

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT



كلية التكنولوجيا
FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Hydraulique
Option : Ressources en Eau

Mémoire de MASTER

Présenté Par:
KALBAZA Mourad

THEME

**Prévention Et Gestion Du Risque Des Zones Inondable De La Ville De
Ghardaïa A L'aide D'un Système D'information Géographique (S.I.G)**

Soutenu publiquement devant le jury composé de:

Pr. DJEHEICHE A.

Président

Mme. BOULAGHMEN F.

Rapporteur

Mr. SEKKOUM M.

Co-Rapporteur

Mr. DJABALLAH A.

Examineur

Mr. GUIDOUM A.

Examineur

Année Universitaire 2015/2016

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir accordé

La santé, le courage et, les moyens pour suivre nos études

Et la volonté, la patience et la chance pour la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent aux membres de jury pour avoir accepté de juger ce travail:

***Pr.** DJEHICHE A. Président*

***Mr.** DJABALLAH A. Examineur*

***Mr.** GUIDOUM A. Examineur*

Tous nos infinis remerciements à notre encadreur:

***Mme** Boulaghmen F. **Et** **Mr** Sekkoum M.*

Pour leurs aides, leurs conseils et leurs remarques qui nous ont permis de présenter ce travail dans sa meilleure forme.

Nous remercions également tous les enseignants de l'université de Lagouat qui ont contribués à notre formation durant notre cursus universitaire.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvons ici l'expression de notre profonde gratitude et profonds respects.

Mr : KALBAZA Mourad



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Celle qui est plus cher que mon âme et mon sang, la lumière de mon chemin, à ma
mère adorée.*

*Mon chef et Imam de ma famille, le formateur de ma conduite, à toi le plus grand des
personnes mon cher père.*

A ma source de tendresse, mon grand-père.

Aux sources de l'espoir dans ma vie, mon frère (Adel) et sœurs

A mes chers amis : CHERIF TOUMI et MBAREK MANSSOUR,

A tous les étudiants de l'hydraulique, en particulier la promotion 2016.

Mr : KALBAZA Mourad



دوريا ما تتعرض الجزائر لخطر الفيضانات و السيول المفاجأة في الوديان، و التي غالبا ما تشمل معظم أراضيها. و ذلك مما يتسبب في اعاقة النشاطات اليومية للمواطنين في المدن وهذا يؤدي الى عقبة في التنمية الاقتصادية والاجتماعية. ان ظاهرة التعمير العشوائي على اطراف الوديان خاصة في المدن هو سبب من اسباب وقوع الحالة الكارثية زيادة عن عدم متابعة المسار الحسن لشبكات صرف مياه الأمطار. وبالتالي معرفة الحالات الجوية الاستثنائية ليست كافية لتسيير وتقليل من خطر الفيضانات الحادة. وفي هذا السياق، الدراسة المقدمة تهدف الى استغلال المعطيات الجغرافية لرسم الخرائط في المناطق الطوفانية على طول واد مزاب باستخدام نظام المعلومات الجغرافية من أجل الحماية و ادارة خطر الفيضان فيما يخص مدينة غرداية التي وقعت في 1 أكتوبر 2008 .

كلمات البحث: غرداية ، الإدارة، الفيضانات، الوقاية، خطر، نظام المعلومات الجغرافية.

Résumé :

L'Algérie connaît périodiquement le phénomène de crues et d'inondations soudaines sur une grande partie de son territoire. Cela induit à une contrainte pour les activités quotidiennes et une entrave face au développement économique et social. Dans la majorité des cas, l'urbanisation anarchique par l'occupation des zones inondables est l'une des raisons défailtantes des réseaux d'eaux pluviales. Par conséquent, connaître les situations météorologiques exceptionnelles ne suffit pas pour mieux gérer et réduire le risque d'inondations dramatiques. Dans cette optique, l'étude présentée a pour objet d'exploiter les données cartographiques des zones inondables au long de Oued M'Zab par l'utilisation d'un système d'information géographique pour mieux prévenir et gérer le risque d'inondation dans le cas choisis qui est la ville de Ghardaïa après le 1^{er} Octobre 2008.

Mots clé : Ghardaïa, Gestion, Inondation, Prévention, Risque, S.I.G

Abstract:

Algeria knows a periodically risks of floods and flash floods phenomena on the over much of its territory. This results a stress on the daily activities of citizens and it will be an obstacle facing the economic and social development of the country. In most cases uncontrolled urbanization by the occupation of flood zones conducts to be the failure of a flowing evacuation and efficiency of the storm water networks. Therefore, know the exceptional weather for a flashfloods situation is not enough for a better management and Mitigation of the risk of severe flooding. In this context, the study presented has for object, the operation of the map data of flood zones throughout Oued M'Zab. It was realized by using a geographic information system to better pre come and the management of the risk of flooding in selected district, in the center of Ghardaïa city after the first October 2008.

Keywords: Flood, Ghardaïa, Management, Prevention, Risk, S.I.G

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	i
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE D'ABREVIATION	v
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralité au Risque d'Inondation	4
INTRODUCTION:	5
I.1.RISQUES MAJEURS-INONDATIONS	6
I.2.CONNAISSANCE DU RISQUE D'INONDATION	7
I.2.1.L'inondation.....	7
I.2.2.La vulnérabilité	8
I.2.3.L'Aléa	8
I.3.PARAMETRES FONDAMENTAUX D'UN COURS D'EAU	8
I.3.1.Lits du cours d'eau.....	8
I.3.2.Rive, Berge	10
I.3.3.Ripisylve	10
I.3.4.Alluvion et Substratum	10
I.4.TYPES D'INONDATIONS	11
I.4.1.Montée lente des eaux en région de plaine	11
I.4.2.La formation rapide de crues torrentielles	11
I.4.3.Par stagnation d'eaux pluviales.....	12
I.4.4.Le ruissellement pluvial en secteur urbain	12
I.4.5. Le ruissellement par submersion de zones littorales (ou lacustres).....	13
I.4.6. Le ruissellement par dépressions tropicales et cyclones.....	13
Le ruissellement par dépressions tropicales et cyclones	13
I.4.7. Le ruissellement par destruction d'ouvrages (digues, barrages, levées)	13
I.5.LES PRINCIPAUX PARAMETRES CARACTERISANT L'INONDATION	13
I.5.1.La période de retour de crues.....	13
I.5.2.La période de retour	14
I.5.3.La hauteur et la durée de submersion	14
I.5.4.La vitesse du courant	14
I.5.5.Le volume de matière transportée.....	14
I.6. LES FACTEURS GENERATEURS DES CRUES	16
I.6.1.Facteurs directes	16
I.6.2. Facteurs indirectes	16
I.7.INFLUENCE DES FACTEURS NATURELS	16
I.8.PROCESSUS CONDUISANT AUX CRUES ET AUX INONDATIONS	17
I.8.1.L'eau mobilisable	17
I.8.2.Le ruissellement.....	17

I.8.3.Le temps de concentration	17
I.8.4.La propagation de la crue.....	17
I.9.FACTEURS AGGRAVANTS LE PHENOMENE D'INONDATION	18
I.10.LES DEGATS CREES PAR LES INONDATIONS	19
I.11.STRATEGIES DE GESTION DES RISQUES D'INONDATIONS	19
I.11.1.Prévention, Information, communication et sensibilisation aux risques d'inondations	19
I.11.2.Préparation et planification.....	19
I.11.3.Protection contre les risques	20
I.11.4.Prévision, surveillance et alerte du risque	20
I.11.5.Intervention, secourisme et réhabilitation.....	21
I.11.6.Implication des organisations non gouvernementales et collaboration internationale	21
I.12. CAUSES ET TYPES D'INONDATIONS CATASTROPHIQUES EN ALGÉRIE :	21
I.13.INVENTAIRE DES INONDATIONS CATASTROPHIQUES EN ALGERIE (1971-2008) : ..	24
I.14.HISTOIRE DE L'INONDATION DU 1 OCTOBRE 2008 :	29
II.7.LES DEGATS CAUSES PAR LES INONDATIONS DU 1 OCTOBRE 2008 :	29
CONCLUSION.....	31
Chapitre II: Présentation de la zone d'étude et hydrologie	32
INTRODUCTION:	33
II.1.PRESENTATION DE LA VILLE DE GHARDAIA	33
II.1.1. Situation géographique :	33
II.1.2.Limités administratives	33
II.1.3.Le milieu humain	34
II.1.4.Caractéristique du milieu physique	34
II.1.4.1.Climatologie	34
II.1.4.2.La température.....	34
II.1.4.3.Pluviométrie	35
II.1.4.4.Les vents	35
II.1.4.5.L'humidité relative de l'air.....	35
II.1.4.6.L'évaporation	36
II.1.5.Diagramme Ombrothermique	36
II.1.6.Climagramme d'Emberger.....	37
II.1.7.Caractéristique du milieu Biologique.....	38
II.1.7.1.Zones Agricoles végétal	38
II.1.7.2.Zones d'élevage.....	39
II.1.7.3.Production animales	39
II.2.PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DU M'ZAB	39
II.3.PRESENTATION DE LA VALLEE DU M'ZAB	40
II.3.1.Description générale de la vallée du M'Zab	40
II.3.2.Les ressources en eau souterraines.....	41

II.4.CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES ET HYDROGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT DE L'OUED M'ZAB.....	41
II.4.1.Morphométrie.....	42
II.4.2.Paramètres de forme.....	42
II.4.3. Altitudes	43
II.4.4. Indices de pente.....	44
II.4.5.Classes de relief et de perméabilité	46
II.4.7.Ordre du bassin versant.....	47
CONCLUSION.....	50
Chapitre III : Modélisation hydraulique de la zone choisie.....	51
INTRODUCTION	52
III.1.LA ZONE D'ETUDE CHOISIE	52
III.2.ECOULEMENT A SURFACE LIBRE	53
III.2.1.Types d'écoulement.....	53
III.2.1.1.Variabilité dans le temps	53
III.2.1.2.Variabilité dans l'espace	54
III.2.1.3.Ecoulement permanent ou non permanent	54
III.2.1.4.Ecoulement uniforme ou non uniforme	54
III.2.1.5.Ecoulement à surface libre (en canal ou en conduite).....	55
III.2.1.6.Ecoulement fluvial ou torrentiel.....	55
III.3.LA FORMULE DE MANNING-STRICKLER	55
III.3.1.Conditions d'application de la formule de Manning Strickler	56
III.3.2.Calcul du débit dans la section au niveau de l'entrée de la ville de Ghardaïa	56
III.3.3 Calcul de la hauteur H (niveau de la crue).....	56
III.4.MODELISATION HYDRAULIQUE	57
III.4.1.Construction de la maquette numérique	57
III.4.2.Simuler l'écoulement permanent et non permanent	57
III.4.3.Logiciel utilisée.....	58
III.4.3.1.Présentation du modèle HEC-RAS	59
III.4.3.2.Validation du modèle HEC-RAS	59
III.4.3.3.Interface de HEC-RAS.....	60
III.4.3.4. Programme auxiliaires de la famille HEC	61
III.5.MODELE UTILISES PAR HEC-RAS EN REGIME PERMANENT	61
III.5.1.Coefficient de Manning d'un lit composé	63
III.5.2.Equation de la quantité de mouvement.....	64
III.6.MODELE UTILISES PAR HEC-RAS EN REGIME NON-PERMANENT	65
III.6.1.Equations de continuité.....	66
III.6.2.Equations de conservation de la quantité de mouvement	66
III.7.ETAPES DE SIMULATION PAR HEC-RAS.....	68

III.7.1.Création du projet HEC RAS.....	68
III.7.2.Préparation des données topographiques pour l'HEC RAS	69
III.7.2.1.Création du MNT TIN	69
III.7.2.2.Extraction des données topographique pour l'HEC RAS	70
III.7.3.Débits et conditions limites.....	72
III.7.4.Simulation de la zone inondée	73
III.8.RESULTAT DE HEC-RAS.....	73
III.8.1.Résultat des niveaux de la crue.....	73
III.8.2.Simulation par HEC-RAS avec un débit de 1255 m ³ /s.....	74
III.8.3. Simulation par HEC-RAS avec un débit de 6000 m ³ /s.....	75
III.9.DISCUSION DE LA RESULTAT DE HEC-RAS	76
CONCLUSION.....	76
CHAPITRE IV : Cartographie et Gestion de Risque des Zones Inondables	77
INTRODUCTION	78
IV.1.LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (S.I.G)	78
IV.1.1.Composants nécessaires au bon fonctionnement d'un S.I.G.....	78
IV.1.2.Développeurs des SIG	78
IV.2.LOGICIELS UTILISEE	79
IV.3.PRESENTATION DE L'INTERFACE ARC-MAP	79
IV.4.IDENTIFIER LES ZONES MENACEES.....	79
IV.5.CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION	82
IV.6.QUALIFICATION DE L'ALEA VIS-A-VIS DES ETABLISSEMENTS.....	83
IV.7.RESULTAT DE LA CARTOGRAPHIE ET DISCUSSIONS.....	84
IV.8.PREVENTION PAR PROPOSITION D'AMENAGEMENT DE LA ZONE D'ÉTUDE A LONG TERME	87
CONCLUSION.....	88
Conclusion Générale	90
Références Bibliographiques.....	93

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I 1: Niveau de crue au niveau des lits de l'oued	7
Figure I 2: Lit mineur d'un cours d'eau.	8
Figure I 3: Lit moyen d'un cours d'eau.	8
Figure I 4: Lit majeur d'un cours d'eau.	9
Figure I 5: Les inondations de plaine par la montée de la nappe	11
Figure I 6: Les inondations des crues torrentielles.	11
Figure I 7: Les inondations par stagnation des eaux Pluviales.	12
Figure I 8: Inondations par ruissellement pluvial en secteur urbain	12
Figure I 9: Le transport solide	15
Figure I 10: Schématisation de la vulnérabilité et de l'aléa d'inondation en Algérie.	23
Figure I 11: Risque = F (aléa, vulnérabilité)	24
Figure I 13: représente les impacts immédiats des inondations du 1 octobre 2008.	30
Figure I 14: représente les impacts immédiats des inondations du 1 octobre 2008.	30

CHAPITRE II

Figure II. 1 : Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa.	33
Figure II. 2: Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa (2003-2012).	36
Figure II. 3: Situation de la région de Ghardaïa dans le clima-gramme d'Emberger pour la période de 2004-2013.	37
Figure II. 4: Carte d'occupation des sols dans la vallée du M'Zab	38
Figure II. 5: Bassin versant de l'Oued M'Zab	40
Figure II. 6: Extension géographique de la nappe albiennaise partagée entre trois pays. [ABHS, 2006]	41
Figure II. 7: Rectangle équivalent du BV.	43
Figure II. 8: Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued M'Zab	43
Figure II. 9: Courbe de variation du coefficient de correction en fonction	45
Figure II. 10: Classification du Réseau hydrographique par Schumm.....	47
Figure II. 11: Profils en long de l'oued M'Zab et de ses grands formateurs jusqu'à El Atteuf.	49

CHAPITRE III

Figure III. 1: La zone d'étude choisie de la ville de Ghardaïa.	52
Figure III. 2: Ecoulement permanent (a), et non permanent (b).	53
Figure III. 3: Schéma représentant les différents régimes.....	54
Figure III. 4: Résultats de validation du logiciel HEC RAS.	60

Figure III. 5: Fenêtre principale de HEC-RAS.	60
Figure III. 6: Modèle utilisé par HEC-RAS	61
Figure III. 7: Division de la section mouillée du canal.	62
Figure III. 8: Chenal et plaine d'inondation active.	65
Figure III. 9: Fenêtre nouveau projet.	68
Figure III. 10: Diagramme de travail pour créer le MNT TIN.....	69
Figure III. 11: Création du MNT TIN de la ville de Ghardaïa.....	70
Figure III. 12: Diagramme récapitulant la méthode de préparation du dossier de données.....	71
Figure III. 13: Principaux thèmes de Ras créés par HEC-GeoRAS (preRAS).	71
Figure III. 14: La Géométrie de l'Oued M'Zab dans le logiciel HEC RAS.	72
Figure III. 15: Fenêtres des données hydrométriques.	72
Figure III. 16: Fenêtre Analyse de flux constant.....	73
Figure III. 17: Résultat de Débit du 1255 m ³ /s et du 6000 m ³ /s.	73
Figure III. 23: Simulation avec un débit de 6000 m ³ /s.....	75

CHAPITRE IV

Figure IV. 1 : Interface du Logiciel Arc MAP.	79
Figure IV. 2: Vue cartographique représentant les services publics les plus vulnérables.....	80
Figure IV. 3: La carte de la zone étudiée inondée.	82
Figure IV. 4: Carte d'étude caractérisée l'aléa inondation par la hauteur de l'eau avec un débit de 1255m ³ /s.....	85
Figure IV. 5: Carte d'étude caractérisée l'aléa inondation par la hauteur de l'eau avec un débit de 6000m ³ /s.....	86
Figure IV. 6: Représentation cartographique du changement des lieux des établissements vulnérables.	88

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau I. 1: Critères d'identification des zones à risques	9
--	---

CHAPITRE II

Tableau II. 1: Moyenne des températures (°C.) mensuelles de la région de Ghardaïa pour les dix années (2003-2012).....	34
Tableau II. 2: Précipitation mensuelles de la région de Ghardaïa pour les dix années dernières (2003-2012).....	35
Tableau II. 3: Moyenne mensuelles des vitesses de vent de la région de Ghardaïa pour les dix années dernières (2003-2012).....	35
Tableau II. 4: Moyenne mensuelles de l'humidité de l'air de la région de Ghardaïa pour les dix années dernières (2003-2012).....	36
Tableau II. 5: Evaporations mensuelles de l'humidité de l'air de la région de Ghardaïa pour les dix années dernières (2003-2012).....	36
Tableau II. 6: Occupation du sol de la wilaya de Ghardaïa.	38
Tableau II. 7: Effectifs général des cheptels dans la région d'étude.....	39
Tableau II. 8: production animales.....	39
Tableau II. 9: Coefficient de correction Kc de Ig en fonction de la superficie.....	44
Tableau II. 10: Nombre des talwegs.	47
Tableau II. 11: Rapport de confluence.....	48

CHAPITRE III

Tableau III. 1: Valeurs estimées pour le coefficient de Manning en fonction de la nature des parois.	63
--	----

CHAPITRE IV

Tableau IV. 1: récapitulatif des dénivelés des établissements.	81
Tableau IV. 2: La distance entre chaque établissement par rapport à l'axe de l'Oued.	81
Tableau IV. 3: Caractéristique des établissements et calcul des poids.	83
Tableau IV. 4: Evaluation du degré de risque pour chaque établissement à l'état critique.	84
Tableau IV. 5: Critères de qualification de l'aléa.	84

LISTE D'ABREVIATION

1D :	Unidimensionnelle;
2D:	Bidimensionnelle;
3D:	Trois dimensions ;
AEP :	Alimentations des Eaux Potable ;
ANRH :	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ;
BV:	Bassin versant;
BG :	Bonnard & Gardel ;
CI :	Nappe du continental intercalaire ;
CT :	Nappe du complexe terminal ;
DSA :	Directions des Services Agricoles ;
DEM:	Digital élévation model;
Evap :	Evaporation en mm
HEC GeoRAS :	Hydrologic Engineering Center Geospatial River Analyses System;
HEC RAS:	Hydrologic Engineering Center's River Analysis System;
MNT :	Modèle Numérique de Terrain ;
ONM :	Office National de la Météorologie ;
P :	Pluviométrie en mm ;
SASS :	Système de l'aquifère du Sahara septentrionale ;
SAU :	Superficie Agricole Utile ;
SBV:	Sous Bassin Versant ;
SIG :	Système d'information géographique ;
T :	Température moyenne mensuelle (°C) ;
TIN:	Triangular Irregular Network;
UTM:	Universal Transverse Mercator;
WGS84:	World Geodetic System 1984;

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE :

L'Algérie, est parmi les régions méditerranéennes les plus affectées par le phénomène de crues qui engendrent des inondations dues généralement aux débordements des cours d'eau traversant les villes et les agglomérations surpeuplée. Ces crues dont l'apparition est dans la majorité des cas soudaine, souvent difficilement prévisibles, avec un temps de remontée rapide du niveau d'eau et de débit spécifique relativement important. Elles sont généralement liées à des épisodes pluvieux intenses qui se manifestent sur des bassins versant de taille modérée. Plusieurs catastrophes sont été provoquées par ses crues. Il en été recensées en Algérie ces dix dernières années comme suit : Alger en novembre 2001 Sidi Bel Abbès en avril 2007, Ghardaïa et Béchar en octobre 2008,... etc.). [Yahiaoui A, 2012].

La distribution urbaine dans la ville de Ghardaïa est considérée comme l'une des plus anarchiques en Algérie. De part ces nouvelles constructions en brique et en parpaings au long de l'Oued M'Zab et plus précisément dans la zone du lit majeur. Il est difficile d'imaginer l'arrivée d'une nouvelle crue avant l'aménagement qui s'est produit après l'inondation catastrophique d'Octobre 2008. Il fût dresser une zone d'extension où tous les terrains de cette partie sensibles furent rachetés par l'état afin d'éviter tout type de modification nouvelle. Cette solution n'est qu'une partie du problème car il reste le fait que certaines zones telles que le centre de Ghardaïa qui est toujours exposé au risque d'inondation de par son niveau piézométrique bas. Les dommages et les dangers dans le cas de la possibilité de retour de cette situation de crue pourraient être que catastrophique. Surtout qu'il s'agit du quartier administratif de la ville.

Toutefois, le risque inondation est le résultat du croisement de deux facteurs : l'aléa représenté par la probabilité d'occurrence du phénomène crue et son intensité, et la vulnérabilité aux inondations définie par les conséquences prévisibles de la crue sur les personnes et leurs biens. La présente étude intéresse du premier volet de ce risque, il s'agit de la cartographie de l'aléa inondation en milieu urbain. L'objectif premier dans ce mémoire est de cartographier l'aléa inondation dans un quartier prédéfinie par approche de modélisation hydraulique, ainsi d'exposer les capacités des outils informatiques dans la cartographie des résultats présentant ainsi un outil très ambitieux à la portée des décideurs pour définir les niveaux de protection et prévention à apprendre et les améliorations à apporter aux aménagements existants et assurer une sécurité meilleure pour la ville, les personnes et leurs propriétés

Pour ce fait, on a choisi le centre de la ville de Ghardaïa comme zone d'étude, le logiciel HEC-RAS comme instrument de modélisation hydraulique et les systèmes d'information géographique Arc Gis comme outils de cartographie des zones exposées. Ce travail comprend quatre chapitres distincts, à savoir :

Le premier chapitre est consacré à développer les phénomènes générateurs des inondations et les différents types de crues et de quelle façon gère-t-on le cas de risque d'inondation. Connaître le cas fréquent des inondations violentes et où se produisent-elles et quelle est l'ampleur de celles-ci en Algérie.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du bassin versant de la wilaya de Ghardaïa ainsi que les différentes caractéristiques de cette région. Il est aussi présenté l'historique de l'activité l'Oued M'Zab ; tout ce qui correspond à la morphométrie et à l'hydrographie.

Dans le chapitre trois, le choix d'un modèle de modélisation (1D, 2D, 3D) est utilisée. Le logiciel HEC-RAS est choisi et présenté comme outils de calcul numérique pour la modélisation hydraulique. Il a été mis en évidence la modélisation hydraulique de la zone d'étude. Les données de base (hydrauliques et thématiques) sont identifiées selon les secteurs menacés par les possibilités de crues dans la ville de Ghardaïa, en particulier la zone d'étude vulnérable que l'on a choisie.

Le quatrième et dernier chapitre est consacré à la détermination et la cartographie du risque inondation dans un milieu urbain par approche de modélisation hydraulique, ainsi développer cet outil pertinent et très ambitieux en matière d'aide à la décision dans un contexte de gestion du risque dans le centre de la ville de Ghardaïa.

Pour conclure, une avons englobé nos résultats dans une synthèse descriptive de la propagation de la zone inondée afin de pouvoir améliorer la réaction locale. Laissant un axe de recherche ouvert et qui peut être mené et plus approfondis en ce qui concerne la simulation à la gestion globale du risque d'inondation.

Chapitre I : Généralité au Risque d'Inondation

INTRODUCTION:

Les zones inondables sont soumises à différents types d'inondation, dont les caractéristiques influencent le déroulement des crises et l'ampleur des impacts humains et économiques. Le risque n'est pas le même sur les différents territoires exposés puisque ni l'aléa ni la vulnérabilité sont les mêmes ; les crues surviennent de manière plutôt lente sur les bassins plats alors qu'elles se produisent de manière extrêmement rapide et brutale sur les bassins pentus. Aussi les inondations ne provoquaient pas de catastrophes susceptibles de marquer les esprits si les zones inondables n'étaient pas ou peu occupées par l'homme. [Ledoux, 2006]

La réaction face à ce risque d'inondation a consisté pendant plusieurs décennies à lutter contre les crues qui signifiait d'abord que l'on cherchait à agir sur le phénomène naturel – la crue – et uniquement sur lui, c'est-à-dire sur une seule composante du risque – l'aléa – et non sur les enjeux ou leur vulnérabilité. [Ledoux, 2006].

Le but principal de ce chapitre est de développer les phénomènes générateurs des inondations ; les différents types de crues ; les conséquences de cet aléa ; De quelle façon gère-t-on le risque inondation ? Connaît-on souvent de violentes inondations ; Où se produisent les inondations ; Quelle est l'ampleur des inondations en Algérie ?

DEFINITIONS ET GENERALITES :

I.1.RISQUES MAJEURS-INONDATIONS :

Comme définition générale, le risque est la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition à un danger. C'est la composante de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté (incident ou accident) et la gravité de ses conséquences. [Merabet, 2008].

Les différents types de risques auxquels chaque individu peut être exposé sont regroupés en cinq (05) grandes familles:

- **Les risques naturels** : avalanches, feux de forêts, **inondations**, mouvements des terrains, cyclones, tempêtes, séismes et éruptions volcaniques.
- **Les risques technologiques** : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaires, biologiques, ruptures des barrages.
- **Les risques de transports collectifs** (personnes, matières dangereuses) sont des risques technologiques. Il s'agit d'un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident.
- **Les risques de la vie quotidienne** (accidents domestiques, accidents de la route...etc.).
- **Les risques liés aux conflits**. (Conflit entre la population).

Si un de ces risques s'associe au phénomène d'inondation, les conséquences seront encore plus désastreuses. Seules les trois premières catégories font partie de ce qu'on appelle le risque majeur.

Deux critères caractérisent le risque majeur :

- **Une faible fréquence** : L'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes ;
- **Une énorme gravité** : Nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement.

Dans le domaine de la gestion des risques, les probabilités d'occurrence des phénomènes naturels sont appelés des aléas ; étudier les aléas c'est chercher à caractériser ces phénomènes selon les principaux paramètres suivants : leur fréquence de survenance, intensité destructrice et leur étendue. En matière d'inondation, leur intensité s'exprime principalement pour un endroit donné, par la hauteur et la durée de submersion ainsi que la vitesse du courant. Ces paramètres sont fournis, avec une précision plus ou moins grande, pour l'ensemble de la zone inondable par une crue de fréquence donnée. [Ledoux, 2006].

I.2.CONNAISSANCE DU RISQUE D'INONDATION :

Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : que sont la Vulnérabilité et l'aléa [DGPC, 2007]. 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, la parcelle est considérée comme ne présentant pas de risque. Elle est correctement protégée, voire surprotégée. Dans le cas contraire, une parcelle à risque qu'il faudra protéger ou évacuer est à identifier. La connaissance du risque d'inondation nécessite quelques définitions :

I.2.1.L'inondation :

Etymologiquement : Le mot inondation vient du latin: « INUNDATIO » qui signifie submersion. La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (débit) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. L'importance de l'inondation dépend de trois paramètres : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue.

Ces paramètres sont conditionnés par les précipitations, l'état du bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur de la vallée, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines.

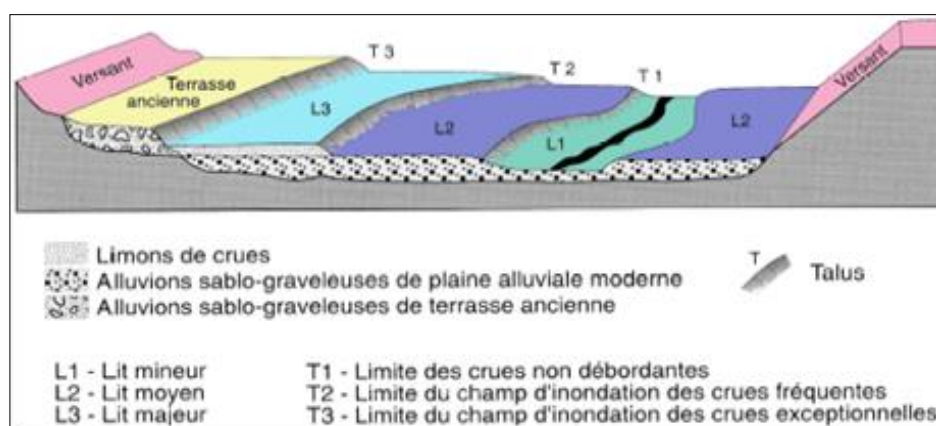


Figure I 1: Niveau de crue au niveau des lits de l'oued [Merabet, 2008].

I.2.2. La vulnérabilité :

Le fait qu'une rivière cause des dégâts résulte de la plus ou moins grande sensibilité du lieu où se produit le phénomène : c'est la composante vulnérabilité [DGPC, 2007].

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

I.2.3. L'Aléa :

Une rivière qui déborde traduit un phénomène naturel présentant un caractère aléatoire : c'est le composant **aléa** du risque [DGPC, 2007].

Les principaux paramètres nécessaires pour évaluer l'aléa sont :

- La période de retour des crues ;
- La hauteur et la durée de submersion ;
- La vitesse d'écoulement ;
- La torrencialité du cours d'eau.

I.3. PARAMETRES FONDAMENTAUX D'UN COURS D'EAU :

I.3.1. Lits du cours d'eau :

Le lit d'une rivière étant façonné par les eaux qu'il transporte on conçoit que ses dimensions soient fortement liées aux régimes hydrologiques. [Merabet, 2008].

Lit mineur : qui est constitué par

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



Figure I 2: Lit mineur d'un cours d'eau. [MEDD 2004]

Lit moyen : Il correspond à l'espace Fluvial ordinairement occupé par Les **ripisylves**.



Figure I 3: Lit moyen d'un cours d'eau. [MEDD 2004]

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.

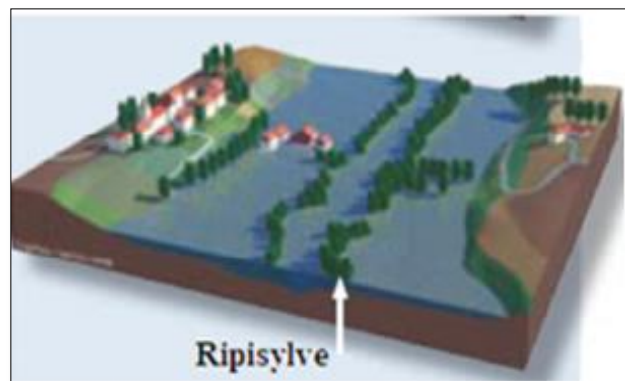


Figure I 4: Lit majeur d'un cours d'eau. [MEDD 2004]

Le lit majeur alors fait partie intégrante de la rivière ; si en s'y implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même. Cet espace (lit majeur) occupé par un cours d'eau lors d'une inondation peut-être partagé en deux zones :

- ❖ **Une zone d'écoulement**, au voisinage du lit mineur, où le courant a une forte vitesse;
- ❖ **Une zone de stockage des eaux**, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval. [Merabet, 2008].

Tableau I. 1: Critères d'identification des zones à risques :

ALEA	DEFINITION	CRITERES D'IDENTIFICATION
Elevé	Zones où les vitesse de l'écoulement et/ou les hauteurs d'eau peuvent être importantes lors des crues exceptionnelles.	-Ces zones correspondent principalement au lit mineur et à ses abords immédiats (berges instables). -fonds des ravines
	Zones où il est envisageable que le talweg principal puisse changer de tracé et/ou évoluer dans son tracé (méandres) .	Le changement de tracé d'un cours d'eau peut se produire lors de débordements importants durant une crue exceptionnelle et/ou par suite d'accumulation ponctuelle importante d'embâcles et/ou d'apports solides

Moyen	Dans ces zones, les vitesses et les hauteurs de submersion pourront être faibles voire moyennes , la durée de submersion étant limitée.	-zones de débordement au niveau du lit majeur lors des crues exceptionnelles -zones de stagnation des eaux pluviales avec hauteur de submersion relativement importante
Modéré	Zones où les vitesse d'écoulement seront faibles voire nulles	-zones de stagnation des eaux pluviales -zones inondées par remontée de nappe
Faible à Nul	probabilité d'inondation faible à nulle	-zones hautes -zones en dehors du lit mineur ou majeur d'un cours d'eau -zones éloignées de la bordure littorale

Source : [DGPC, 2007]

I.3.2.Rive, Berge :

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que 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. [Merabet, 2008].

I.3.3.Ripisylve :

C'est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être une véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. 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. [Merabet, 2008].

I.3.4.Alluvion et Substratum :

Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Elles recouvrent le substratum qui est une couche formée d'une roche dure ou plus ou moins tendre (schistes, grès, marnes...). [Merabet, 2008].

I.4. TYPES D'INONDATIONS :

I.4.1. Montée lente des eaux en région de plaine :

Les inondations de plaine se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue.

La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. Après une ou plusieurs années pluvieuses, il arrive que la nappe affleure et qu'une inondation spontanée se produise : il s'agit d'inondation par remontée de nappe phréatique. Ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés (Fig. I.5). [MEDD, 2004].

- Causée par une saturation des nappes phréatiques.
- Crue et décrue très lentes.

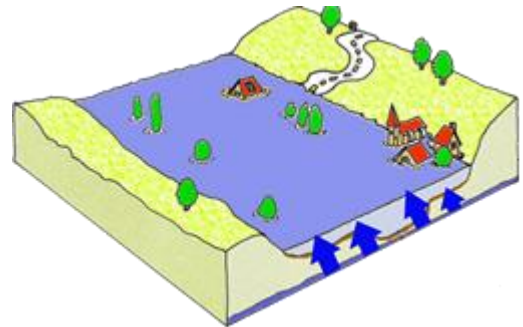


Figure I 5: Les inondations de plaine par la montée de la nappe [Merabet, 2008].

Il existe deux types de débordements dans l'inondation en région de la plaine :

- **Par débordement direct** : Le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur.
- **Par débordement indirect** : La rivière sort de son lit mineur lentement et peut inonder la plaine pendant une période relativement longue. Les eaux remontent par les nappes alluviales, les réseaux d'assainissement d'eaux pluviales.

I.4.2. La formation rapide de crues torrentielles :

Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes (Fig. I.6). [MEDD, 2004 et DGPC, 2007].

- Crue très rapide sur un bassin versant à forte pente.
- Transport de matériaux, embâcles, transformation du lit.

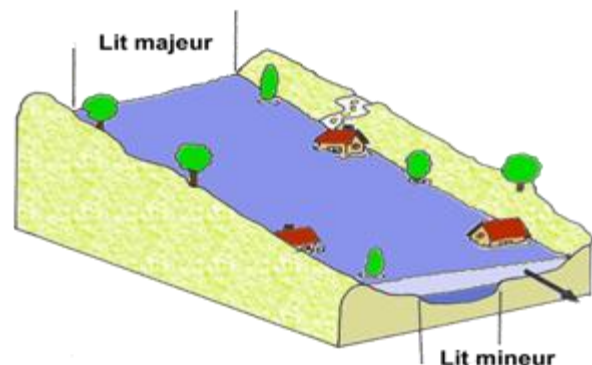


Figure I 6: Les inondations des crues torrentielles.

Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments et de flottants (bois morts, etc.), se traduisant par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui, s'ils viennent à céder, libèrent une énorme vague pouvant être mortelle.

Ce phénomène se rencontre dans les zones montagneuses, mais aussi sur des rivières alimentées par des pluies de grande intensité.

I.4.3.Par stagnation d'eaux pluviales :

La stagnation d'eaux pluviales est liée à une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau d'eaux pluviales lors de pluies anormales (Fig. I.7).

- **Crue lente sur un bassin versant à faible pente.**
- **Délais d'annonce importants car montée lente et progressive.**

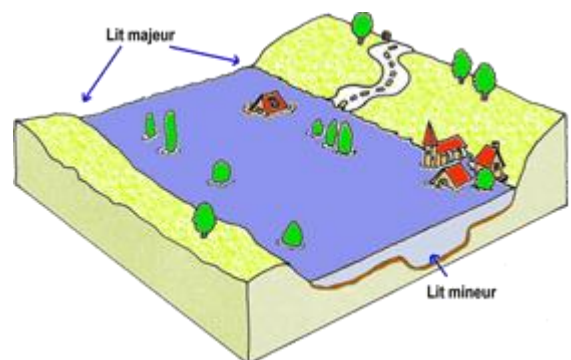


Figure I 7: Les inondations par stagnation des eaux Pluviales. [Merabet, 2008].

I.4.4.Le ruissellement pluvial en secteur urbain :

Le ruissellement est la circulation de l'eau qui se produit sur les versants en dehors du réseau hydrographique lors d'un événement pluvieux.

Sa concentration provoque une montée rapide des débits des cours d'eau, pouvant être amplifiée par la contribution des nappes souterraines (Fig. I.8) [MEDD, 2004 et DGPC, 2007].

- **Causé par des épisodes orageux violents.**
- **Sur de petits bassins versants.**

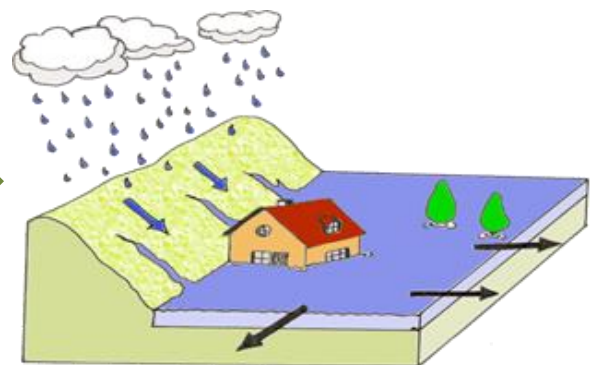


Figure I 8: Inondations par ruissellement pluvial en secteur urbain [Merabet, 2008].

Il existe différents types de ruissellement :

- Le ruissellement diffus dont l'épaisseur est faible et dont les filets d'eau buttent et se divisent sur le moindre obstacle.
- Le ruissellement concentré organisé en rigoles ou ravins parallèles le long de la plus grande pente. Il commence à éroder et peut marquer temporairement sa trace sur le versant.
- Le ruissellement en nappe, plutôt fréquent sur les pentes faibles, occupe toute la surface du versant.

I.4.5. Le ruissellement par submersion de zones littorales (ou lacustres) :

Le ruissellement par submersion des zones littorales est lié à la présence de facteurs anormaux (fortes marées, marées de tempête, raz-de-marée).

I.4.6. Le ruissellement par dépressions tropicales et cyclones :

Le ruissellement par dépressions tropicales et cyclones se fait par des précipitations pouvant atteindre jusqu'à 2 m par 24 heures et conduisant à des crues soudaines et violentes.

I.4.7. Le ruissellement par destruction d'ouvrages (digues, barrages, levées) :

Ces inondations comprennent également les inondations par rupture d'ouvrages de protection (brèches dans les digues) et les inondations dans les estuaires. Ces dernières résultent de la conjonction de la crue des fleuves, de fortes marées et de situations dépressionnaires (régime de tempête).

I.5.LES PRINCIPAUX PARAMETRES CARACTERISANT L'INONDATION :

Les principaux paramètres qui caractérisent les inondations sont de l'ordre de quatre nécessaires pour qualifier l'aléa inondation. [Merabet, 2008et DGPC, 2007].

I.5.1.La période de retour de crues :

La notion de période (ou temps) de retour est destinée à caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène. Définition statistique du temps de retour : si **p** est la probabilité que le débit d'une rivière dépasse une valeur donnée au cours d'une année donnée, le temps de retour attaché à cet événement est défini comme l'inverse de cette probabilité, **T=1/P**

On distingue par ordre croissant :

- les crues fréquentes, dont la période de retour est comprise entre un et deux ans ;
- les crues moyennes, dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans ;
- les crues exceptionnelles, dont la période de retour est de l'ordre de cent ans ;
- la crue maximale vraisemblable, qui occupe l'intégralité du lit majeur.

Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q10) et la crue centennale (Q100). L'aléa de référence servant de base à l'élaboration des documents réglementaires correspond à l'événement centennal ou au plus fort événement connu, s'il présente une fréquence supérieure à cent ans [Merabet, 2008].

I.5.2.La période de retour :

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

I.5.3.La hauteur et la durée de submersion :

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. La structure porteuse de l'habitation peut être endommagée et les sols et murs gorgés d'eau. Lorsque la durée de submersion est importante (supérieure à 24 h voire 48 h), des problèmes sanitaires peuvent survenir. Pour l'homme, les hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau. [Merabet, 2008].

I.5.4.La vitesse du courant :

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. L'impact de l'écoulement dépend du couple hauteur / vitesse. À titre d'exemple, à partir de 0,50 m / s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure.

I.5.5.Le volume de matière transportée :

Le volume de matière transportée est communément appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau, et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. Le terme de transport solide ne comprend pas le transport des flottants (bois morts...). [Merabet, 2008].

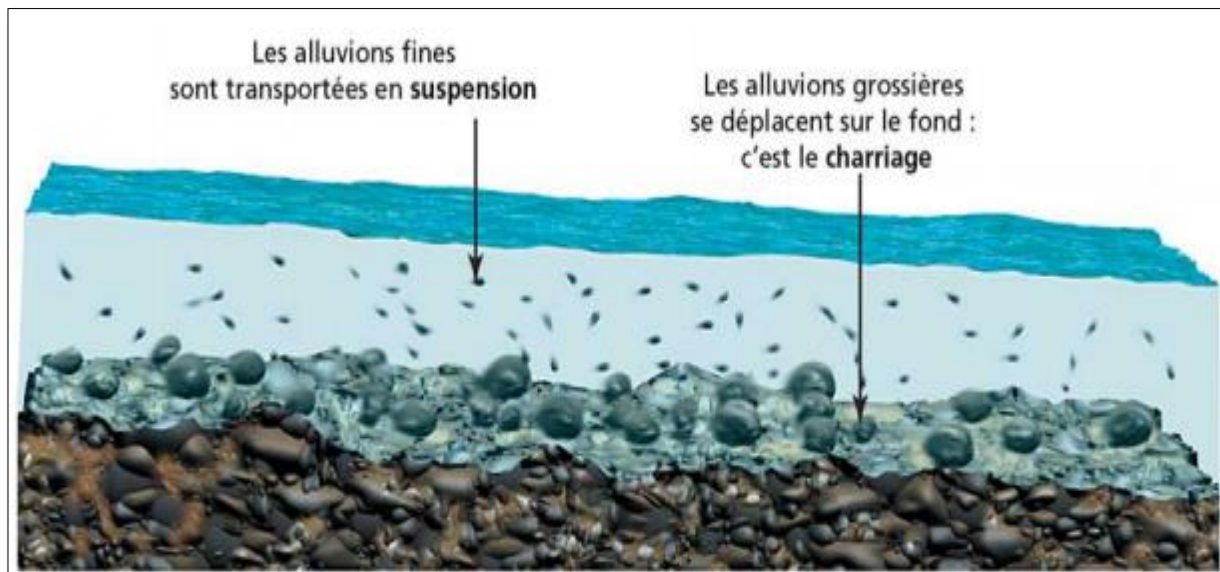


Figure I 9: Le transport solide [Merabet, 2008].

Chacun des trois derniers paramètres a plus ou moins d'importance selon les caractéristiques **morpho- dynamiques** de la rivière. Par exemple, l'aléa inondation d'une rivière, dont la **pente en long** est faible (inférieure à 0,1 %) sera surtout caractérisé par la hauteur et la durée de submersion. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport solide. [Merabet, 2008].

Sachant que la pente en long et morpho- dynamiques correspond à ce qui suit :

- **Morpho-dynamique :**

La morpho-dynamique est l'ensemble des paramètres morphologiques (tracé du cours d'eau, pente en long, etc.) et dynamiques (vitesse de montée des eaux, érosion, alluvionnement, etc.) d'une rivière.

- **Pente en long :**

Pente en long prise en compte correspond à la pente longitudinale d'un cours d'eau.

I.6. LES FACTEURS GENERATEURS DES CRUES :

I.6.1. Facteurs directes :

➤ **Précipitations :**

Les précipitations sont les plus fréquentes dans nos régions. Les crues sont liées à des averses exceptionnelles. [MERABET, 2008].

Le caractère exceptionnel de l'averse est lié à :

- sa durée ;
- son intensité ;
- sa répartition géographique (par exemple le long d'un cours d'eau) ;
- la répétition de plusieurs averses ;
- la combinaison de plusieurs des facteurs précédents.

➤ **Fonte des neiges**

➤ **Crues d'embâcles :** Les crues d'embâcles (obstruction du lit d'un cours d'eau par un amoncellement de glace) et de débâcles (rupture des glaces d'un fleuve gelé) dans les régions subpolaires (Canada, Sibérie)

➤ **Accident :** Il est représenté comme d'exemple d'un accident, la rupture accidentel de barrage "naturel" ou artificiel. Parfois cet accident est lui-même lié à un autre phénomène exceptionnel (glissement de terrain, lié à des précipitations importantes, volcanisme, séisme...)

I.6.2. Facteurs indirectes :

- temps de concentration faible;
- imperméabilisation forte (conséquences d'aménagements urbains ou agricoles);
- avec en parallèle saturation ou sécheresse (faible perméabilité) du sous-sol ;
- conjonction des crues de deux affluents.

I.7. INFLUENCE DES FACTEURS NATURELS :

De nombreux paramètres influencent l'apparition d'une crue. Tout d'abord, la quantité et surtout la répartition spatiale et temporelle des pluies, par rapport au bassin versant, sont déterminantes. Il peut s'agir de pluies répétées et prolongées de régime climatique de la région ou d'averses intenses de courte durée, qui touchent de petits bassins versants.

La nature et l'occupation du sol dictent l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes. L'absorption d'eau par le sol, l'infiltration dans le sous-sol ou le ruissellement influence fortement le temps de concentration des eaux.

À ces paramètres s'ajoutent des facteurs naturels aggravants, comme la fonte des neiges ou la formation et la rupture d'embâcles. Les matériaux flottants transportés par le courant peuvent en effet s'accumuler en amont des passages étroits. La rupture éventuelle de ces embâcles provoque une onde puissante et destructrice en aval. Concernant la fonte des neiges, il est rare en France que des crues importantes soient provoquées uniquement par ce phénomène, même s'il demeure un facteur aggravant.

I.8.PROCESSUS CONDUISANT AUX CRUES ET AUX INONDATIONS :

Comprendre le processus à l'origine des crues et des inondations suppose d'analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau. En simplifiant, on distingue [Merabet, 2008 et DGPC, 2007]:

I.8.1.L'eau mobilisable:

L'eau mobilisable telle que la fonte des neiges ou de glaces associées ou non à des pluies ; pluies répétées et prolongées de régime océanique, qui affecteront par exemple les grands bassins; averses courtes mais intenses qui toucheront l'ensemble des bassins versants.

I.8.2.Le ruissellement :

Le ruissellement correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol et de son occupation de surface.

I.8.3.Le temps de concentration :

Le temps de concentration est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau parvienne jusqu'à l'exutoire.

I.8.4.La propagation de la crue:

La propagation de la crue est en fonction de l'axe drainant c'est-à-dire du champ d'écoulement des eaux et du coefficient de la pente.

En relation directe avec la formation et l'augmentation des débits de cours d'eau sont pointés du doigt les facteurs aggravants. En effet, les préoccupations actuelles des spécialistes résultent de l'accroissement des risques.

Il est notamment indéniable que la présence de l'homme constitue l'un des principaux facteurs aggravants dans ce processus de formation. D'une part, sa présence constitue le risque en exposant des personnes et des biens et d'autre part, elle aggrave l'aléa en modifiant les conditions d'écoulement de l'eau.

I.9.FACTEURS AGGRAVANTS LE PHENOMENE D'INONDATION :

- **Sur les bassins versants et dans les zones de stockage :** le déboisement, la modification des écoulements agricoles, la suppression des baies, l'imperméabilisation des sols (routes, parkings...etc). Tout ce qui empêche le laminage de la crue ou la pénétration des eaux dans le sol.
- **Dans les zones d'écoulement :** les constructions, les obstacles à la circulation des eaux...etc. Tout ce qui contrarie l'écoulement [DGPC, 2007].
- **L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables :** L'urbanisation récente s'est faite en grande partie dans des secteurs attractifs, souvent sans tenir compte de leur vulnérabilité. En parallèle, l'augmentation du niveau de vie, le développement des réseaux d'infrastructures ont accru dans des proportions notables la valeur globale des biens et la fragilité des activités exposées (Cas : occupation du lit moyen et lit majeur au niveau la route d'Oran et juste accoté de l'école Marceau).
- **La diminution des champs d'expansion des crues :** consécutive à l'urbanisation et aggravée par l'édification de digues ou remblais. La conséquence en est une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues bénéfique aux secteurs habités en aval des cours d'eau [DGPC, 2007].
- **L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau :** sans respecter leur fonctionnement global. Ainsi beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval. Ces aménagements peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération de crues en aval et l'altération du milieu naturel. [DGPC, 2007].
- **La formation et la rupture d'embâcles :** les matériaux flottants transportés par le courant s'accumulent en amont des passages étroits. La rupture éventuelle de ces embâcles provoque une onde puissante et dangereuse en aval. [DGPC, 2007].
- **La défaillance des dispositifs de protection :** Le rôle des dispositifs de protection (digue, déversoirs) est limité. Leur utilisation peut parfois exposer davantage la plaine alluviale que si elle n'était pas protégée. [DGPC, 2007].
- **L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants :** Le bassin versant constitue l'aire géographique d'alimentation du cours d'eau. Toute modification qui empêche le laminage de la crue ou la pénétration des eaux dans le sol favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux pouvant ainsi contribuer à aggraver les crues. Le déboisement, la suppression des haies, l'imperméabilisation des sols (routes, parkings, ...) sont des facteurs qui contrarient le laminage de la crue et la pénétration de l'eau dans le sol. [DGPC, 2007].

- **Le transport et dépôt de produits indésirables :** entraînés par l'eau puis abandonnés et pouvant déclencher des accidents technologiques. [DGPC, 2007].

I.10.LES DEGATS CREES PAR LES INONDATIONS :

Les inondations font beaucoup de dégâts qui entraînent de grandes pertes. Il existe principalement trois grandes catégories de dégâts que créent ces inondations :

- les dégâts matériels
- les dégâts humains
- la dégradation du paysage (catégorie moins importante). [Zahour, 2010]

I.11.STRATEGIES DE GESTION DES RISQUES D'INONDATIONS :

Les stratégies de gestion des risques d'inondations correspondent aux actions qu'il faut mener pour contenir ou réduire le risque, ces actions sont [Zahour, 2010]:

- la prévention : la connaissance et la sensibilisation aux risques ;
- la protection contre les risques ;
- la préparation et planification;
- la prévision, la surveillance et l'alerte ;
- l'intervention, le secourisme et la réhabilitation ;
- la Contribution des Organisations Non Gouvernementales et la collaboration internationale.

I.11.1.Prévention, Information, communication et sensibilisation aux risques d'inondations :

Il s'agit d'informer le citoyen et les différentes communautés et groupements sociaux sur les causes du risque, ses conséquences et ses impacts à court et à moyen terme et enfin sur les moyens de lutte et les mesures de précaution à prendre pour se défendre contre les agressions de cette catastrophe. La sensibilisation des décideurs à la problématique des risques et leurs impacts sur l'environnement est une action à envisager notamment par les spécialistes de la communauté scientifique. [Zahour, 2010]

I.11.2.Préparation et planification :

Comme nous ne savons pas où les prochaines inondations frapperont dans la ville de Ghardaïa, il est inévitable d'en faire face et leur planification ne peut se faire qu'à l'aide de cartes des zones inondables. Ce sont des outils de prévision qui indiquent les lieux, l'étendue et la fréquence des inondations. Ces cartes nous indiquent aussi l'emplacement des bâtiments, des biens et des infrastructures sensible et stratégiques qui seraient touchées si une inondation se produisait. Ces

cartes sont donc essentielles pour une bonne planification de l'utilisation du territoire et des infrastructures qui peuvent contribuer à éviter des dommages [Brunswick, 2014].

I.11.3. Protection contre les risques :

Il s'agit d'un ensemble d'activités et des mesures visant à assurer un certain niveau de protection des vies, et des biens individuels ou collectifs. La protection contre les risques d'inondations exige, un ensemble de mesures et de solutions techniques, entre autres :

- la cartographie des zones à hauts risques et l'identification des zones sensibles et en tenir compte dans les plans d'aménagement urbain (zones potentielles de débordements des eaux de ruissellement sur les voies publiques...). En effet, la géométrie urbaine doit être mieux conçue pour faciliter l'écoulement des eaux ;
- le renforcement de cadre juridique et institutionnel.
- la création de bassins réservoirs, des barrages et des digues pour limiter les débits liquides et capter les débits solides en amont des agglomérations ;
- La lutte contre l'imperméabilité des bassins versants. Cette imperméabilité a pour effet d'accroître les écoulements des eaux et par conséquent d'augmenter les débits reçus en aval. En villes, la création d'espaces verts sont de nature à augmenter l'infiltration des eaux, et à l'opposé, ils réduisent les débits de ruissellements ;
- l'organisation régulière des compagnes de curage et d'entretien des réseaux d'évacuation en milieu urbain. [Zahour, 2010]

I.11.4. Prévision, surveillance et alerte du risque :

La prévision : est la connaissance anticipée de la date et du lieu de la catastrophe. Pour réduire le risque, il faut la mise en place de système de prévision de surveillance et d'alerte. Les systèmes d'alerte actuels reposent sur des instruments de mesure sophistiqués et sur des moyens de communication modernes. [Zahour, 2010]

La surveillance : est la continuité de l'observation dans l'espace et dans le temps. Les moyens de surveillance sont variés :

- les réseaux sol (postes d'observation et d'alerte tenus par des opérateurs humains et déclenchés par divers moyens de télécommunications).
- les radars et satellites : Ce sont des systèmes assurant l'observation de surfaces très étendues. Le cercle d'acquisition du radar est de l'ordre de 100ème de Km. Alors que celui du satellite dépasse le millier de Km. Les satellites, par exemple, apportent des

informations et des indications essentielles pour la prévision météorologique. C'est le cas des prévisions météorologiques qui représente un bon exemple de système de prévision et d'alerte anticipée des risques d'inondations. [Zahour, 2010]

I.11.5.Intervention, secourisme et réhabilitation :

D'une façon générale, la stratégie opérationnelle de secourisme, d'urgence et de réhabilitation comprend :

- La création d'une cellule de gestion de crise spécifique en cas de désastre pilotée par les hautes autorités compétentes et qui comprend tous les services concernés ;
- la définition du rôle et des responsabilités de chaque intervenant pendant la crise ;
- La création de procédures d'urgence et de secours immédiats (corps médical, sauveteurs spécialistes comme les sapeurs-pompiers pour évacuer les blessés graves et les populations menacées et aider à la survie (fournitures de couvertures, eau, relogement même précaire...) ;
- La constitution d'un "fond d'urgence catastrophe" pour répondre aux besoins de la population ;
- en fin lors de la réhabilitation, il faut évaluer les coûts induits par la catastrophe, et mettre en place un système d'assurance pour couvrir les indemnisations des sinistrés. [Zahour, 2010]

I.11.6.Implication des organisations non gouvernementales et collaboration internationale :

L'implication de la composante sociale (associations) peut être particulièrement efficace en matière de réduction de l'impact de la catastrophe. [Zahour, 2010]

I.12. CAUSES ET TYPES D'INONDATIONS CATASTROPHIQUES EN ALGÉRIE :

Les précipitations caractérisées, en Algérie, par une très forte irrégularité intra et interannuelle entraînent des étiages extrêmement sévères et inversement des fortes crues torrentielles engendrant des dégâts humains et matériels considérables [Merabet, 2008].

La genèse des fortes crues et leurs impacts sur l'environnement sont caractérisés par les différentes activités d'une région à une autre en fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols. Les causes fondamentales de la majorité des inondations sont l'arrivée d'importantes chutes de pluie mais les inondations des terres basses ou les destructions causées par les crues ne sont pas cependant toutes dues à des phénomènes hydrométéorologiques.

D'une manière générale, les causes des inondations survenues en Algérie peuvent être classées en trois types:

- Les inondations liées à des situations météorologiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité (pluies importantes, orages violents) Cas de Bab-El-Oued qui s'est produit en 2001.
- Les inondations 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 décombres 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 M'Zab où des inondations se produisent tous les 02 à 03 ans illustrant parfaitement l'influence de ces facteurs dans l'apparition du phénomène d'inondation.

- Les inondations produites dans des régions présentant un environnement topographique défavorable comme le cas des villes traversées par des oueds (Bordj Bou Arréridj, Oued R'hiou, Sidi Bel Abbés) ou situées au pied d'une montagne (Ain-Defla, Batna, Médéa). Ces agglomérations à forte concentration de population et sous l'effet d'une urbanisation anarchique et non réglementée présentent de grands risques, des pertes humaines et des destructions de constructions sont enregistrées à chaque inondation aussi légère qu'elle soit.

Les inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont résumés dans les deux types suivants:

- **Les inondations engendrées par des crues torrentielles :** appelées aussi: crues éclair et affectant les petits bassins versants de quelques dizaines de Km². 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 m³/s à plusieurs milliers de m³/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, celle de Ghardaïa en 2008.
- **Les inondations des grands bassins versants :**
Elles résultent le plus souvent des précipitations importantes généralisées sur des grandes étendues et caractérisées par leurs quantités 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

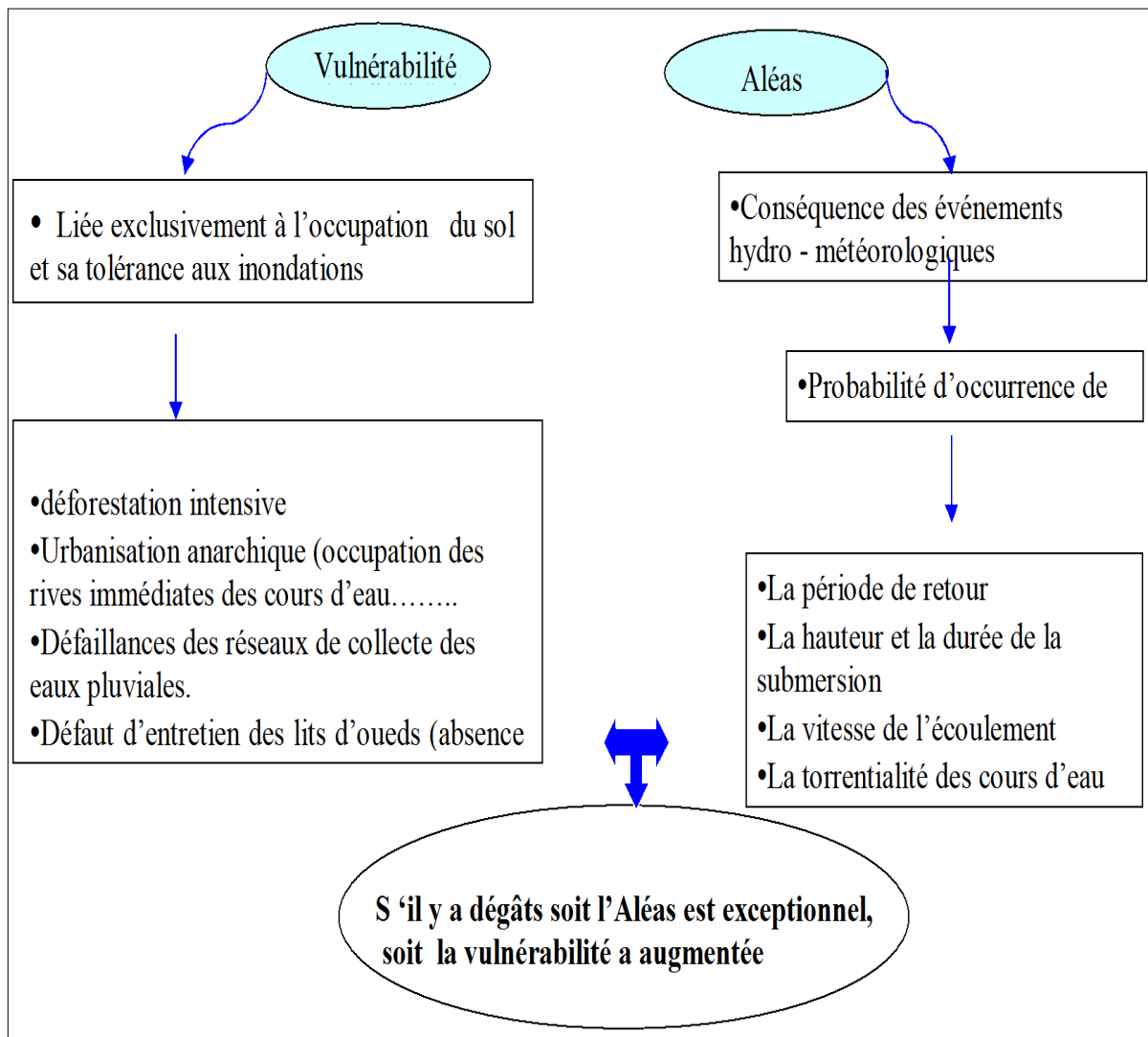


Figure I 10: Schématisation de la vulnérabilité et de l'aléa d'inondation en Algérie.

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

Il est donc préférable de définir le risque d'une façon plus générale «Risque = F (aléa, vulnérabilité)», où F est une relation qui dépend de problèmes analysés, et en représentant l'aléa et la vulnérabilité par deux axes dans un espace plan pour obtenir des courbes d'iso risque (figure 11 et 12). [Chachoua, 2009] et [Boubchir, 2007]

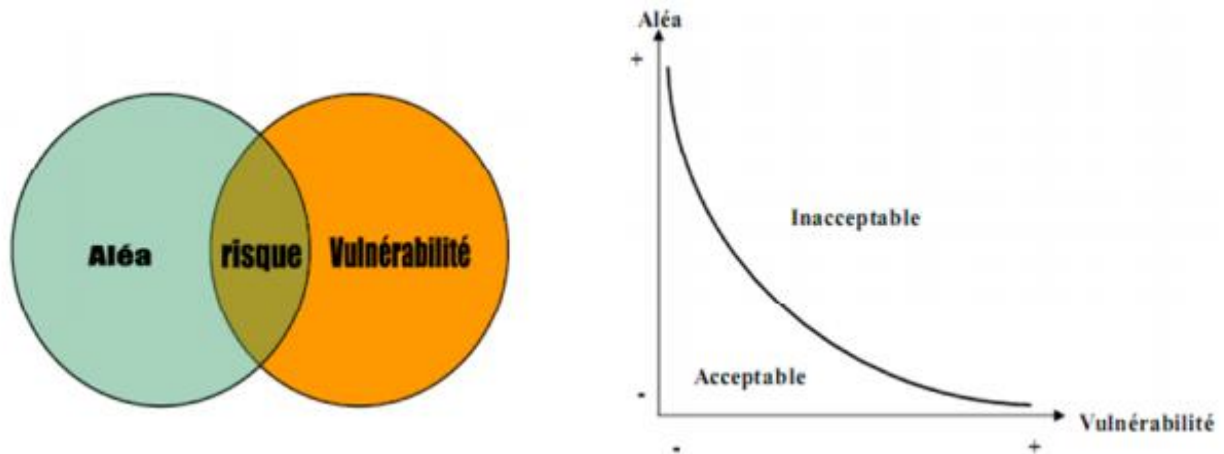


Figure I 11: Risque = F (aléa, vulnérabilité)[BOUBCHIR 2007] **Figure I 12:** Courbe d'iso risque.[CHACHOUA 2009]

Alors, étudier le risque inondation comme un croisement d'un aléa et d'enjeux, eux-mêmes caractérisés par une vulnérabilité, constitue un enrichissement du concept par rapport à la définition trop limitatrice : risque = aléa.

I.13.INVENTAIRE DES INONDATIONS CATASTROPHIQUES EN ALGERIE (1971-2008) :

La réduction des dommages causés par ces calamités nécessite d'abord une parfaite identification des régions présentant le risque d'inondable, et des facteurs favorisant et amplifiant l'ampleur des dégâts et des pertes engendrées.

Un premier travail de recensement de ces inondations s'avère indispensable afin de mieux identifier les régions présentant des risques réels d'inondable et de fournir certains paramètres hydrologiques caractérisant ces événements.

➤ 12 octobre 1971 :

Les fortes pluies orageuses qui se sont abattues sur la localité d'Azzazga (pluie journalière de 183 mm d'eau) causèrent 40 morts et des centaines d'habitations détruites.

➤ 27 au 29 mars 1973 :

Des pluies exceptionnelles (pluie journalière de 166 mm d'eau à Annaba) généralisées à l'Est algérien provoquèrent des inondations catastrophiques dans plusieurs wilaya du pays. Le Tableau II.12, résume les caractéristiques des crues observées lors de ces inondations.

➤ 28 au 31 mars 1974 :

Des chutes de pluie exceptionnelles dans les wilayas d'Alger et de Tizi-Ouzou (688 mm en 4 jours) et 381 mm en une journée au col de Sakamody. Les dégâts à Tizi-Ouzou sont : 52 morts et 4570 maisons détruites, 130 villages isolés, et plus de 18 000 sinistrés, 13 ponts détruits et des dizaines de kilomètres de routes emportées. Le Tableau I.2 résume les caractéristiques des crues observées lors de cet événement dans les bassins des côtes de l'Algérois, de la Sebaou, de l'Isser et de la Soummam.

➤ 01 septembre 1980 :

Les pluies orageuses violentes localisées sur la ville d'El – Eulma provoquèrent des crues catastrophiques de l'oued Djehadi, le débordement a fait 44 morts, 50 blessés et 365 familles sinistrées.

➤ 11 novembre 1982 :

Des pluies orageuses violentes localisées à Annaba (la pluie enregistrée du 10/11 au 11/11/1982) est de 167 mm à l'Edough et 160 mm à Seraidi engendrèrent de fortes crues des oueds Bouhdid, Forcha et Aneb.

Tableau I. 2: Inondations dues aux crues observées dans l'Est Algérien.

Station	Oued	Hauteur maximale (m)	Débit maximal (m3/s)
Medjez Amar II	Bouhamdane	6.00	986
Boucheouf	Mellah	6.60	559.5
Ain – Berda	Ressoul	3.54	137
M. Rochefort	Cherf Amont	4.29	345
Mirbeck	Seybousse	15.00	2400
Ain – El – Assel	Kebir Est	10.30	376.44
Souk Ahras	Mejerdah	6.50	345
Ouenza	Mellegue	3.36	466.5
El – Aouinet	Mellegue	3.5	385.2
Morsott	Ksob	3.65	97.5

Source : [ANRH Alger].

Chapitre I : Généralité au Risque d'Inondation

Tableau I. 3: Caractéristiques des crues observées du 28 au 31 mars 1974.

Station	Oued	Débit maximal (m3/s)	Volume ruisselé (hm3)
Belloua	Sebaou	2940	311
Baghlia	Sebaou	3420	476
Route Nationale 25	Bougdoura	580	49
Lakhdaria	Isser	2520	259
Sidi Aïch	Soummam	1820	281
R des piégeons	El – Harrach	819	97
Baraki	El – Harrach	1620	175
Kederra	Boudouaou	267	21
Fer à Cheval	Mazafran	754	196
Hattatba	Mazafran	750	97

Source : [ANRH Alger].

➤ 22 août 1983 :

Des pluies orageuses et violentes qui se sont abattues à Birine (W. Djelfa) inondèrent la commune à 60 % et provoquèrent 10 morts, 10 blessés, 200 habitations détruites et 1200 têtes de bétails emportées par les eaux.

➤ 03 février 1984 :

Les pluies abondantes généralisées sur l'ensemble de l'Est Algérien avec un foyer de maximum sur les monts de Constantine (120 mm en 3 jours) et les monts de Medjerda (80 mm en 3 jours) ont provoqué des inondations catastrophiques dans toutes les wilayas de l'Est Algérien et les dégâts occasionnés sont importants :

➤ Jijel : 20 morts, 500 têtes de bétails emportées et dégâts évalués à 50 millions de dinars ;

- ✓ **Constantine** : 1140 familles sinistrées, 200 hectares de cultures détruites ;
- ✓ **Skikda** : 8000 habitations envahies ;
- ✓ **Guelma** : 03 disparus, 1957 familles sinistrées, 02 ponts détruits et canalisations d'AEP détruites à 100 % ;
- ✓ **Khenchela** : 777 familles sinistrées et pertes importantes en Cheptels ;
- ✓ **Oum – El – Bouaghi** : 144 maisons détruites et 429 familles sinistrées ;

➤ 29 décembre 1984 au 01 janvier 1985 :

Des pluies exceptionnelles (plus de 250 mm en 4 jours seulement et 195 mm en une journée) généralisées sur tout l'Est Algérien provoquant des inondations catastrophiques dans les wilayas de Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El-Tarf. Le Tableau I.3, résume les caractéristiques des fortes crues observées sur l'ensemble des oueds des bassins versants de la Seybousse des côtières constantinoises et du Kebir Rhummel.

Tableau I. 4: Crues observées du 28/12/1984 au 01/01/1985 dans l'Est Algérien.

Station	Oued	Hauteur maximale (m)	Débit maximum (m3/s)	Volume ruisselé (Hm3)
Medjez Amar I	Cherf Aval	6.20	- - -	- - -
Medjez Amar II	Bouhamdane	6.10	1450	124.70
Bouchegouf	Mellah	3.89	510	- - -
Ain Breida	Ressoul	3.05	80	6.84
Mirbeck	Seybousse	14.90	2900	455
Ain El Assel	Kebir Est	10.10	508	71.5
Ain Charchar	Kebir Ouest	11.30	316	113

Source : [ANRH Alger].

➤ **05 juillet 1987 :**

Les pluies orageuses et très violentes tombées sur Batna (pluie journalière de 57 mm), provoquèrent deux morts, des dizaines de familles sinistrées et des dégâts évalués à 175 millions de centimes.

➤ **01 septembre 1989 :**

Les fortes chutes de pluies à la wilaya de Biskra accompagnées de grêles et d'un vent d'une rare violence provoquant le débordement des oueds El-Arab, El-Mellah et El-Kheddra occasionnant deux morts et 35 blessés et la destruction de 400 palmiers.

➤ **03 juin 1991 :**

Un orage local très violent à Ghardaïa (8 mm en 3 heures) provoque neuf morts et des pertes importantes en cheptels et en palmeraies.

➤ **26 et 27 janvier 1992 :**

Les fortes pluies généralisées du 24 au 28 janvier 1992 sur plusieurs régions du centre du pays engendrèrent des inondations catastrophiques dans les wilayas Alger, Blida Tipaza, Chelef, Ain Defla et Médéa. 637 familles sont sinistrées avec 361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Médéa, 36 à Ain Defla et 23 à Chelef, et d'Importants dégâts sont aussi occasionnés.

➤ **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 d'importants dégâts matériels.
- ✓ **Tissemsilt** : neuf morts.
- ✓ **Sidi Bel Abbès** : deux morts.

➤ **4 avril 1996 :**

Les inondations catastrophiques dans les wilayas d'Annaba et El-Taref, font cinq morts et dix blessés à Annaba et quatre ouvrages d'art endommagés à El-Taref.

➤ **14 janvier 1999 :**

De fortes chutes de pluies (74 mm à Adrar) dans le Sud-Ouest causèrent de graves inondations à Adrar, provoquant ainsi deux morts et plusieurs et plusieurs disparus.

➤ **28 septembre 2000 :**

Des pluies diluviennes dans la région de Boussaâda engendrent de fortes crues de l'oued Boussaâda, qui se sont soldées par des dégâts estimés à un mort, un disparu, treize habitations détruites, trente-huit familles évacuées et 193 têtes de bétail emportées par les eaux.

➤ **24 octobre 2000 :**

Les inondations catastrophiques de Sidi Bel Abbès (oued Mekerra), Tissemsilt, Theniet El Had (oued Mesloub), Chlef et Ain Defla causent la disparition de deux personnes emportées par l'oued Mekerra et d'importants matériels à Theniet El Had

➤ **9 et 10 novembre 2001 :**

L'inondation spectaculaire et catastrophique sur l'Algérois à Bab El Oued (Bassin versant de l'oued Koriche) fit plus de 750 morts, 115 disparus et 30 millions de dinars de pertes matériels.

I.14.HISTOIRE DE L'INONDATION DU 1 OCTOBRE 2008 :

Les pluies diluviennes, accompagnées de violents orages, ont commencé le lundi 29 septembre 2008, après quatre années de sécheresse. La pluie a continué progressivement le mardi avec une intensité moyenne, puis le mercredi 1^{er} octobre le jour de l'Aïd (la fête qui marque la fin du jeun chez les musulmans), c'était le déluge avec une pluie diluvienne totalisant près de 150 mm en une heure. Les principaux oueds de la région du M'Zab (El Abiodh, Bou Brik, El haimeur) ont fonctionné à plein régime.

Selon les sources locales, c'est la première fois depuis 70 ans que les trois oueds affluents de l'oued M'Zab sont en crue. Habituellement seul un des trois oueds déborde sans mettre en danger les populations environnantes. Les autorités parlent d'un débit de 900 m³/s. L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) l'a estimé à 1200 m³/s. Cette catastrophe qui a touché la ville est liée, d'une part, à l'intensité de l'aléa concernée et d'autre part, à la vulnérabilité de cette région aux inondations. [Medejerab, 2009].

C'est une crue exceptionnelle puisqu'elle a atteint la Sebkha Séfiouane. Dubief qui a travaillé plus de 40 ans sur les précipitations au Sahara algérien, retient le fait que si lors d'une crue les eaux atteignent la Sebkha Séfiouane, considérant que celle-ci est cinquantenaire.

A Metlili située à 40 Km au nord de la ville de Ghardaïa, une hauteur d'eau de 6 m a été enregistrée, alors qu'en aval de Ghardaïa, celle-ci a frôlé les 10m. Ce déluge a entraîné l'effondrement d'une retenue collinaire construite en 2005 au niveau de l'oued Laadhira situé à 20km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa. En effet, les fortes pluies ont engendré une accumulation des eaux sur un rayon d'environ 2 km. La pression de l'eau a provoqué une brèche de 70m dans la retenue.

II.7.LES DEGATS CAUSES PAR LES INONDATIONS DU 1 OCTOBRE 2008 :

Jamais de mémoire d'octogénaires résidant dans la vallée du M'Zab, la région n'a vécu une telle catastrophe. L'oued M'Zab, qui est sorti de son lit vers 4 h du matin a, en effet, tout emporté sur son passage. Les dégâts sont énormes : décès de 100 personnes, 89 blessés, 756 familles sinistrées, 19 établissements scolaires endommagés, 7200 foyers privés d'électricité et 2300 familles privées d'eau. Plus de 1200ha de cultures maraîchères, arboricoles et de palmeraies ont été laminés par les eaux. Plus de 1000 têtes de bétails ont péri et plus de 300 véhicules ont été emportés par les eaux. Une usine de fabrication de batteries sous licence (Tudor), employant plus de 200 ouvriers, a été complètement saccagée par les eaux. [Medejerab, 2009].

L'estimation des dégâts touchant les infrastructures avoisine les 20,1 Milliards de Dinars, soit environ 200 millions d'euros.



Figure I 13: représente les impacts immédiats des inondations du 1 octobre 2008.

Dans ces photos de la Figure II.13, il est montré que le niveau de l'inondation est illustré par le niveau du danger de crue. Dans toute la ville de Ghardaïa, la population et les biens ont été plus touchés dans les zones où les constructions sont en Toub.



Figure I 14: représente les impacts immédiats des inondations du 1 octobre 2008.

Parmi les causes de la remontée des eaux, nous constatons sur la figure II.14, la présence d'objets tel que les voitures et les tas de pierres qui ont fait barrage et ont participé à ce que l'eau soit arrivée à près de 10 m dans les ruelles les plus étroites.

CONCLUSION :

L'inondation n'est pas le risque ; le risque exige qu'un phénomène auquel on peut attribuer une probabilité de survenance et une intensité – l'aléa – soit susceptible, en se produisant, de provoquer des dommages. Il faut donc que la zone inondable soit occupée par l'homme. Malgré cela l'importance des enjeux – populations, habitations, équipement... n'explique pas à elle seule la gravité potentielle de la catastrophe. Celle-ci est également tributaire de la vulnérabilité de ces enjeux, c'est-à-dire leur propension à subir des dommages.

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude et hydrologie

INTRODUCTION:

Ce chapitre est une monographie du site considéré dans cette étude. Il vise la présentation du bassin versant et de la wilaya du Ghardaïa ainsi que les différentes caractéristiques de cette région. Nous abordons dans ce chapitre le contexte climatique, hydrologique, morphologique et géologique de la zone d'étude et un historique dès les plus graves inondations de ces dernières décennies qui ont affecté particulièrement la wilaya du Ghardaïa.

II.1.PRESENTATION DE LA VILLE DE GHARDAIA :

II.1.1. Situation géographique :

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara de l'Algérie. Elle est issue du découpage administratif du territoire National de 1984. L'ensemble de la nouvelle Wilaya dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat. [DBAT 2005]. La wilaya couvre une superficie de 86 105 km². En ce moment, elle est composée de 09 Daïras: ville de Ghardaïa, Metlili, El-Ménéaa, Beriane, Daia Ben Dahoua, Mansoura, Zelfana, Guerrara, Bounoura.

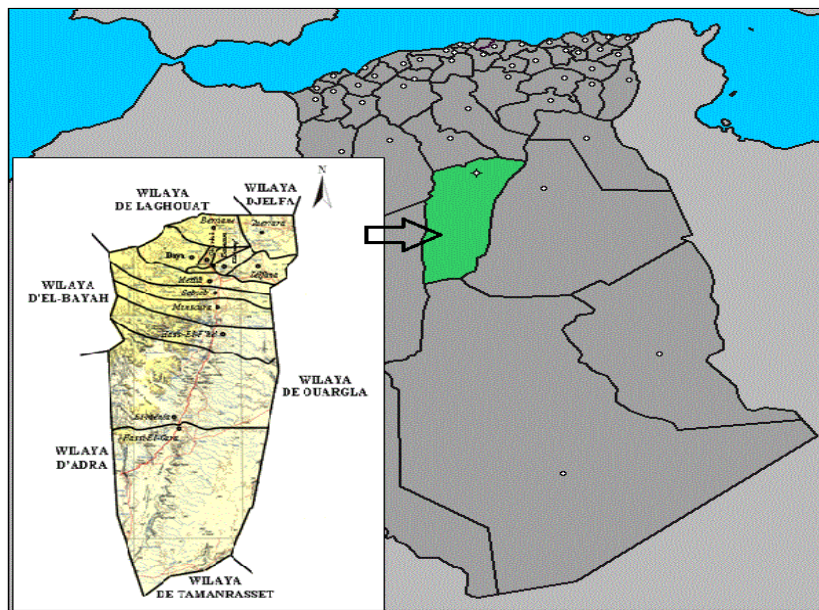


Figure II. 1 : Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa.[internet]

II.1.2.Limités administratives :

- Au Nord par la wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla (200 Km) ;
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset (1.470 Km) ;
- Au sud-ouest par la wilaya d'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh (350 Km).

II.1.3. Le milieu humain :

La population totale de la wilaya de Ghardaïa est estimée à la fin de l'année 2011 à 413 560 habitants par contre elle été estimé en 2010 à 405 015 habitants, soit une augmentation absolue de 8545 habitants et un taux d'accroissement démographique progressif de l'ordre de 2,11% en 2011. et aussi pour le moyen et long terme, on applique la relation suivante :

$$P_n = P_0(1 + t)^n$$

Avec :

- P_n : Nombre d'habitants dans l'horizon d'étude.
- P_0 : Nombre d'habitants (2011).
- t : Taux d'accroissement en %
- n : Nombre d'années entre deux horizons.

Donc, on conclut que la population totale de la wilaya est estimée à la fin de l'année 2015 à 449 584 habitants. La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86 105 km², soit une densité de peuplement de 5.31 habitants par Km². [D.P.A.T. Ghardaïa, 2012].

II.1.4. Caractéristique du milieu physique :

II.1.4.1. Climatologie :

Le caractère fondamental du climat de cette région est la sécheresse de l'air mais les micro-climats jouent un rôle considérable au désert. Le relief, la présence d'une végétation abondante peuvent modifier localement les conditions climatiques.

II.1.4.2. La température:

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. L'analyse d'une série rétrospective d'observations statistiques enregistrée au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observations de 10 ans, a fait ressortir que la température moyenne enregistrée a été de 27,47 °C. [O.N.M. Ghardaïa (2013)]

Tableau II. 1: Moyenne des températures (°C.) mensuelles de la région de Ghardaïa pour les dix années (2003-2012).

(°C)	Mois											
	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
T max	17,39	18,88	24,47	28,58	33,16	38,37	42,07	41,09	35,85	28,47	22,93	17,95
T min	6,13	7,4	10,96	14,88	18,66	24,34	27,29	27,49	22,65	17,96	11,45	7,17
T moy	11,82	13,4	17,68	21,66	26,05	31,75	34,97	34,34	29,53	23,54	17,42	12,63

[O.N.M. Ghardaïa (2013)]

- $T_{\min}$: est la moyenne de température minimale mensuelle exprimée en (°C).
- $T_{\max}$: est la moyenne de température maximale mensuelle exprimée en (°C).
- T_{moy} : est la moyenne des températures mensuelles exprimées en (°C).
- T : est la température annuel exprimée en (°C).

II.1.4.3.Pluviométrie:

Les précipitations sont très faibles et irrégulières. Généralement, elles sont torrentielles et durent peu de temps, sauf cas exceptionnel. La hauteur annuelle des précipitations est de 91.25 mm avec un maximum de 22.46 mm au mois de Septembre et un minimum respectifs aux mois de Février et Juillet de 1.79 et 3.20 mm (tableaux II.2), La pluviométrie de la Wilaya est très faible. Selon les données statistiques, sur une période d'observation de 10 ans, on constate que la pluviométrie est de 80.83 mm comme moyenne annuelle.

Tableau II. 2: Précipitation mensuelles de la région de Ghardaïa pour les dix années dernières (2003-2012)

P (mm)	Mois											
	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2004-2013	11,76	1,79	3,55	8,75	1,89	3,23	3,2	4,56	22,46	9,71	5,84	4,11
												80.83

[O.N.M.Ghardaïa (2013)]

II.1.4.4.Les vents :

Le vent est un phénomène continuels au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce aux particules sableuse qu'il transporte. Les valeurs du vent enregistrées dans la région de Ghardaïa de l'année 2013 sont mentionnées dans le tableau II.3.

Tableau II. 3: Moyenne mensuelles des vitesses de vent de la région de Ghardaïa pour les dix années dernières (2003-2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
V(m/s)	3,9	3,8	3,1	4,1	3,7	3,2	2,4	2,2	2,4	2,4	2,6	2,2

[O.N.M. Ghardaïa (2013)]

II.1.4.5.L'humidité relative de l'air :

Pendant l'été, L'humidité relative de l'air chute jusqu'à 21,6% au mois de juillet, alors qu'en hiver elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 55,8% au mois de janvier. Il est représenté dans le tableau suivant (tableaux II.4) la moyenne mensuelle de l'humidité de l'air de la région de Ghardaïa pour les dix dernières années de (2003-2012).

Tableau II. 4: Moyenne mensuelles de l'humidité de l'air de la région de Ghardaïa pour les dix années dernières (2003-2012).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Hr(%)	55,8	45,2	38,4	33,9	29,2	25	21,6	25,8	37,3	44,2	47,9	55,6

[O.N.M. Ghardaïa (2013)]

II.1.4.6.L'évaporation :

Les fortes températures et les vents violents accourent la tension de l'évaporation, dont le maximum mensuel est de 398,4mm au mois de Juillet et le minimum est de 91,5 mm au mois de Janvier Il est représenté dans le tableau suivant (tableau II.5) l'évaporation mensuelles de l'humidité de l'aire de la région de Ghardaïa pour les dix dernières années (2003-2012)

Tableau II. 5: Evaporations mensuelles de l'humidité de l'aire de la région de Ghardaïa pour les dix années dernières (2003-2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Evap (mm)	91,5	115,1	181,2	238,1	288,8	341,4	398,4	351,2	246	169,9	112,4	157,4

[O.N.M. Ghardaïa (2013)]

II.1.5.Diagramme Ombrothermique :

Le diagramme Ombrothermique permet de mettre en évidence les caractéristique du climat, il est montré dans la représentation graphique où sont portés, en abscisse les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), selon la formule $P = 2T$. La saison sèche s'étale entre les intersections des deux courbes P et T. il est représenté dans la figure II.2 le diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa.

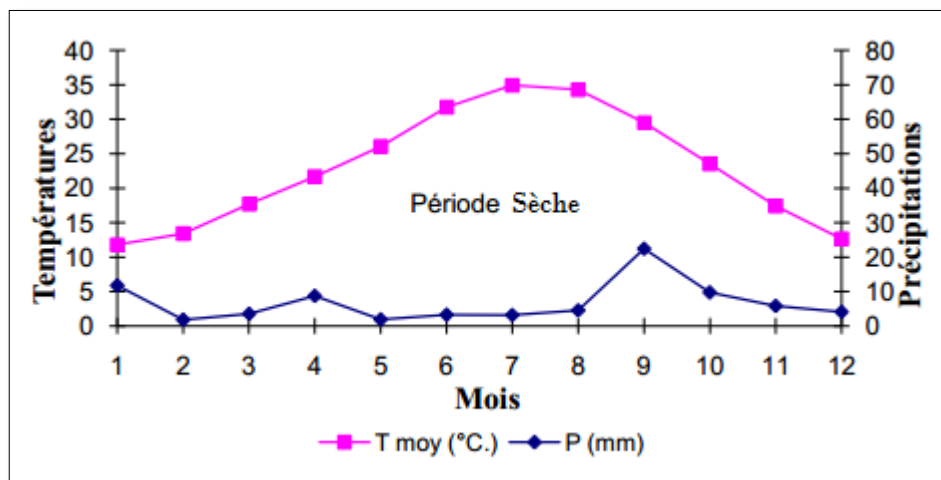


Figure II. 2: Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa (2003-2012).

II.1.7.Caractéristique du milieu Biologique :

II.1.7.1.Zones Agricoles végétal :

Le superficie totale de la wilaya s'étend sur 8.466.012 hectares et repartit dans le tableau II.6 selon l'occupation du sol. En considérant le facteur eau et les faibles précipitations, la superficie agricole utile (S.A.U) exploitée se limite aux seules superficies bénéficiant d'une ressource hydrique (forages, puits). Le reste de la superficie qui correspond à 1.340.539 ha de pacages et parcours et de 172 ha de terres improductives des exploitations agricoles. La S.A.U réellement exploitée ne représente qu'une infime partie de la superficie totale de la Wilaya. Soit une valeur de 0.31 %. Pour une population de 396.452 habitants, la S.A.U par habitant au niveau de la Wilaya est de 0.08 ha. Il est intéressant de préciser que l'élevage sédentaire et nomade est important dans la Wilaya. [D.S.A. Ghardaïa (2013)]

Tableau II. 6: Occupation du sol de la wilaya de Ghardaïa.

Désignation		Superficies (Ha)
	La superficie agricole utile (S.A.U)	32.745
Terres utilisées par	Les pacages et parcours	1.337.994
L'agriculture	terre improductives des exploitations agricoles	172
S/total terres utilisées par l'agriculture (S.A.T)		1.370.911
Autres terres	Terrains improductifs non affectés à l'agriculture	7.095.101
Superficie totale de la wilaya		8.466.012

[D.S.A. Ghardaïa (2013)]

La figure suivante représente la carte d'occupation des sols par la végétation. On constate que vu l'emplacement du site de la ville de Ghardaïa, il est très rare de trouver une végétation dense. Par contre elle est inexistante dans la zone urbaine surtout aux bords des Oueds de façon condensée.

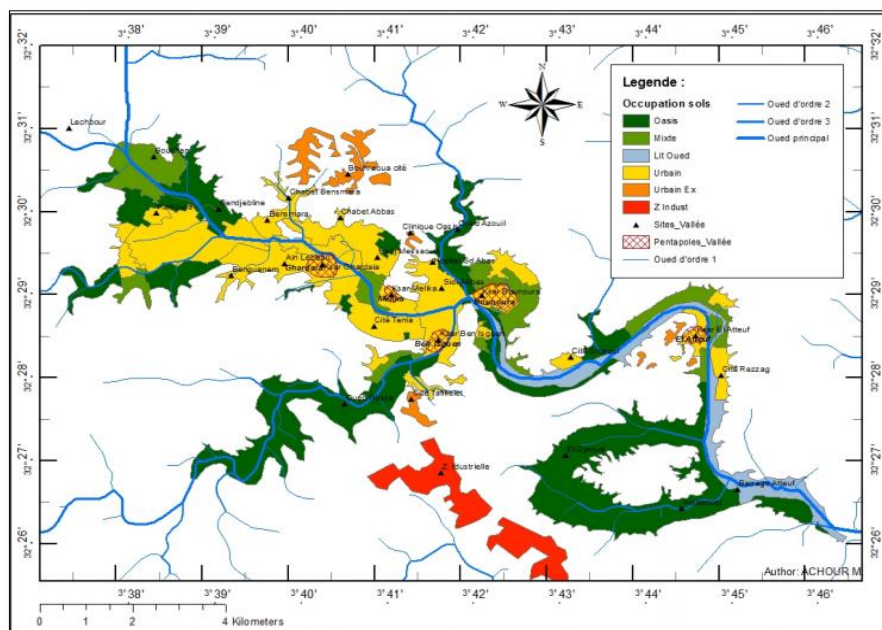


Figure II. 4: Carte d'occupation des sols dans la vallée du M'Zab [ACHOUR. M /2013].

II.1.7.2.Zones d'élevage :

L'élevage sédentaire et nomade est important dans la wilaya. L'élevage ovin est essentiellement du ressort des nomades que se subdivisent en deux grandes catégories:

- Ceux inscrits dans les communes de la wilaya qui se déplacent sur des courtes et moyennes distances ;
- Ceux venant d'autres wilayas, en transit pour des durées plus ou moins longues exploitation du pâturage. [D.S.A. Ghardaïa (2013)]

Il est représenté dans le tableau II.7 l'effectifs général des cheptels de la région d'étude afin d'estimer la possibilité de pertes au cas d'inondation.

Tableau II. 7: Effectifs général des cheptels dans la région d'étude.

Espèces	Bovins (Tête)	Ovins (Tête)	Caprins (Tête)	Camelins (Tête)
Effectifs	2988	356000	152000	11060

[D.S.A. Ghardaïa (2013)]

II.1.7.3.Production animales :

La région de Ghardaïa est caractérisée par une dynamique de son milieu agricole et notamment à tout c que attrait aux productions animales à travers les différentes vocations.

Tableau II. 8: production animales.

	Viandes		Lait	Œuf	Miel	Laine
	Rouges (Qx)	Blanches (Qx)	(103 litres)	(unité)	(Qx)	(Kg)
Production	46400	2025	19286	8 150 000	43	5340

[D.S.A. Ghardaïa (2013)]

II.2.PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DU M'ZAB :

La wilaya de Ghardaïa se trouve dans le bassin «Sahara», qui représente la partie sud du pays. Le bassin versant du M'Zab (Figure II.5) s'étale sur une superficie de 1573 km² dont la totalité de cette surface se trouve dans la Wilaya de Ghardaïa. Cette surface est drainée par plusieurs Oueds. Le cours d'eau principal, appelé l'Oued El Abiodh, est d'une longueur de 54 km. L'altitude maximale est à 779 m et l'altitude minimale est à 445 m.

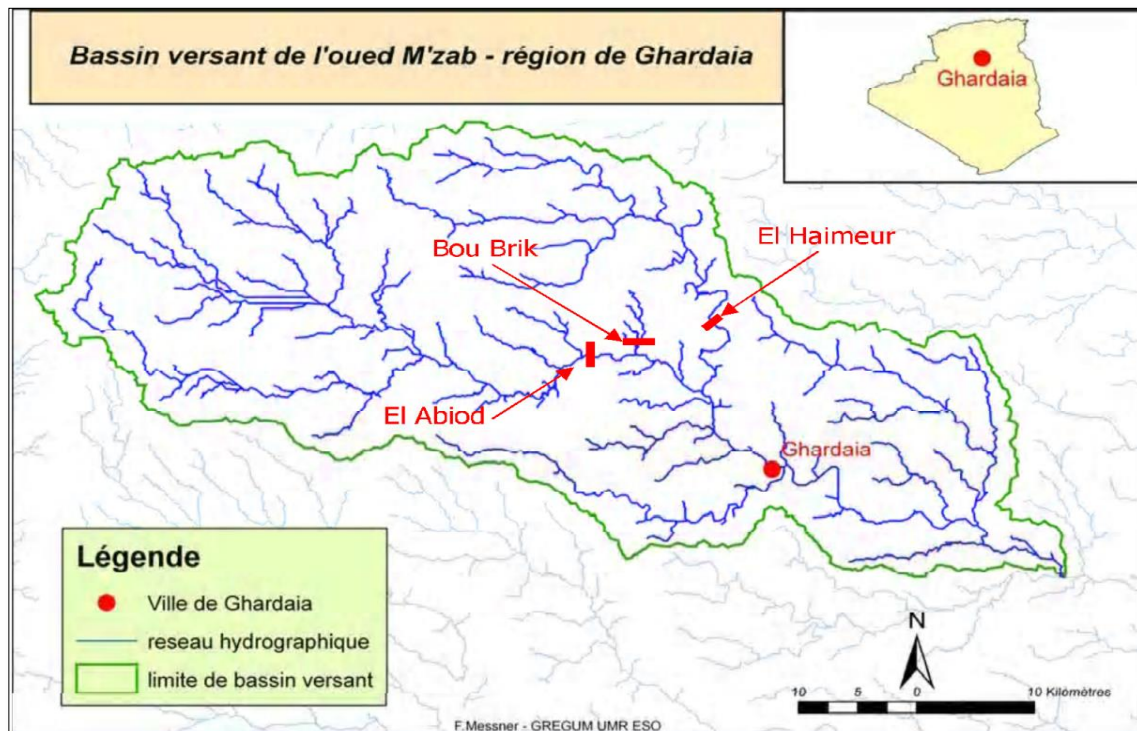


Figure II. 5: Bassin versant de l'Oued M'Zab [D.P.A.T, 2005]

II.3.PRESENTATION DE LA VALLEE DU M'ZAB :

II.3.1.Description générale de la vallée du M'Zab :

L'oued M'Zab prend naissance au Nord-Ouest de Ghardaïa, au point où se rejoignent trois oueds en provenance du secteur Ouest / Nord-Ouest; les oueds El Abiod et Lahdhira sont les plus importants, l'oued Argdeine est plus local. A partir de Ghardaïa, l'oued M'Zab prend la direction générale Ouest - Est sur 160 km et va se perdre dans la Sebkr et Safroun, à la côte 110 m et à 30 km au Nord de Ouargla.

A l'amont, les importants oueds Lahdhira et El Abiod n'en forment plus qu'un qui est rejoint, moins de deux kilomètres plus bas, en rive droite, par l'oued Argdeine plus modeste et par le chaab et Inireze en rive gauche. C'est ce point l'origine de l'oued M'Zab. Deux kilomètres en aval, l'oued Touzouz, long de 6 km environ, rejoint l'oued principal en rive droite. Le confluent des oueds M'Zab et Touzouz marque le début de la palmeraie de Ghardaïa.

La semi-plaine qui suit la palmeraie est totalement urbanisée de façon dense sur une largeur de l'ordre du kilomètre. Vient alors, en rive droite, Ghardaïa ksar, la vieille ville sur sa colline.

Et pour la zone d'étude choisie, Le cours d'eau principal est d'une longueur de 1300m. L'altitude maximale est de 501m et l'altitude minimale est de 489 m.

Les dix kilomètres qui suivent sont occupés par la palmeraie d'El Atteuf tout en longueur, parsemée d'habitations sur les deux rives. El Atteuf ksar se présente à mi-parcours de sa palmeraie. Tout à l'aval, la digue historique d'El Atteuf est suivie d'une vaste zone humide où stagnent les eaux de l'oued qui, en période sèche, sont constituées avant tout par les rejets de l'amont.

La zone habitée le long de l'oued revêt ainsi l'aspect d'une longue bande orientée Nord-Ouest Sud-Est. Elle est traversée en son centre par la route nationale RN1 qui vient du Nord, traverse l'oued au pont de Bounoura et se poursuit en s'infléchissant vers le Sud-Est.

II.3.2. Les ressources en eau souterraines :

La région d'étude est située dans le Sahara septentrional central (Fig. II.6) où les ressources hydrauliques sont essentiellement souterraines. Dans le bassin versant du M'Zab les eaux superficielles sont intimement liées à la pluviométrie et elles sont relativement importantes. L'oued M'Zab est caractérisé par des écoulements intermittents [ABHS, 2006]. Les principales ressources d'eaux souterraines ont pour origine deux nappes principales comme il est indiqué dans la figure II.6 :

- Nappe du continental intercalaire (C.I)
- Nappe du complexe terminal (C.T)

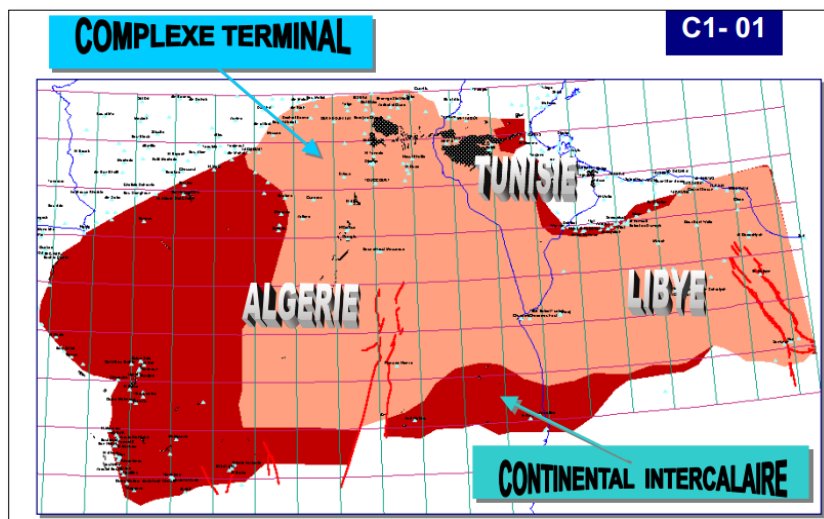


Figure II. 6: Extension géographique de la nappe albiennaise partagée entre trois pays. [ABHS, 2006]

II.4. CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES ET HYDROGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT DE L'OUED M'ZAB :

Les divers paramètres d'un bassin versant (forme, altitude, pente, relief ...etc.) interviennent le plus souvent de façon combinée, agissant sur les modalités de l'écoulement. Ils offrent la possibilité

de réaliser une analyse quantitative, et une comparaison des différentes unités hydrologiques. Néanmoins ils doivent être manipulés avec précaution. [Benaouadj A,2011].

II.4.1.Morphométrie :

Cette section a pour but de présenter le bassin versant avec ses principaux paramètres morphologiques qui agissent sur la variation du signe hydrologique. En revanche, une étude morphométrie succincte du bassin versant de L'Oued M'Zab est présentée :

L'exactitude du périmètre « P » du bassin dépend de l'échelle de la carte de la densité du réseau hydrographique ; plus ce dernier est marqué, plus la délimitation est bien nette et plus le calcul des divers paramètres sont plus au moins précis. [Benaouadj A,2011]. Le cas de notre bassin versant, il s'étend sur une superficie de 1573 Km² avec un périmètre de 181 Km.

II.4.2.Paramètres de forme :

a) Coefficient de compacité de GRAVELIUS (Kc) :

Ce coefficient permet de différencier entre les bassins allongés et ceux ramassés, Nous utilisons la formule :

$$L=Kc\sqrt{S}/1.12(1+\sqrt{1-(\frac{1.12}{Kc})^2}) \quad l=Kc\sqrt{S}/1.12(1-\sqrt{1-(\frac{1.12}{Kc})^2}) \quad (II.1)$$

P : périmètre du BV en Km.

S : surface du BV en Km².

Pour notre BV $K_c = 0,28. (181/\sqrt{1573})$

➤ Nous trouvons donc un $K_c = 1.28 > 1 \Rightarrow$ le BV est allongé. [Benaouadj A, 2011].

b) Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent (Fig. II.7) est un modèle établi par [Roche, 1973]. Il assimile le bassin en un rectangle ayant même surface et même périmètre que celui du bassin versant considéré de longueur L et largeur l, l'exutoire est représenté par une des largeurs du rectangle et les courbes de niveaux sont des parallèles.[Benaouadj A,2011]. La formule suivante nous permet de faire le calcul :

$$L=Kc\sqrt{S}/1.12 \quad (II.2)$$

L : longueur du rectangle (Km).

l : largeur du rectangle (Km).

K_c : coefficient de GRAVELIUS.

S : surface du bassin versant (Km²).

- $L = 67 \text{ Km}$
- $l = 23.5 \text{ Km}$

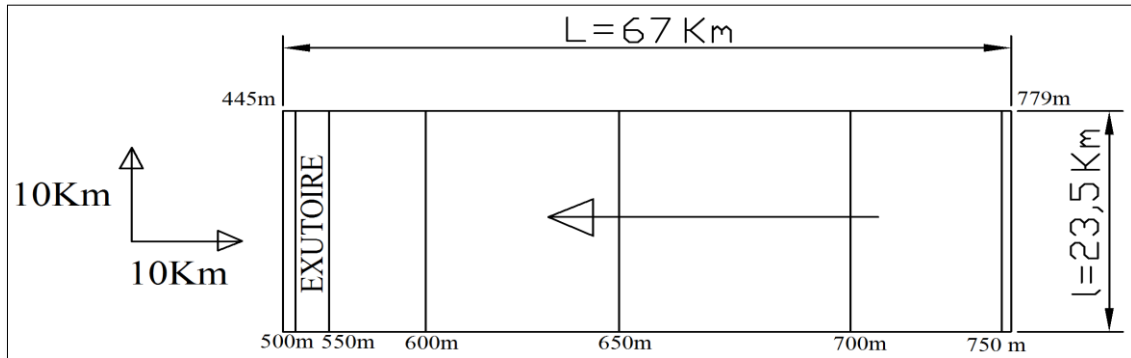


Figure II. 7: Rectangle équivalent du BV. [Benaouadj A, 2011].

c) Courbe hypsométrique du bassin versant :

La plupart des phénomènes hydrologiques et climatologiques sont directement liés à l'altitude. Il est donc important de connaître la répartition des altitudes dans le bassin. On utilise pour cela la représentation de la courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued M'Zab qui est présenté dans la figure II.8 suivante :

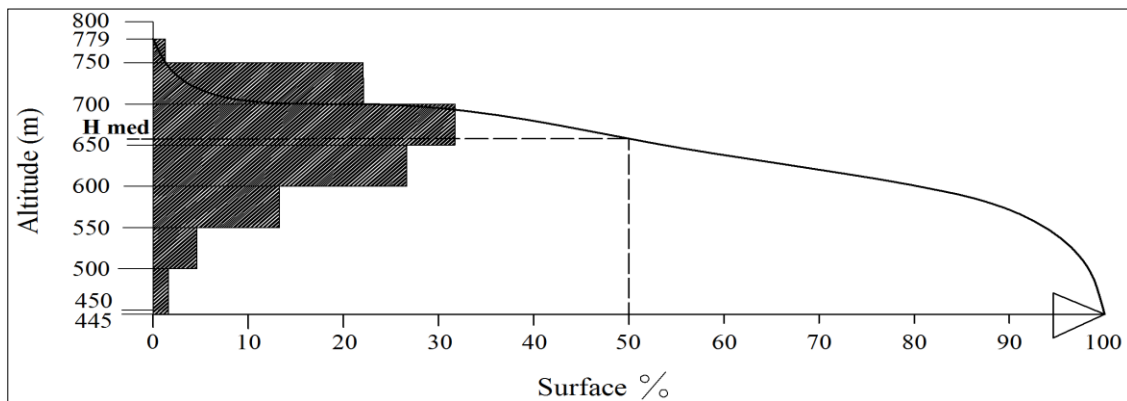


Figure II. 8: Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued M'Zab [Benaouadj A, 2011].

La forme de cette courbe donne implicitement une certaine idée sur les pentes du bassin et leurs répartitions en altitude et permet d'apprécier le potentiel érosif du bassin versant. La courbe hypsométrique est déterminée par le plan mètreage des surfaces entre les courbes de niveau. [Ladjal, R 2013].

II.4.3. Altitudes :

a) Altitude moyenne (H_{moy}) : Ce paramètre est calculé à partir de la courbe hypsométrique, il est défini comme étant l'ordonnée moyenne de la courbe donnée par la relation suivante :

$$H_{moy} = 1/A \sum_{i=1}^n H_i \cdot A_i \quad (II.3)$$

$$\text{➤ } H_{moy} = 649.77 \text{ m.}$$

b) Altitude maximale ($H_{\max}$) : C'est le point le plus haut du bassin versant ;

$$\text{➤ } H_{\max} = 779 \text{ m}$$

c) Altitude minimale ($H_{\min}$) : C'est le point le plus bas du bassin versant ;

$$\text{➤ } H_{\min} = 445 \text{ m}$$

d) Altitude médiane (H_{med}) : C'est l'altitude correspondante à 50% de la surface totale du bassin versant tirée à partir de la courbe hypsométrique ;

$$\text{➤ } H_{\text{med}} = H_{50\%} = 658 \text{ m. [Benaouadj A, 2011].}$$

II.4.4. Indices de pente :

Ils permettent de déterminer des classes de ruissellement des eaux superficielles.[Benaouadj A, 2011]. Nos calculs nous ont permis d'arriver au résultat suivant :

a) Indice de pente global (I_g) :

Il est déterminé par la relation II.4:

$$I_g = D/L \quad (\text{II.4})$$

D : dénivelée entre les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin versant tirées à partir de la courbe hypsométrique, exprimée en (m)

L : la longueur du rectangle équivalent (m)

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 735 - 545 = 190 \text{ m}$$

$$I_g = 2.84 \text{ m/km}$$

Pour tenir compte de pentes transversales fortes, supérieures de 30m/km à I_g , un indice de pente corrigé (I_{gc}) est parfois utilisé.

$$I_{gc} = (I_{\text{transversale}} + I_g) / 2 \quad (\text{II.5})$$

En région de montagne à pente longitudinale faible et transversale forte, c'est la pente transversale qui est prise en considération.

L'indice I_g diminue quand la superficie augmente. Nouvelot (Bonnard et Gardel, 1996) propose une correction K_c de I_g en fonction de la superficie S (Tableau. II.9).

Tableau II. 9: Coefficient de correction K_c de I_g en fonction de la superficie.

$S(\text{Km}^2)$	5	10	25	50	100	250	500	1000	1500	1700	2000
K_c	0.5	0.66	1	1.33	2	2.85	4	5.45	6.56	6.94	7.48

Source : [Bonnard et Gardel, 1996].

Sur la figure II.9, le tableau II.9 a été transformé en diagramme. Ce diagramme donne le coefficient de correction en fonction de la superficie.

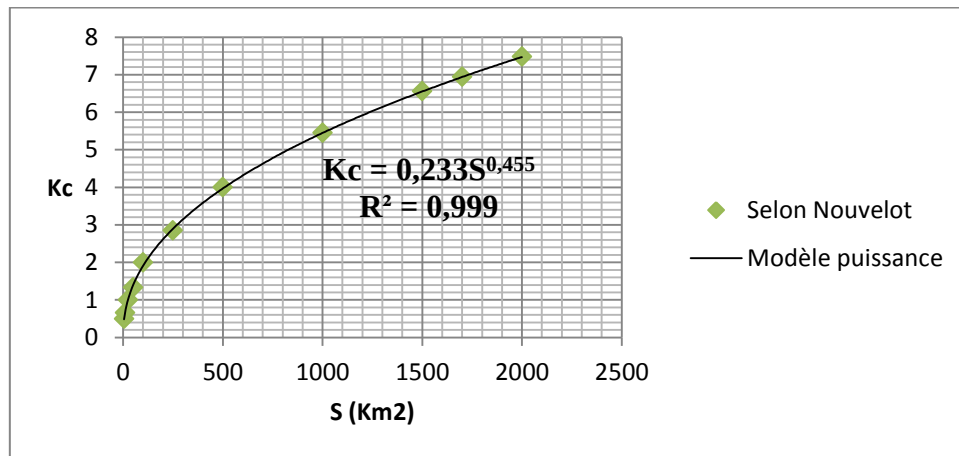


Figure II. 9: Courbe de variation du coefficient de correction en fonction [Benaouadj A, 2011].

Le diagramme a été traduit en une équation, dont la formulation est en (II.6):

$$Kc = 0,233 \cdot S^{0,455} \quad (II.6)$$

Pour le bassin versant de l'Oued M'Zab, d'une superficie totale de 1573 Km², le Kc est égal à 6,8

D'où :

$$\text{➤ } Ig_c = 19,3 \text{ m/Km}$$

b) Indice de pente de ROCHE (Ip) :

L'indice de pente de M. Roche, sert à déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant. Ip est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et pondérée par les surfaces comprises entre deux courbes de niveau Hi et Hi-1.

Il est donné par la formule II.6 :

$$Ip = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{Si(Hi - (Hi - 1))} \quad (II.7)$$

Si : surface partielle (%) comprise entre deux courbes de niveau consécutives Hi, Hi-1 (m).

L : la longueur du rectangle équivalent (m). [Benaouadj A, 2011].

$$\text{➤ } Ip = 0.638$$

c) Pente moyenne (Imoy) :

Il est déterminé par la relation II.7:

$$Imoy = D/L \quad (II.8)$$

D : Dénivelée entre H_{max} et H_{min}

D= 334 m.

L : La longueur du rectangle équivalent

➤ $I_{\text{moy}} = 0.4985 \% = 4.985 \text{ m/km}$. [Benaouadj A,2011].

II.4.5. Classes de relief et de perméabilité :

a)- Classes de relief :

La valeur de I_g peut être utilisée directement comme paramètre de certains abaques. Ou bien on en déduit des classes de relief [Bonnard et Gardel, 1996].

R2 : pentes faibles, de 2 à 5 m/km. Ce sont les bassins de plaine. $I_{g_c} \geq 3 \text{ m/km}$.

R3 : pentes modérées, comprises entre 5 et 10 m/km. Ce sont des terrains intermédiaires entre la plaine et la zone à ondulation de terrain. $I_{g_c} \geq 7 \text{ m/km}$.

R4: pentes assez fortes: pentes longitudinales comprises entre 10 et 20 m/km. pentes transversales supérieures à 20m/km. Ondulation de terrain. $I_{g_c} \geq 15 \text{ m/km}$.

R5 : Pentes fortes longitudinales comprises entre 20 et 50 m/km; pentes transversales entre 80 et 200 m/km. Régions de collines. $I_{g_c} \geq 25$.

R6 : pentes très fortes, longitudinales supérieure à 50 m/km, pentes transversales supérieures à 200 m/km. Région de montagnes. $I_{g_c} \geq 60 \text{ m/km}$.

Nous adoptons l'indice **R4** pour le bassin versant du M'Zab puisque $I_{g_c} \geq 15 \text{ m/km}$.

b)- Classes de perméabilité :

Les perméabilités sont classées en plusieurs types, selon la méthode de [Rodier et Auvray (1965)]:

P1 : Bassins particulièrement imperméables sur plus de 90% de la surface. Ce sont des bassins entièrement rocheux ou argileux, sans forte rugosité.

P2 ou i : Bassins imperméables avec quelques zones perméables de moins de 75% de la surface, ou bassins homogènes presque imperméables. Ces bassins sont parfois indicés aussi en « Imp ». Ils sont recouverts de reg et de glakis, de colluvions argileuses et d'argile dans les bas-fonds, même avec fentes de retrait. Dans une certaine mesure, des sols sablo-argileux ou argilo-sableux et même parfois sableux, s'ils sont recouverts d'une pellicule superficielle imperméable, peuvent entrer dans cette catégorie.

P3 ou Ri: Bassins assez imperméables comportant des zones perméables d'étendue notable ou bassins homogènes assez peu perméables. Ils portent aussi parfois l'indice « Rimp ». Un bassin relativement imperméable Rimp comprend en général un mélange en proportion à peu près égale de sol imperméable et de sol assez perméable.

P4 ou P : Bassins perméables, pouvant contenir 5 à 10% de sols peu perméables. L'indice « Perm » leur est aussi attribué. Un bassin perméable comprend des sols perméables tels que des éboulis

rocheux avec produits de décomposition assez perméables, des cuirasses complètement disloquées, des roches très diaclases, certains sols sableux sans pellicule imperméable, des sables grossiers.

P5 ou TP : Bassins très perméables.

Dans le M'Zab, comme en témoignent les photos aériennes obliques et verticales, le bassin est bien homogène. Les terrains dominants, sans couverture pédologique, permettent de classer les bassins en perméabilité **P2 (=I)**, les zones d'épandage détritique représentant moins de 15% de la surface. Toutefois certaines parties basses des hauts bassins de l'oued El Abiodh, tels que celui où se trouve la Daï et Belkhassem, devraient être classés en **P3** pour tenir compte de leur nature détritique.

II.4.6. Etude du réseau Hydrographique :

Le réseau hydrographique est l'ensemble des canaux de drainages naturels permanent ou temporaire, par où s'écoulent des eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines le long du lit du cours d'eau.

II.4.7. Ordre du bassin versant :

A partir des cartes topographiques la carte du réseau hydrographique est établie à partir d'un calcul de somme. Le travail consiste à classer les cours d'eau en cours d'ordre 1; 2; 3 suivant la classification de Schumm (Figure II.10), dont le principe de calcul est résumé dans la façon suivante :

- tributaire qui ne reçoit l'apport d'aucun autre cours d'eau est d'ordre 1.
- un cours d'eau dont les apports sont exclusivement des tributaire d'ordre 1 est d'ordre 2....etc.
- l'ordre maximum des cours d'eau de notre bassin versant est de l'ordre 3.

Tableau II. 10: Nombre des talwegs.

Ordre	1	2	3	Somme
Nombre Nn	21	6	5	32

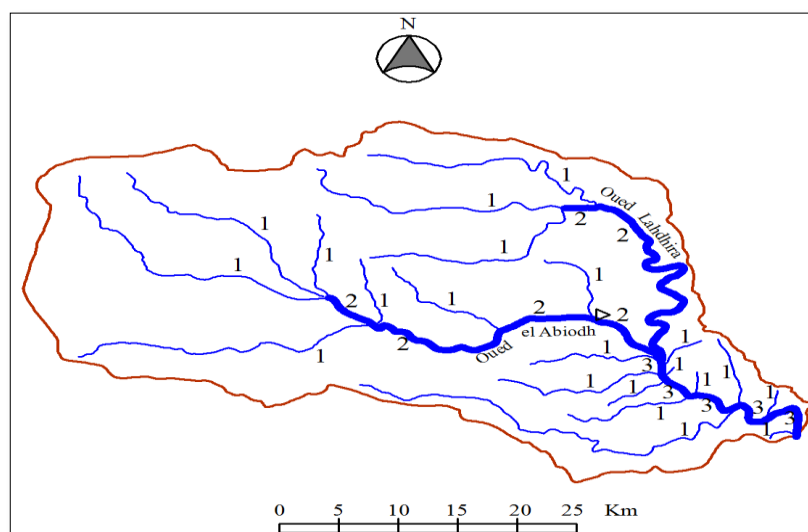


Figure II. 10: Classification du Réseau hydrographique par Schumm. [Rodier et Auvray (1965)]

a) Densité de drainage (D_d) :

Appeler aussi la densité de THALWEGS qui correspondent à la dissection du relief. La longueur de thalwegs (cour d'eau) est mesurée sur carte pour chaque ordre séparément, puis on fait la sommation des longueurs ; elle est donnée par la formule suivante II.8 :

$$D_d = \sum_{i=1}^n \frac{L_c}{A} \quad (\text{II.9})$$

L_c : longueur cumulée des cours d'eau (336Km)

A : surface (1573Km²)

$$D_d = 0,213 \text{ Km/Km}^2$$

Remarque :

Il est à noter que quel que soit l'ordre des oueds, il y a toujours une incertitude due soit à la fidélité du cartographe, soit à la période (été ou hiver) à laquelle la carte a été faite. Car les travaux peuvent faire disparaître certains affluents d'ordre 1 et plus l'échelle devient trop petite, plus les cours d'eau risquent d'être séparés. [Benaouadj A, 2011].

b) Fréquence des cours d'eau (F_s) :

Représente le nombre de cours d'eau par unité de surface donné par la formule II.9:

$$F_s = \frac{N}{A} \quad (\text{II.10})$$

N : nombre total des cours d'eau=32

A : la surface (Km²)

$$F_s = 0.0203$$

c) Rapport de confluence (R_c) :

Il est donné par la relation II.10 :

$$R_c = \frac{N_n}{N_{n+1} + 1} \quad (\text{II.11})$$

N_n : nombre de talwegs d'ordre n

N_{n+1} : nombre de talwegs d'ordre $n+1$

Tableau II. 11: Rapport de confluence.

L'ordre $n/n+1$	1/2	2/3
R_c	3,5	1,2

d) Coefficient de torrentialité (C_T) :

Il tient compte à la fois de la densité des THALWEGS élémentaires par la densité de drainage, il est donné par la formule II.11:

$$C_T = F_1 \cdot D_d \quad (II.12)$$

D_d : coefficient de drainage

F_1 : fréquence des talwegs élémentaires, donné par la relation II.18

$$F_1 = \frac{N_1}{A} \quad (II.13)$$

N_1 : nombre de talwegs d'ordre 1 ($N_1 = 21$)

A : surface cumulée (Km^2)

$$F_1 = 0.0134$$

$$\Rightarrow C_T = 0,285 \%$$

e) Profil en long de l'Oued M'Zab :

Les profils en long de l'oued M'Zab et de ses grands formateurs jusqu'à El Atteuf ont été mesurés. La Figure II.13 nous montre les résultats de la composition de ces formateurs. Les pentes, mises à part dans les quelques premiers kilomètres, sont relativement régulières et rectilignes de l'amont vers l'aval; C'est là une caractéristique des systèmes désertiques. Toutefois, on remarque aussi que la pente devient plus abrupte dès la confluence des oueds El Abiodh et Lahdhira. Ainsi, la pente moyenne de l'oued El Abiodh jusqu'à la confluence de l'oued El Kelakh, est de 6,3 m/km, puis elle passe à 2,8 m/km jusqu'à Dhayet Ben Dhahoua. L'oued M'Zab dans l'agglomération mozabite a une pente moyenne de 3,4 m/km.

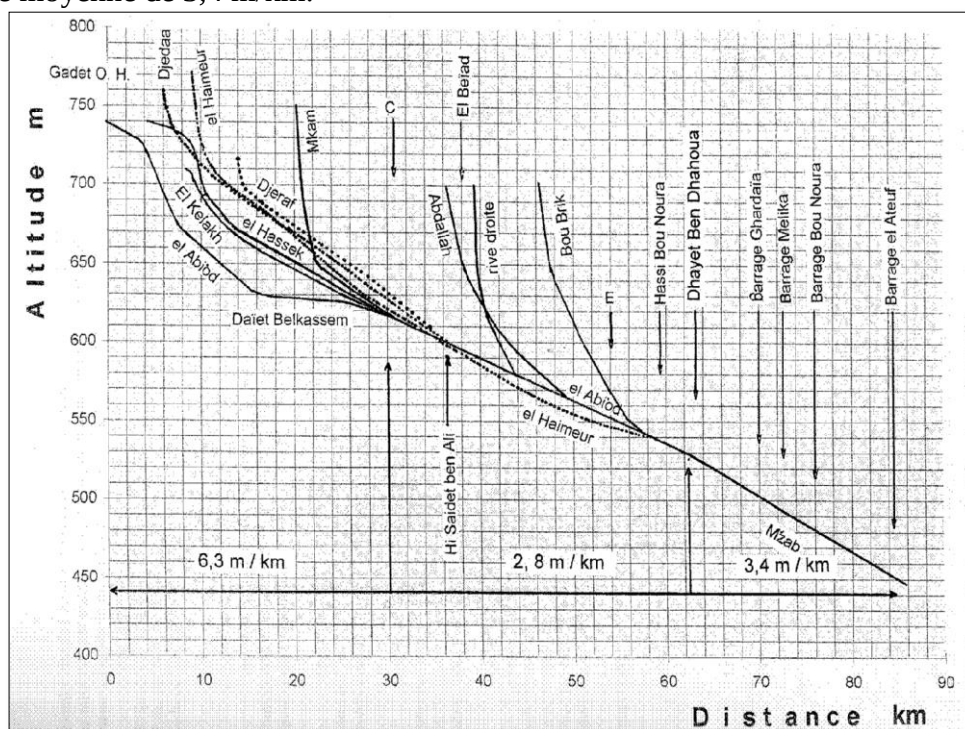


Figure II. 11: Profils en long de l'oued M'Zab et de ses grands formateurs jusqu'à El Atteuf. [Benaouadj A,2011].

CONCLUSION :

La région du M'Zab de par sa situation géographique, et sur tous, la ville du Ghardaïa est confrontée aux phénomènes d'occupation des lits d'Oueds. Ce qui se manifeste de façon catastrophique lors de forte crues constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social. Ces inondations sont dues à l'interaction complexe de plusieurs composantes. C'est le produit de la concomitance des facteurs géomorphologiques, lithologiques, topographiques, hydrographiques et climatiques sans oublier le facteur humain qui est l'un des principales causes. Suite à cette présentation monographique du bassin versant et de la zone d'étude, il est facile d'identifier certains de ces facteurs à savoir la pluviométrie très forte et répartie sur une courte période de l'année, un sol aride, un bassin versant allongé et imperméable ce qui conduit à une forte érosion hydrique. Il y'a aussi la pente forte et irrégulière sur certains endroits qui conduit à un ruissellement excessif. Les pratiques agricoles intensives diminuent la capacité du terrain à retenir l'eau et augmente le ruissellement.

Chapitre III : Modélisation hydraulique de la zone choisie

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, nous allons mettre en évidence de modélisation hydraulique de la zone d'étude et les données de base (hydrauliques et thématiques) sont identifier les secteurs menacés par les inondations dans la ville de Ghardaïa, en particulier la zone d'étude choisie.

III.1.LA ZONE D'ETUDE CHOISIE:

Nous avons une partie vulnérable de la ville de Ghardaïa, celle qui correspond à une dénivelée basse et qui à son tour est le centre de la ville. Elle est caractérisée par la présence de toutes les direction d'équipement sociaux ; aussi, une masse importante de la population y réside (Fig ,III.1).



Figure III. 1: La zone d'étude choisie de la ville de Ghardaïa.

III.2.ECOULEMENT A SURFACE LIBRE :

Les écoulements à surface libre, de même que les écoulements en charge avec une interface entre l'air et l'eau. La pression dans ce cas est égale le plus souvent à la pression atmosphérique.

Les écoulements dans les canaux naturels (rivière) et artificiels (irrigation, assainissement) sont, dans la plupart des cas, des écoulements à surface libre.

Caractérisés par le nombre de Reynolds qui exprime l'action des forces de viscosité. [José Vazquez].

$$R_e = \frac{\mu D}{\nu} \quad (\text{III.1})$$

- **D** : le diamètre hydraulique égal à 2R. (R étant le rayon hydraulique) ;
- **μ** : Le coefficient de viscosité cinématique ;
- **V** : la vitesse moyenne ;

Pour des canaux de largeur inférieure, on aura $R = h$ (h étant le tirant d'eau). Et par le nombre de Froude ou coefficient cinétique qui représente la relation entre la viscosité d'écoulement et la viscosité de propagation des petites perturbations. Certains auteurs adaptent le carré de cette valeur.

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{g h}} \quad (\text{III.2})$$

III.2.1.Types d'écoulement :

La classification ou la définition des écoulements peut se faire à l'aide de la variabilité des caractéristiques hydrauliques, tel que le tirant d'eau (variation de la profondeur h), et la vitesse par rapport au temps et à l'espace. [José Vazquez].

III.2.1.1.Variabilité dans le temps :

Quand les vitesses moyennes U et la profondeur h restent invariables dans le temps en grandeur et en direction, le mouvement est dit permanent ou stationnaire par conséquent le débit est constant. Dans le cas contraire le mouvement est non permanent.

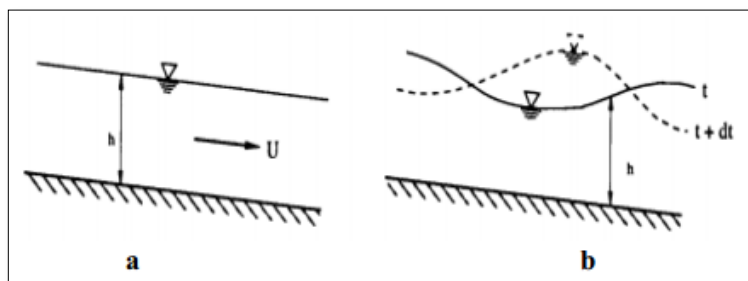


Figure III. 2: Ecoulement permanent (a), et non permanent (b).

Cette permanence d'écoulement dans les canaux est rare, puisque les variations temporelles sont souvent suffisamment lentes pour que l'écoulement puisse être considéré comme permanent, du moins dans un intervalle de temps relativement court. [José Vazquez].

III.2.1.2. Variabilité dans l'espace :

La constance de la profondeur h , ainsi que les autres paramètres caractérisent l'écoulement dans les diverses sections du canal, permet de définir le mouvement uniforme qui traduit la parallélisme de ligne de la pente de fond et la ligne de la surface libre. D'autre part et par contre le mouvement non uniforme ou varié, permanent ou non permanent, accéléré ou décéléré selon la vitesse croît ou décroît dans le sens d'écoulement. Lorsque le mouvement est graduellement varié, la profondeur ainsi que les autres paramètres varient lentement d'une section à l'autre. [José Vazquez].

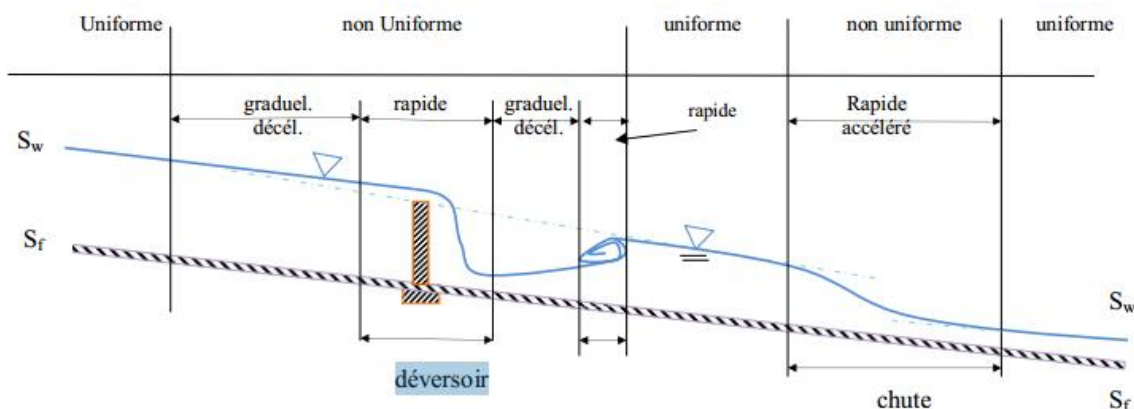


Figure III. 3: Schéma représentant les différents régimes.

III.2.1.3. Ecoulement permanent ou non permanent:

Un écoulement permanent se produit lorsque les paramètres hydrauliques (La vitesse et profondeur d'eau) sont constants dans le temps. Des écoulements de ce types revent caractériser par exemple les débits générée par l'infiltration par les joints de conduite ou le débit des eaux usées dans un réseau d'égout unitaire. Si leurs paramètres hydrauliques pas constants dans le temps l'écoulement est dit non permanent, par exemple l'écoulement dans un réseau d'égout pluvial. Dans ce cas on a alors recours aux équations dites de Saint- Venant, qui sont résolues numériquement pour décrire l'écoulement. [Denis Martel, 2011].

III.2.1.4. Ecoulement uniforme ou non uniforme :

Les écoulements uniformes sont des écoulements dont les paramètres hydrauliques (le débit, vitesse et profondeur d'eau) étant constantes avec la distance; la pente de la canalisation,

celle de l'énergie et la surface de l'eau sont alors toutes parallèles. La profondeur d'eau correspondant à un écoulement uniforme s'appelle la profondeur normale.

D'un autre côté, un écoulement est non uniforme lorsque les mêmes paramètres (vitesse et profondeur d'eau) varient avec la distance. On peut distinguer deux sous-catégories dans ce cas : l'écoulement peut être graduellement ou brusquement varié, selon la rapidité avec laquelle le changement se fait. [Denis Martel, 2011].

III.2.1.5.Écoulement à surface libre (en canal ou en conduite) :

L'écoulement est dit en surface libre lorsque les niveaux d'eau n'atteignent pas la pleine hauteur de la canalisation. La pente critique est celle qui produit la profondeur critique et la vitesse critique (ces paramètres sont définis par le nombre de Froude). L'évaluation de la profondeur critique est importante dans les analyses hydrauliques parce qu'elle constitue toujours un point de contrôle hydraulique: l'écoulement doit passer par la profondeur critique lorsqu'il passe d'un écoulement torrentiel à un écoulement fluvial ou vice versa. [Denis Martel, 2011].

III.2.1.6.Écoulement fluvial ou torrentiel :

La détermination de ce type d'écoulement en fonction du nombre de Froude, qui représente le niveau d'énergie contenu dans l'écoulement lui-même. Un écoulement fluvial, caractérisé par des vitesses faibles et de plus grandes profondeurs d'eau se produit lorsque le nombre de Froude est inférieur à 1. Par opposition un écoulement torrentiel se produira dans une canalisation avec une forte pente et avec un nombre de Froude supérieur à 1. L'écoulement lorsque le nombre de Froude est égale à 1 est dit critique. [Denis Martel, 2011].

III.3.LA FORMULE DE MANNING-STRICKLER :

La formule de MANNING-STRICKLER est représentée dans ce qui suit :

$$Q = K_s \cdot R h^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot S_m \quad (III.3)$$

Avec :

Q : le débit max traversing la section (m³/s);

K_s : le coefficient de rugosité ;

R_h : rayon hydraulique (m) ;

I : la pente du terrain ;

S_m : la section mouillée (m²) ;

III.3.1. Conditions d'application de la formule de Manning Strickler :

L'utilisation de la formule du type Manning Strickler nécessite :

- Une section transversale régulière ;
- Des alignements droits ;
- Des zones où le lit du cours d'eau est unique ;
- L'absence d'un confluent ;

Le calcul du débit max se fait avec la formule de Manning-Strickler sur une section au niveau de l'entrée de la ville de Ghardaïa.

III.3.2. Calcul du débit dans la section au niveau de l'entrée de la ville de Ghardaïa:

- La section mouillée S_m a été calculée par rapport aux traces de crue d'une hauteur de 6m, de deux maisons distantes de 58.5m, disposées aux deux extrémités de la section.
- Le rayon hydraulique R_h est égale à 6m, vu que la section est rectangulaire, et que la hauteur est négligeable par rapport à la largeur.
- La pente géométrique I est égale à 0.003.
- Le coefficient de rugosité de l'Oued M'Zab a été estimé par Bonnard & Gardel (BG). (2002). et qui est de : $K_s=23$.

D'où le débit max qui passe par le pont est égal à : $Q=1255\text{m}^3/\text{s}$.

III.3.3 Calcul de la hauteur H (niveau de la crue) :

On a trouvé la formule à partir de la loi de Manning-Strickler que le calcul du niveau de la crue se fait selon le choix du cas d'un canal rectangulaire. La conversion de l'équation pour calculer l'élévation est comme suit :

$$Q = K_s R_h^{2/3} I^{1/2} S$$

$$Q = k_s I^{1/2} B \cdot H \cdot \left(\frac{B \cdot H}{2H + B} \right)^{2/3}$$

$$Q = k_s I^{1/2} B \cdot H \cdot \left(\frac{2H}{B} + 1 \right)^{2/3}$$

La hauteur est négligeable par rapport à la largeur. Donc la relation devient de cette manière :

$$Q = k_s I^{1/2} B \cdot H^{3/3} \cdot H^{2/3}$$

$$Q = k_s I^{1/2} B \cdot H^{5/3}$$

$$H^{5/3} = \frac{Q}{k_s I^{1/2} B}$$

$$H = \left(\frac{Q}{k_s I^{1/2} B} \right)^{3/5} \quad \text{(III.4)}$$

Avec :

Q : le débit max transversal de la section (m^3/s);

Ks: le coefficient de rugosité ;

I : la pente du terrain (m/m) ;

B : la largeur du canal rectangulaire (m) ;

III.4.MODELISATION HYDRAULIQUE :

La modélisation hydraulique est une méthode de simulation numérique de l'écoulement de l'eau dans les canaux et les cours d'eau, utilisant des logiciels spécialisés. Jusqu'au développement de la technique de calcul, la simulation de l'écoulement de l'eau se faisait sur des modèles à base physique. Un tel modèle est une maquette du terrain, à l'échelle, construite dans un bassin spécialement aménagé à cet effet. Le bassin prévu des robinets qui simulent l'écoulement naturel de l'eau nous permet d'observer la façon dont l'eau s'écoule et déborde. La source: [www.kcet.org]

Mais avec l'avancée de la technique de calcul, les modèles à base physique commencent à être remplacés par des modèles numériques. En principe, un modèle hydraulique numérique fonctionne de la même façon que celui physique, seulement que la simulation se fait sur l'ordinateur avec des coûts considérablement réduits. La source:[www.lsu.edu]

La modélisation hydraulique numérique comprend deux étapes principales: construire la maquette numérique et simuler l'écoulement.

III.4.1.Construction de la maquette numérique :

Dans le processus de modélisation on peut utiliser une maquette numérique continue ou des sections transversales de celle-ci. On peut définir la maquette continue par un modèle numérique de terrain et l'obtenir à travers des mesures topographiques aériennes et terrestres à la fois. Les mesures topographiques terrestres visent tant les terrains émergés, que ceux submergés, dans le deuxième cas s'agissant des mesures bathymétriques.

III.4.2.Simuler l'écoulement permanent et non permanent :

Pareillement aux modèles physiques, on peut faire une simulation numérique de l'écoulement de l'eau sur des maquettes, comme celle mentionnée ci-dessus. L'écoulement peut être simulé de plusieurs façons:

- un écoulement constant dans le temps: le débit ne change pas pendant la simulation (écoulement permanent)
- un écoulement variable dans le temps: le débit change pendant la simulation (écoulement non permanent)

La simulation de l'écoulement non permanent nous permet d'observer non seulement l'étendue maximale de la zone inondée, mais aussi le développement de l'inondation à travers toutes ses phases intermédiaires.

L'écoulement non permanent peut être simulé unidimensionnel (1D) ou multidimensionnel (2D et 3D). Les dimensions portent sur l'orientation spatiale des vecteurs de mouvement de l'eau.

- Modélisation 1D: on considère les vecteurs de mouvement dans le plan sur lequel se réalise l'écoulement, parallèles à l'axe du cours d'eau et entre eux
- Modélisation 2D: on considère les vecteurs de mouvement dans le plan sur lequel se réalise l'écoulement, dans toutes les directions possibles
- Modélisation 3D: on considère un mouvement dans toutes les 3 directions spatiales.

Dans les études de simulation d'un état inondable on utilise surtout les modélisations 1D et 2D. Les 2 types de modèles hydrauliques peuvent être construits de façon individuelle ou combinée. La source: [www.arpentterre.com/modelisation-hydraulique].

La modélisation 1D est utilisée avec succès dans les canaux rectangulaires, ainsi que dans les lits mineurs des cours d'eau, caractérisés par un écoulement surtout laminaire. En cas de débits élevés (débits de crues), lors des débordements dans le lit majeur (plaine d'inondation), l'écoulement perd son caractère laminaire, ce qui permet aux vecteurs de mouvement de s'orienter dans toutes les directions planes. Bien que la modélisation 1D dispose des techniques pour traiter ce changement du régime d'écoulement, l'emploi de la modélisation 2D assure les meilleurs résultats.

Il y a des situations, telles que la simulation de l'apparition d'une brèche dans la digue de protection pendant l'inondation, qui ne peuvent être traitées que par la modélisation 2D, La source: [www.hec.usace.army.mil]

III.4.3. Logiciel utilisée:

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le (Hydrologic Engineering Center de l'US Army Corps of Enginners). La première version (version 1.0) a été libérée en juillet de 1995. Depuis lors il

Il y a eu plusieurs dégagements importants de ce logiciel, y compris des versions : 1.1 ; 1.2 ; 2.0 ; 2.1 ; 2.2 ; 3.0, 3.1, 4.0. [HEC-RAS River Analysis System].

III.4.3.1. Présentation du modèle HEC-RAS :

Le modèle HEC-RAS est un modèle unidimensionnel conçu pour modéliser l'écoulement à surface libre permanent et non permanent et maintenant. La version actuelle de HEC-RAS (4.1.0) comporte une interface graphique permettant d'éditer, modifier, visualiser les données d'entrée et d'observer les résultats obtenus. L'interface Ras-Mapper permet de visualiser les zones inondables à partir des données de terrain en extension « .flt ». La version (4.1.0) en janvier de 2010 qui est conçue pour exécuter les tâches suivantes:

- Calcul des hauteurs d'eau dans un régime permanent.
- Simulation de l'écoulement non permanent.
- Calcul de la capacité de transport solide.
- Exécution d'une analyse de qualité de l'eau. [US ACE, 2010].

III.4.3.2. Validation du modèle HEC-RAS :

Afin de savoir la validité du modèle HEC-RAS, on fait un exemple simple à partir duquel on examine sa validité. Alors, on prend un canal rectangulaire en béton de largeur $b = 100$ m, de pente $i = 10^{-5}$ m/m, de coefficient de Strickler $K_s = 70$ et d'un débit $Q = 273$ m³/s.

Le calcul manuel d'après la formule de Manning-Strickler s'effectue comme suite:

$$Q = K_s S R_h^{2/3} i^{1/2}.$$

Avec :

$$S = b.h \quad \text{et} \quad R_h = b.h/(b+2h).$$

La résolution donne $h = 4,68$ m.

Quand on vérifie avec le logiciel HEC-RAS, la première étape consiste à créer le projet. Ensuite, définir la géométrie des sections. Et enfin, entrer le débit ($Q = 273$ m³/s) et les conditions limites (ici, $i = 10^{-5}$ m/m). Les résultats peuvent être affichés, soit sous forme de schémas, soit sous forme de tableaux.

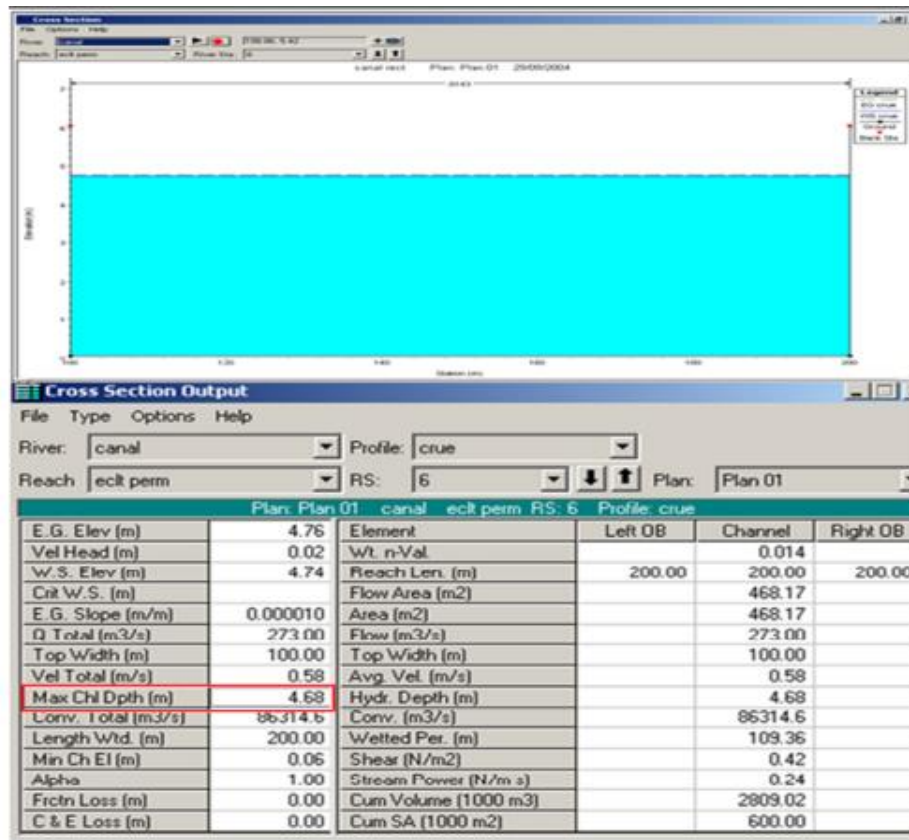


Figure III. 4: Résultats de validation du logiciel HEC RAS.

Comme nous le voyons sur le tableau ci-dessus : $h = 4,68$ m. Donc le calcul manuel et le logiciel HEC-RAS donnent le même résultat pour cet exemple. Ce qui assure la validité du modèle HEC-RAS.

III.4.3.3.Interface de HEC-RAS :

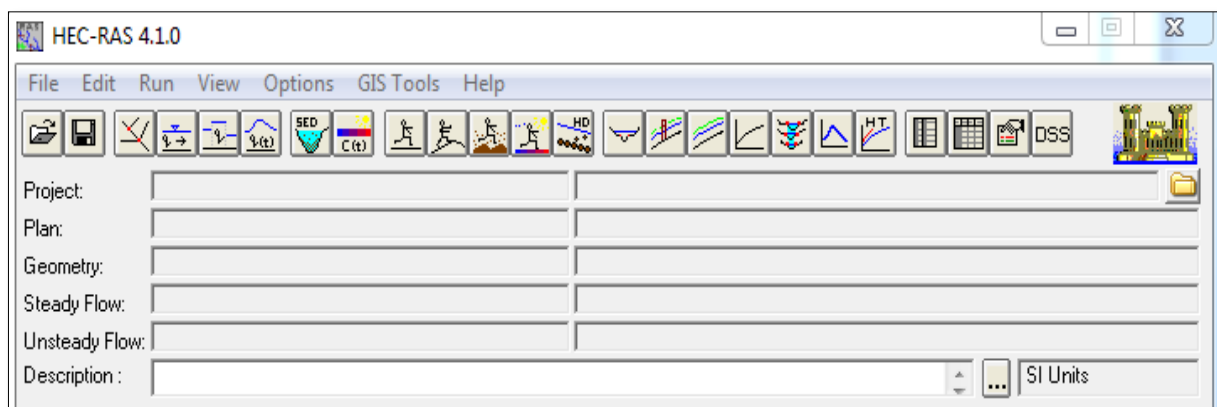


Figure III. 5: Fenêtre principale de HEC-RAS.

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

avec précaution. Outre le menu File, le menu Edit est également important et permet de spécifier les données de base décrivant le système hydrographique devant être modélisé ainsi que les conditions du débit dans ce système. La principale étape de la création d'un projet de modélisation avec HEC-RAS est de définir la géométrie de notre cours d'eau, au moyen de sections transversales. [HEC-RAS River Analysis System].

III.4.3.4. Programme auxiliaires de la famille HEC :

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

- HEC HMS : logiciel de 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 du SIG. Elle permet l'importation des sections en travers à partir d'Arc-Map 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-Map et les importer dans HEC-RAS. Au même temps, elle permet l'exportation des simulations pour les afficher dans l'Arc-Map reconnu par ses potentialités d'affichage 2D et 3D. [Chachou, 2009].

III.5.MODELE UTILISES PAR HEC-RAS EN REGIME PERMANENT:

Si deux sections S_1 et S_2 de l'écoulement séparées d'une distance Δx (Figure III.6). Si E_1 et E_2 étant les énergies de l'écoulement à ces mêmes points, alors le bilan d'énergie entre des ces deux sections est explicité suivant l'équation : [Yahiaoui A , 2012].

$$E_2 - E_1 = (I - J) \Delta x \quad (\text{III.5})$$

Qui se réduit au modèle de Bernoulli utilisé dans HEC-RAS pour calculer les hauteurs d'eau lorsque la pente du canal est faible.

Concernant le calcul de la ligne d'eau, il s'effectue suivant la "Standard Step Method" et qui est une procédure itérative de résolution de l'équation d'énergie donnant la pente d'énergie J .

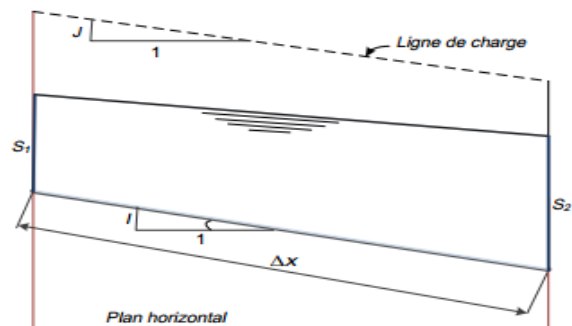


Figure III. 6: Modèle utilisé par HEC-RAS

Cette dernière est supposée égale à la somme de pertes de charges par frottement J_f et la perte par contraction ou expansion de la section, soit :

$$J = J_f + \frac{C}{\Delta x} \left| \beta_2 \frac{V_2^2}{2g} - \beta_1 \frac{V_1^2}{2g} \right| \quad (\text{III.6})$$

C est le coefficient de contraction. HEC-RAS recommande d'utiliser les valeurs suivantes de ce coefficient :

- S'il n'y a pas de transition, C est nul.
- Pour une transition graduelle, C vaut 0.1 pour la contraction et 0.3 pour l'expansion.

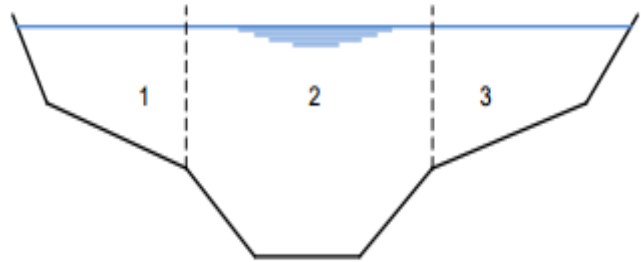


Figure III. 7: Division de la section mouillée du canal.

- Au niveau d'un pont, C vaut 0.3 pour la contraction et 0.5 pour l'expansion.
- Pour une brusque variation, C vaut 0.5 pour la contraction et 0.8 pour l'expansion.

HEC-RAS divise la section mouillée en trois sous sections majeur gauche A_1 , mineur centrale A_2 et majeur droite A_3 (Figure III.7). Le coefficient β sur la section totale est calculé en fonction des débitances K_i de chaque sous-section S_i comme suit :

$$\beta = \frac{S^2}{K^3} \left(\frac{K_1^3}{A_1^2} + \frac{K_2^3}{A_2^2} + \frac{K_3^3}{A_3^2} \right) \quad (\text{III.7})$$

Dans le calcul, les coefficients β par sous-section étant supposés égaux à 1. D'autre part, le pas Δx est calculé, comme suit :

$$\Delta x = \frac{\Delta x_1 \bar{Q}_1 + \Delta x_2 \bar{Q}_2 + \Delta x_3 \bar{Q}_3}{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2 + \bar{Q}_3} \quad (\text{III.8})$$

Q_i est le débit moyenne qui traverse la sous-section A_i .

Enfin, la pente de frottement entre les sections S_1 et S_2 est :

$$J_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (\text{III.9})$$

III.5.1.Coefficient de Manning d'un lit composé :

Le coefficient de Manning-Strickler [Chow, 1959] est une caractéristique de la nature des parois cette distinction est représenté dans le tableau suivant :

Tableau III. 1: Valeurs estimées pour le coefficient de Manning en fonction de la nature des parois [Chow, 1959].

Nature des parois	Coefficient de Manning n (s/m ^{1/3})
Béton lisse	0.011 à 0.013
Béton brut	0.013 à 0.016
Canal en terre, non enherbé	0.017
Canal en terre, enherbé	0.02
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	0.025 à 0.029
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	0.033
Rivière à berges étroites très végétalisées	0.067 à 0.1
Lit majeur en prairie	0.033 à 0.05
Lit majeur en taillis	0.067 à 0.1
Lit majeur urbanisé	0.067 à 0.1
Lit majeur en forêt	0.15

Dans le cas d'un cours d'eau à lit composé, les débordements de l'écoulement du lit mineur dans les lits majeurs contigus sont caractérisés par une interaction turbulente entre l'écoulement du lit mineur et celui du lit majeur. En outre, les lits majeurs peuvent présenter une morphologie très variable le long du cours d'eau, et en particulier des variations de largeur. Ces derniers donnent naissance à des transferts de masse entre lit mineur et lit majeur qui, a priori, se superposent aux transferts turbulents classique dus au gradient de vitesses entre lits. [Yahiaoui A, 2012].

Le calcul le plus simple de la capacité d'écoulement d'un lit composé consiste à considérer la section totale comme tout homogène. Mais compte tenu de la complexité de l'écoulement et de l'hétérogénéité des vitesses sur la section totale, on conçoit bien que la formule de Manning-Strickler appliquée à la section totale n'est plus pertinente pour calculer le débit total. De surcroît, juste après le débordement dans les plaines d'inondation, le périmètre mouillé augmente brusquement, conduisant à une baisse significative du rayon hydraulique. Par conséquent, cela conduit à une sous-estimation du débit sur la section totale si l'on considère une rugosité de Manning-Strickler constante sur la section totale.

Ainsi, d'autres méthodes proposées tenteront de pallier ces insuffisances, chacune étant rattachée à un concept ou une hypothèse particulière reliant les débits, les vitesses, les forces de frottement, les contraintes au fond, entre sous-sections et section totale. La plupart de ces méthodes se basent sur le calcul d'une rugosité de Manning-Strickler composite n_c , telle que :

$$n_c = \sum_i \omega_i n_i \quad (\text{III.10})$$

ω_i : étant des fonctions de pondération des rugosités par sous-section, n_i , reliées aux paramètres géométriques et hydrauliques, et différent selon les auteurs. [Yahiaoui A, 2012].

III.5.2. Equation de la quantité de mouvement :

HEC-RAS utilise l'ensemble des équations précédentes et suivant un processus itératif indirect l'élévation dans chaque surface du canal est déterminée, et par conséquent le type du régime d'écoulement fluvial ou torrentiel.

Dans certains cas et à cause d'un changement brusque dans le canal, il y'aura un changement de régime que ce soit le passage d'un régime fluviale vers un régime torrentielle ou inversement. Dans cette situation l'équation d'énergie n'est pas applicable, seule l'équation du bilan de quantité de mouvement est utilisée par HEC-RAS. Pour cela soit l'élément du canal en surface libre (Figure III.7), le bilan de forces qui agissent sur cette élément est explicité suivant le principe fondamentale de la dynamique suivant la direction de l'écoulement x par :

$$F_{p1} - F_{p2} + F_{wx} - F_f = \rho \Delta(QV_x) \quad (\text{III.11})$$

Avec :

- F_{pi} : Force de pression qui agit sur la section S_i ;
- F_{wx} : Force du poids de l'élément liquide ;
- F_f : Force due au frottement de l'élément liquide aux parois du canal ;
- $\rho \Delta(QV_x)$: Bilan des forces de volume dû au déplacement de l'élément liquide.

La force de pression F_{pi} qui agit sur la section S_i peut être explicitée comme suit [Chow, 1959] :

$$F_{pi} = \rho g S_i Y_i \cos \theta \approx \rho g S_i Y_i \quad (\text{III.12})$$

- Y_i : est la profondeur moyenne de l'écoulement au niveau de la section S_i .

La force du poids F_{wx} suivant la direction x est :

$$F_{wx} = \rho g \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) l \Delta x \quad (\text{III.13})$$

La force du frottement F_f :

$$F_{wx} = \rho g \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) J \Delta x \quad (\text{III.14})$$

Bilan des forces du volume $\rho \Delta(QV_x)$:

$$\rho \Delta(QV_x) = \rho (\beta_2 Q_2 V_2 - \beta_1 Q_1 V_1) = \rho \left(\beta_2 \frac{Q_2^2 V_2}{S_2} - \beta_1 \frac{Q_1^2 V_1}{S_1} \right) \quad (\text{III.15})$$

Finalement l'équation du bilan de quantité de mouvement utilisée par HEC-RAS est :

$$\beta_2 \frac{Q_2^2 V_2}{g S_2} + S_2 Y_2 = \beta_1 \frac{Q_1^2 V_1}{g S_1} + S_1 Y_1 + \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) (I - J) \Delta x \quad (\text{III.16})$$

Le modèle en régime permanent pour le HEC-RAS permet de tester l'incidence sur la hauteur d'eau atteinte en rive opposée d'un endiguement, par exemple. Il facilite aussi la détermination des débits de plein bord tenant compte des modifications locales de topographie. Il peut aussi aider à déterminer les courbes de remous dues à un ouvrage hydraulique particulier. Ces modèles donnent donc dans certains cas des résultats tout à fait pertinents pour répondre aux questions d'aménagement posées.

III.6. MODELE UTILISES PAR HEC-RAS EN REGIME NON-PERMANENT:

Les équations de Saint-Venant ont été établit sur la base d'un modèle d'écoulement à surface libre dont la distance linéaire infinitésimale amont aval est de dx , or dans les considérations pratiques la distance entre deux sections amont et aval d'un canal à surface libre est de l'ordre de quelques mètres voire des dizaines de mètres. Dans le cas des inondations, le parcours de l'écoulement change entre les deux sections du canal (Figures III.8), si le parcours dans le chenal est Δx_c alors le parcours dans la plaine d'inondation active devient Δx_{in} .

Le problème d'écoulement du canal et après le débordement inondant les deux rives peut être résolu par plusieurs façons. Une des approches de résolution, consiste à négliger entièrement la débitance des rives par rapport à la débitance du canal avant le débordement et considérer les rives comme un stockage par dépression (écoulement négligeable). Fread (1976) et Smith (1978) ont considéré que l'écoulement peut être décomposé en deux, l'une passe par le chenal et l'autre par les rives, et pour chacun l'équation de continuité et l'équation de conservation de la quantité de mouvement sont établies, et pour simplifier le problème l'écoulement par les rives se fait horizontalement à la normale des sections transversales (S_j et S_{j+1}), et l'échange en quantité de mouvement entre les deux écoulement est négligeable.

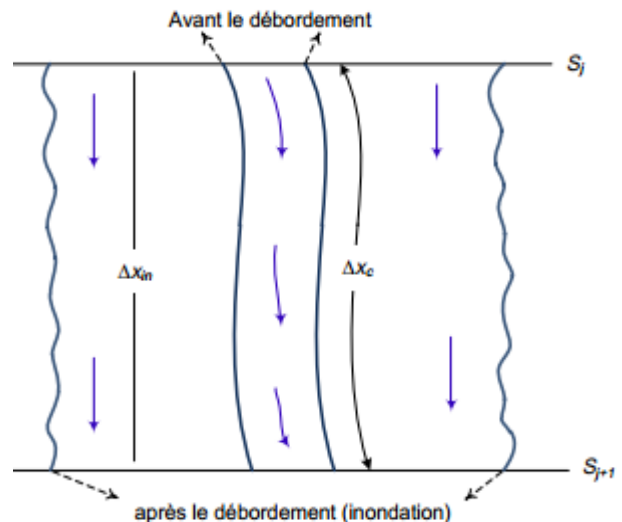


Figure III. 8: Chenal et plaine d'inondation active.

Le débit dans le chenal Q_c est une proportion du débit total Q qui parcourt tout le canal (chenal et rives), il est explicité par :

$$Q_c = \phi Q = \left(\frac{K_c}{K_c + K_{in}} \right) Q \quad (\text{III.17})$$

Avec :

- K_c : est la débitance du canal avant le débordement (chenal).
- K_{in} : est la débitance du canal après le débordement (inondation).

Les équations de Saint-Venant suivant ces hypothèses peuvent être exprimées par :

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_{in}} = q_l \quad (\text{III.18})$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_c} \left(\frac{\phi^2 Q^2}{S_c} \right) + \frac{\partial}{\partial x_{in}} \left(\frac{(1-\phi)^2 Q^2}{S_{in}} \right) + g S_c \left(\frac{\partial Z}{\partial x_c} + J_c \right) + g S_{in} \left(\frac{\partial Z}{\partial x_{in}} + J_{in} \right) = 0 \quad (\text{III.19})$$

Les indices c et in dans l'équation font référence à l'écoulement dans le chenal (lettre c) et à l'écoulement dans la plaine d'inondation active (lettre in) dans le débordement.

D'après les premiers travaux de Fread (1976), Smith (1978) et Barkau (1982) ont montré que les deux équations de Saint-Venant peuvent être écrites pour chaque écoulement (chenal et rives inondées).

III.6.1. Equations de continuité :

Les équations de continuité pour le chenal et pour les rives inondées sont explicitées comme suit :

$$\frac{\partial S_c}{\partial t} + \frac{\partial Q_c}{\partial x_c} = q_{in} \quad (\text{III.20})$$

$$\frac{\partial S_{in}}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q_{in}}{\partial x_r} = q_c + q_l \quad (\text{III.21})$$

q_c et q_{in} : sont les débits latéraux par unité de longueur échangés entre le chenal et la plaine d'inondation de l'écoulement.

A : est une partie de stockage non communiquée à travers la section transversale, généralement cette partie est négligeable.

III.6.2. Equations de conservation de la quantité de mouvement :

De même, les équations de conservation de la quantité de mouvement pour le chenal et pour les rives inondées sont explicitées comme suit :

$$M_c = \frac{\partial Q_c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_c} (V_c Q_c) + g S_c \left(\frac{\partial Z}{\partial x_c} + J_c \right) = 0 \quad (\text{III.22})$$

$$M_{in} = \frac{\partial Q_{in}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_{in}} (V_{in} Q_{in}) + g S_{in} \left(\frac{\partial Z}{\partial x_{in}} + J_{in} \right) = 0 \quad (\text{III.23})$$

Pour simplifier ; soit $u \equiv u(x,t)$ une fonction de la distance et du temps, considérons les notations suivantes (méthode différences finies):

$$u_i^k = u_i \quad \text{et} \quad \Delta u \equiv \Delta u_i = u_i^{k+1} - u_i^k \quad \text{par conséquent} \quad u_i^{k+1} = u_i + \Delta u_i$$

Explicités comme suit :

$$\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{\Delta u_{i+1} + \Delta u_i}{2\Delta t}, \quad \frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{(u_{i+1} - u_i) + \theta(\Delta u_{i+1} - \Delta u_i)}{\Delta x} \quad \text{et} \quad u \approx \bar{u} = \frac{u_i + u_{i+1}}{2} + \theta \frac{\Delta u_i + \Delta u_{i+1}}{2}$$

Les équations de continuité peuvent être écrites sous les formes moyennes suivantes :

$$\frac{\Delta S_c}{\Delta t} + \frac{\Delta Q_c}{\Delta x_c} = \bar{q}_{in} \Rightarrow \frac{\Delta S_c}{\Delta t} \Delta x_c + \Delta Q_c = \bar{q}_{in} \Delta x_c \quad (\text{III.24})$$

$$\frac{\Delta S_{in}}{\Delta t} + \frac{\Delta A}{\Delta t} + \frac{\Delta Q_{in}}{\Delta x_{in}} = \bar{q}_c + \bar{q}_l \Rightarrow \frac{\Delta S_{in}}{\Delta t} \Delta x_{in} + \frac{\Delta A}{\Delta t} \Delta x_{in} + \Delta Q_{in} = \bar{q}_c \Delta x_{in} + \bar{q}_l \Delta x_{in} \quad (\text{III.25})$$

Sachant qu'il y a un échange de masse de part et d'autre entre le chenal et la plaine d'inondation active, ce qui permet d'ajouter cette équation :

$$q_c \Delta x_c = -q_{in} \Delta x_{in}$$

Ce qui conduit à :

$$\frac{\Delta S_{in}}{\Delta t} \Delta x_{in} + \frac{\Delta S_c}{\Delta t} \Delta x_c + \frac{\Delta A}{\Delta t} \Delta x_{in} + \Delta Q_{in} + \Delta Q_c = \bar{q}_l \Delta x_{in} \quad (\text{III.26})$$

Sachant que, $\Delta Q_{in} + \Delta Q_c = \Delta(Q_{in} + Q_c) = \Delta Q$ et $q_l \Delta x_{in} = Q_l$, soit finalement :

$$\frac{\Delta S_{in}}{\Delta t} \Delta x_{in} + \frac{\Delta S_c}{\Delta t} \Delta x_c + \frac{\Delta A}{\Delta t} \Delta x_{in} + \Delta Q - \bar{Q}_l = 0 \quad (\text{III.27})$$

$\bar{Q}_l$: c'est le débit moyen qui entre latéralement à travers les rives.

De même pour les équations de conservation de la quantité de mouvement, soit :

$$M_c = \frac{\Delta Q_c}{\Delta t} + \frac{\Delta(V_c Q_c)}{\Delta x_c} + g \bar{S}_c \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_c} + \bar{J}_c \right) \Rightarrow \Delta x_c M_c = \frac{\Delta Q_c}{\Delta t} \Delta x_c + \Delta(V_c Q_c) + g \bar{S}_c (\Delta z + \bar{J}_c \Delta x_c) \quad (\text{III.28})$$

$$M_{in} = \frac{\Delta Q_{in}}{\Delta t} + \frac{\Delta(V_{in} Q_{in})}{\Delta x_{in}} + g \bar{S}_{in} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_{in}} + \bar{J}_{in} \right) \Rightarrow \Delta x_{in} M_{in} = \frac{\Delta Q_{in}}{\Delta t} \Delta x_{in} + \Delta(V_{in} Q_{in}) + g \bar{S}_{in} (\Delta z + \bar{J}_{in} \Delta x_{in}) \quad (\text{III.29})$$

Sachant que, $M_c \Delta x_c = -M_{in} \Delta x_{in}$, alors :

$$\frac{\Delta Q_c}{\Delta t} \Delta x_c + \frac{\Delta Q_{in}}{\Delta t} \Delta x_{in} + \Delta(V_c Q_c + V_{in} Q_{in}) + g(\bar{S}_c + \bar{S}_{in}) \Delta z + g(\bar{S}_c \bar{J}_c \Delta x_c + \bar{S}_{in} \bar{J}_{in} \Delta x_{in}) = 0 \quad (\text{III.30})$$

Le terme $g(S_c J_c \Delta x_c + S_{in} J_{in} \Delta x_{in})$ représente la force de frottement due à l'action des parois sur l'écoulement, qui peut être exprimée par une force de frottement équivalente :

$$g\bar{S}\bar{J}\Delta x_e = g(\bar{S}_c \bar{J}_c \Delta x_c + \bar{S}_{in} \bar{J}_{in} \Delta x_{in}) \quad (III.31)$$

Avec, Δx_e : le parcours équivalent de l'écoulement, J : la pente de frottement moyenne et $S = S_c + S_{in}$ la section moyenne de l'écoulement.

Le coefficient de correction de vitesse de Boussines β peut être écrite pour une section S par :

$$\beta = \frac{V_c^2 S_c + V_{in}^2 S_{in}}{V^2 (S_c + S_{in})} = \frac{V_c Q_c + V_{in} Q_{in}}{QV} \Rightarrow \Delta(\beta QV) = \Delta(V_c Q_c + V_{in} Q_{in}) \quad (III.32)$$

Finalement, l'équation de la conservation de la quantité de mouvement s'écrit :

$$\frac{\Delta Q_c \Delta x_c + \Delta Q_{in} \Delta x_{in}}{\Delta t \Delta x_e} + \frac{\Delta(\beta VQ)}{\Delta x_e} + g\bar{S} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_e} + \bar{J} \right) = 0 \quad (III.33)$$

III.7. 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.

III.7.1. Création du projet HEC RAS:

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

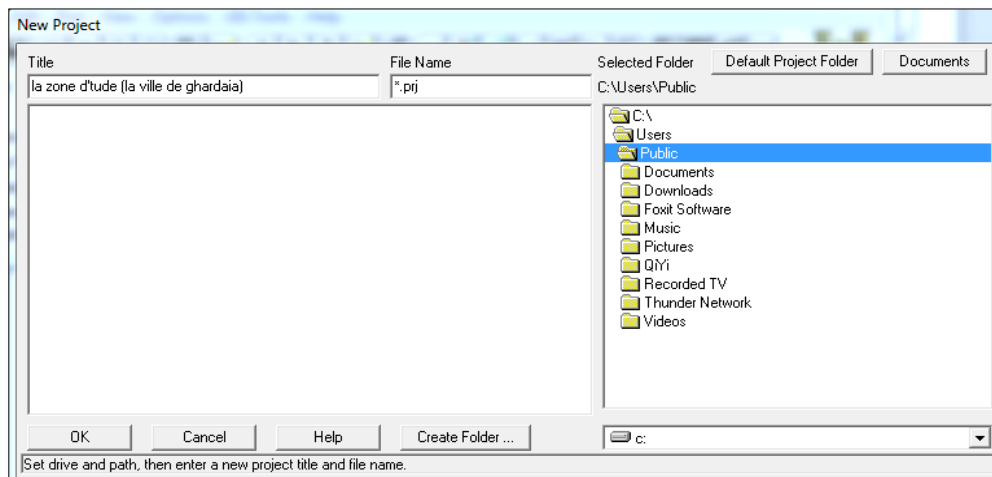


Figure III. 9: Fenêtre nouveau projet.

Le fichier Projet contient le titre et la description du projet, le système d'unité utilisé et les liens vers tous les fichiers qui lui sont associés. Il contient aussi les variables par défaut qui peuvent être définies par l'utilisateur et une référence au dernier Plan utilisé (voir la description d'un Plan plus bas).

III.7.2.Préparation des données topographiques pour l'HEC RAS:

III.7.2.1.Création du MNT TIN :

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

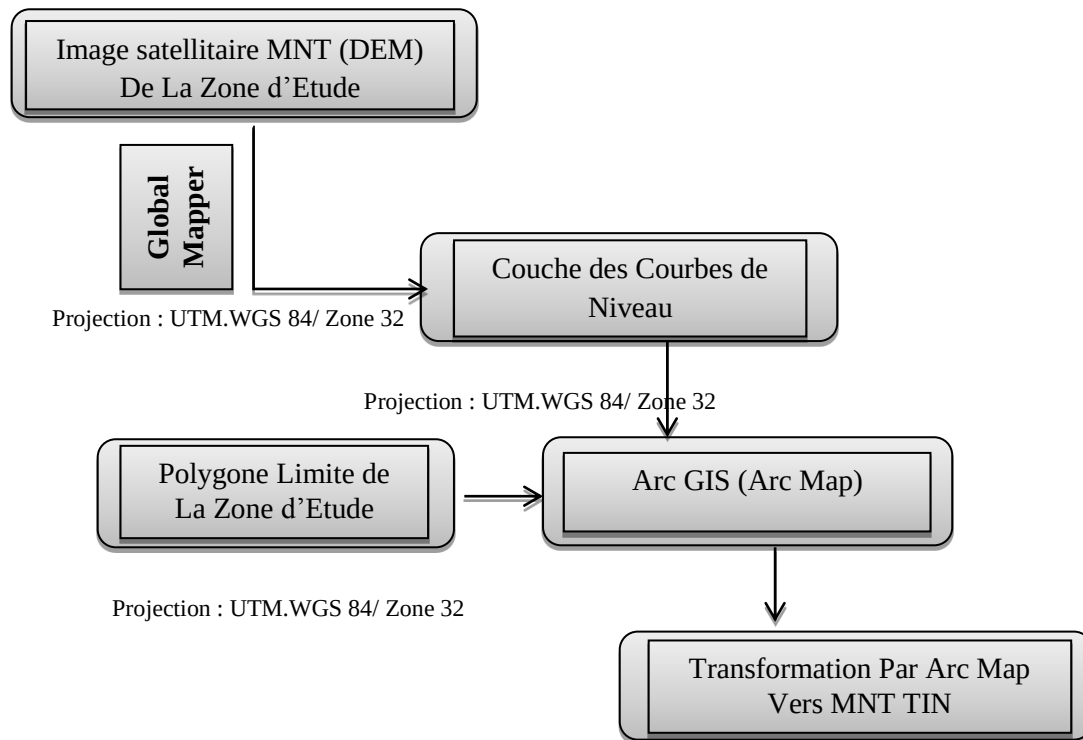


Figure III. 10: Diagramme de travail pour créer le MNT TIN.

Suite à cette combinaison, l'étape suivante a été de créer le MNT TIN sous l'Arc Map (Map info n'a pas la possibilité de faire cette opération et l'Arc Gis n'a pas la licence) et grâce à l'extension 3D Analyst. Le résultat est représenté dans la figure III.11.

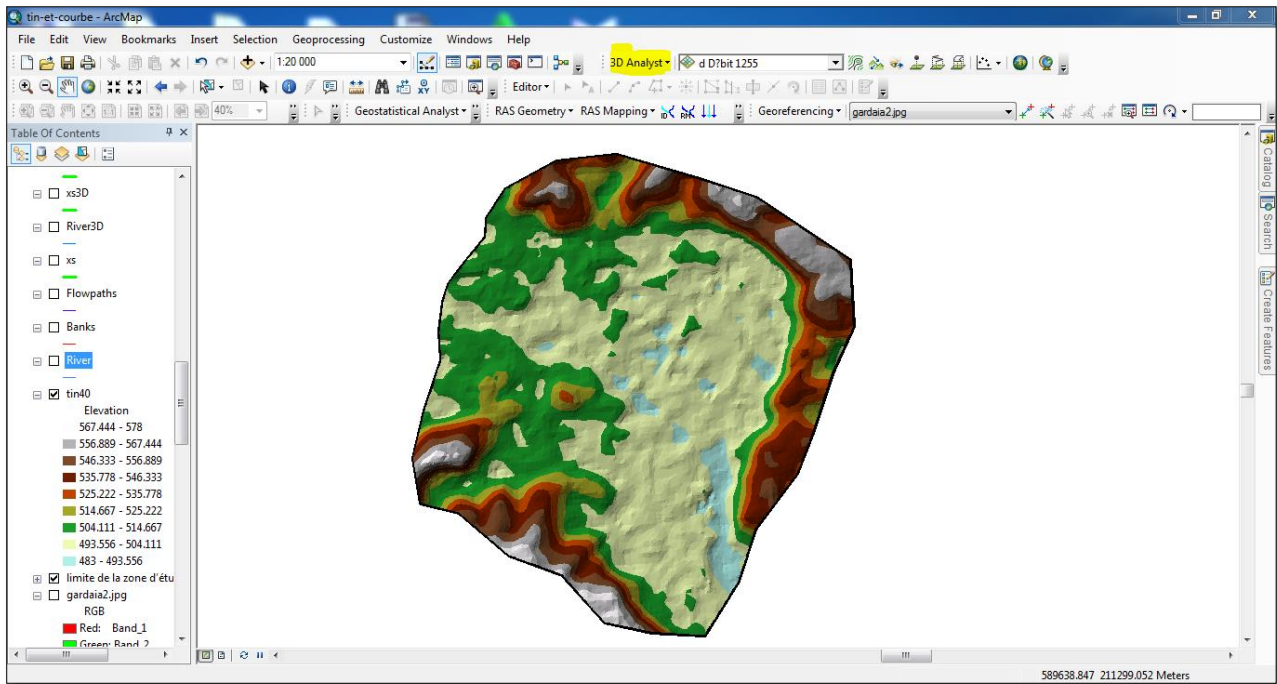


Figure III. 11: Création du MNT TIN de la ville de Ghardaïa.

III.7.2.2.Extraction des données topographique pour l'HEC RAS :

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 géo-spatiales 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 3D et l'analyse spatial sont imposées pour employer HEC-GeoRAS.

Avec la prolongation preRAS, HEC-GeoRAS utilise le MNT TIN pour préparer un dossier des données géométriques évitant ainsi une étape fastidieuse de saisie manuelle. Le dossier d'importation est créé à partir d'une série des thèmes de Ras qui sont les shape files d'Arc-Map extraites du modèle numérique de terrain. Ces thèmes de Ras sont : la ligne centrale de jet (Stream Centerline), les lignes centrales de chemin d'écoulement (Main Channel Banks), les lignes de berges (Flow Path Centerlines), les profils en travers (Cross-Sectional CutLines), le modèle de rugosité (Land Use), la levée d'alignement (Levee Alignment), les régions inefficaces d'écoulement (Ineffective Flow Areas) et les zones de stockage (Storage Areas).

La figure suivante représente la démarche exigée par HEC-GeoRas afin de former le dossier de la géométrie pour HEC-RAS.

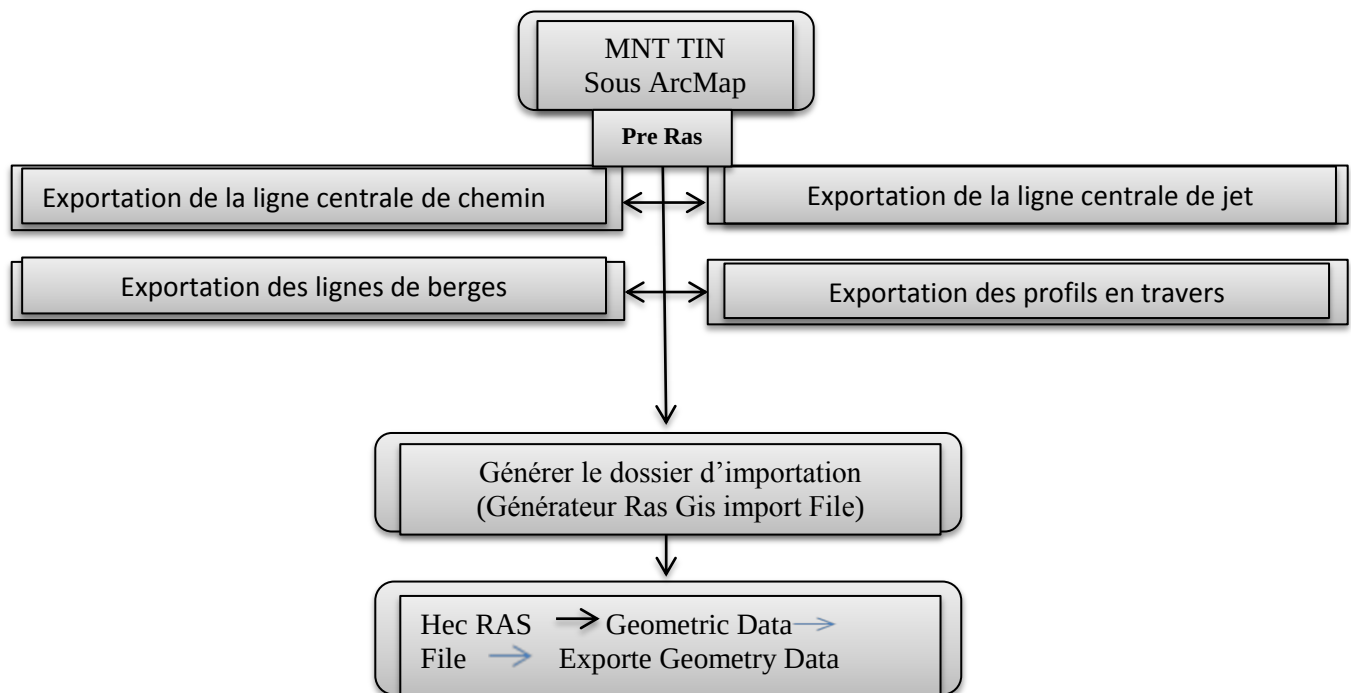


Figure III. 12: Diagramme récapitulant la méthode de préparation du dossier de données

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

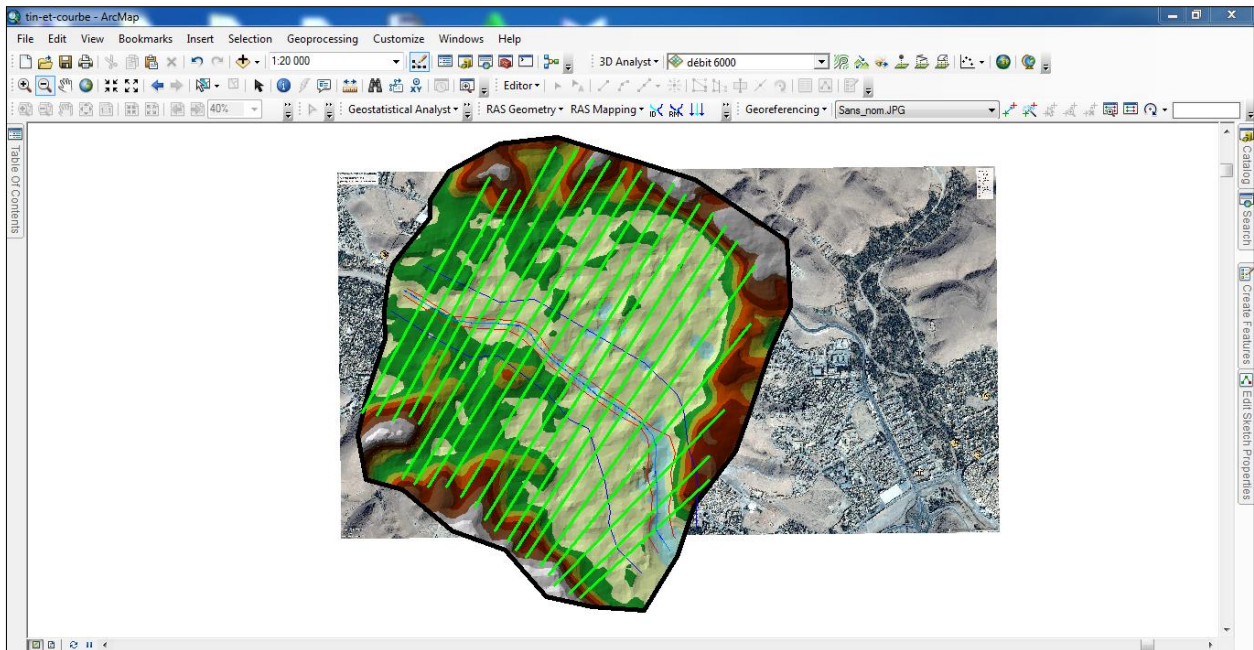


Figure III. 13: Principaux thèmes de Ras créés par HEC-GeoRAS (preRAS).

Une fois le dossier d'importation est prêt, l'HEC RAS l'exporte grâce la commande Geometric Data et fait apparaître la fenêtre de la figure III.14.

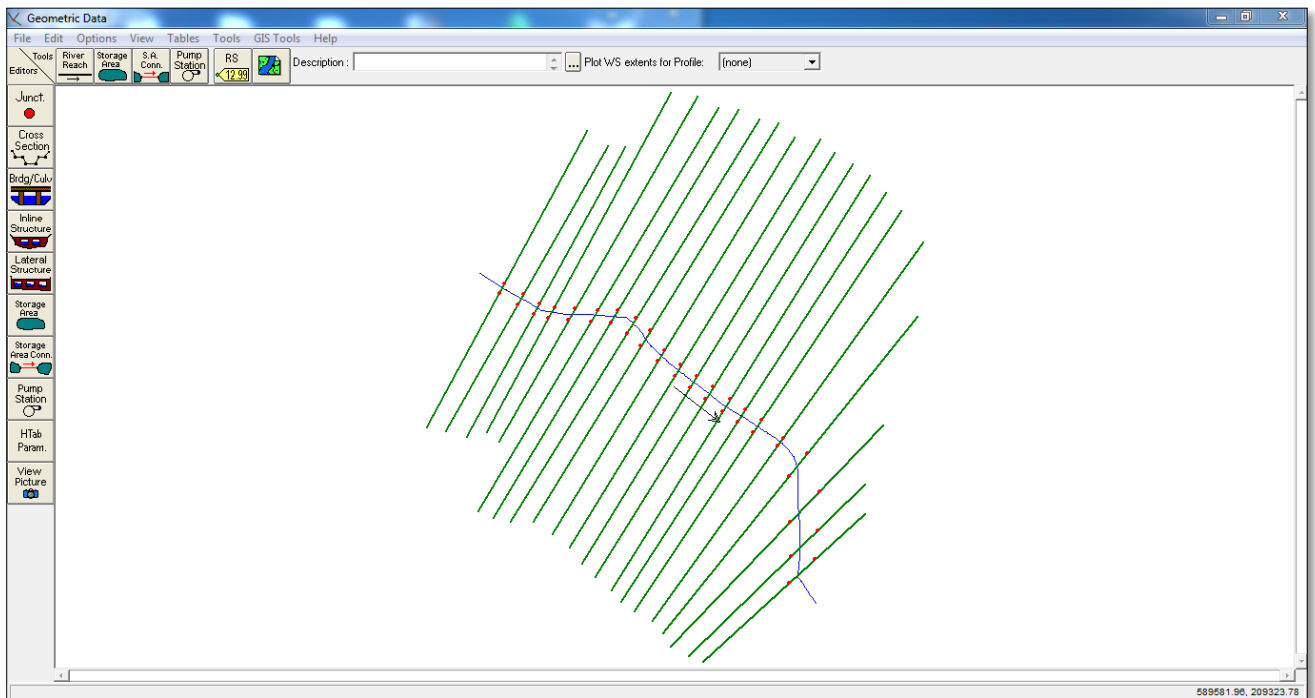


Figure III. 14: La Géométrie de l'Oued M'Zab dans le logiciel HEC RAS.

Ce fichier contient toutes les informations géométriques sur le cours d'eau analysé, soit le schéma arborescent, les sections transversales, la distance entre chaque section, les coefficients de Manning et s'il y a lieu, les structures présentes (ponts, ponceaux). Un projet peut comporter plusieurs géométries afin d'analyser différentes variantes (par exemple avec ou sans obstruction dans la rivière).

III.7.3.Débits et conditions limites :

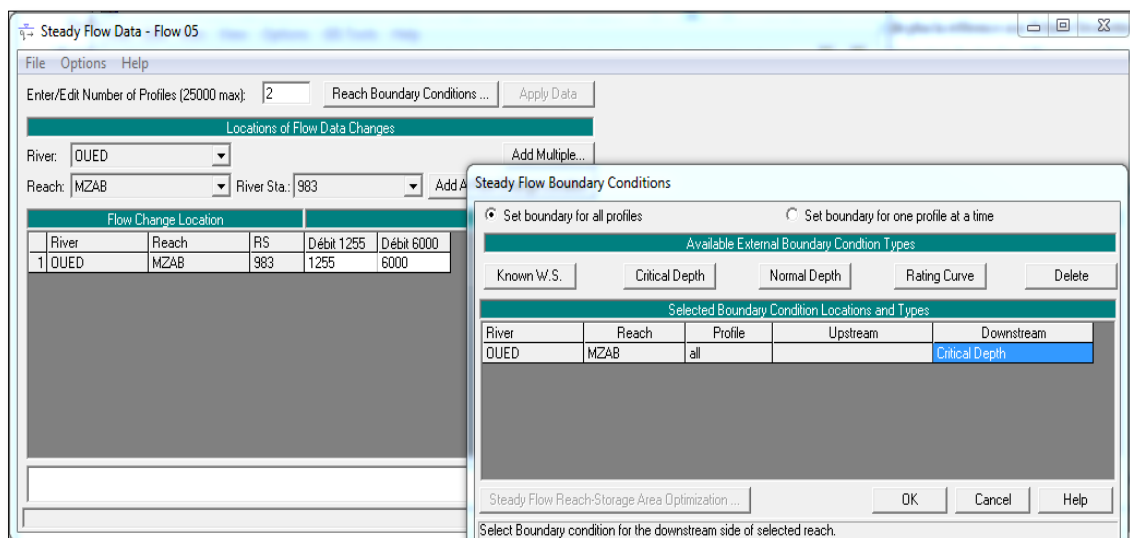


Figure III. 15: Fenêtres des données hydrométriques.

Le fichier Débit est utilisé pour simuler les écoulements permanents. Il contient le nombre de Profile devant être calculés, les données de débit pour chacun d'eux et les conditions limites pour chaque tronçon. Un Profile désigne l'ensemble des niveaux d'eau calculés pour des conditions particulières de débit.

III.7.4.Simulation de la zone inondée :

Donc La dernière étape nécessaire à la modélisation avec HEC-RAS est de définir le plan utilisé, Cette étape est automatiquement créée par HEC-RAS lorsqu'une simulation est lancée.

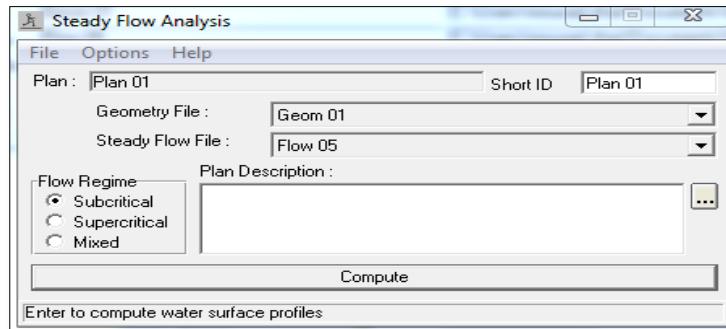


Figure III. 16: Fenêtre Analyse de flux constant.

Un fichier Plan contient un titre et une description du plan, de façon similaire aux informations d'un Projet. Il contient de plus la référence aux fichiers Géométrie et Débit associés à ce Plan.

Le concept de Plan permet ainsi de simuler différentes combinaisons de Géométrie et de débit qui peuvent être nécessaires dans le cadre d'une étude hydraulique.

III.8.RESULTAT DE HEC-RAS :

III.8.1.Résultat des niveaux de la crue :

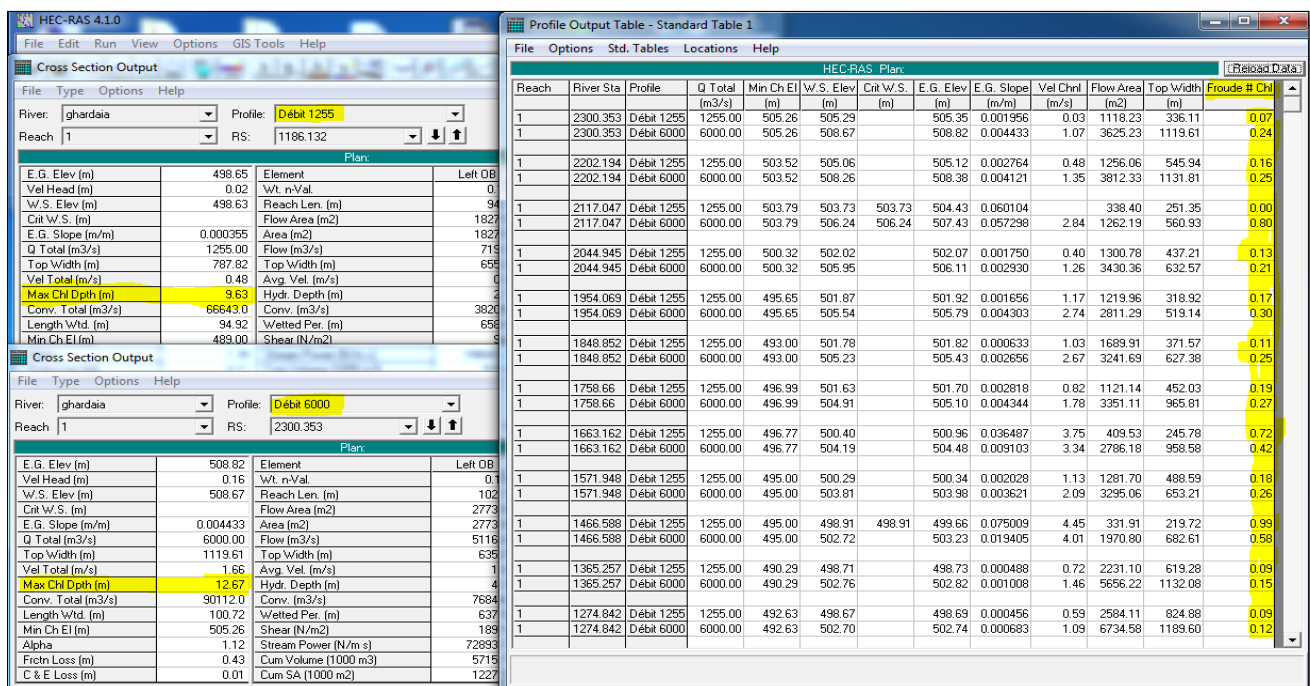


Figure III. 17: Résultat de Débit du 1255 m3/s et du 6000 m3/s.

La figure ci-dessus Figure III.17, montre des niveaux d'eau élevés et le type de l'écoulement est un écoulement fluvial, caractérisé par des vitesses faibles et variée et de plus grandes profondeurs d'eau se produit lorsque le nombre de **Froude est inférieur à 1**.

III.8.2.Simulation par HEC-RAS avec un débit de 1255 m³/s :

Rappelons qu'en 2008 l'estimation du débit qu'a causé l'inondation de Ghardaïa était proposée théoriquement à 1255 m³/s [Bonnard & Gardel (BG). (2002)]. L'A.N.R.H de la région Sud de son coté, à conclud un débit de valeur égale à 1200m³/s, et cela ; selon la hauteur d'eau. Nous avons introduit par simulation le premier cas théorique d'une valeur de 1255m³/s. Les résultats de notre simulation nous a donné la schématisation de la propagation de l'eau ans la ville Voir Figure III.18

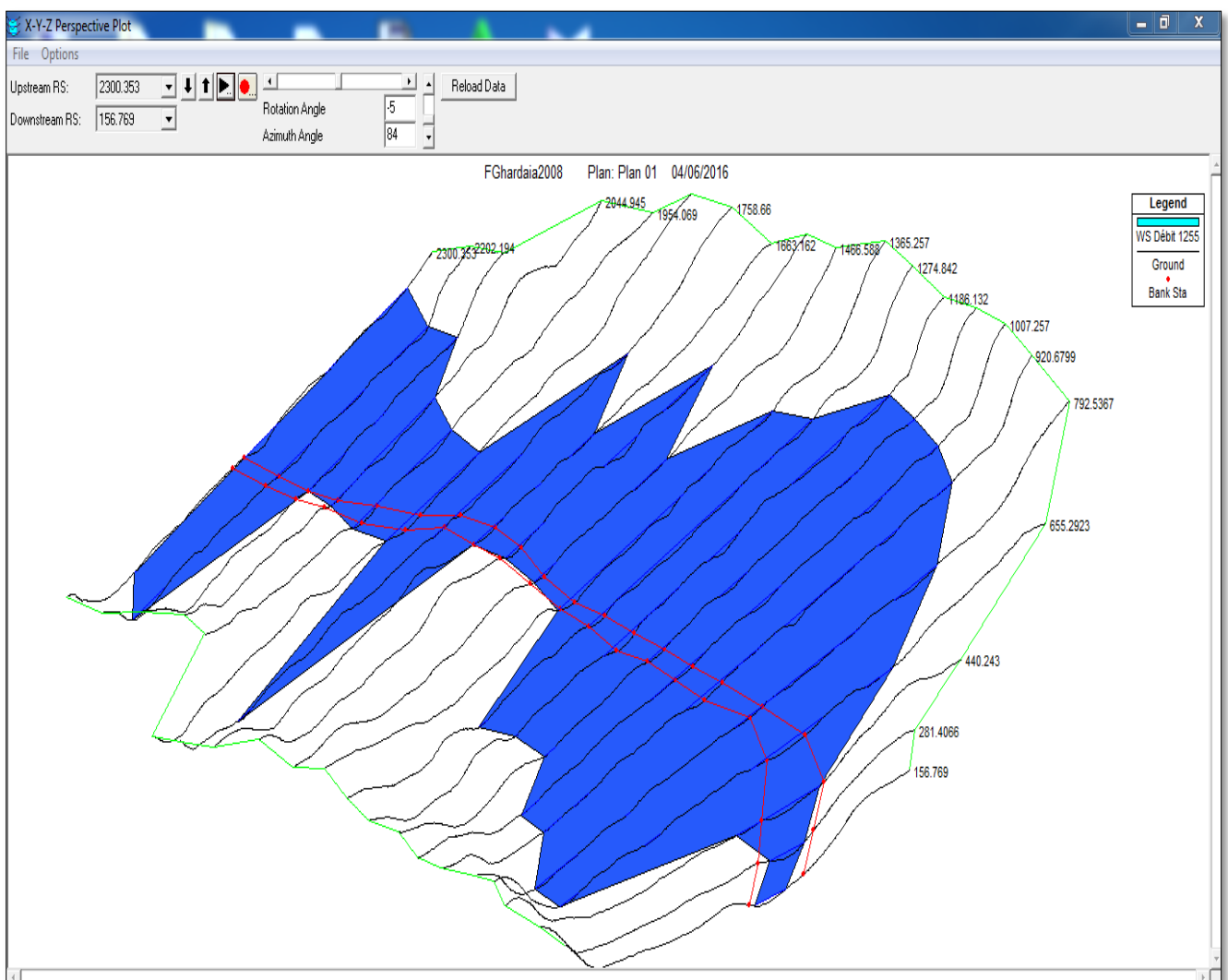


Figure III. 18: Simulation avec un débit de 1255 m³/s.

Notons bien que le débordement va à gauche uniquement selon le débit proposé dans cette situation de simulation pour raison de nivèlement qui joue un rôle important vis-à-vis de la pente

Dans cette Figure III.19, nous constatons que la similitude et remarquable avec ce que l'on a trouvé par apport à la carte numérique de propagation de l'eau faite par le service de la protection-Civil en ce temps ; comme étant un rapport de l'état des lieux.

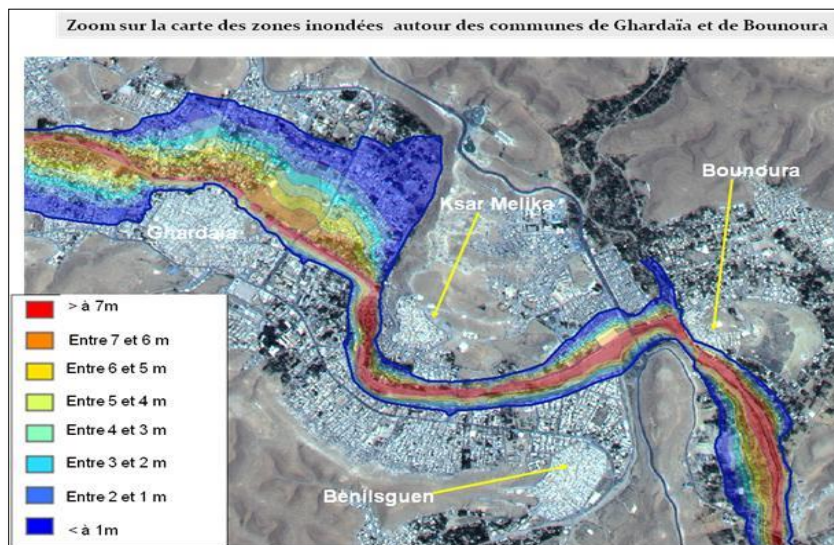


Figure III. 19: La carte des zones inondées autour des communes de Ghardaïa et de Bounoura avec un débit de 1200m³/s. Source : [protection civile de Ghardaïa].

III.8.3. Simulation par HEC-RAS avec un débit de 6000 m³/s :

La seconde valeur de débits pouvant aller jusqu'à un débit dévastateur que l'on a trouvé dans l'archive et qui a engloutis presque toute la ville est égal à 6000 m³/s. Les résultats de notre simulation nous a donné la schématisation de la propagation de l'eau ans la ville.

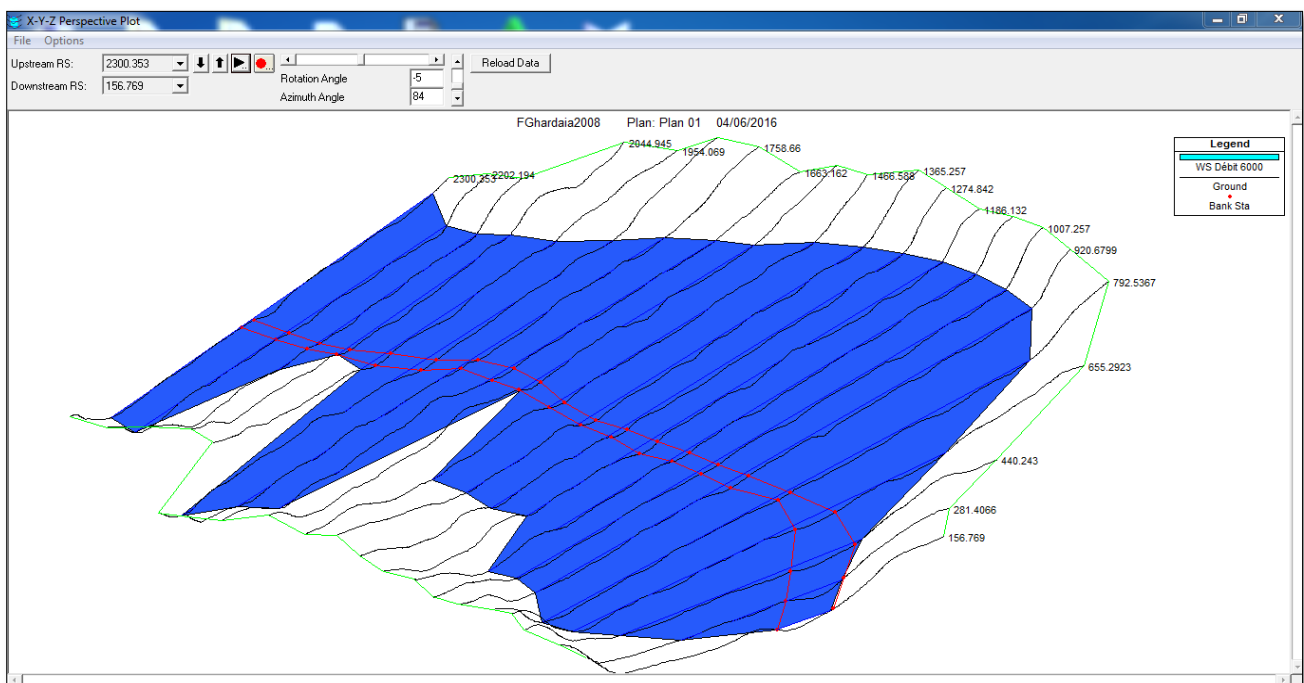


Figure III. 18: Simulation avec un débit de 6000 m³/s.

III.9.DISCUSION DE LA RESULTAT DE HEC-RAS :

L'utilisation du régime non permanent se justifie parfaitement pour répondre aux objectifs de la modélisation hydraulique dans le cas de l'Oued M'Zab. Le système a très bien fonctionné et a répondu aux objectifs souhaités afin d'imaginer les conséquences et l'ampleur d'un cas sinistre probable. Rappelons que le système est très simple et surtout très rapide puisque le logiciel nous fournit un seul résultat à chaque point du profil. Suite au maximum obtenu par le débit, la simulation par le logiciel HEC-RAS pour la valeur de 6000 m³/s, nous montre que la ville est dans ce niveau de débit, totalement immergée des deux côtés, quant au débit de 1255 m³/s la ville est inondée juste du côté gauche et ce résultat est atteint par le programme HEC-RAS est un résultat satisfaisant en comparaison au cas réel qui s'est produit. Ainsi il est envisageable de se fier à la simulation pour d'éventuel cas futur.

CONCLUSION :

Le choix d'utilisation du logiciel HEC-RAS réside dans l'utilisation d'une modélisation de l'écoulement permanent et non permanent à surface libre en débordement du chenal vers la plaine d'inondation active. L'utilisation du programme HEC-RAS nous a permis d'illustrer parfaitement le débit maximal de débordement de l'Oued M'Zab au centre de la ville de Ghardaïa. Il nous a aidé dans l'étude des cas de simulations et nous a permis une meilleure vue pour les précautions de sécurité à prendre pour mieux gérer et protéger cette zone contre les débordements de crues. Le résultat de simulation ainsi obtenu par HEC-RAS nous a servi comme données de base pour l'élaboration de la cartographie que nous allons adopter dans l'étude du chapitre quatre.

CHAPITRE IV : Cartographie et Gestion de Risque des Zones Inondables

INTRODUCTION :

L'élaboration d'une carte des zones inondables serait un outil précieux pour les planificateurs dans la définition d'occupation des sols, la construction des ouvrages de protection et l'amélioration des systèmes de prévisions et d'alertes de crues. En vue de l'élaboration, de l'établissement et de l'utilisation de cartes, plans et autres modes d'expression numérique. L'objectif principal de ce chapitre est d'exposer les outils et les techniques qui peuvent être utilisés pour cartographier le risque inondation dans un milieu urbain par approche de modélisation hydraulique, ainsi un outil très ambitieux en matière de l'aide à la décision dans un contexte de gestion du risque.

IV.1.LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (S.I.G) :

Les Systèmes d'information Géographique ou S.I.G sont des types de bases de données qui permettent de gérer des données descriptives à une entité physique localisée. Mais c'est aussi un outil de stockage, de gestion et d'exploitation des données spatialisées. Ils peuvent enfin être abordés non plus comme des outils mais comme une science proposant des outils pour gérer, retrouver, transformer, créer et publier des données géographiques. [Deblane K, 2010]

IV.1.1.Composants nécessaires au bon fonctionnement d'un S.I.G :

- **Matériel** : L'ordinateur ;
- **Logiciel** : Il doit permettre de travailler sur des informations géographiques, intégrer un Système de Gestion de Base de Données, permettre de faire des analyses et de visualiser l'information avec une interface graphique « agréable » pour l'utilisateur ;
- **Données** : géographiques et tabulaires ;
- **Utilisateurs** : exploitation, développement de l'outil... ;
- **Méthodes** : variables suivant le type d'organisation. [Harvey, 2008].

IV.1.2.Développeurs des SIG :

Les premiers promoteurs et développeurs du S.I.G venus de la recherche urbaine (Horwood), de planification (Mc-Harg), gestion des ressources naturelles (Tomlinson), Et analyse (Fisher), Sous la direction de Fisher, le laboratoire de Harvard de « Computer Graphics » est devenu l'un des endroits clés pour le développement des premières applications S.I.G, le programme S.Y.M.A.P, édité par Howard T. Fisher en 1963 a été suivi par deux systèmes raster, G.R.I.D et I.M.G.R.I.D, et un S.I.G vecteur Odessey . [Harvey, 2008].

IV.2.LOGICIELS UTILISEE :

ArcGis :

L'Arc-Gis est un logiciel permettant d'exploiter un Système d'information Géographique (S.I.G). Le logiciel S.I.G permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de donnée géographique .de plus, il permet aussi de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée. La version 10.1 apporte la possibilité de gérer Arc-Catalog et Arc-ToolBox directement depuis l'interface d'Arc-Map. Source [ESRI,2012].

IV.3.PRESENTATION DE L'INTERFACE ARC-MAP :

Arc-Map montre, questionne, édite, crée ou analyse des données, sous forme de tables ou de cartes. Arc-Map facilite la disposition des cartes lors de la mise en page pour l'impression, l'intégration dans d'autres documents et l'édition de documents électroniques l'interface du Logiciel est présenté ci-dessous :

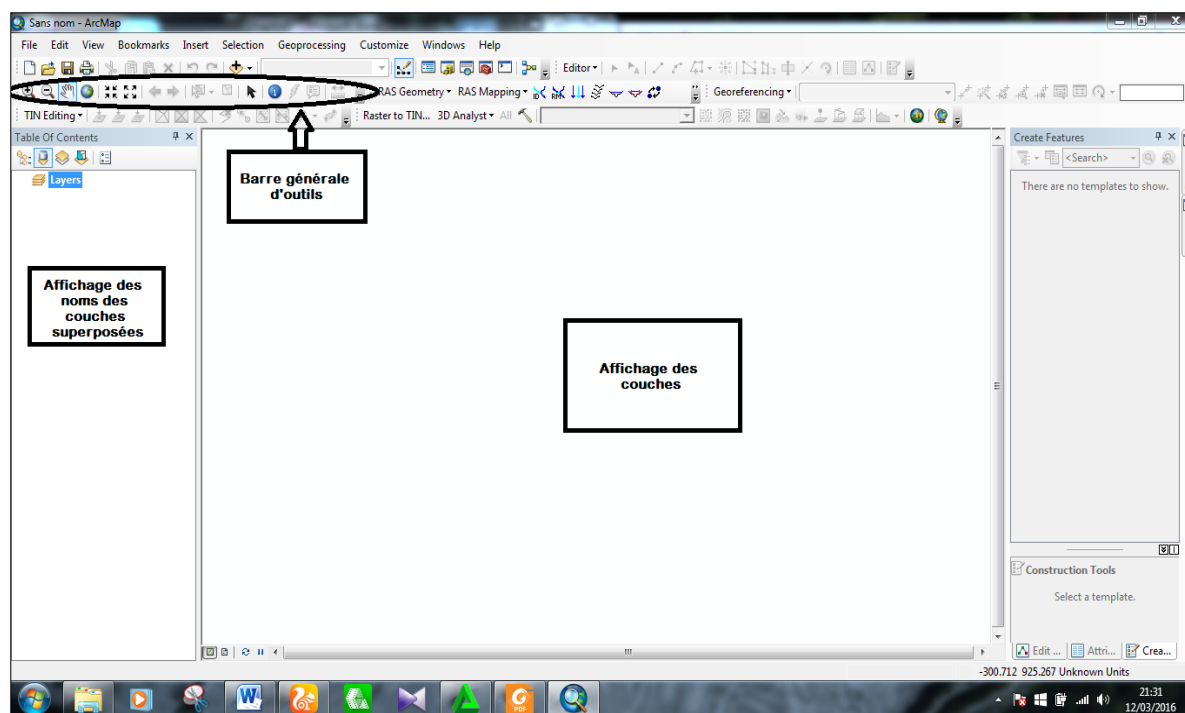


Figure IV. 1 : Interface du Logiciel Arc MAP.

IV.4.IDENTIFIER LES ZONES MENACEES :

Dans cette étape de sujet, nous essayons d'identifier les services publics les plus vulnérables au risque d'inondation surtout qu'il s'agit d'établissements clés au cas de sinistre. Il est précisé qu'avec l'aide d'une carte représentante du centre-ville de Ghardaïa nous avons repéré les sites suivants :

- Maisons de jeunes ;
- Banque ;
- La police ;
- Ecole primaire et secondaire ;
- Gare routière ;
- Hôpital ;
- Protection civile ;
- Autres administration ;

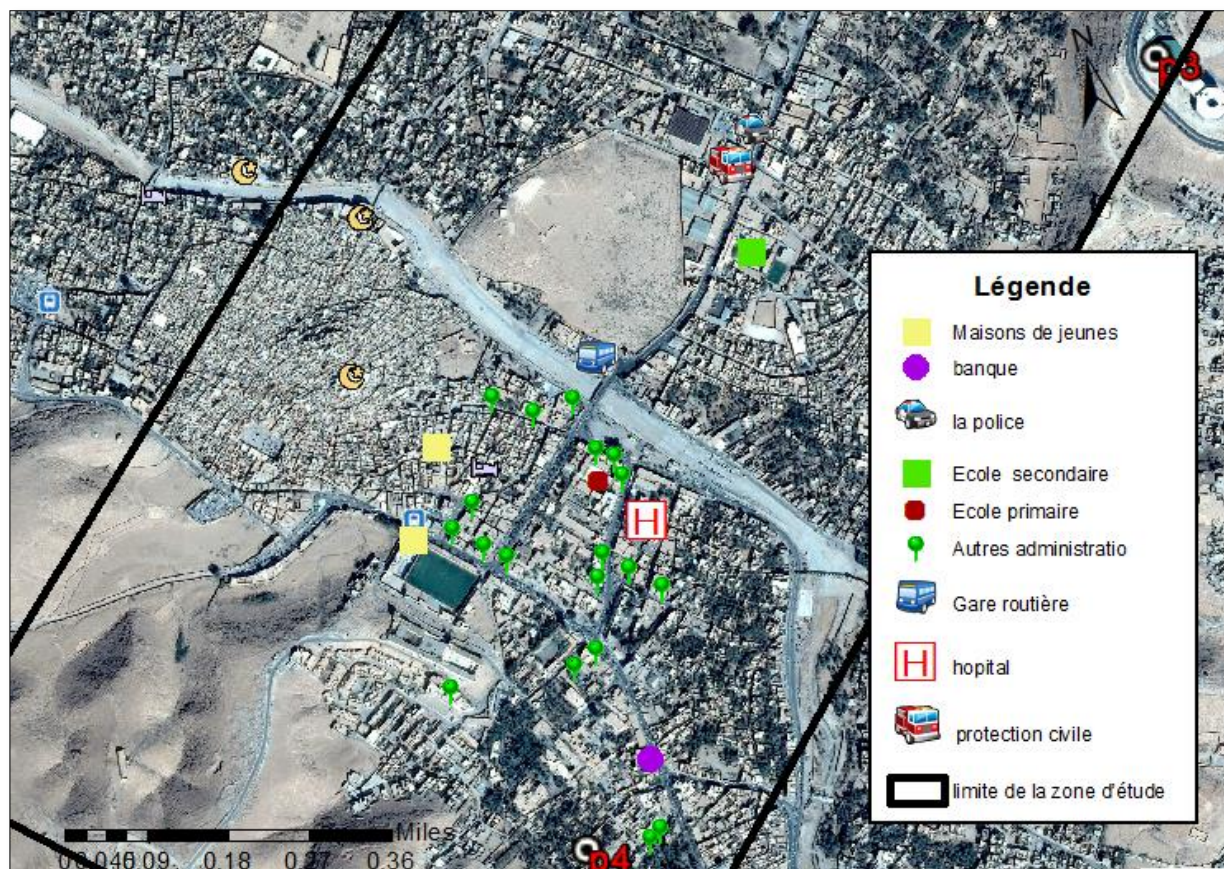


Figure IV. 2: Vue cartographique représentant les services publics les plus vulnérables.

Ce sujet représenté dans la Figure IV.2 correspond à une vue cartographique représentant les services publics les plus vulnérables. Notons que tous les établissements publics très proches du chemin de l'Oued dans la vallée du M'Zab sont sujet d'analyse dans le domaine thématique et nous ont menés à étudier plusieurs variantes qui se résume en trois points :

- ✓ **Le premier point** correspond à la comparaison des altitudes (établissement par rapport à l'axe de l'Oued dans la vallée). Il est représenté dans le tableau suivant :

Tableau IV. 1: récapitulatif des dénivelés des établissements.

Etablissement	Côte d'Etablissement (m)	Côte de vallée (m)	La Différence (m)
La police	499.98	489.25	10.73
Protection civile	499.96	489.25	10.71
Hôpital	502.02	489.41	13.61
Gare routière	493	489.01	4
Ecole primaire	498	489.48	8.52
Ecole secondaire	502.55	489.48	13.07
Banque	504.20	488.98	15.22
Maison de jeunes	503.90	489.25	14.65

- ✓ **Deuxième point** correspond à la distance entre chaque établissement par rapport à l'axe de l'Oued car cette distance permet à introduire une autre variante qui est le temps d'inondation (t) représentant la propagation de la crue avant que le danger soit là. Il est présenté dans le tableau suivant :

Tableau IV. 2: La distance entre chaque établissement par rapport à l'axe de l'Oued.

Etablissement	La distance (m)
La police	525
Protection civile	445
Hôpital	118
Gare routière	31
Ecole primaire	346
Ecole secondaire	106
Banque	283
Maison de jeunes	219

- ✓ **Le troisième point** correspond au type du risque, parce que les services publics sont différents les uns des autres en termes d'activités politiques et en nombre du personnels qui s'y sont. Nous avons effectués une interview avec les chefs d'établissements afin de nous donner plus de détails sur le type d'activité et le personnel.

IV.5.CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION :

Quand la simulation est effectuée, on peut grâce à l'HEC-GeoRas (preRas), 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 avec un débit de 1255m³/s en premier, la hauteur d'eau est arrivée à 9.63m. Nous avons ensuite amplifié cette valeur sur la base de documents d'archives qui nous ont expliqué que l'eau est déjà arrivée à une hauteur maximale recherché. Ce qui stipule un débit de 6000m³/s.

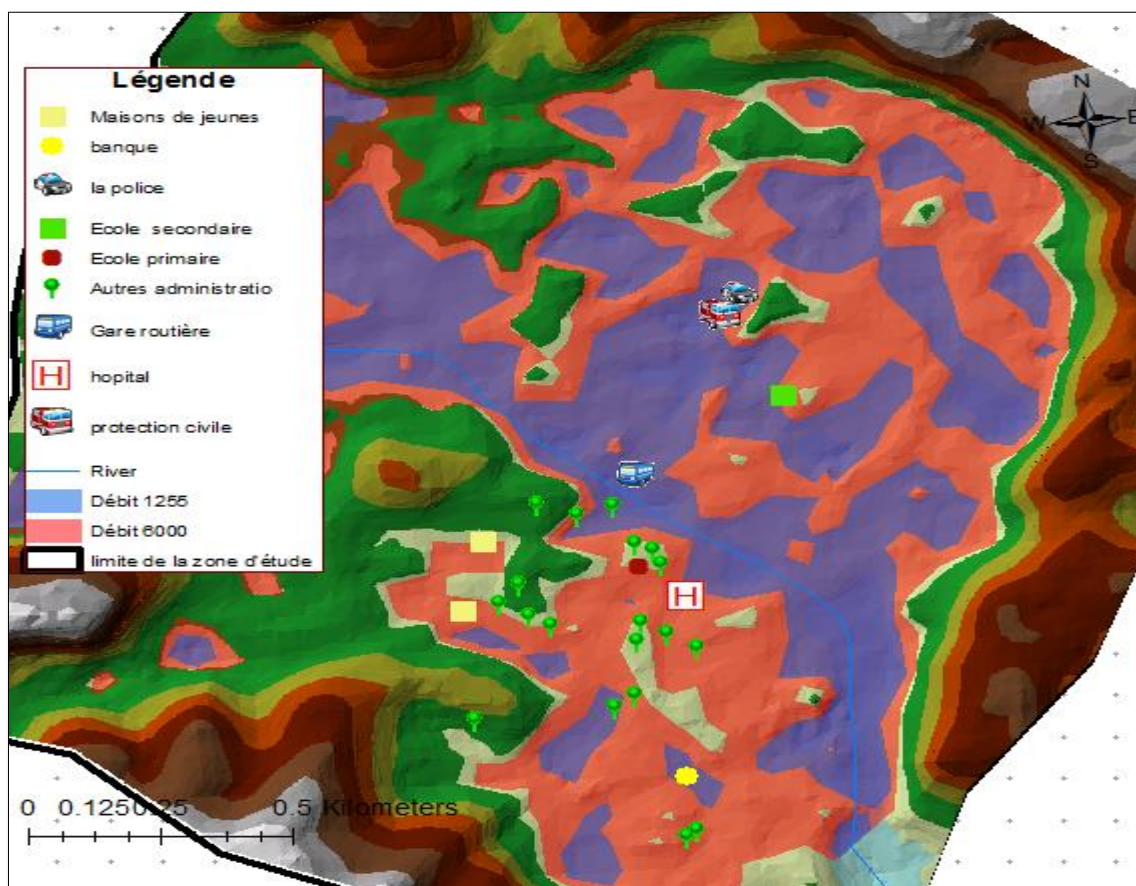


Figure IV. 3: La carte de la zone étudiée inondée.

Dans la figure IV.3, nous constatons que la simulation avec ces valeurs de débit nous ont permis d'imaginer un scénario d'inondation allant jusqu'à la hauteur simultanée de 12.67 m qui correspond à un débit de 6000m³/s sur la vallée du M'Zab.

Il faut aussi préciser que les établissements choisis ont une évaluation transversale en ce qui concerne l'ordre d'importance du point de vue occupants et stratégie de fonctionnement. Pour cela, nous avons établis une fiche de classement à travers un questionnaire présenté aux chefs d'établissements. Il se résume comme suit :

Tableau IV. 3: Caractéristique des établissements et calcul des poids.

Etablissement	Hauteur d'établissement (m)	Sous-sol dans l'établissement	Nombre du personnelle	Construit-en	Calcul des poids
La police	14	Oui	62	1992	Fort
Protection civile	13	Oui	35	1973	Fort
Hôpital	12	Non	150	1997	Fort
Gare routière (moy)	7	Non	21	1984	Modéré
Ecole Primaire	6	Non	413	1980	Modéré
Ecole secondaire	8	Non	620	1980	Modéré
Banque	9	Non	16	2003	Modéré
Maison de jeunes	13	Oui	100	1975	Fort
Autres administrations	7-13	Non	10-30	1985	Modéré

Pour les secteurs d'études, l'aléa inondation peut être caractérisé par la hauteur de submersion. Elle est évaluée comme suit :

✓ **Hauteur D'eau :**

- **Aléa faible** : hauteur d'eau compris entre 0 (ou 0.20 m) et 0.50 m.
- **Aléa modéré** : hauteur d'eau comprise entre 0.50 m et 1m.
- **Aléa fort** : hauteur supérieure à 1m. [C.Vauvert, 2004].

✓ **Type De Crue :**

- **Crue rapide** : se produisant sur des surfaces de moins de 5 000 km².
- **Crue lente** : génjes pluies longues sur un bassin versant de plus de 5 000 km². [C.Vauvert, 2004].

IV.6.QUALIFICATION DE L'ALEA VIS-A-VIS DES ETABLISSEMENTS :

La qualification de l'aléa s'est faite selon la synthèse des systèmes logique (combinatoires ou séquentiels), nous avons supposé, implicitement, qu'une même variable secondaire avait toujours la même valeur en tous les points du notre zone d'étude et que les conditions correspondent à des sites sous influence différente.

L'arborescence ainsi réalisée permet de définir des relations horizontales entre critères, qui expriment une dépendance par rapport au but et des relations verticales qui expriment l'importance relative qui est le poids. Nous avons établis ces poids par apport à notre discussion avec les décideurs ou experts que nous avons rencontrés. La modularité du calcul numérique permet de changer la

valeur des poids selon les critères établis à nos cibles. La région étudiée s'appuie sur le croisement des deux facteurs : vitesse de montée des eaux (type de crue) et hauteur d'eau, pondérée le cas échéant par la vitesse d'écoulement. L'évaluation du degré des risques établis selon les poids attribués nous ont permis de les classer comme suit :

Tableau IV. 4: Evaluation du degré de risque pour chaque établissement à l'état critique.

Etablissement	Degré du risque
La police	Fort
Protection civile	Fort
Hôpital	Fort
Gare routière (moy)	Modéré
Ecole primaire	Modéré
Ecole secondaire	Modéré
Banque	Modéré
Maison de jeunes	Fort
Autres administrations	Modéré

Tableau IV. 5: Critères de qualification de l'aléa.

	Crue lente	Crue semi rapide
Hauteur d'eau <0.5m	Modéré	Modéré
0.5m<Hauteur d'eau<1.0m	Modéré	Fort
Hauteur d'eau >1.0m	Fort	Fort

Source :[C.Vauvert, 2004]

IV.7.RESULTAT DE LA CARTOGRAPHIE ET DISCUSSIONS :

La protection parfaite contre le risque inondation de toutes fréquences correspond dans la réalité à un cout infini. Ce qui est pratiquement impossible puisque la protection parfaite n'existe pas comme le risque zéro n'existe [Diren R.A, 2004]. Quel que soit l'aménagement adopté pour ce fait, seulement la compréhension du fonctionnement de ce risque, pour mieux le prévenir avec une gestion efficace, il faut lui assure la protection optimum.

Il est présenté dans ces figures IV.4 et IV.5, les deux cartes qui nous montrent le niveau de l'aléa d'inondation dans chacune de la zone étudiée avec les deux débits effectués respectivement : $1255\text{m}^3/\text{s}$ et $6000\text{m}^3/\text{s}$ dans ce qui suit :

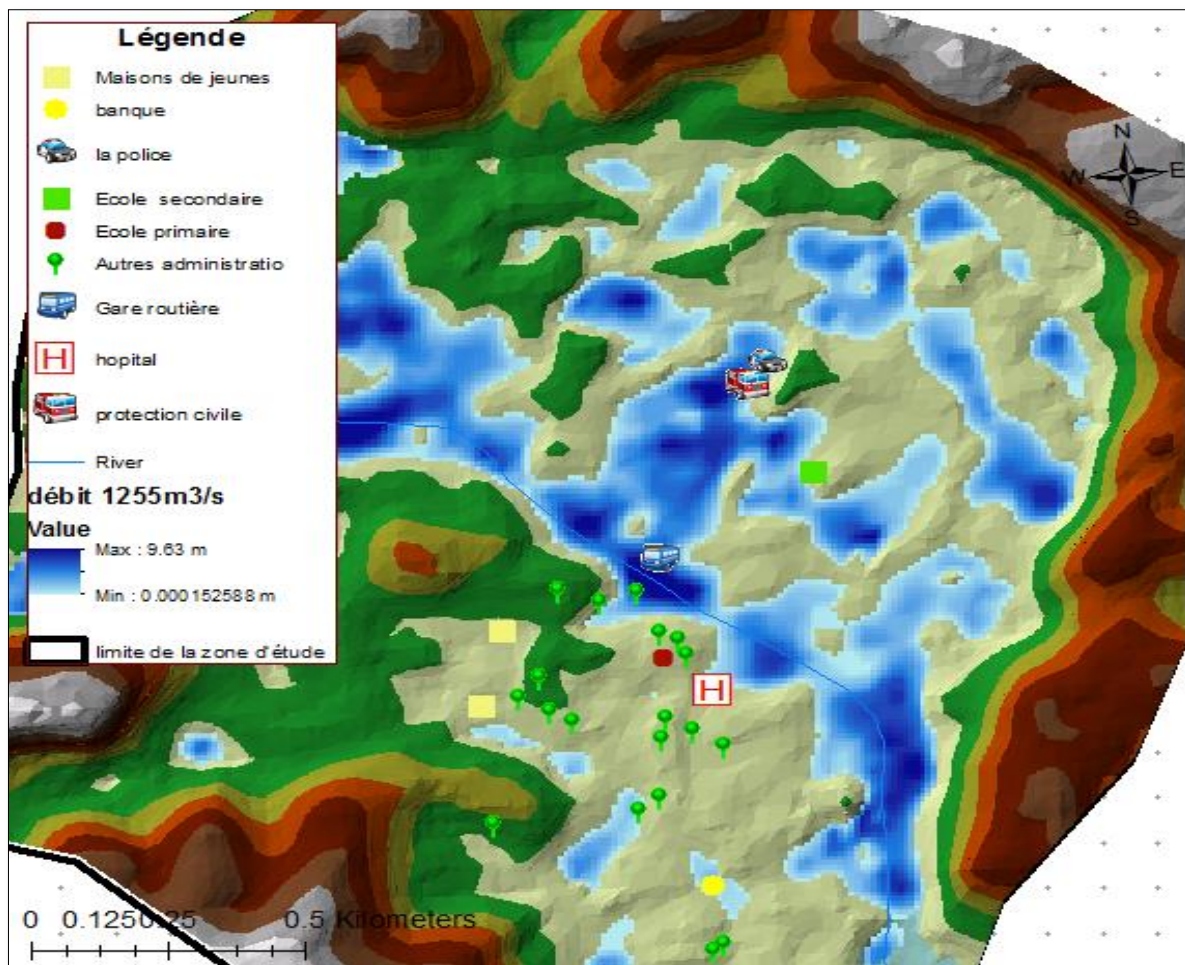


Figure IV. 4: Carte d'étude caractérisée l'aléa inondation par la hauteur de l'eau avec un débit de 1255m³/s.

Les cartes suivantes nous montrent bien que le risque augmente avec l'augmentation du débit et les zones vulnérables sont exposées à la situation extrême de crue. Le niveau est plus accru et destructeur quand il s'agit du débit de 6000 m³/s. La proportion du risque relève de l'emplacement et du caractère fonctionnel du bâtiment. Plus le niveau de crue ne dépend des caractéristiques urbaines de la ville de Ghardaïa.

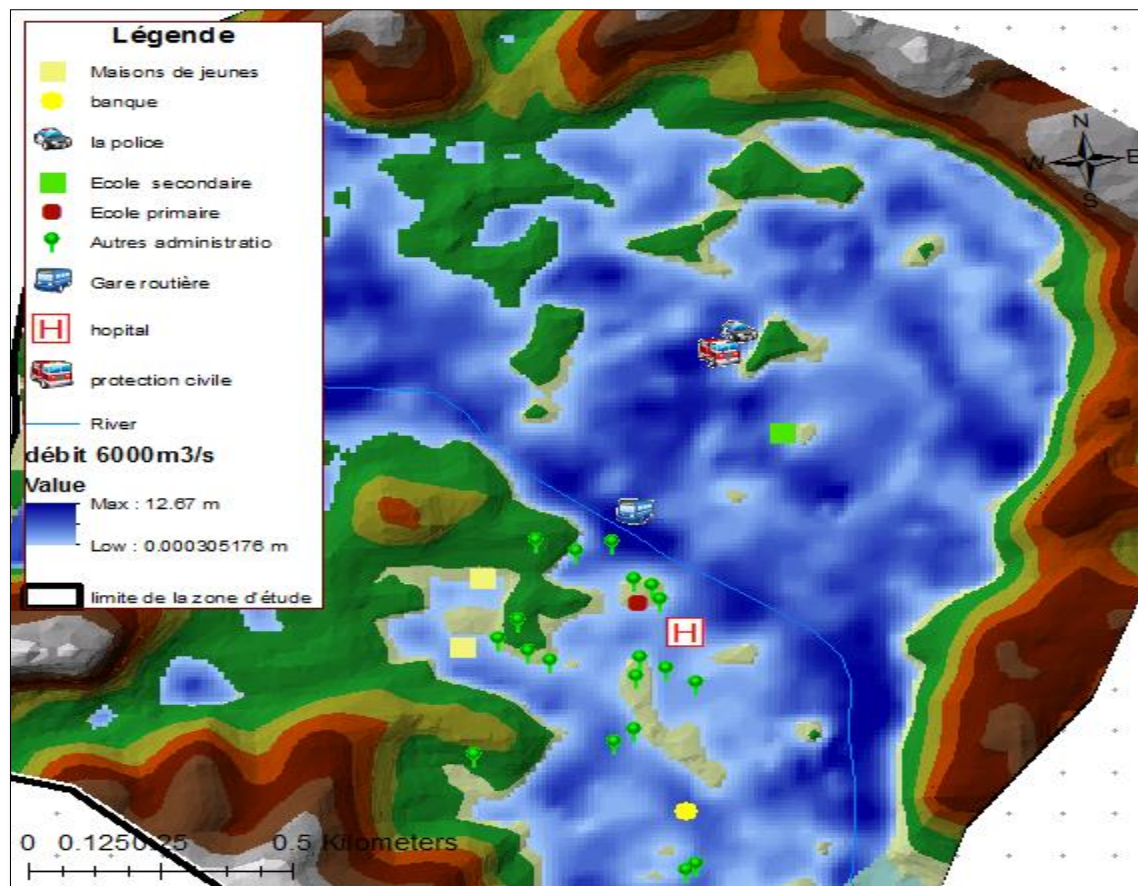


Figure IV. 5: Carte d'étude caractérisée l'aléa inondation par la hauteur de l'eau avec un débit de 6000m³/s
 Dans le résultat ci-dessus deux conséquences sont différentes (Débit de 1255m³/s) et (Le débit de 6000m³/s).

➤ Au débit de 1255m³/s :

Notons que chacune des établissements ; la gare routière, l'école secondaire, la protection civile, ainsi que la police dans la situation critique dans la zone menacée par la crue. On obtient une hauteur de la crue pour chaque établissement comme suit :

- Maisons de jeunes: H= 0 m ;
- Banque : H= 1.35 m ;
- La police : H= 4.05 m ;
- Ecole secondaire : H=0.96m ;
- Ecole primaire : H=0
- Gare routière : H=7.89m ;
- Hôpital : H= 0 m ;
- Protection civile : H=6.23m ;
- Autres administration : 0.65<H<2.67 m ;

➤ Au débit de 6000m³/s :

Notons que tous les établissements publics, y compris l'hôpital et la protection civile sont menacés par les inondations. Seulement quels sont situés dans une position très élevée pour la vallée, tels que le niveau de la zone d'administration sur le côté droit de la vallée, qui n'a pas atteint sa crue. Nous notons aussi que dans la Figure IV.5, On obtient une hauteur de la crue pour chaque établissement comme suit :

- | | |
|---------------------------|------------------|
| - Maisons de jeunes: | 0.79 m<H<4.01m ; |
| - Banque : | H= 6.63 m ; |
| - La police : | H= 7.09 m ; |
| - Ecole secondaire : | H= 1.84m ; |
| - Ecole primaire : | H= 0.26m |
| - Gare routière : | H= 9.95m ; |
| - Hôpital : | H= 4.42 m ; |
| - Protection civile : | H=7.33m ; |
| - Autres administration : | H= 0<H<8.35 m ; |

IV.8.PREVENTION PAR PROPOSITION D'AMENAGÉMENT DE LA ZONE D'ÉTUDE A LONG TERME :

Afin de protéger la zone, qui est considérée comme la zone la plus importante. Et le centre-ville, nous avons suggérés plusieurs propositions qui sont les suivantes :

Première proposition, Changement du lieu de la protection civile. En raison de son intervention et son rôle sensible dans ces cas de sinistre. La protection civile est le seul corps qui interfèrent avec ce sujet comme une catastrophe. Pour cela, il doit être placé dans un endroit plus sûr.

Deuxième proposition, Changement du lieu de l'hôpital car l'hôpital est le second lieu où les sinistrés iront pour s'échapper aux cas de catastrophe. Il faut noter que sa position doit être stratégique et aussi sûr au risque d'inondation. Comme il est indiqué sur figure IV-6 :

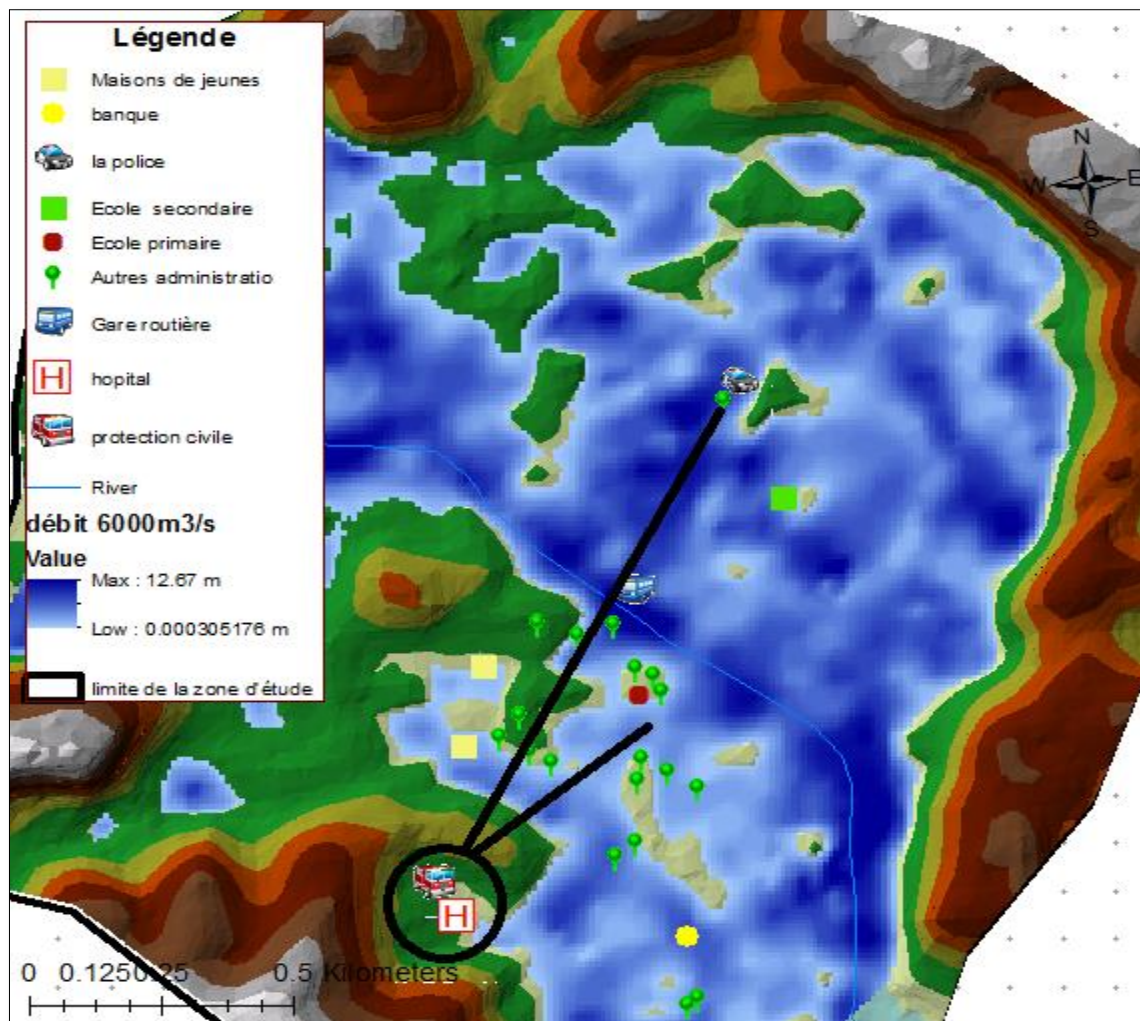


Figure IV. 6: Représentation cartographique du changement des lieux des établissements vulnérables.

CONCLUSION :

Pour conclure, nous avons englobé nos résultats dans une synthèse descriptive de la propagation de la zone inondée afin de pouvoir améliorer la réaction locale. Cette compréhension doit passer par l'identification des sites exposés à ce genre de phénomènes. Dans ce sens, notre travail représenté par la cartographie de l'aléa inondation par approche de modélisation hydraulique dans la ville de Ghardaïa, 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. Ce document fournit une base aux autres planificateurs. Par conséquent, il met en œuvre une méthodologie consistante et valide de gestion intégrée du risque inondation.

Conclusion Générale

CONCLUSION GÉNÉRALE :

Pendant longtemps les gens ont investi dans des zones exposées aux inondations en raison des conditions géographiques favorables, qui facilitent la croissance économiques telles que l'accessibilité aux ressources naturelles et la reproduction alimentaire. Ce fait oblige les habitants de la ville de Ghardaïa à protéger leurs précieux biens contre les inondations et à réfléchir à une politique d'atténuation des crues comme dans cette partie du Sud Algérien.

L'inondation n'est pas le risque; le risque exige qu'un phénomène auquel on peut attribuer une probabilité de survenance et une intensité – l'aléa – soit susceptible, en se produisant, de provoquer des dommages. Il faut donc que la zone inondable soit occupée par l'homme. Malgré cela l'importance des enjeux – populations, habitations, équipement... n'explique pas à elle seule la gravité potentielle de la catastrophe. Celle-ci est également tributaire de la vulnérabilité de ces enjeux, c'est-à-dire leurs densités et leurs capacités à subir des dommages. La région du M'Zab de sa situation géographique, et sur tous, la ville du Ghardaïa est confrontée aux phénomènes d'occupation des lits d'Oueds.

Ce qui se manifeste de façon dévastateur lors de forte crues, la contrainte majeure pour un développement économique et social continu. Ces inondations sont dues à l'interaction complexe de plusieurs composantes. Les méthodes d'approches traditionnelles de gestion des données du risque inondation (historique, hydro-géomorphologique ...) sont devenues de plus en plus inadaptées vu les rythmes des changements des indicateurs (occupation du sol, pluviométrie, etc.). Afin de combler cette déficience, l'utilisation de l'outil informatique a révélé un horizon très ambitieux de développement des nouvelles méthodologies à travers les données que peut fournir en matière de modélisation et de cartographie de l'aléa.

Le choix d'utilisation du logiciel HEC-RAS réside dans l'utilisation d'une modélisation de l'écoulement permanent et non permanent à surface libre en débordement du chenal vers la plaine d'inondation active. L'utilisation du programme HEC-RAS nous a permis d'illustrer parfaitement le débit maximal de débordement de l'Oued M'Zab au centre de la ville de Ghardaïa. Il nous a aidé dans l'étude des cas de simulations et nous a permis une meilleure vue pour les précautions de sécurité à prendre pour mieux gérer et protéger cette zone contre les débordements de crues. Le résultat de simulation ainsi obtenu par HEC-RAS, nous a servi comme données de base pour l'élaboration de la cartographie que nous avons adopté dans l'étude du chapitre quatre.

Les résultats de cette cartographie sont schématisés d'une manière simple permettant ainsi aux différents acteurs, dans un cadre de gestion du risque inondation, de les utiliser comme outil d'aide à la décision.

Pour conclure, nous avons englobé nos résultats dans une synthèse descriptive de la propagation de la zone inondée afin de pouvoir améliorer la réaction locale. Cette compréhension doit passer par l'identification des sites exposés à ce genre de phénomènes. Dans ce sens, notre travail représenté par la cartographie de l'aléa inondation par approche de modélisation hydraulique dans la ville de Ghardaïa, 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 réalisées fournit un document de base aux autres planificateurs. Par conséquent, il met en œuvre une méthodologie consistante et valide le plan gestion intégré du risque inondation.

Enfin et dans un cadre de préparation d'autres mémoires, ce sujet pourra être enrichi et complété par les axes de recherche qui correspondent à la validation de la cartographie en se basant sur l'utilisation des images satellitaires, les photographies aériennes ; la modélisation hydraulique de l'aléa inondation par un logiciel 2D ou 3D pour comparer la précision ; la cartographie de la vulnérabilité des enjeux exposés dans un cadre professionnel. Il est intéressant de trouver l'occasion de travailler sur ce même sujet en équipe de recherche afin de mettre en œuvre une base de données consistante mais aussi, mettre en pratique la gestion du risque inondation au niveau du territoire national.

Références Bibliographiques

REFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

A

(ABHS, 2006) Agence de Bassin Hydrographique Sahara, Ministère des ressources en eau (Algérie). Informations sur l'Agence et le Bassin Hydrographique : « pour une gestion rationnelle et durable des ressources en eau au Sahara », disponible sur le site de l'ABHS, <http://www.ABHS.dz>. P-30

B

(Barkau, R.L. 1982) Simulation of the July 1981 flood along the Salt river. Report for CE695BV : « Special Problems in Hydraulics. Department of Civil Engineering ». Colorado State University. Ft. Collins. CO.

(Bonnard & Gardel (BG). 2002) Etude d'assainissement et de protection contre les crues de la vallée de l'oued M'Zab, Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA 2002.

(Bonnard et Gardel (BG), 1996) Etude hydrologique de l'Oued M'Zab. Editeur : R.Kerbachi, R. Joumard, M. Boughedaoui, T. Goger.

(Brunswick, 2014) Stratégie de réduction des risques d'inondation du Nouveau-Brunswick, www.gnb.ca. P-4

(Benaouadj Abderraouf, 2011) école nationale supérieure de l'hydraulique Arbaoui Abdellah, mémoire de magister. Contribution à l'étude des inondations dans la vallée du M'Zab (Wilaya de Ghardaïa),

(Boubchir Abdellah, 2007) Risques d'inondation et occupation des sols dans le Thoré (région de Labruguière et de Mazamet), Mémoire de Master en Géographie et Aménagement, Institut Daniel Faucher université de Toulouse.

C

(Chachoua Abdeldjalil, 2009) Gestion de crue dans un bassin versant ; Etude Hydrologique, Hydraulique et Aménagement, Mémoire de Magister-Université de Tlemcen.

(Chow, V.T. 1959) Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New-York, p-680.

(C.Vauvert, 2004) Commune de Vauvert 2004– Étude de l'aléa inondation et cartographie des zones inondables sur les secteurs du Valat de la Reyne et de Gallician.

D

(Diren R.A, 2004) Diren Rhône-Alpes, « Les risques inondations en Rhône-Alpes: de la connaissance à la prévention » Bilan 2004 et Perspectives, Serge Alexis, Françoise Gauquelin, François Dols, p-27.

(Dajoz R., 1971) « Précis d'écologie ». Ed. Dunod, Paris, p -434

(DBAT, 2005). Direction de la planification et de l'aménagement de territoire de la wilaya de Ghardaïa « ATTLAS DE GHARDAIA », Edition Mai 2005, Ghardaïa.

(Deblane Khaled, 2010) hydraulique fluviale et torrentielle avec présentation et prise en mains des logiciels Hec-Ras, Arc-Gis et Hec-Geo-Ras. P-120.

(Denis Martel, 2011) Service des eaux municipales Direction des politiques de l'eau Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Aspects hydraulique pour l'analyse et la conception des réseaux de drainage (chapitre 7).

(D.P.A.T, 2012) Direction de Planification et Aménagement du Territoire, les fiches techniques des communes.

(DGPC, 2007) Direction Générale De La Protection Civile «Algérie », Bureau des risques naturels. Les inondations en Algérie, disponible sur le site de la Direction Générale de la Protection Civile : <http://www.protectioncivile.dz>. P-21.

(D.S.A. Ghardaïa, 2013) Direction des services agricoles, tableau des effectifs et des productions animales.

E

(ESRI, 2012) Environmental Systems Research Institute.

F

(Fread, D. L. 1976) Theoretical Development of an implicit Dynamic Routing Model. Hydrologic Research Laboratory. Office of Hydrology. U.S. Department of Commerce, NOAA, NWS, Silver Spring, Md., presented at Dynamic Routing Seminar, Lower Mississippi River Forecast Center, Slidell, LA. 13- 17 Dec 1976.

J

(José Vazquez) (Laboratoire systèmes hydraulique urbains) ENGEES.

H

(Harvey F, 2008) A .Primer (of fundamental geographic and cartographic concepts) , the Guilford press New york London, p -65.

(HEC-RAS River Analysis System) Guide de laboratoire HEC-RAS Version 4.1.0.

L

(Ladjal Rabah, 2013) Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources, Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen , Option : Mobilisation et protection des ressources en eau. P-46.

(Ledoux Bruno 2006) « La gestion du risque inondation », Edition TEC et DOC, 11 rue Lavoisier-Paris.

M

(Medejerab A, 2009) « Les inondations catastrophiques du mois d'octobre 2008 à Ghardaïa », Géographia Technico, Numéro spécial, p.311-316.

(Merabet A, 2008) Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations. Mémoire de Magister. Université de Sidi Bel Abbés Algérie.

(M.E.D.D), Ministère de l'écologie et du développement durable « France », direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs, 2004. Risques naturels majeurs : Les inondations, Août 2004, disponible sur les sites : <http://www.ecologie.gouv.fr><http://www.prim.net> p-20.

R

(Roche, 1973) Le M'Zab, architecture ibadite en Algérie, Manuelle, Arthaud.

(Rodier et Auvray, 1965) Estimation des débits des crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique occidentale. Publ. ORSTOM, CIEH 1965, p-30.

S

(Stewart, P 1969). Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord ; Alger, 59, p-14.

(Smith, R. H. 1978) Development of a Flood Routing Model for Small Meandering Rivers. Ph. D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Missouri at Rolla, MO.

T

(Terfous, 2011) Cours de 1^{ère} année Magister en Hydraulique. Option : Ecoulement et Transport Solide, « Notice d'utilisation du logiciel HEC RAS », INSA-Strasbourg

(Toumi et Cherif, 2015) analyse statistique des pluies et synthèse cartographique des zones inondables d'une zone aride, cas de la région de Ghardaïa.

U

(US Army Corps of Engineers, 2010) HEC-RAS River Analysis System : User's Manual », Manuel d'Utilisation de HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center

W

(Weng Q, 2010) Remote Sensing and GIS Integration theories, Methods, and Applications, The McGraw Hill Companies, Inc. p.70-135

Y

(Yahiaoui Abdelhalim, 2012) Ecole Nationale Polytechnique, Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès), Doctorat en Hydraulique. pages 98-119.

Z

(Zahour G, 2010) Stratégie de gestion des risques d'inondations au Maroc. Faculté des Sciences Ben M'Sik, Casablanca, disponible sur le site internet réseau arabe des experts en environnement, <http://environnement-arabe.net/images/Inondations-Maroc.pdf>.

Webographie :

- <http://www.kcet.org/>
- <http://www.lsu.edu/>
- <http://arpentterre.com/modelisation-hydraulique/>
- <http://www.hec.usace.army.mil/>