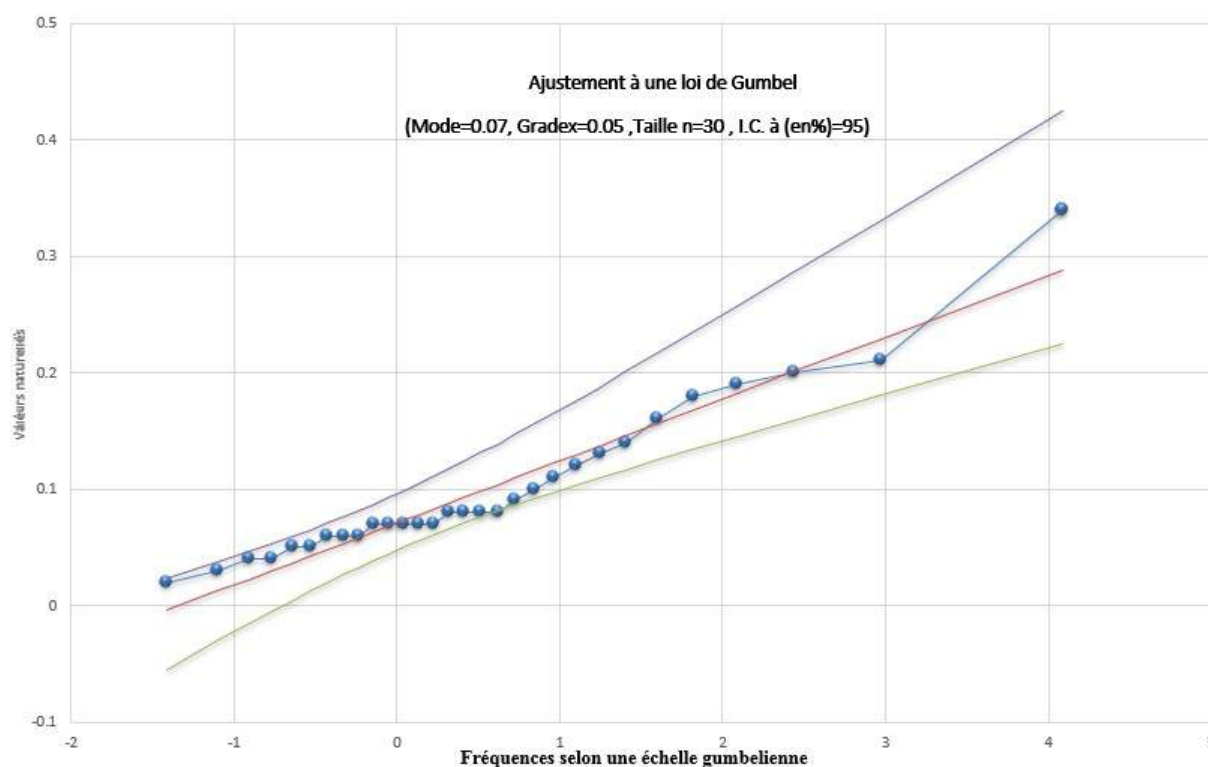


FIGURE 4.5 – L'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gumbel

Les résultats des fréquences calculées avec la loi de Gumbel sont présentés dans le tableau I- de l'annexe I

4.3.6.1 Le test d'adéquation de l'ajustement de la série (QIX) à la loi de Gumbel

TABLE 4.6 – Résultats d'adéquation de la loi de Gumbel par le test de chi-carré

<i>N</i>	<i>Limites des classes</i>	$p = \sum \frac{V_i}{N}$	<i>Effectif observé : Ni</i>	<i>Effectif théorique Vi</i>	$\frac{(N_i - V_i)^2}{V_i}$
1	$Q < 0.08$	0.25	18	7.5	14.5
2	$0.08 < Q < 0.10$	0.50	2	7.5	4.03
3	$0.10 < Q < 0.22$	0.75	9	7.5	0.3
4	$Q > 0.22$	1	1	7.5	5.63
				$X^2_{\text{calculé}}$	24.46
				Ddl=k-1	$X^2_{\text{tabulé}}$ 0.352

D'après le tableau on remarque X_{calcul}^2 supérieur X_{tabul}^2 ($ddl = 3, erreur = 5\%$) veut dire que la loi de Gumbel s'ajuste avec la série des débits maxima annuels(QIX).

4.4 Le choix du modèle statistique adéquat pour la série des débits maxima annuels(QIX)

Les résultats issus des tests d'adéquation de l'ajustement de la série des débits maxima annuels (QIX) enregistrés à la station hydrométrique de Saida par les quatre lois de distribution ;Gauss, Galton, Exponentiel, Gumbel montrent que la loi la plus adéquate pour la série(QIX) est celle de Galton et Gumbel, or dans la majorité des cas ,l'ajustement se fait généralement par la loi de Gumbel d'où le débits maxima correspondant aux différentes périodes de retour sont tirés de ce modèle pour la station de Saida et sont représentés dans le tableau suivant :

TABLE 4.7 – Estimations des débits correspondant aux différents périodes de retour suivant la loi de Gumbel pour la station de Saida

T(ans)	fréquence	QIXAT(m ³ /s)	Borne Inférieur	Borne Supérieur
2	0.5	0.0904	0.0722	0.114
5	0.8	0.15	0.124	0.195
10	0.9	0.19	0.157	0.252
20	0.95	0.229	0.187	0.307
50	0.98	0.278	0.225	0.378
100	0.99	0.315	0.254	0.432
500	0.998	0.401	0.319	0.557
1000	0.999	0.438	0.348	0.611

D'après le tableau, le débit qui nous intéresse dans le prochain chapitre est le débit caractéristique de la crue de l'oued Saida (débit décennal) $QIXA(10) = 0.190 \text{ m}^3/\text{s}$

4.5 ETUDE HYDRAULIQUE

Cette étude représente une schématisation simplifiée d'un système réel de l'écoulement à surface libre. Notre objectif est d'avoir les lames d'eaux correspondantes aux différents débits issus de l'étude hydrologique pour être utilisées dans la section suivante afin de cartographier l'Aléa.

4.5.1 TYPOLOGIE DES MODELES

Les modèles mathématiques se différencient selon le degré de simplicité de la représentation géométrique de différentes variables de modèle en trois types :

4.5.1.1 Modèles monodimensionnels

la géométrie est représenté par un profil en long sur lequel sont repérées les sections en travers perpendiculairement au sens d'écoulement. Les résultats fournis sont satisfaisants lorsque l'écoulement déborde peu de lit mineur et la plaine inondée ne présente pas de fortes singularités . Ces modèles fournissent les cotes d'eau en fonction du temps par la résolution des équations de Saint Venant qui sont formées par l'équation de conservation de masse , transformée en conservation de volume en tenant compte de l'incompressibilité de l'eau (CHACHOUA, 2009). $\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L$ et l'équation de conservation de quantité de mouvement $\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{s} \right) + gS \left(\frac{\partial Z}{\partial x} + J \right) = K_L q_L V$ avec : S : Surface mouillée (m^2), Q : Débit (m^3/s), q_L : Débit par unité de longueur (m^2/s), g : accélération de la pesanteur (m/s^2), Z : cote de la surface libre (m), J : pente de la ligne d'eau (m/m), K_L : coefficient tel que $K_L = 1$ quand q_L supérieur à 0, V : Vitesse moyenne dans une section transversale (m/s) (CHACHOUA, 2009).

4.5.1.2 Modèles 1D à casiers

Ils ont l'avantage de modéliser les zones de débordement en tant que réservoirs interconnectés ou reliés à l'écoulement par des lois de vidange/remplissage. Son inconvénient est la difficulté de calage des coefficients régissant les lois de ces casiers([CHACHOUA, 2009).

4.5.1.3 Modèles bidimensionnels (2D)

la géométrie du cours d'eau est représentée par un maillage 2D. Les modèles fournissent les cotes d'eau en fonction du temps dans chaque maille par la résolution des équations 2D de Saint Venant :

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_{in}} = q_i \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_c} \left(\frac{\phi^2 Q^2}{S_c} \right) + \frac{\partial}{\partial x_{in}} \left(\frac{(1-\phi)^2 Q^2}{S_{in}} \right) + gS_c \left(\frac{\partial Z}{\partial x_c} + J_c \right) + gS_m \left(\frac{\partial z}{\partial x_m} + J_m \right) = 0 \end{cases} \quad (4.27)$$

Qui peuvent être écrites pour chaque écoulement. Ces modèles sont gourmands au temps de calcul et nécessitent la connaissance fine de la géométrie, ils sont utilisés pour les petits tronçons ou dans le cas où les modèles 1D ne donnent pas des résultats satisfaisants.

4.5.2 CHOIX DU TYPE DE MODELE HYDRAULIQUE

Le choix du logiciel qui permet de cartographier l'aléa inondation est une étape très importante. La comparaison entre les modèles 1D et 2D a été faite par des chercheurs sur la capacité de simuler l'étendue de l'inondation d'une crue donnée à l'aide de trois modèles : un modèle 1D représenté par le HEC-RAS de l'US Army Corps Engineers et deux modèles 2D représentés par Telemac 2D développé par Electricité de France et Lisflood-Fp. Les résultats de comparaison montrent la capacité de modèle HEC-RAS (1D) comparable au modèle Telemac (2D)

en matière de représentation de l'étendue de l'inondation(CHACHOUA, 2009). Pour cela et afin de maîtriser un outil informatique pour modéliser l'écoulement, on a choisi le modèle (1D) HEC-RAS qu'il a une version disponible gratuite et plus simples à manipuler. Ainsi les données nécessaires pour cette modélisation hydraulique sont les débits issus de l'étude hydrologique, la géométrie du cours d'eau dans sa traversé de la ville ainsi que la pente longitudinale et la rugosité de lit et des berges dans les différents points de calcul.

4.5.3 PRESENTATION DU MODELE HEC-RAS

HEC-RAS « Hydrologic Engineering Centers River Analysis System » est un logiciel qui fonctionne sous Windows et qui est intégré pour l'analyse hydraulique. Le modèle HEC-RAS est un logiciel de modélisation hydrodynamique unidimensionnel développé par l'« U.S. Army Corps of Engineers » (U.S. Army Corps of Engineers, 2016).

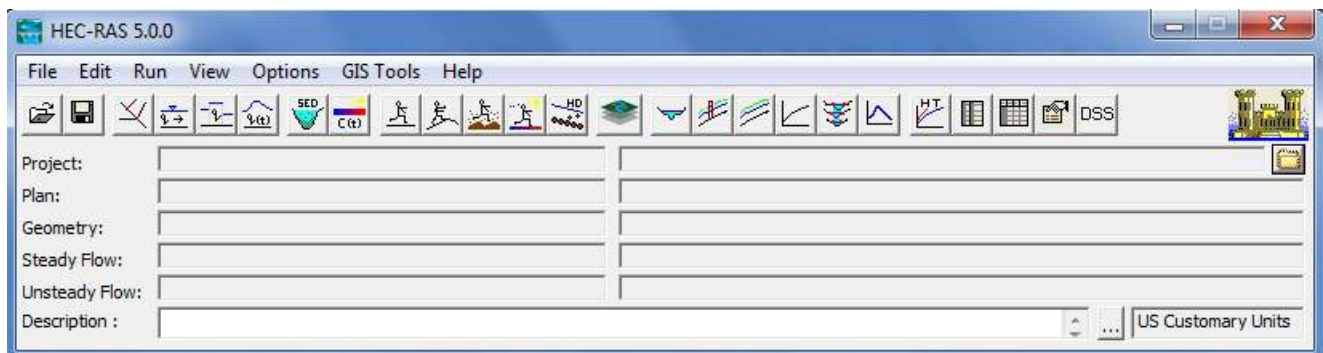


FIGURE 4.6 – Fenêtre principale du logiciel HEC-RAS.

Il est capable d'effectuer des simulations de la propagation des écoulements dans les cours d'eau par :

- Le calcul des écoulements permanents et non permanents dans un réseau de cours d'eau ;
- Le calcul de transport des sédiments et le changement morphologique d'un canal mobile.
- L'analyse de la qualité de l'eau et prise en compte du couvert de glace (IDRICI.A,2017).

4.5.3.1 BASES THEORIQUES DU LOGICIEL HEC-RAS

Les bases théoriques d'HEC-RAS sont publiées dans les brochures d'aide du logiciel. Malgré cela, on va citer les principales concernant le régime permanent. L'HEC-RAS a la capacité de détermination unidimensionnelle des lames d'eaux à partir du calcul de la variation de la hauteur d'eau entre deux sections successives par la résolution, et d'une procédure itérative, de l'équation d'énergie suivante :

$$y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + hc \quad (4.28)$$

Tel que : y_1 et y_2 : Tirant d'eau dans chaque section, Z_1 , Z_2 : Côte de fond, V_1 , V_2 : Vitesse moyenne dans chaque section, α_1 , α_2 : Coefficients relatives à la répartition des vitesses dans une section, g : Accélération de la pesanteur et hc : Perte de charge totale.

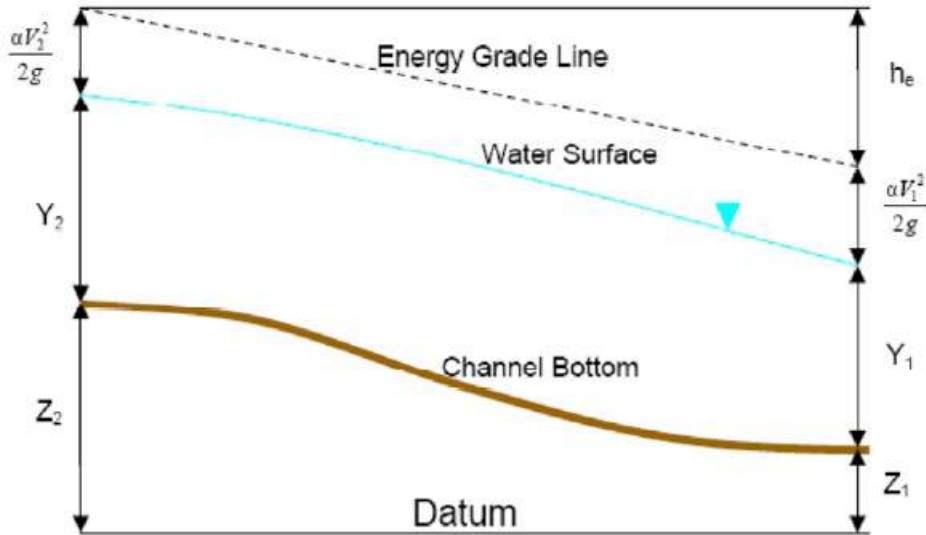


FIGURE 4.7 – Représentation des termes de l'équation d'énergie

La perte de charge est composée de perte de charge linéaire et singulière.

$$hc = L\bar{S}_f + c \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (4.29)$$

Avec : L : Distance entre deux sections , C : Coefficient de perte par expansion ou contraction, $\bar{S}_f$: Pente représentative de frottement entre deux sections tel que :

$$S_f = \left(\frac{Q}{k} \right)^2 \quad (4.30)$$

Avec : Q : est le débit d'eau ; $Q = V \times A$ (Equation de continuité) d'où $V = \frac{Q}{A}$ Et K : Coefficient de débit calculé comme suite :

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{\frac{2}{3}} \quad (4.31)$$

Avec : n : Coefficient de rugosité de Manning, A : Section mouillée et R : Rayon hydraulique.

4.5.3.2 ENVIRONNEMENT DE HEC-RAS

L'environnement du logiciel HEC-RAS est présenté sous forme de projets, chaque projet contient plusieurs fichiers dans chacun porte le nom de projet et possède son propre extension et présente son propre jeu de données, ces fichiers sont présentés comme suit :

- Le fichier de projet (prj) : c'est le fichier principale qui contient les informations descriptifs de projet et les configurations par défaut ou choisis.
- Le fichier de géométrie (G-) : il comporte les informations relatives à la géométrie (schéma, sections en travers, rugosité, ouvrage...etc.).
- Le fichier (flow) débit (F-) : il stocke les données de débits, il peut comporter plusieurs profils où chaque profil regroupe de conditions particuliers de débit.
- Le fichier Plan (P-) : chacun contient des données particulières et aide l'utilisateur à simuler plusieurs scénarios avec les mêmes données.

- Le fichier exécution (R-) : il se crée automatiquement à l'exécution de chaque simulation et contient les données relatives à la simulation.
- Le fichier (output) résultat (O-) : il regroupe les résultats de la simulation.

4.5.3.3 PROGRAMME AUXILIAIRES DE LA FAMILLE HEC.

Les logiciels de modélisation de la famille HEC ont une grande connexité entre eux. Les applications les plus utilisés avec HEC-RAS sont :

- HEC HMS : un logiciel pour modélisation hydrologiques des bassins versants.
- HEC-DSS : une petite application qui sert à importer les données à partir du tableur Excel, ce que facilite la manipulation des longues séries de données hydrométriques.
- HEC-GEORAS : cette application offre la compatibilité entre HEC-RAS et les logiciels de SIG. Elle permet l'importation des sections en travers à partir d'Arc View par exemple vers HEC-RAS, ce qu'élimine la manipulation manuelle, parfois fastidieuse, des sections en travers. Il suffit de tracer les profils en travers sur Arc Gis et les importer dans HEC-RAS. Au même temps, elle permet l'exportation des simulations pour les afficher dans l'Arc Gis reconnu par ses potentialités d'affichage *2D* et *3D*.

4.5.3.4 CONTRAINTES D'UTILISATION DU MODELES HEC-RAS

Malgré la performance prouvée de logiciel HEC RAS et sa convivialité, il présente quelque contraintes qui doivent être prise en considération.

- La non prise en compte des échanges de masse et des échanges turbulents entre le lit mineur et le lit majeur, ces phénomènes sont responsables de pertes de charge très importantes.
- En tant que modèle *1D* il s'avère moins performant quand il s'agit de grandes plaines d'inondation présentant des diffluences et de confluences multiples(caractère *2D*) (CHA-CHOUA, 2009).

4.6 Conclusion

but l'estimation des quantiles des débits et de volume de crue cette analyse est nécessaire pour la conception et l'exploitation des ouvrages de protection contre les inondations (les barrage ,les ponts, les prises d'eau en rivière). Dans ce chapitre une présentation de la méthode statistique avec ces différentes lois de probabilités qui déterminent le débit caractéristique de la crue du bassin versant de l'oued Saida *QIX10* par l'ajustement de la série des débits maxima annuels avec la loi la plus adéquate (la loi de Gumbel). Il nous est apparu utile d'introduire quelques notions essentielles sur le concept de logiciel HEC-RAS.

CHAPITRE 5

CARTOGRAPHIE ALÉA, VULNÉRABILITÉ ET SYNTHÈSE DU RISQUE

5.1 Introduction

5.2 ETAPES DE SIMULATION PAR HEC-RAS

La simulation de l'écoulement d'eau par HEC-RAS passe par les étapes suivantes :

- Création du projet HEC RAS,
- Préparation des données topographiques (création de la géométrie de l'Oued),
- Choix des paramètres hydrométriques et conditions aux limites,
- Simulation hydraulique.

5.2.1 CREATION D'UN NOUVEAU PROJET

Choisir un nom et un titre de projet ainsi que l'emplacement des fichiers .



FIGURE 5.1 – Création de nouveau projet HEC-RAS.

5.2.2 PREPARATION DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES POUR L'HEC RAS

C'est à partir de ce modèle (MNT TIN crée dans l'ArcMap) que sont extraites les données topographiques nécessaires au fonctionnement du logiciel HEC RAS. La démarche se déroulera grâce à l'HECGeoRAS (extension sous Arc Map) qui permet d'automatiser les phases d'exportation -importation entre l'ArcMap et l'HEC RAS.

5.2.3 FORMATION DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN « MNT TIN »

La digitalisation est effectuée grâce à l'Arc Gis puisqu'elle est facile à manipuler dans ce logiciel que les autres logiciels. Tandis que la transformation du type de raster (ligne - point) et la combinaison des données topographiques issues levé du model numerique de Terrain topographique « MNT TIN » de l'Oued Saida. La figure suivante représente cette combinaison des données.

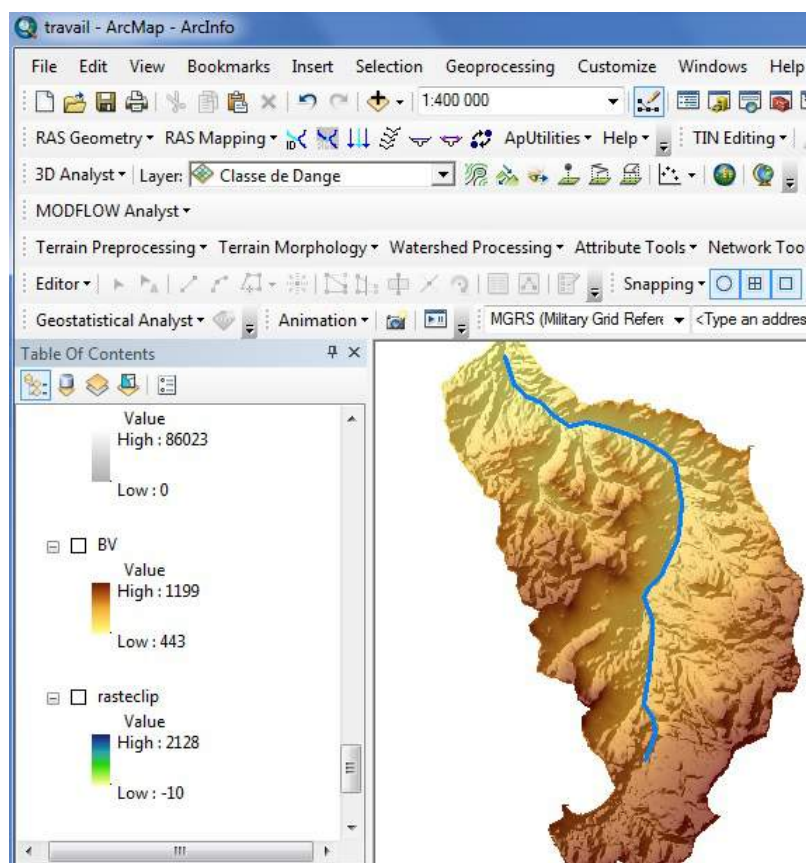


FIGURE 5.2 – Combinaison de données topographiques de résolutions différentes

Suite à cette combinaison, l'étape suivante a été de créer le MNT TIN sous l'Arc Map. Une fois le MNT TIN est créé, on peut facilement former la géométrie pour l'HEC RAS et cela se fera grâce à l'interface HEC GeoRAS qui est une prolongation de GIS d'ArcMap spécifiquement conçue afin de traiter des données géospatiales pour l'usage avec le système HEC RAS. Et du fait que l'HEC GeoRAS exige un MNT représenté par un terrain irrégulier triangulé (TIN), l'Arc Map, la prolongation de l'analyste spatial sont imposées pour employer HEC-GeoRAS. La figure suivante représente la démarche exigée par HEC GeoRas afin de former le dossier de la géométrie pour HEC RAS.

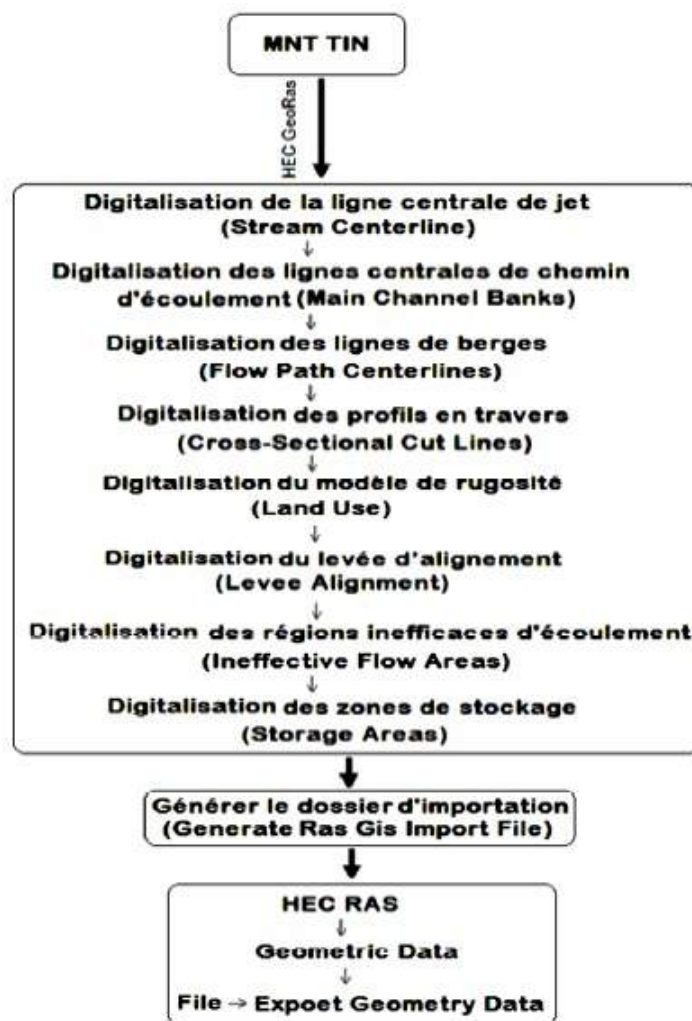


FIGURE 5.3 – Diagramme récapitulant la méthode de préparation du dossier de données topographiques pour le HEC RAS par le HEC GeoRAS

Dans cette démarche, le profil en travers est l'élément géométrique primordial. Il est tracé sur le MNT et doit respecter certaines règles pour qu'il soit représentatif;

- Les profils doivent être perpendiculaires à la direction de l'écoulement des eaux
- Ils ne doivent pas se croiser, recouper toute la plaine d'inondation et décrire le profil en long du cours d'eau (cela n'est pas toujours facile à réaliser dans le cas d'un cours méandrique avec une large plaine d'inondation);
- Ils doivent encadrer les ouvrages structurants du cours d'eau (ponts, seuils...);
- Ils doivent prendre en compte les modifications géomorphologiques des lits mineur et majeur tel que un élargissement, un méandre ou une contraction

La figure suivante représente les principaux thèmes de Ras Geometry créés par l'HEC GeoRAS (preRas) sous l'Arc Map et à l'aide de l'MNT TIN.

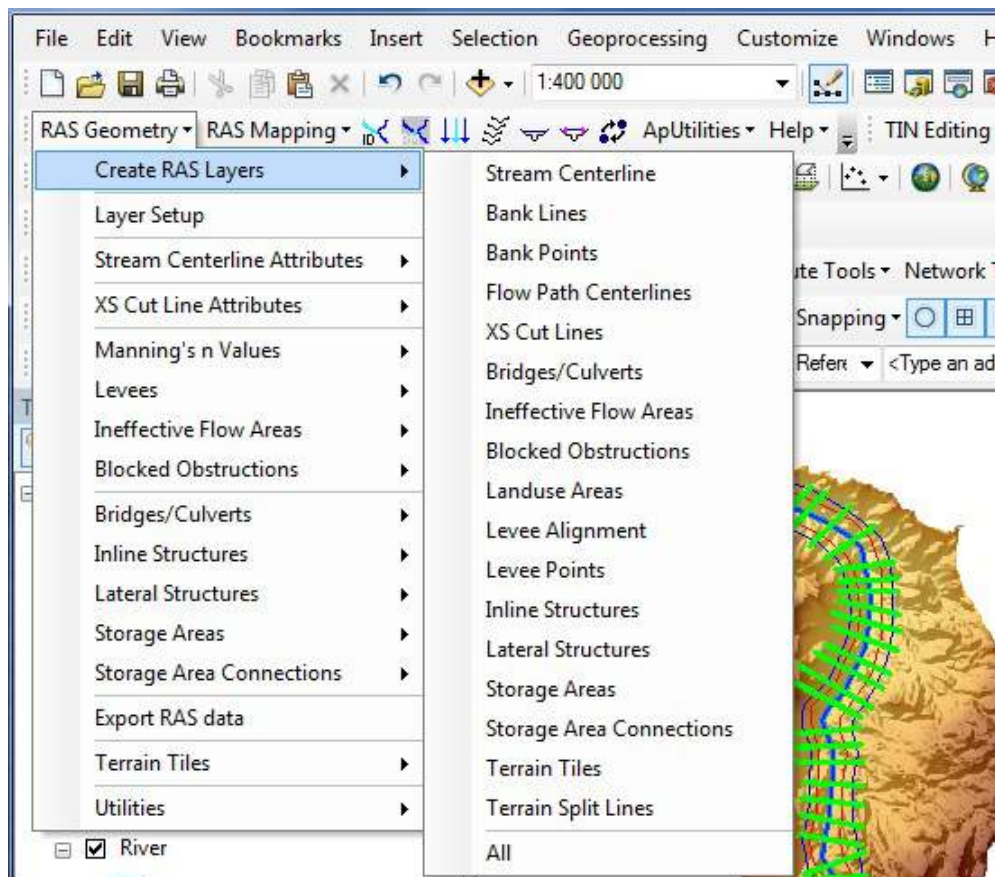


FIGURE 5.4 – Principaux thèmes de Ras créés par HEC GeoRAS (RASGeometry)

Une fois le dossier d'importation est prés, l'HEC RAS l'exporte grâce la commande Geometric Data et fait apparaître la fenêtre de la figure :

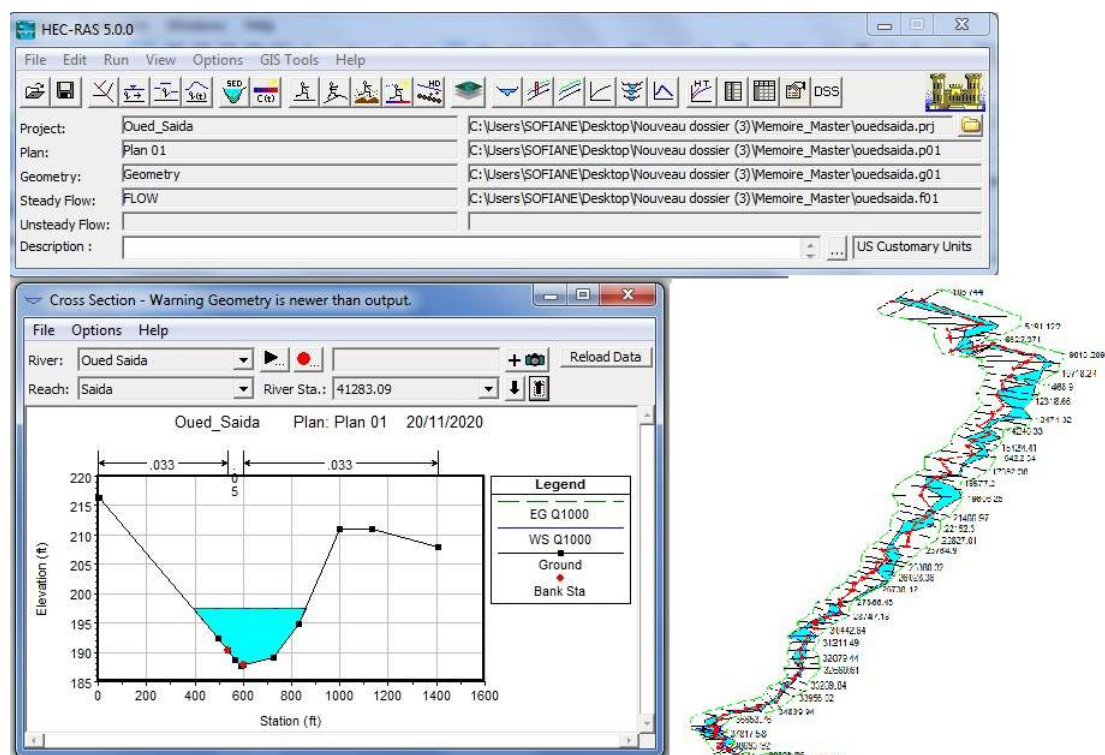


FIGURE 5.5 – La Géométrie de l'Oued Saida dans le logiciel HEC RAS

5.2.4 DONNEES HYDROMETRIQUES ET CONDITIONS AUX LIMITES

Après avoir introduit la géométrie du cours d'eau, l'étape suivante est de spécifier les débits utilisés pour calculer les profils d'écoulement. Pour cela, on a engagé la simulation hydraulique en régime graduellement varié avec les cinq valeurs des débits qui sont obtenus par l'ajustement de la série des débits enregistrés à la station hydrométrique de Saida suivant une loi Gumbel et qui correspondents aux périodes de retours 2,5, 10,20 30, 50, 100, 500 et 1000 ans. De ce fait, dans la fenêtre principale, cliquez sur le bouton Steady Flow Data et utilisez les débits issus de l'étude hydrologique pour calculer les profils d'écoulement correspondants. Pour entrer ces valeurs de débits, indiquez d'abord Number of Profiles. Par la suite, dans le menu Options, allez à Edit Profile Names et indiquez les noms de profils appropriés (Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{500} et Q_{1000}). Les valeurs des débits qui sont entrées aux cases correspondantes sont représentatives de la section amont et sont considérés valides sur tout le tronçon de la rivière.

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates							
River	Reach	RS	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q500	
1 Oued Saida	Saida	41283.09								

FIGURE 5.6 – Fenêtres des données

En cliquant sur le bouton Reach boundary conditions et on définit les conditions aux limites en aval si l'écoulement est fluvial (infracritique), et en amont si l'écoulement est torrentiel (supercritique). Le HEC-RAS offre la possibilité de faire entrer comme conditions aux limites, une hauteur d'eau connue, une profondeur critique, une pente normale du point en amont ou en aval selon le régime d'écoulement ou une courbe d'estimation.

5.2.5 SIMULATION HYDRAULIQUE

Après avoir défini la géométrie, les données hydrométriques et les conditions aux limites nécessaires à la simulation et après avoir enregistré les fichiers correspondants, on peut passer à la simulation hydraulique en utilisant le bouton Perform a steady flow simulation pour le régime permanent, ou le bouton Perform Unsteady flow simulation pour le régime non permanent. Dans notre cas on obtient la fenêtre suivante :

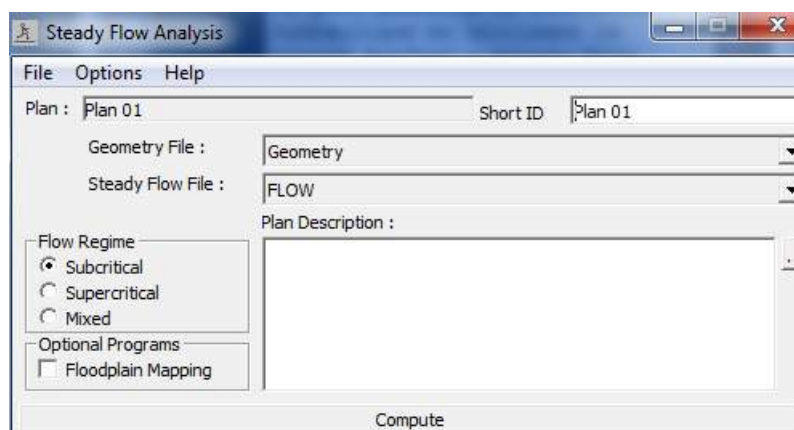


FIGURE 5.7 – Fenêtres de simulation

Cochez le régime adéquat (fluviale pour notre cas). Puis cliquez sur la barre compute (calculez) ; si l'opération se déroulera normalement, la simulation s'enregistrera automatiquement, dans le cas échéant vous aurez des erreurs relatives généralement aux mauvaises manipulations ou au un choix erroné des conditions aux limites, corrigez ces erreurs et refaites le calcul. Les résultats obtenus sont affichés sous forme graphique ou sous forme de tableau détaillé.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (cfs)	Min Ch El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)	Top Width (ft)	Froude # Chl
Saida	41283.09	Q2	172.84	187.70	196.55		196.55	0.000000	0.06	2382.82	438.79	0.00
Saida	41283.09	Q5	287.07	187.70	196.80		196.80	0.000001	0.10	2494.70	446.66	0.01
Saida	41283.09	Q10	362.71	187.70	196.94		196.94	0.000001	0.12	2554.31	450.79	0.01
Saida	41283.09	Q20	435.26	187.70	197.05		197.05	0.000001	0.15	2605.88	454.34	0.01
Saida	41283.09	Q50	529.17	187.70	197.18		197.18	0.000002	0.17	2665.39	458.40	0.01
Saida	41283.09	Q100	599.54	187.70	197.27		197.27	0.000002	0.19	2707.12	461.23	0.01
Saida	41283.09	Q500	762.16	187.70	197.46		197.46	0.000004	0.24	2793.93	467.05	0.01
Saida	41283.09	Q1000	832.07	187.70	197.53		197.53	0.000004	0.26	2828.67	469.36	0.02

FIGURE 5.8 – Résultats de simulation sous forme d'un tableau détaillé

5.3 Résultats et discussion

Pour réaliser la carte de la vulnérabilité aux inondations, nous nous sommes basés sur le modèle numérique du terrain (MNT) de la zone d'étude. L'utilisation du MNT dans le logiciel Arc Gis a permis de produire les courbes de niveaux et le réseau hydrographique. A partir de ces derniers nous avons tracé oued Saida en utilisant l'outil HEC-GeoRAS dans le logiciel Arc Gis. Après avoir tracé oued sur le logiciel Arc Gis, nous avons utilisé le logiciel HEC-RAS pour faire la simulation numérique de la crue. On a choisi les débits des crues de période de retour (2, 5, 10, 50, 100 et 500 ans, 1000 ans) . Le logiciel HEC-RAS est un logiciel de simulation de l'hydraulique dans les rivières et canaux. Il permet d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière.

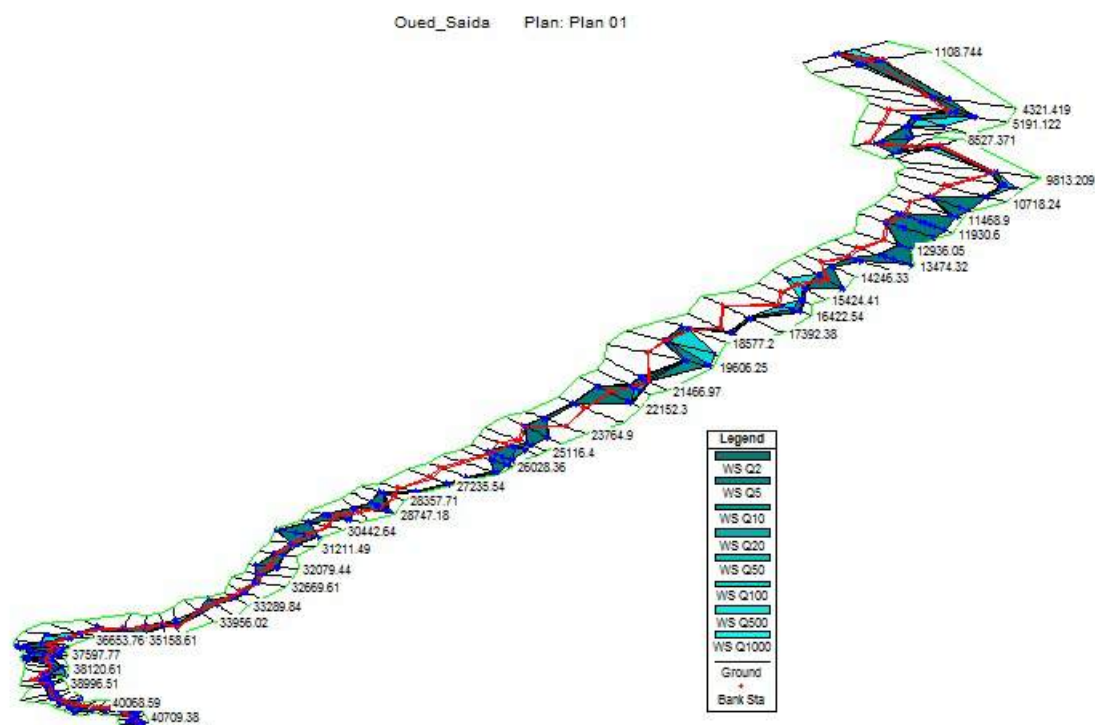


FIGURE 5.9 – Résultats de simulation en 3D

5.4 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION

Quand la simulation est effectuée, on peut, grâce à l'HEC GeoRas (Ras Géometry), exporter les résultats de simulation vers l'Arc Map afin de délimiter les zones inondables. La figure suivante représente la délimitation finale de la zone inondable après exportation du dossier de simulation.

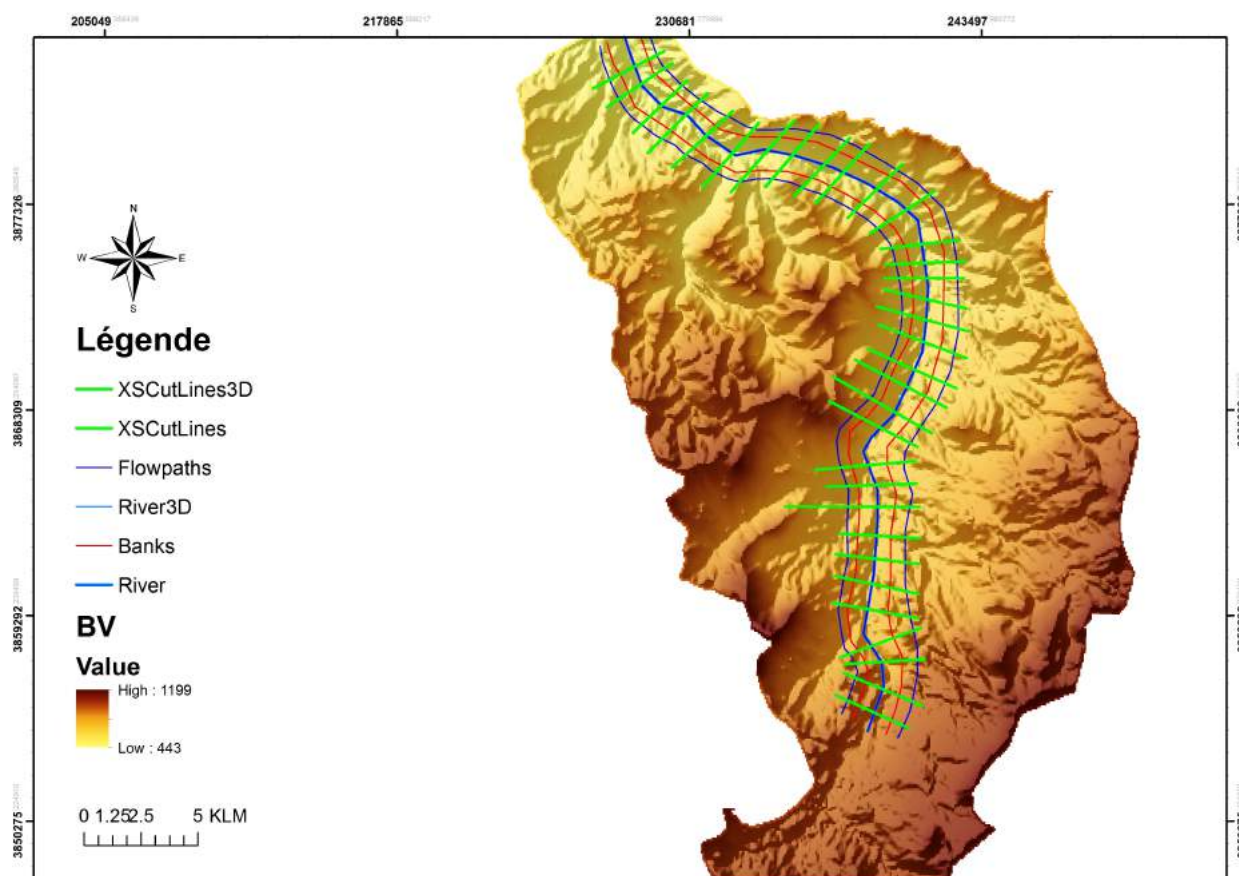


FIGURE 5.10 – Traçage des tronçons dans l'outil HEC-GeoRAS

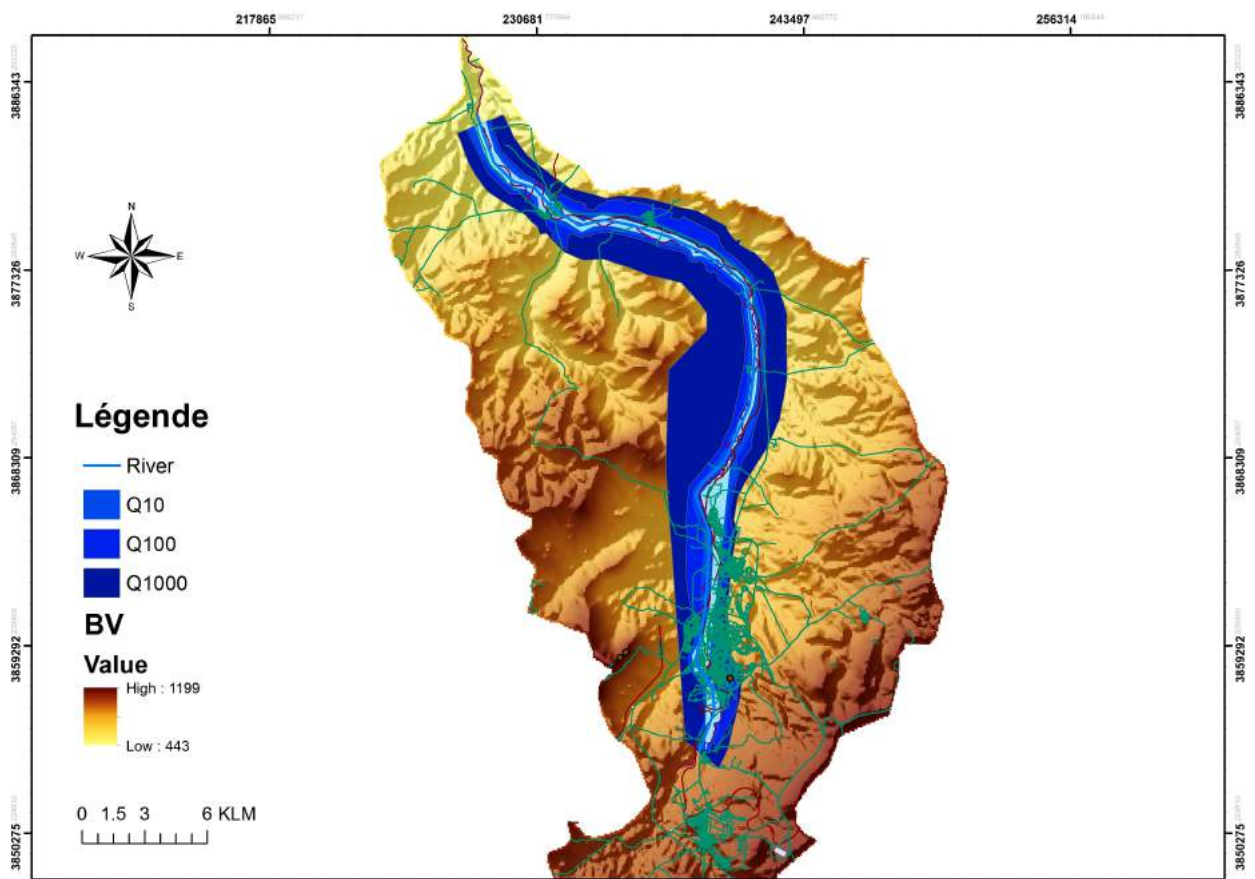


FIGURE 5.11 – Carte Aléa

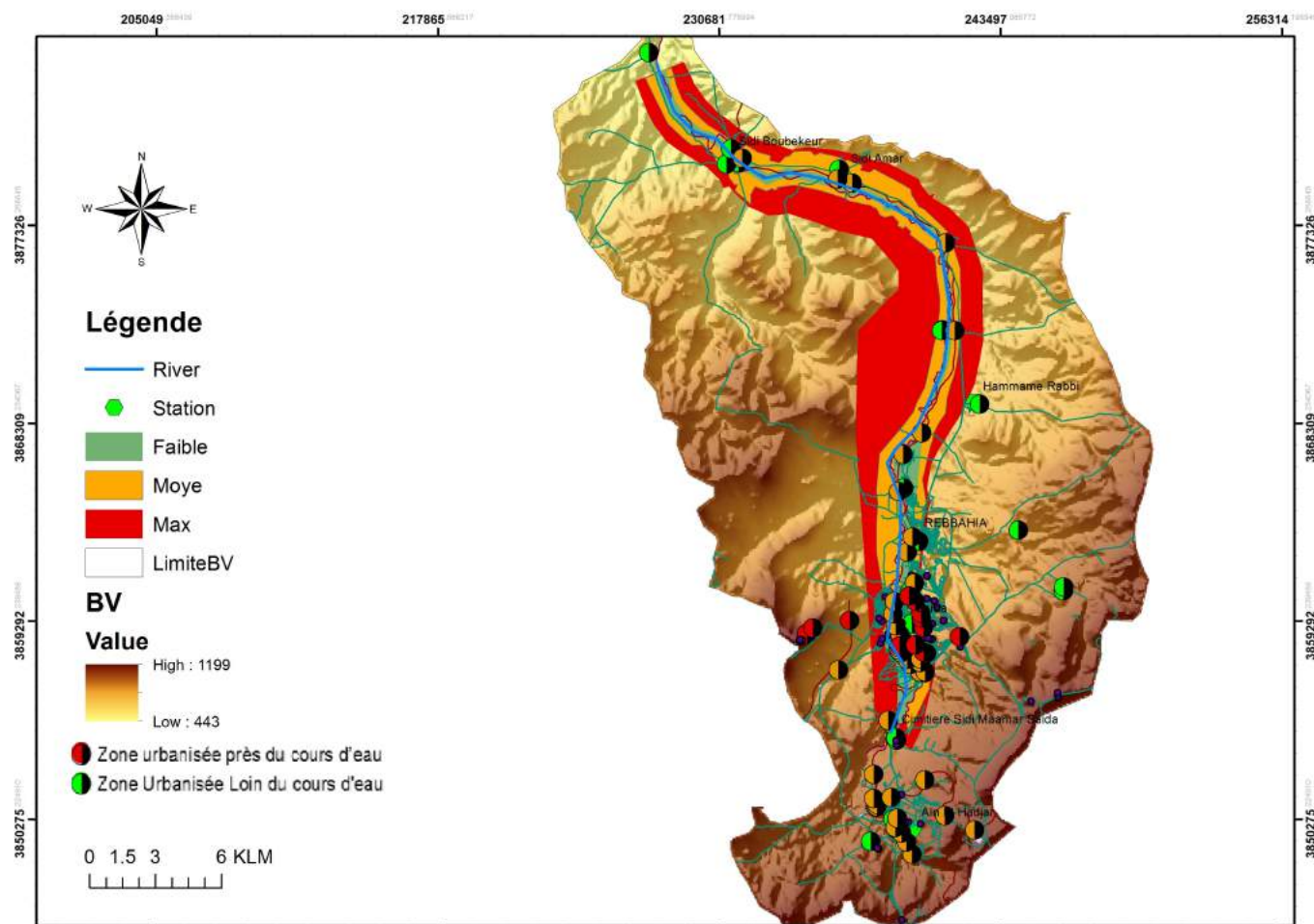


FIGURE 5.12 – Carte Vulnérabilité du risque d'inondation

5.5 Conclusion

Dans ce sens, notre travail représenté par la cartographie du risque d'inondation par approche de modélisation hydraulique dans l'oued Saïda, propose aux décideurs qui ne sont pas toujours spécialistes une vision claire et simple afin de comparer les différents projets et scénarios d'aménagement susceptibles à être réalisés et fournit un document de base aux autres planificateurs. Par conséquent, il met en oeuvre une méthodologie consistante et validée de gestion intégré du risque inondation.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans ce sens, on a essayé de développer une méthodologie de cartographie à partir de laquelle on enveloppe le premier volet du risque qui est l'aléa ; c'est la cartographie de l'aléa inondation par approche de modélisation hydraulique. Pour faire face, la carte de vulnérabilité est nécessaire pour protéger la région. L'étude hydrologique a permis de calculer les débits des crues de l'Oued Saida, il a été appliqué dans la détermination de l'étendue des zones inondables. L'utilisation des logiciels Arc Gis et HEC-RAC a permis de réaliser la carte de vulnérabilité aux inondations. Tous ces résultats conduisent à déterminer une zone de danger correspondante, qui peut être cartographiée. Bien que, la vulnérabilité peut être cartographiée à travers une étude de l'enquête socio-économique. La superposition des deux cartes, conduit à l'établissement de la carte des risques. Les résultats scientifiques et techniques ainsi obtenus confirment que des méthodes opérationnelles et novatrices peuvent offrir une gestion plus intégrée de l'eau, capable de concilier les objectifs de réduction des dommages causés par les inondations sans sacrifier les ressources en eau et les valeurs environnementales associées. La méthodologie utilisée recommande en fait une négociation factuelle à travers les problèmes d'inondation du bassin hydrographique. Cette étape est nécessaire pour fournir des solutions de conception acceptables par tous les acteurs impliqués, en ce qui concerne l'importance du bassin versant.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ABDOULAYE B, 2009 : (Conception et mise en œuvre d'un SIG pour le suivi des investissements publics au Cameroun), Mémoire de Fin D'Études, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé.
2. BACHI M ,2011 : (PROBLEMATIQUE DU RISQUE INONDATION EN MILIEU URBAIN ; CAS DE L'AGGLOMERATION DE SIDI BEL ABBES), Mémoire de Magistère, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen.
3. BLIN.P et LECLERC.M ,SECRETAN.Y et MORSE.B ,2005 : (Cartographie du risque unitaire d'endommagement (CRUE) par inondations pour les résidences unifamiliales du Québec), Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science,
4. CHACHOUA A, 2010 (GESTION DE CRUE DANS UN BASSIN VERSANT Etude hydrologique, hydraulique et aménagement), Mémoire de Magister, Université Abou BekrBelkaïd – Tlemcen.
5. IDRISSI A, 2017 (MODÉLISATION ET SIMULATION NUMÉRIQUE D'ÉCOULEMENT D'EAU À SURFACE LIBRE AVEC HEC-RAS CAS D'OUED DE SAIDA), mémoire de Master, Université Dr Moulay Taher –Saida.
6. JACOD A et SOLTERMANN Y, 2015 (UTILISATION DU SIG POUR UNE ANALYSE DE LA VULNERABILITE AU RISQUE INONDATION), Actes de la Conférence francophone Esri-France.
7. HOSACHE R, 2006 :(Analyse d'images satellitaires d'inondations pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique), Thèse de doctorat, École Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts – Montpellier-
8. Kellouche A, 2009 : Pilotage de MapInfo par Delphi, (*www.developpez.com*).
9. KOUBA Y, 2018 :(Cours de Système d'information géographique), Cours, Université LARBI BEN M'HIDI -OEB- Algérie

10. MADI R, 2014 : (CONTRIBUTION A L'ETUDE DES CRUES POUR UNE GESTION DU RISQUE AUX INONDATIONS), Mémoire de Master, École Nationale Supérieure D'Hydraulique -ARBAOUI Abdellah - Blida-.
11. SGHARA N, 2013(Protection de la ville de Béni- Ounif (Béchar) contre les inondations : Application de logiciels HEC-HMS et HEC-RAS) Mémoire de Magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran-Mohamed BOUDIAF.
12. TANGUY M, 2012 (CARTOGRAPHIE DU RISQUE D'INONDATION EN MILIEU URBAIN ADAPTÉE À LA GESTION DE CRISE ANALYSE PRÉLIMINAIRE) Rapport de recherche, Institut national de la recherche scientifique-Québec.
13. TATSO P, 2011 : (Intégration d'un observatoire urbain sur Google Maps), Mémoire Master, Université de Douala -Est Marne La Vallée-Paris.
14. TCHIOFFO KODJO G, 2008 :(Conception et réalisation d'une application de webmapping d'analyse territoriale sur des SIG et bases de données open source : cas du territoire camerounais), Mémoire de Fin D'Études, Complexe Universitaire SIANTOU Yaoundé-Paris-
15. US Army Corps of Engineers (2016) : (HEC-RAS River Analysis System : User's Manual), Manuel d'Utilisation de HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center.

ANNEXES

Table – I : Deux séries des débits MAX enregistrées aux stations Saida et Sidi Boubkeur

Station Saida				Station Sidi Boubkeur	
Année	QIX	Année	QIX	Année	QIX
1980	0.34	2002	0.03	1989	0.22
1981	0.21	2003	0.08	1990	0.2
1982	0.19	2004	0.02	1991	0.62
1983	0.08	2005	0.07	1992	0.56
1984	0.14	2006	0.06	1993	0.72
1985	0.18	2007	0.2	1994	0.78
1986	0.16	2008	0.1	1995	4.2
1987	0.13	2009	0.06	1996	0.57
1988	0.08			1997	0.42
1989	0.12			1998	0.26
1990	0.07			1999	0.72
1991	0.07			2000	0.51
1992	0.11			2001	0.44
1993	0.07			2002	2.64
1994	0.09			2003	1.04
1995	0.07			2004	0.82
1996	0.05			2005	0.45
1997	0.06			2006	1.25
1998	0.04			2007	2.39
1999	0.08			2008	4.01
2000	0.05			2009	0.5
2001	0.04			2010	0.47

ANNEXES

Table II : Ajustement suivant la loi Normale

Moyenne= 0.1016667					Taille n= 30		I.C. à (en%)= 95	
Ecart- type= 0.0682836					Nb au départ (31)		U Gauss= 1.960	
Observations Année	Valeurs QIX	Ordre de Classement	Fréquence Expérimentale	Variable Réduite	Valeur Expérimentale	Valeur Théorique	Borne Inférieure	Borne Supérieure
2004	0.02	1	0.0167	-2.128	0.02	-0.0436	-0.1008	-0.00642
2002	0.03	2	0.0500	-1.645	0.03	-0.0106	-0.0584	0.021711
1998	0.04	3	0.0833	-1.383	0.04	0.00723	-0.0357	0.037285
2001	0.04	4	0.1167	-1.192	0.04	0.02029	-0.0194	0.048858
1996	0.05	5	0.1500	-1.036	0.05	0.0309	-0.0063	0.05842
2000	0.05	6	0.1833	-0.903	0.05	0.04002	0.00484	0.066779
1997	0.06	7	0.2167	-0.784	0.06	0.04817	0.01466	0.074351
2006	0.06	8	0.2500	-0.674	0.06	0.05561	0.02354	0.081383
2009	0.06	9	0.2833	-0.573	0.06	0.06254	0.0317	0.088033
1990	0.07	10	0.3167	-0.477	0.07	0.06909	0.03931	0.094416
1991	0.07	11	0.3500	-0.385	0.07	0.07536	0.0465	0.100613
1993	0.07	12	0.3833	-0.297	0.07	0.0814	0.05334	0.106693
1995	0.07	13	0.4167	-0.210	0.07	0.0873	0.05992	0.112708
2005	0.07	14	0.4500	-0.126	0.07	0.09309	0.06629	0.118708
1983	0.08	15	0.4833	-0.042	0.08	0.09881	0.0725	0.124735
1988	0.08	16	0.5167	0.042	0.08	0.10452	0.0786	0.130833
1999	0.08	17	0.5500	0.126	0.08	0.11025	0.08463	0.137043
2003	0.08	18	0.5833	0.210	0.08	0.11604	0.09063	0.143412
1994	0.09	19	0.6167	0.297	0.09	0.12193	0.09664	0.149989
2008	0.1	20	0.6500	0.385	0.1	0.12798	0.10272	0.156835
1992	0.11	21	0.6833	0.477	0.11	0.13424	0.10892	0.16402
1989	0.12	22	0.7167	0.573	0.12	0.14079	0.1153	0.171634
1987	0.13	23	0.7500	0.674	0.13	0.14772	0.12195	0.179797
1984	0.14	24	0.7833	0.784	0.14	0.15517	0.12898	0.188671
1986	0.16	25	0.8167	0.903	0.16	0.16331	0.13655	0.198496
1985	0.18	26	0.8500	1.036	0.18	0.17244	0.14491	0.209645
1982	0.19	27	0.8833	1.192	0.19	0.18305	0.15447	0.222755
2007	0.2	28	0.9167	1.383	0.2	0.1961	0.16605	0.239076
1981	0.21	29	0.9500	1.645	0.21	0.21398	0.18162	0.261709
1980	0.34	30	0.9833	2.128	0.34	0.24698	0.20975	0.304083
Fréquence	Variable Réduite	Valeur Théorique	Borne Inférieure	Borne Supérieure	Valeur	Fréquence	Période de Retour	
0.5	0.000	0.1016667	0.075561	0.127773	0.10167	0.500	2.0	
0.8	0.842	0.1591356	0.132688	0.193446	0.15914	0.800	5.0	
0.95	1.645	0.2139831	0.181623	0.261709	0.18918	0.900	10.0	
0.98	2.054	0.2419039	0.205466	0.297527	0.21398	0.950	20.0	
0.99	2.326	0.260518	0.221128	0.32164	0.2419	0.980	50.0	
0.998	2.878	0.2981978	0.252444	0.370838	0.26052	0.990	100.0	
0.999	3.090	0.3126787	0.264378	0.389847	0.31268	0.999	1000.0	

ANNEXES

Borne xo= 0.02 Gradex= 0.0816667					Taille n= 30 Nb au départ (31)		I.C. à (en%)= 95 U Gauss= 1.960	
Observations Année	Valeurs QIX	Ordre de Classement	Fréquence Expérimentale	Période de Retour	Valeur Expérimentale	Valeur Théorique	Borne Inférieure	Borne Supérieure
2004	0.02	1	0.0167	1.017	0.02	0.021373	0.020881418	0.02186374
2002	0.03	2	0.0500	1.053	0.03	0.024189	0.022689983	0.02568792
1998	0.04	3	0.0833	1.091	0.04	0.027106	0.024563152	0.02964871
2001	0.04	4	0.1167	1.132	0.04	0.030131	0.026505713	0.03375622
1996	0.05	5	0.1500	1.176	0.05	0.033272	0.028523007	0.03802175
2000	0.05	6	0.1833	1.224	0.05	0.036539	0.030621013	0.04245795
1997	0.06	7	0.2167	1.277	0.06	0.039943	0.032806461	0.04707904
2006	0.06	8	0.2500	1.333	0.06	0.043494	0.035086958	0.05190111
2009	0.06	9	0.2833	1.395	0.06	0.047207	0.037471148	0.05694244
1990	0.07	10	0.3167	1.463	0.07	0.051096	0.039968914	0.06222393
1991	0.07	11	0.3500	1.538	0.07	0.055181	0.042591618	0.06776959
1993	0.07	12	0.3833	1.622	0.07	0.05948	0.045352422	0.07360726
1995	0.07	13	0.4167	1.714	0.07	0.064018	0.048266681	0.07976941
2005	0.07	14	0.4500	1.818	0.07	0.068823	0.051352463	0.08629425
1983	0.08	15	0.4833	1.935	0.08	0.073929	0.054631228	0.09322714
1988	0.08	16	0.5167	2.069	0.08	0.079376	0.058128735	0.10062256
1999	0.08	17	0.5500	2.222	0.08	0.085211	0.061876269	0.10854665
2003	0.08	18	0.5833	2.400	0.08	0.091497	0.065912349	0.11708088
1994	0.09	19	0.6167	2.609	0.09	0.098306	0.070285144	0.12632708
2008	0.1	20	0.6500	2.857	0.1	0.105735	0.075055992	0.13641495
1992	0.11	21	0.6833	3.158	0.11	0.113909	0.080304685	0.14751323
1989	0.12	22	0.7167	3.529	0.12	0.122992	0.086137709	0.15984706
1987	0.13	23	0.7500	4.000	0.13	0.133214	0.09270166	0.17372642
1984	0.14	24	0.7833	4.615	0.14	0.144901	0.100206321	0.1895949
1986	0.16	25	0.8167	5.455	0.16	0.158543	0.108967165	0.20811955
1985	0.18	26	0.8500	6.667	0.18	0.174931	0.119490971	0.23037196
1982	0.19	27	0.8833	8.571	0.19	0.195455	0.132670695	0.25824026
2007	0.2	28	0.9167	12.000	0.2	0.222934	0.150316363	0.29555172
1981	0.21	29	0.9500	20.000	0.21	0.264651	0.177105674	0.35219726
1980	0.34	30	0.9833	60.000	0.34	0.354371	0.234720376	0.47402257
		Lac.						
Fréquence	Période de Retour	Valeur Théorique	Borne Inférieure	Borne Supérieure		Valeur	Fréquence	Période de Retour
0.5	2.000	0.076607	0.05635083	0.096863209		0.076607	0.50	2.0
0.8	5.000	0.1514374	0.104404014	0.198470845		0.151437	0.80	5.0
0.9	10.000	0.2080444	0.140754844	0.275334055		0.208004	0.90	10.0
0.95	20.000	0.2646515	0.177105674	0.352197264		0.264652	0.95	20.0
0.98	50.000	0.3394819	0.225158857	0.4538049		0.339482	0.98	50.0
0.99	100.000	0.3960889	0.261509688	0.530668109		0.396089	0.99	100.0
0.998	500.000	0.5275263	0.345913701	0.709138955		0.527526	1.00	500.0
0.999	1000.000	0.5841333	0.382264531	0.786002164		0.584133	1.00	1000.0

Table III : Ajustement suivant la Loi Exponentielle

Table IV : Ajustement suivant la loi Galton

Moyenne de
 $\ln(x-x_0) = -2.47$
 Ecart-type de
 $\ln(x-x_0) = 0.62$

Seuil $x_0 = 0$

Taille $n = 30$

I.C. à (en%)
 = 95

Nb au départ (31)

U Gauss = 1.960

Observations Année	Valeurs QIX	Ordre de Classement	Fréquence Expérimentale	Variable Réduite	Valeur Expérimentale	Valeur Théorique	Borne Inférieure	Borne Supérieure
2004	0.02	1	0.0167	-2.128	0.02	0.0225134	0.01339772	0.03157776
2002	0.03	2	0.0500	-1.645	0.03	0.0303861	0.019692014	0.04077621
1998	0.04	3	0.0833	-1.383	0.04	0.0357481	0.024189485	0.04697678
2001	0.04	4	0.1167	-1.192	0.04	0.0402514	0.028057576	0.05218732
1996	0.05	5	0.1500	-1.036	0.05	0.0443262	0.031608021	0.05692559
2000	0.05	6	0.1833	-0.903	0.05	0.0481611	0.034978699	0.06141893
1997	0.06	7	0.2167	-0.784	0.06	0.0518601	0.038245976	0.0657947
2006	0.06	8	0.2500	-0.674	0.06	0.05549	0.041458604	0.07013657
2009	0.06	9	0.2833	-0.573	0.06	0.0590987	0.044651216	0.07450676
1990	0.07	10	0.3167	-0.477	0.07	0.0627239	0.047850719	0.07895649
1991	0.07	11	0.3500	-0.385	0.07	0.0663979	0.051079755	0.0835318
1993	0.07	12	0.3833	-0.297	0.07	0.0701504	0.054358811	0.08827712
1995	0.07	13	0.4167	-0.210	0.07	0.0740104	0.05770767	0.09323797
2005	0.07	14	0.4500	-0.126	0.07	0.0780081	0.061146554	0.09846328
1983	0.08	15	0.4833	-0.042	0.08	0.0821762	0.064697163	0.1040077
1988	0.08	16	0.5167	0.042	0.08	0.0865511	0.068383759	0.10993431
1999	0.08	17	0.5500	0.126	0.08	0.0911756	0.072234421	0.11631789
2003	0.08	18	0.5833	0.210	0.08	0.0961005	0.076282635	0.12324944
1994	0.09	19	0.6167	0.297	0.09	0.1013885	0.08056944	0.13084241
2008	0.1	20	0.6500	0.385	0.1	0.1071184	0.085146468	0.13924182
1992	0.11	21	0.6833	0.477	0.11	0.1133927	0.090080467	0.14863806
1989	0.12	22	0.7167	0.573	0.12	0.1203484	0.095460305	0.15928878
1987	0.13	23	0.7500	0.674	0.13	0.128175	0.101408403	0.17155517
1984	0.14	24	0.7833	0.784	0.14	0.1371466	0.108100465	0.18596565
1986	0.16	25	0.8167	0.903	0.16	0.1476801	0.115802041	0.20333626
1985	0.18	26	0.8500	1.036	0.18	0.1604566	0.124942726	0.22502003
1982	0.19	27	0.8833	1.192	0.19	0.1767005	0.136286709	0.25349438
2007	0.2	28	0.9167	1.383	0.2	0.1989599	0.151403253	0.29403015
1981	0.21	29	0.9500	1.645	0.21	0.2340692	0.174426158	0.36118387
1980	0.34	30	0.9833	2.128	0.34	0.3159207	0.225235677	0.53086929
		Lac.						
Fréquence	Variable Réduite	Valeur Théorique	Borne Inférieure	Borne Supérieure		Valeur	Fréquence	Période de Retour
0.5	0.000	0.084335	0.0665218	0.1069189		0.0843353	0.500	2.0
0.8	0.842	0.142184	0.1118033	0.1942133		0.142184	0.800	5.0
0.9	1.282	0.18682	0.1432157	0.2717143		0.18682	0.900	10.0
0.95	1.645	0.234069	0.1744262	0.3611839		0.234069	0.950	20.0
0.98	2.054	0.301685	0.2166339	0.5001599		0.301685	0.980	50.0
0.99	2.326	0.357294	0.2497734	0.622712		0.357295	0.990	100.0
0.998	2.878	0.503218	0.3320145	0.9738292		0.503218	0.998	500.0
0.999	3.090	0.574004	0.3700528	1.1574815		0.574004	0.999	1000.0

Table IV : Ajustement suivant la loi Gumbel

Mode= 0.07093497 Gradex= 0.05326117					Taille n= 30 Nb au départ (31)		I.C. à (en%)= 95 U Gauss= 1.960	
Observations Année	Valeurs QIX	Ordre de Classement	Fréquence Expérimentale	Variable Réduite	Valeur Expérimentale	Valeur Théorique	Borne Inférieure	Borne Supérieure
2004	0.02	1	0.0167	-1.410	0.02	-0.00414	-0.05486336	0.02343899
2002	0.03	2	0.0500	-1.097	0.03	0.012497	-0.03003169	0.03734921
1998	0.04	3	0.0833	-0.910	0.04	0.022455	-0.01553405	0.04603505
2001	0.04	4	0.1167	-0.765	0.04	0.030204	-0.00450556	0.05304898
1996	0.05	5	0.1500	-0.640	0.05	0.03683	0.004706336	0.05926381
2000	0.05	6	0.1833	-0.529	0.05	0.042784	0.012783311	0.06505072
1997	0.06	7	0.2167	-0.425	0.06	0.048306	0.020078327	0.07061085
2006	0.06	8	0.2500	-0.327	0.06	0.053538	0.026800399	0.07607095
2009	0.06	9	0.2833	-0.232	0.06	0.058578	0.033085551	0.08151994
1990	0.07	10	0.3167	-0.140	0.07	0.063495	0.039029291	0.08702564
1991	0.07	11	0.3500	-0.049	0.07	0.068345	0.04470343	0.09264343
1993	0.07	12	0.3833	0.042	0.07	0.073173	0.050165598	0.09842134
1995	0.07	13	0.4167	0.133	0.07	0.078018	0.055465025	0.10440349
2005	0.07	14	0.4500	0.225	0.07	0.082919	0.060646272	0.11063269
1983	0.08	15	0.4833	0.319	0.08	0.087913	0.065751794	0.11715292
1988	0.08	16	0.5167	0.415	0.08	0.093037	0.070823885	0.12401179
1999	0.08	17	0.5500	0.514	0.08	0.098334	0.07590637	0.13126338
2003	0.08	18	0.5833	0.618	0.08	0.103853	0.081046351	0.1389716
1994	0.09	19	0.6167	0.727	0.09	0.109648	0.08629632	0.14721473
2008	0.1	20	0.6500	0.842	0.1	0.115789	0.091716997	0.15609143
1992	0.11	21	0.6833	0.966	0.11	0.122361	0.097381453	0.16572966
1989	0.12	22	0.7167	1.099	0.12	0.129479	0.103381421	0.17630019
1987	0.13	23	0.7500	1.246	0.13	0.137293	0.109837482	0.1880384
1984	0.14	24	0.7833	1.410	0.14	0.146022	0.116916485	0.2012817
1986	0.16	25	0.8167	1.597	0.16	0.155988	0.124863505	0.21653822
1985	0.18	26	0.8500	1.817	0.18	0.167708	0.134066058	0.23462521
1982	0.19	27	0.8833	2.087	0.19	0.182094	0.145200017	0.25698399
2007	0.2	28	0.9167	2.442	0.2	0.200984	0.159626609	0.28653847
1981	0.21	29	0.9500	2.970	0.21	0.229131	0.180849212	0.33085073
1980	0.34	30	0.9833	4.086	0.34	0.288558	0.225052712	0.42500852
		Lac.						
Fréquence	Variable Réduite	Valeur Théorique	Borne Inférieure	Borne Supérieure		Valeur	Fréquence	Période de Retour
0.5	0.367	0.09045588	0.068289335	0.120536834		0.090456	0.500	2.0
0.8	1.500	0.15082353	0.120761724	0.208616873		0.150824	0.800	5.0
0.9	2.250	0.19079217	0.151866352	0.270570182		0.190792	0.900	10.0
0.95	2.970	0.22913105	0.180849212	0.330850729		0.229131	0.950	20.0
0.98	3.902	0.2787568	0.217799764	0.409442502		0.278757	0.980	50.0
0.99	4.600	0.31594431	0.245267551	0.468557428		0.315944	0.990	100.0
0.998	6.214	0.40187897	0.308375318	0.605529094		0.401879	0.998	500.0
0.999	6.907	0.43882347	0.335414792	0.66450652		0.438823	0.999	1000.0

ANNEXES

Table V : Tableau de distribution de χ^2 qui donne la valeur de χ^2 Tabulé en fonction de l'erreur et du nombre de degrés de liberté.

v/P	0,010	0,025	0,050	0,100	0,250	0,500	0,750	0,900	0,950	0,975	0,990
1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	0,102	0,455	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63
2	0,0201	0,0506	0,103	0,211	0,575	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21
3	0,115	0,216	0,352	0,584	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,3
4	0,297	0,484	0,711	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,1	13,3
5	0,554	0,831	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,1	12,8	15,1
6	0,872	1,24	1,64	2,20	3,45	5,35	7,84	10,6	12,6	14,4	16,8
7	1,24	1,69	2,17	2,83	4,25	6,35	9,04	12,0	14,1	16,0	18,5
8	1,65	2,18	2,73	3,49	5,07	7,34	10,2	13,4	15,5	17,5	20,1
9	2,09	2,70	3,33	4,17	5,90	8,34	11,4	14,7	16,9	19,0	21,7
10	2,56	3,25	3,94	4,87	6,74	9,34	12,5	16,0	18,3	20,5	23,2
11	3,05	3,82	4,57	5,58	7,58	10,3	13,7	17,3	19,7	21,9	24,7
12	3,57	4,40	5,23	6,30	8,44	11,3	14,8	18,5	21,0	23,3	26,2
13	4,11	5,01	5,89	7,04	9,30	12,3	16,0	19,8	22,4	24,7	27,7
14	4,66	5,63	6,57	7,79	10,2	13,3	17,1	21,1	23,7	26,1	29,1
15	5,23	6,26	7,26	8,55	11,0	14,3	18,2	22,3	25,0	27,5	30,6
16	5,81	6,91	7,96	9,31	11,9	15,3	19,4	23,5	26,3	28,8	32,0
17	6,41	7,56	8,67	10,1	12,8	16,3	20,5	24,8	27,6	30,2	33,4
18	7,01	8,23	9,39	10,9	13,7	17,3	21,6	26,0	28,9	31,5	34,8
19	7,63	8,91	10,1	11,7	14,6	18,3	22,7	27,2	30,1	32,9	36,2
20	8,26	9,59	10,9	12,4	15,5	19,3	23,8	28,4	31,4	34,2	37,6
21	8,90	10,3	11,6	13,2	16,3	20,3	24,9	29,6	32,7	35,5	38,9
22	9,54	11,0	12,3	14,0	17,2	21,3	26,0	30,8	33,9	36,8	40,3
23	10,2	11,7	13,1	14,8	18,1	22,3	27,1	32,0	35,2	38,1	41,6
24	10,9	12,4	13,8	15,7	19,0	23,3	28,2	33,2	36,4	39,4	43,0
25	11,5	13,1	14,6	16,5	19,9	24,3	29,3	34,4	37,7	40,6	44,3
26	12,2	13,8	15,4	17,3	20,8	25,3	30,4	35,6	38,9	41,9	45,6
27	12,9	14,6	16,2	18,1	21,7	26,3	31,5	36,7	40,1	43,2	47,0
28	13,6	15,3	16,9	18,9	22,7	27,3	32,6	37,9	41,3	44,5	48,3
29	14,3	16,0	17,7	19,8	23,6	28,3	33,7	39,1	42,6	45,7	49,6
30	15,0	16,8	18,5	20,6	24,5	29,3	34,8	40,3	43,8	47,0	50,9
40	22,2	24,4	26,5	29,1	33,7	39,3	45,6	51,8	55,8	59,3	63,7
50	29,7	32,4	34,8	37,7	42,9	49,3	56,3	63,2	67,5	71,4	76,2
60	37,5	40,5	43,2	46,5	52,3	59,3	67,0	74,4	79,1	83,3	88,4
70	45,4	48,8	51,7	55,3	61,7	69,3	77,6	85,5	90,5	95	100
80	53,5	57,2	60,4	64,3	71,1	79,3	88,1	96,6	102	107	112
90	61,8	65,6	69,1	73,3	80,6	89,3	98,6	108	113	118	124
100	70,1	74,2	77,9	82,4	90,1	99,3	109	118	124	130	136

ANNEXES

Table VI : Tableau de Gauss qui donne la fréquence au non-dépassement de u

u	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0.1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0.2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0.3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0.4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0.5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0.6	0,7257	0,7290	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0.7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0.8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0.9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8483	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1.1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1.2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9013
1.3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1.4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1.5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1.6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1.7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1.8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9662	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1.9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9779	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2.1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2.2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2.3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2.4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2.5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2.6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2.7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2.8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2.9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3.1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3.2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3.3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3.4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998