

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE HYDRAULIQUE.

N° :.....



FILIERE : HYDRAULIQUE  
OPTION : Ouvrages Hydrauliques

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique  
Par : M<sup>elle</sup> BOURAHLA KHOULOU.D.

Intitulé

Evaluation de la vulnérabilité au risque d'inondation en  
utilisant l'approche Multicritères sous SIG (AMC) de la  
région du Hodna.

Soutenu devant le jury composé de :

Mr Mahmoud HASBAIA

Mr FAROUK MEZALI

.....

.....

Université de M'sila

Université de M'sila

Université de M'sila

Université de M'sila

Rapporteur

Co-Rapporteur

Examineur

Examineur

Année universitaire : 2020 /2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## ***REMERCIEMENTS :***

**Merci et louanges à Dieu Tout-Puissant pour mon succès dans l'accomplissement de ce travail. Louange à Dieu pour ses bénédictions.**

**J'exprime mes sincères remerciements et ma gratitude au Professeur Mr MAHMOUD HASBAIA et Mr FAROUK MEZALI pour ses grands efforts et le soutien qu'il m'a apporté et la confiance qu'il m'a accordée pour mener à bien ce mémorandum.**

**Merci à chaque enseignant qui m'a aidé avec ses connaissances depuis les premières étapes de l'école jusqu'à ce moment.**

**Je remercie également tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.**



*Dédicaces :*

**A mes chers parents, que Dieu me les préserve.**

**À tous mes frères et sœurs qui m'ont appris le sens de la force.**

**A tous mes amis et à ceux qui m'ont accompagné pendant mes études.**

**A tous ceux qui n'ont ménagé aucun effort pour m'aider.**

# SOMMAIRE

## REMERCIEMENTS

Dédicaces

Résumé

INTRODUCTION GENERALE.....	01
CHAPITRE I : Généralité sur les inondations	
I.1 Introduction.....	04
I.2 Les inondations.....	04
I.2.1 Définition.....	04
I.2.2 Historique des inondations.....	04
A. Dans le monde.....	04
B. En Algérie.....	05
C. Les inondations les plus catastrophiques survenues en Algérie.....	05
I.2.3 Les paramètres influençant les inondations.....	06
A Précipitations.....	06
B. Bassins versants.....	06
C. Climat.....	07
D. Ruissellement à la fonte des neiges.....	07
I.2.4 Les types d'inondations.....	08
A. Les inondations classiques dites « de plaine »ou fluviales.....	08
B. Les crues torrentielles ou éclair.....	09
C. Le ruissellement en milieu urbain.....	09
I.3 Les Crues.....	10
I.3.1 Le processus de formation des crues.....	10
I.3.2 La période de retour de crues.....	10
I.4 Les inondations en Algérie.....	11
I.4.1 Problématique D'Inondation En ALGERIE.....	12
I.5 Risque d'inondation.....	13
I.5.1 Les plans d'exposition aux risques des inondations (PERI).....	13
I.5.2 Définition du concept du risque.....	14
I.5.2.1 L'aléa.....	15
I.5.2.2 Vulnérabilité.....	15
I.5.3 L'organisation du risque d'inondation.....	16
I.6 Gestion du risque d'inondation.....	17
I.7 Mesures techniques de protection contre les inondations.....	19
I.7.1 Les moyens de protection.....	19
I.7.2 Les secours.....	19
I.8 Conclusion.....	20
CHAPITRE II : Présentation et Etude morphométrie du bassin versant de l'oued El-Ham	
II.1Présentation du bassin versant de l'oued El-Ham.....	22
II.1.1 Situation géographique et relief.....	22
II.1.1.1 Situation géographique de bassin.....	22
II.1.2 Hydro-Climatologie.....	23
II.1.3 Géologie.....	23
II.1.4 Hydrogéologie.....	24
II.1.4.1 l'érosion hydrique.....	24
II.1.4.2 Nappe phréatique.....	24
II.1.4.2.1 Formations aquifères.....	24
II.1.4.2.2 Régime Hydraulique.....	24
II.2 Etude de morphométrie du bassin versant de l'Oued El-Ham.....	25

II.2.1	Introduction.....	25
II.2.2	Informations digitales et modèles numériques.....	25
II.2.3	Définition d'un Système d'Information Géographique (SIG).....	26
II.2.4	Définition de bassin versant.....	26
II.2.5	Les caractéristiques morphométriques.....	27
II.2.5.1	Caractéristiques de la disposition dans le plan.....	27
II.2.5.1.1	La surface.....	27
II.2.5.1.2	Le périmètre.....	28
II.2.5.1.3	Indice de compacité de Gravelius.....	28
II.2.5.1.4	Le rectangle équivalent.....	28
II.2.5.2	Les paramètre du relief.....	30
II.2.5.2.1	Les courbes hypsométriques.....	30
II.2.5.2.2	Les altitudes maximales et minimales.....	32
II.2.5.2.3	L'Altitude moyenne.....	32
II.2.5.2.4	L'Altitude médiane.....	33
II.2.5.2.5	La dénivelée utile (simple).....	33
II.2.5.3	Les indice de pente.....	33
II.2.5.3.1	La pente moyenne.....	34
II.2.5.3.2	La pente de Roche.....	34
II.2.5.3.3	La pente globale.....	35
II.2.5.3.4	Dénivelée spécifique.....	36
II.2.6	Les caractéristiques hydrographiques du bassin versant.....	36
II.2.6.1	Définition du réseau hydrographique.....	36
II.2.6.2	Longueur et nombre des thalwegs.....	37
II.2.6.3	Longueur du cours d'eau principal.....	38
II.2.6.4	La densité de drainage (Dd).....	39
II.2.6.5	La densité hydrographique.....	40
II.2.6.6	rapport de confluence et des longueurs.....	41
II.2.6.7	Fréquence des cours d'eau.....	42
II.2.6.8	Coefficient de torrentialité.....	42
II.2.6.9	La pente moyenne du cours d'eau principale.....	42
II.2.6.10	Temps de concentration.....	43
II.2.6.11	vitesse de ruissellement.....	44
II.2.7	Conclusion.....	46
<b>CHAPITRE III : Etude de la précipitation du bassin</b>		
III.1	Introduction.....	48
III.2	Les stations pluviométrique et les séries d'observations.....	48
III.3	Homogénéisation des données pluviométriques.....	49
III.3.1	Vérification de l'homogénéité .....	49
III.3.1.1	Méthode de la régression linéaire.....	49
III.3.1.2	Comblement des lacunes d'observations.....	50
III.4	Etude des précipitations annuelles.....	52
III.4.1	Introduction.....	52
III.4.2	Variabilité annuelle des précipitations des stations étudiées.....	52
III.4.2.1	Les Ecart des pluies à la moyenne interannuelle.....	55
III.5	Ajustement de la pluie annuelle à la loi de Gauss.....	57
III.5.1	La loi de Gauss.....	57
III.5.2	Les paramètre de dispersion.....	58
III.5.2.1	La moyenne $\bar{x}$ .....	58
III.5.2.2	L'écart-type $\sigma$ .....	58
III.5.2.3	Coefficient de variation Cv.....	59
III.6	Estimation de la précipitation représentative du bassin de l'Oued El-Ham .....	69

III.6.1 La moyenne arithmétique.....	70
III.7 Bilan hydrique.....	70
III.7.1 Evapotranspiration Réelle.....	70
III.7.2 Evaluation de la lame d'eau écoulée.....	71
III.8 Conclusion.....	71
Chapitre IV : La carte risque des inondation d'oud El-Ham	
IV.1 Introduction.....	74
IV.2 Les modèles des risques des inondations.....	74
IV.3 Matériel et méthode.....	74
IV.4 Les paramètres estimer le risque des inondations.....	75
IV.4.1 Interpolation des précipitations.....	76
IV.4.2 La pente.....	76
IV.4.3 Drainage.....	77
IV.4.4 Le type de sol.....	78
IV.4.5 Couvert Végétation.....	79
IV.4.6 Densité de population.....	80
IV.5 Le méthode.....	81
IV.6 Matrice de développement et de priorisation.....	84
IV.7 Résultats et discussion.....	85
IV.7.1. La carte de vulnérabilité.....	87
IV.7.2. La carte des aléas.....	87
IV.7.3. Carte des risques d'inondation.....	88
IV.8 Conclusion.....	89
CONCLUSION GENERALE.....	90
LA BIBLIOGRAPHIE.....	92

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Inondation de la rivière Yangtsé 1931 en chine .....	5
<b>Figure 2</b> : La rivière occupe alors son lit moyen voire son lit majeur .....	8
<b>Figure 3</b> : Inondation par remontée de nappe phréatique .....	8
<b>Figure 4</b> : La crue torrentielle.....	9
<b>Figure 5</b> : L'inondation par ruissellement pluvial.....	9
<b>Figure 6</b> : Définition du risque d'inondation.....	14
<b>Figure 7</b> : Courbe d'isohyète (Dauphine, 2005). .....	15
<b>Figure 8</b> : Zone bâtie protégée par une digue.....	19
<b>Figure 9</b> : Situation géographique de bassin .....	22
<b>Figure 10</b> : Courbe Hypsométrique et digramme de Fréquence .....	31
<b>Figure 11</b> : Carte Hypsométrique BV Oued El-HAM .....	31
<b>Figure 12</b> : Carte TIN BV Oued EL-Ham.....	33
<b>Figure 13</b> : classification réseau hydrographique selon STRAHLE .....	37
<b>Figure 14</b> : cours d'eau principal du B.V Oued El-Ham .....	38
<b>Figure 15</b> : La courbe de la régression linéaire .....	52
<b>Figure 16</b> : Moyenne des précipitations annuelles (1969-2005).....	54
<b>Figure 17</b> : Les écarts des pluies annuelles à la moyenne interannuelle.....	57
<b>Figure 18</b> : Ajustement des précipitations annuelles à une loi normale (station Rocade sud .....	68
<b>Figure 19</b> : Ajustement des précipitations annuelles à une loi normale (station Chellal).....	68
<b>Figure 20</b> : Ajustement des précipitations annuelles à une loi normale (station Ain kerman) ....	68
<b>Figure 21</b> : Ajustement des précipitations annuelles à une loi normale (station El-Hourane).....	69
<b>Figure 22</b> : Interpolation des précipitations d'Oued El-Ham.....	76
<b>Figure 23</b> :La carte de pente en (%) de l'Oued El-Ham .....	77
<b>Figure 24</b> :La carte de densité drainage de l'Oued El-Ham.....	78
<b>Figure 25</b> :La carte de type de sol en Oued El-Ham.....	79
<b>Figure 26</b> : La carte Couvert Végétation en Oued El-Ham.....	80
<b>Figure 27</b> : La carte population en Oued El-Ham .....	81
<b>Figure 28</b> : classes de Interpolation des précipitations.....	87
<b>Figure 29</b> : classes de La pente .....	86
<b>Figure 30</b> : classes de Drainage.....	87
<b>Figure 31</b> : classes de type de sol .....	86
<b>Figure 32</b> : classes de CouvertVégétation.....	87
<b>Figure 33</b> : classes de Densité de population .....	86
<b>Figure 34</b> :La carte de vulnérabilité de l'Oued El-Ham.....	87
<b>Figure 35</b> : La carte des aléas en Oued El-Ham.....	88
<b>Figure 36</b> : Carte des risques d'inondation en Oued El-Ham.....	89

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Table 1: Les inondations en Algérie .....</b>	<b>12</b>
<b>Table 2: Les dimensions du rectangle équivalent.....</b>	<b>29</b>
<b>Table 3 : Répartition des Surfaces Partielles Par Rapport Aux Altitudes .....</b>	<b>30</b>
<b>Table 4 :Altitude Moyenne Partielles.....</b>	<b>32</b>
<b>Table 5: Calcul de la pente de Roche.....</b>	<b>35</b>
<b>Table 6: L'indice global de pente.....</b>	<b>35</b>
<b>Table 7: deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M.....</b>	<b>36</b>
<b>Table 8: calcul de la densité de drainage.....</b>	<b>39</b>
<b>Table 9 : calcul de la densité hydrographique .....</b>	<b>40</b>
<b>Table 10: Calcul des Rapports de Confluence et du Longueur .....</b>	<b>41</b>
<b>Table 11: Les caractéristiques du bassin versant de l'Oued El-Ham.....</b>	<b>45</b>
<b>Table 12 : Caractéristiques des stations pluviométriques du bassin de l'Oued El-Ham.....</b>	<b>49</b>
<b>Table 13 : Classement de la corrélation en hydrologie .....</b>	<b>51</b>
<b>Table 14 : La régression linéaire entre les stations .....</b>	<b>51</b>
<b>Table 15 : Répartition annuelles des pluies (1969-2005) .....</b>	<b>53</b>
<b>Table 16 : Ecart des pluies à la moyenne interannuelle.....</b>	<b>56</b>
<b>Table 17 : Ajustement de la pluie à une loi de Gauss (station Rocade sud).....</b>	<b>60</b>
<b>Table 18 : Ajustement de la pluie à une loi de Gauss (Chellal).....</b>	<b>62</b>
<b>Table 19 : Ajustement de la pluie à une loi de Gauss (Ain Kerman) .....</b>	<b>64</b>
<b>Table 20 : Ajustement de la pluie à une loi de Gauss (El-Hourane).....</b>	<b>66</b>
<b>Table 21 : Equations d'ajustement de la loi de Gauss .....</b>	<b>67</b>
<b>Table 22 : Estimation du bilan hydrique de l'oued El-Ham .....</b>	<b>71</b>
<b>Table 23 : L'attribution des classes et des valeurs nominales des paramètres .....</b>	<b>82</b>
<b>Table 24 : Échelle de Saaty pour l'attribution des poids (Saaty, 1980).....</b>	<b>84</b>
<b>Table 25 : Matrice de comparaison par paires.....</b>	<b>85</b>

# Résumé

Les études récentes sur la vulnérabilité aux changements climatiques dans la région méditerranéenne indiquent une tendance à un accroissement de précipitations qui Augmente le risque d'inondations, ce phénomène complexe et aléatoire dépend étroitement du forçage hydro-climatique, de la topographie, de la géologie et de l'occupation du sol.

Cette étude, a pour objet l'analyse et la cartographie de risque des inondations du bassin versant d'Oued El-Ham. Il s'agit d'une approche basée sur une méthode multicritère des paramètres de topographie, de géologie, de l'occupation du sol et un paramètre de forçage hydro-climatique représenté par la précipitation en utilisant un système d'information géographique.

L'analyse des cartes obtenues pour les différents critères, montre que les constats sont variables d'un critère à l'autre.

# Abstract

The recent studies on vulnerability to climate change in the Mediterranean region indicate a trend towards Precipitation increase that Increase the risk of flooding, this complex and highly dependent on the random forcing hydro-climate, topography, geology and the land.

This study aims to analyze and map the Flood risk map in the watershed of wad El-Ham. This is an approach based on multi-criteria method parameters topography, geology, land use and a parameter of hydro-climatic forcing represented by precipitation using a geographic information system.

The analysis of the maps obtained for different criteria, shows that the findings are variable from one test to another.

# ملخص

تشير الدراسات الحديثة حول القابلية للتأثر بتغير المناخ في منطقة البحر الأبيض المتوسط إلى وجود اتجاه لزيادة هطول الأمطار مما يزيد من مخاطر الفيضانات، وتعتمد هذه الظاهرة المعقدة والعشوائية بشكل وثيق على التأثير المائي المناخي والتضاريس والجيولوجيا واستخدام الأراضي.

الغرض من هذه الدراسة هو تحليل ورسم خرائط مخاطر الفيضانات في مستجمعات مياه وادي اللحم. يعتمد هذا النهج على طريقة متعددة المعايير للطبوغرافيا والجيولوجيا ومعلومات استخدام الأراضي ومعلمة التأثير المائي-المناخي التي يمثلها هطول الأمطار باستخدام نظام المعلومات الجغرافية.

يوضح تحليل الخرائط التي تم الحصول عليها للمعايير المختلفة أن النتائج تختلف من معيار إلى آخر.



# **INTRODUCTION GENERALE**

# Introduction Générale

Depuis l'existence de l'être humain sur la terre, les inondations étaient l'une des catastrophes naturelles qui menaçaient son existence et ses biens. Elles étaient un enjeu important pour toutes les civilisations à travers l'histoire. De nos jours ; tous les pays du monde, notamment l'Algérie, déploient tous les moyens possibles pour prévoir et lutter contre ce phénomène.

D'après une statistique internationale, les inondations sont responsables de plus de 60% de mortalité totale. Selon l'institut international de Stockholm (SIWI), elles font environ 20 000 victimes par année.

L'Algérie, est parmi les régions méditerranéennes qui sont confrontées aux phénomènes de crues et des inondations. Ces crues dont l'apparition est soudaine, souvent difficilement prévisibles, de temps de montée rapide et de débit spécifique relativement important.

L'homme a participé dans l'accentuation du phénomène d'inondation en dégradant le milieu naturel autour de certains cours d'eau (l'imperméabilisation du bassin versant). Il est bien connu que l'imperméabilisation du sol par la construction des bâtiments et les infrastructures a pour effet d'accroître les coefficients de ruissellement et donc d'accélérer les écoulements des eaux et d'aggraver les débits reçus à l'aval : à ces conditions, le dysfonctionnement des réseaux d'assainissement est considérée comme l'un des causes de ce phénomène.

Dans ce cadre nous proposons d'étudier l'inondations dans le bassin versant du Hodna, le 5ème grand bassin de l'Algérie, en fait, on se focalise plus précisément sur le sous bassin d'Oued El-Ham avec le thème intitulé «Evaluation de la vulnérabilité au risque d'inondation en utilisant l'Approche Multicritères sous SIG (AMC) de la région du Hodna». Les inondations dans le bassin versant, sont le résultat d'une augmentation du niveau d'eau dans le lit principal d'un cours d'eau, qui peut s'étendre pour atteindre les infrastructures réalisés dans le lit majeur.

Dans notre étude, nous commençons par une première partie consacrée à : un aperçu Généralité sur les inondations suivie par une étude générale sur la zone d'étude et morphométrique détaillée du BV d'Oued El-Ham. La deuxième partie est consacrée à l'étude de la précipitation du bassin versant.

La troisième partie présente la phase de cartographie des données disponibles : topographie, géologie, et l'occupation du sol, sous un système d'information géographique (SIG). La dernière section sera réservée à l'analyse spatiale des paramètres en faisant varier la dominance des critères influençant l'inondation sur le bassin versant pour à la fin, contribuer à cartographier de risque des inondations.

L'extrapolation des résultats de cette étude aux sous-bassins d'Oued El-Ham, peut être une bonne perspective d'autres études.

A decorative graphic of a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a grey shadow effect.

# **CHAPITRE I**

Généralité sur les inondations

## I.1 Introduction

Le monde est exposé à divers types de catastrophes naturelles, y compris les inondations, qui sont le résultat d'une augmentation du niveau d'eau dans le lit principal d'un cours d'eau, qui s'étend principalement dans les zones urbaines.

L'étude de ce phénomène est nécessaire pour limiter tous les dégâts et réduire son impact sur les villes menacées par les inondations.

Sur cette base, nous chercherons à expliquer quelles sont les caractéristiques et les risques d'inondations et quelles sont les mesures pour prévenir ce phénomène ?

## I.2 Les inondations

### I.2.1 Définition

L'inondation est un des principaux risques naturels dans le monde, c'est la catastrophe naturelle causant le plus de dégât.

C'est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau, Qui peut être provoquée de plusieurs façons, par des pluies importantes en durée et (ou) en intensité. (Cortes, 2006).

### I.2.2 Historique des inondations

#### A. Dans le monde :

La première mention d'une crue est celle de l'empereur romain Julien l'Apostat durant l'hiver 358/359 et la plus relatée dans la littérature historique est celle du 31 janvier 582 par Grégoire de tours (Renaud, 2006). Les crues les plus importantes de l'histoire de l'Ile-de-France, connues avec suffisamment de certitude, sont celles de 1658 (où la hauteur d'eau a atteint presque 8,96 m au pont d'Austerlitz), et celle de 1740 (h= 8,05m). Cependant, les hauteurs d'eau ne sont observées avec précision que depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Depuis 1910, 12 crues majeures (de plus de 6 m) ont touché l'Ile-de-France et 28 crues ont atteint des hauteurs de plus de 5 m. [1]

La fin des années 1990 et le début des années 2000 ont de plus été marqués par une remarquable augmentation du nombre de catastrophes. Entre 1998 et 2002 par exemple, l'Europe a subi plus de 100 inondations majeures, notamment les inondations catastrophiques du Danube et de l'Elbe en 2002 (Affeltranger and Lasserre 2003).

De 1996 à 2005, de graves inondations se sont produites de manière régulière et touchées la plupart des régions du Vietnam (CCFSC 2006).

Notamment, en 1996, les inondations ont affecté 17 des 18 provinces du centre du Vietnam. De nombreuses inondations ont eu lieu, soit dans certaines provinces, soit dans toute la région notamment lors des années 1964, 1970, 1975, 1985, 1996, 1998 et 1999. A titre d'exemple, les

deux typhons successifs de 1964 ont entraîné des pluies torrentielles, inondé des centaines de villages, causé 7000 morts et des pertes énormes en biens matériels. Des inondations historiques ont aussi été observées lors des années 1969, 1975, 1978, 1988, 1990, 1992, 1993, 1995, 1996, 1998 et 1999. Les trois dernières citées ont duré entre un mois à un mois et demi et ont atteint un degré de dévastation jamais vu. Ce type de catastrophe, de plus en plus fréquent et destructeur, a bien entendu des conséquences négatives pour l'économie, la société et l'environnement de la région (VIE/97/002 2001).

Selon la base de données internationale sur les catastrophes du centre de recherche en épidémiologie des catastrophes de l'Université catholique de Louvain, en Belgique, l'Inde a connu 192 inondations en 25 ans.



*Figure 1 : Inondation de la rivière Yangtsé 1931 en Chine*

### B. En Algérie

Les données pluviométriques indiquent qu'au cours du XX<sup>e</sup> siècle, plusieurs inondations se sont produites au nord du pays mais n'ont pas atteint cette ampleur ; ainsi, la période de retour serait proche d'un siècle avec un ajustement à la loi de Frechet.

Le 11 et 12 novembre 1935, la zone urbaine d'Alger a connu un événement pluvieux en 24 heures avec 162 mm à Alger-Port, 161.5 mm à Bouzaréah et 101 mm à Alger Dar El Beida.

Le 17 et 18 décembre 1957, le sud algérois et particulièrement la Mitidja ont connu des pluies diluviennes où ont été enregistrées des précipitations en 24 h de 222 mm à Boufarik, 158 mm à Alger Université et 112.6 mm à Alger-Dar el Beida.

Le 29 et 30 mars 1974, c'est la partie est algéroise et la Mitidja qui ont été affectées avec un épisode de pluie de 224 mm/24 h à Ain El Hammam, 120 mm à l'Arbatache, 106 mm à Blida et 86.7 mm à Alger Dar El Beida.

L'analyse des différents épisodes pluvieux au nord de l'Algérie indique qu'en moyenne, 47% des inondations surviennent en automne, 30% au printemps, 21 % en hiver et 2% en été. [2]

### C. Les inondations les plus catastrophiques survenues en Algérie

- Inondation de la ville d'EL EULMA (01 septembre 1980).
- Inondation de la ville d'ANNABA (11 Novembre 1982).

- Inondation de la ville d'OUED R'HIOU(20 Octobre 1993).
- Inondation à BORDJ BOU ARRERIDJ (23 Septembre 1994).
- Les crues de Mars 1973 à l'est du pays.
- Inondation de Mars 1974 dans le centre du pays. [3]
- Les inondations de 26 juillet 2010 au Pakistan (1760 victimes) ou de 2011 en Thaïlande (652 victimes).
- Dix personnes sont mortes en Andalousie et dans la région de Murcie dans les inondations provoquées par des pluies diluviennes (217 litres de précipitations par mètre carré) qui se sont abattues en 28 septembre 2012. [1]

### I.2.3 Les paramètres influençant les inondations

La plupart des inondations se produisent lorsque le volume d'eau d'une rivière ou d'un cours d'eau dépasse la capacité du lit. Il y a également des inondations le long des lacs et des littoraux maritimes lorsque le niveau normal de l'eau augmente au-delà du niveau des terres riveraines.

De nombreux facteurs influent sur le débit d'une rivière, et donc sur les risques d'inondation. Parmi les plus importants, mentionnons la quantité et le type de précipitations, la nature et l'état du bassin versant, ainsi que le climat.

#### A. Précipitations

Dans toutes les rivières, le débit de l'eau fluctue. Lors d'une pluie torrentielle, plusieurs paramètres déterminent le ruissellement qui atteint une rivière : la quantité, l'intensité, la durée, l'aire couverte et le trajet de la pluie. D'une part, le volume, l'intensité et la durée des précipitations influent sur la capacité de la terre d'absorber la pluie, ce qui à son tour influe directement sur le ruissellement. D'autre part, l'aire couverte par la tempête et sa trajectoire déterminent la région qui recevra la pluie et donc qui contribuera au ruissellement. Enfin, la superficie couverte et le débit du ruissellement déterminent le volume d'eau qui passera en un point donné en aval de la rivière ou du cours d'eau.

#### B. Bassins versants

Par ailleurs, la forme, la superficie, le type de sol et la topographie du bassin versant influent eux aussi sur la quantité d'eau qui atteint une rivière. Ces facteurs sont habituellement constants. Toutefois, le degré d'absorption ou de dispersion de l'eau par un sol varie selon la couverture végétale, la saison et l'importance des pluies antérieures.

Le reboisement et le rétablissement de la végétation peuvent ralentir eux aussi l'écoulement de l'eau de surface vers l'exutoire principal du bassin; le ruissellement dure alors plus longtemps. De plus, l'écoulement est plus lent dans les bassins qui renferment des zones naturelles de stockage de l'eau, comme les lacs et les marécages, ou des zones artificielles de stockage. Dans ces bassins, les crues sont moindres que dans les bassins dépourvus de ces influences modificatrices. En Amérique du Nord, le meilleur exemple d'un bassin ayant une forte capacité de stockage naturelle est le fleuve Saint-Laurent, dont les eaux d'amont sont constituées par les Grands Lacs.

### **C. Climat**

Le climat joue aussi un rôle important dans la relation entre précipitations et ruissellement. Le gel rend le sol plus imperméable s'il contient déjà de l'humidité. Sous les latitudes septentrionales, l'hiver, pendant lequel une bonne partie des précipitations annuelles est stockée sous forme de neige, est souvent suivi d'une fonte soudaine, et les eaux de surface s'écoulent alors rapidement sur le sol gelé en direction des cours d'eau. De plus, la présence de glaces épaisses sur les rivières influe sur les crues, notamment dans les rivières qui coulent vers le nord. Le climat détermine l'importance de la glace hivernale sur les rivières, ainsi que sa débâcle, ce qui à son tour détermine la gravité des embâcles.

### **D. Ruissellement à la fonte des neiges**

Pendant l'hiver canadien, le gros des précipitations s'entasse sur le sol sous forme de neige et de glace. À la fonte, d'énormes quantités d'eau sont créées, ce qui explique le volumineux ruissellement printanier et les inondations qui s'ensuivent. On désigne ce phénomène par le terme de **crue nivale**.

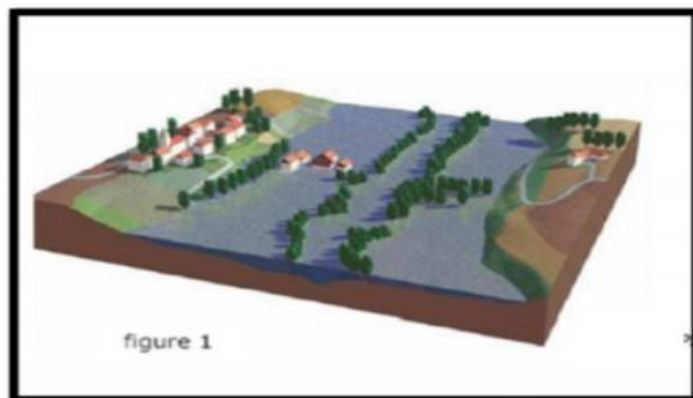
Les inondations dues à la fonte des neiges sont les plus fréquentes au Canada. Elles se produisent habituellement au printemps, mais également en hiver lors des dégels soudains. La fonte rapide de la neige associée aux effets combinés du soleil, des vents et des températures douces provoquent d'importants ruissellements. Lorsque le sol est gelé, l'eau produite par la fonte de la neige ne peut y pénétrer, et elle s'écoule donc sur la surface du sol vers les cours d'eau et les lacs. Les cours d'eau qui servent d'exutoire au bassin versant ont habituellement une capacité de transport suffisante pour le ruissellement produit. Toutefois, si l'accumulation de neige a été supérieure à la moyenne, si le dégel a été soudain, ou si les deux conditions coïncident, le risque d'un fort ruissellement et d'une inondation subséquente augmente. La situation peut devenir encore plus grave si les pluies sont intenses à la fonte des neiges. Plus la fonte est tardive, plus cette dernière situation risque de

se produire. Comme les facteurs climatiques qui déterminent la vitesse de fonte de la neige couvrent habituellement de vastes régions, les conditions propices à une inondation à la fonte des neiges prévalent également dans de grandes régions.

## **I.2.4 Les types d'inondations**

### **A. Les inondations classiques dites « de plaine » ou fluviales**

Le cours d'eau sort de son lit mineur lentement et peut inonder la plaine pendant une longue période. La rivière occupe alors son lit moyen voire son lit majeur (Figure I.3). Lorsque le sol est saturé d'eau, il arrive que la nappe phréatique affleure et qu'une inondation nappe phréatique spontanée se produise. On parle alors d'inondation par remontée de (Figure I.4).



**Figure 2 : La rivière occupe alors son lit moyen voire son lit majeur**



**Figure 3: Inondation par remontée de nappe phréatique**

### B. Les crues torrentielles ou éclair

Elles sont les conséquences d'un transit rapide d'eau de pluie, dû à la forte pente des cours d'eau et à l'intensité pluviométrique.



Figure 4 : La crue torrentielle

### C. Le ruissellement en milieu urbain

Il vient d'une imperméabilité du sol qui limite l'infiltration des pluies et accentue le ruissellement, ce qui provoque souvent la saturation et le refoulement des réseaux d'assainissement ou des eaux pluviales, entraînant un écoulement plus ou moins rapide dans les rues.

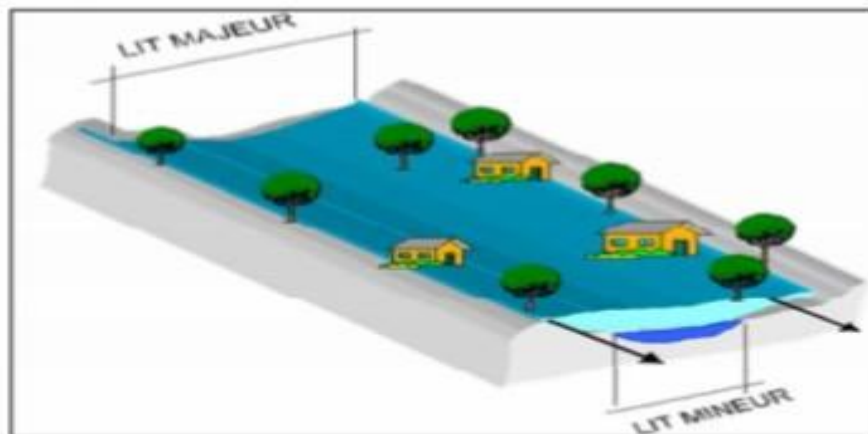


Figure 5 : L'inondation par ruissellement pluvial.

## I.3 Les Crues

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines. (Salomonn,1997).

### I.3.1 Le processus de formation des crues

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

- **L'eau mobilisable** : constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- **Le ruissellement** : qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de sa pente, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.
- **Le temps de concentration** : qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.
- **La propagation de l'onde de crue** : qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation.

### I.3.2 La période de retour de crues

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

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.

### **I.4 Les inondations en Algérie**

Les crues et les inondations sont plus fréquentes que les séismes et les glissements de terrains. Ces phénomènes provoquent des catastrophes et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Ces crues, variables dans le temps et dans l'espace, sont violentes, parfois rapides et soudaines (flash flooding) et surtout imprévisibles.

L'Algérie est confrontée aux phénomènes de crues et inondations, qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et sociale (Lahlah, 2000). Plusieurs régions, de part leur topographie sont menacées par ces catastrophes hydrologiques aussi bien au Nord qu'au Sud (Touaïbia, 2000) Les inondations attribuables aux crues d'oueds et aux tempêtes de pluies se produisent dans toutes les régions du pays (Tableau I.1).

**Table 1: Les inondations en Algérie**

Lieu	Date	Bilan des dégâts
Mostaganem	Novembre 1927	3000 morts, échelle de gravité : 5.
Azazga (Tizi Ouzou)	12/10/1971	40 décès, des centaines d'habitations détruites
Tizi Ouzou	28-31/03/1974	52 décès dans la wilaya, 18000 sinistrés, dégâts estimés à 27 millions de DA
El-Eulma (Sétif)	01/09/1980	44 décès.
à Annaba (centre ville)	11/11/1982	<b>26</b> décès, 9500 sinistrés, dégâts matériels importants
Skikda	30/01-4/02/1984	174 maisons démolies, 500 familles sinistrées, terrains agricoles fortement endommagés
, Skikda	28-30/12/1984	11 décès, immersion de 400 hectares, dégâts évalués alors à 50 millions DA
Jijel	29/12/1984	29 décès, 11000 sinistrés
Sidi Bel Abbcs	04/10/1986	1 décès, 200 familles sans abri
Oued Rhiau	20/10/1993	22 décès, 14 blessés
Bordj Bou Arréridj	23/09/1994	16 décès, dégâts (10 millions DA)
Annaba	23-30/04/1996	5 décès
Alger (Babel Oued)	09-11/11/2001	Plus de 700 décès, 115 disparus, des milliers de blessés, dégâts (30 milliards de DA)
Skikda	17-11-2004	plus de 100 familles sans abri, 219 familles sinistrées, établissements scolaires fermées (3 lycées, 6 collèges d'enseignement moyen et 4 écoles fondamentales)
Sud (régions d'Illizi, Adrar et Tamanrassct)	06-09/03/2005	3 décès, 09 disparus et 70 évacués par hélicoptère, routes, agriculture et infrastructures endommagées, plusieurs villages inondés
Tindouf	09-11/02/2006	50 à 60% d'infrastructures détruites aux camps des réfugiés sahraouis (12200 familles sans abri)
Bechar	18 Octobre 2007	2 morts emportés par les eaux
Ghardaïa	01 Octobre 2008	Plus de 34 décès et 50 blessés, maisons effondrées sur leurs habitants, des dizaines de véhicules emportés par les eaux, arbres arrachés, poteaux électriques ensevelis, dégâts aux surfaces agricoles et au cheptel ovin, plus de 1000 maisons inondées dont 600 sont endommagées
Bechar	10 Octobre 2008	8 morts, dégâts matériels importants, la plus grande inondation depuis 1959.

### **I.4.1 Problématique D'Inondation En ALGERIE**

Plusieurs régions sont soumises aux inondations se manifestant de façon catastrophique et constitut ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social. D'après le recensement effectué par les services de la protection civile, une commune sur trois (485communes) est susceptible d'être inondée en partie ou en totalité. Ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices, provoquant d'importants dégâts humains et matériels (DGPC, 2007).

L'inventaire des inondations à travers le pays sur la période 1969-2008 révèle l'existence de régions soumises à ce risque et que ces événements spatio-temporelles sont imprévisibles.

Aussi, il ressort que des grandes inondations engendrées par des pluies exceptionnelles généralisées sur de grands bassins versants et pouvant toucher plusieurs régions atteignant parfois l'ampleur d'une catastrophe nationale telle que :

les inondations de l'automne 1968 en Algérie et en Tunisie, celles de Mars 1973 affectant TEST du pays, les inondations de 1974 des bassins versants de l'algérois et du Sebaou, celle de 1984 touchant tout TEST du pays et les inondations par ruissellement urbain provoquées par des orages localisés d'automne et d'été affectant surtout les agglomérations et les villes (cas des inondations du 10 novembre 2001 qui furent les plus meurtrières de l'histoire des inondations en Algérie ) (DGPC, 2007).

### **I.5 Risque d'inondation**

Le risque d'inondation reste aujourd'hui le risque le plus répandu, faisant le plus de victimes et de dégâts (Pottier, 1998). Il contribue pour 58% dans le nombre des victimes des catastrophes naturelles et pour 31% dans le montant des pertes économiques (Berz, 2000).

#### **I.5.1 Les plans d'exposition aux risques des inondations (PERI)**

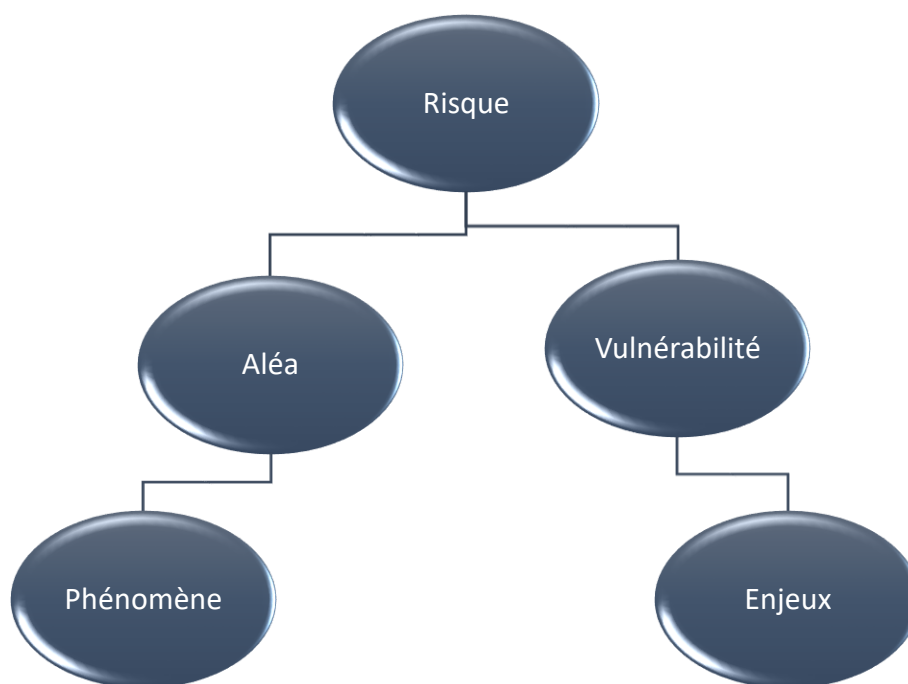
L'un des meilleurs moyens de prévention contre les risques d'inondation est d'éviter d'urbaniser les zones exposées à ce risque. C'est grâce à la loi française n° 82-600 du 13 juillet 1982 (Berthier, 1995) relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, que les pays ont mis en œuvre une politique active de prévention des risques naturels probables actuellement, le PERI est parmi les anciens documents définissant les zones inconstructibles et des zones constructibles sous réserves de respecter certaines prescriptions. Le champ d'action de ces PERI porte nom seulement sur l'urbanisation future, mais aussi sur les constructions existantes (effet rétroactif) c'est un élément innovant par rapport aux autres outils. Sur les plans techniques et réglementaires, l'année1982 représente donc, une date charnière à partir de laquelle la cartographie des risques,

ainsi que les réglementations de contrôle de l'occupation du sol et des constructions deviennent des outils privilégiés de la politique de prévention des inondations (Bravard, 1991).

### **I.5.2 Définition du concept du risque**

La notion de risque est communément définie comme la combinaison de deux composantes qui sont l'aléa et la vulnérabilité (Gilard et Gendreau, 1998). En effet, d'après (Torterotot, 1993) : « Il n'y a pas de risque sans aléa naturel, il n'y en a pas sans élément vulnérable exposé ».

- L'aléa représente le phénomène naturel au moyen de sa fréquence et de ses descripteurs physiques.
- La vulnérabilité exprime le niveau d'effet prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux.
- Les enjeux, quant à eux, représentent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoines, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel (Mate, 1997)



**Figure 6 : Définition du risque d'inondation.**

Dauphine, 2005 représentant l'aléa et la vulnérabilité par deux axes dans un espace plan, on obtient des courbes d'isorisque, avec une formule qui dépend le problème analysé.  $\text{Risque} = F(\text{aléa} * \text{vulnérabilité})$

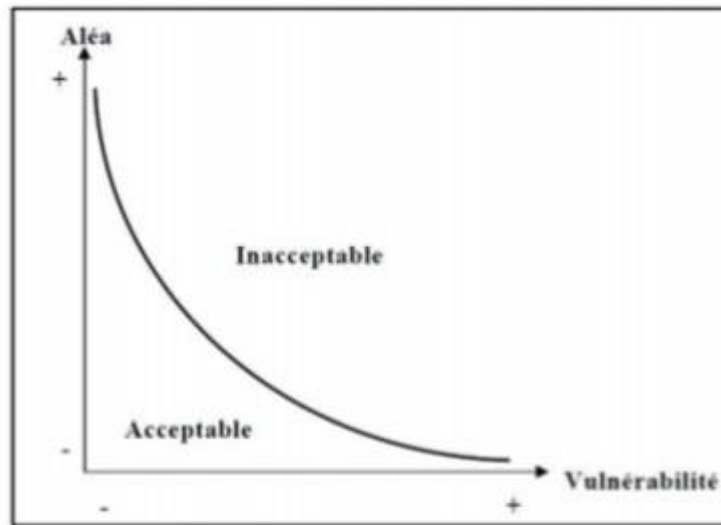


Figure 7 : Courbe d'isorisque (Dauphine, 2005).

- **Conclusion**

Cette courbe représente la limite du produit d'un aléa et d'une vulnérabilité où le risque reste acceptable.

### I.5.2.1 L'aléa

Est défini comme lié uniquement au phénomène physique considéré, la crue fait l'objet de l'essentiel des travaux en hydrologie et en hydraulique appliqués à la gestion des risques d'inondation. Il dépend du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique. Il peut être quantifié sur une parcelle (avec une précision plus au moins bonne) grâce aux variables hydrologiques classiquement utilisées qui sont la profondeur d'eau et la durée d'inondation, associée à une période de retour. La notion de "vitesse" du courant est parfois utilisée comme paramètre complémentaire de caractérisation de l'aléa mais elle est encore assez mal connue. Sa mesure ou sa modélisation pose des problèmes théoriques et pratiques puisque actuellement, seule la vitesse moyenne par section en travers, peu pertinente en termes d'aléa est accessible (Gilard et Gendreau, 1998).

### I.5.2.2 Vulnérabilité

La vulnérabilité de l'occupation des sols aux inondations traduit le fait que des dommages économiques directs et indirects, et plus ou moins sévères, apparaissent lorsque l'eau inonde une

parcelle. De façon classique, on peut théoriquement construire des courbes de dommages qui relient entre eux les paramètres de profondeur d'eau et le coût des dommages correspondants. La vulnérabilité se définit dans le même espace que l'aléa, à savoir en termes de profondeur, durée et période de retour (h, d, T) (Gilard et Gendreau, 1998). On peut aussi dire que la vulnérabilité doit mesurer la capacité de systèmes interdépendants à fonctionner pour résister à des perturbations extérieures, même les plus imprévisibles (Theys, Fabiani, 1988), c'est à dire sa capacité à résister à un phénomène destructeur. Dans ce cas, la vulnérabilité est définie de façon beaucoup plus complète.

La méthode classique consiste à assortir la courbe des dommages du paramètre probabiliste traduisant la réalité de la contrainte hydraulique ou aléa (Torterotot, 1993). Le risque se quantifie par le coût annuel moyen des dégâts, espérance mathématique du produit scalaire du coût des dommages par leur probabilité p.

$$\text{Risque} \approx \int_0^1 \text{coût}(p) p dp$$

Mais l'inconvénient majeur de cette définition est de n'aboutir qu'à une définition positive du risque qui se traduit inévitablement par une recherche en terme de minimalisation, et qui conduit à s'approcher autant que possible du risque zéro, même s'il est inaccessible. Ceci se traduit dans les faits par deux éléments :

- Des ouvrages de protection de plus en plus importants pour se protéger contre des crues de plus en plus rares.
- Une urbanisation ou l'installation d'activités sensibles dans les plaines inondables, en principe protégés (Gilard et Gendreau, 1998).

### **I.5.3 L'organisation du risque d'inondation**

L'inondation est un phénomène spatial, qui peut s'étendre sur de vastes territoires géographiques, résultant de l'alternance des hautes et basses eaux d'une rivière. De fait, la gestion de ce risque s'organise également de façon cyclique, autour de trois temps principaux : avant, pendant et après. Avant l'inondation, les processus naturels sont abordés de façon rationnelle, dépassionnée et déconnectée des questions d'évaluation financière. Les outils de modélisation, mis au point pendant cette phase, permettent de tester les capacités de réaction des services d'intervention, d'évaluer l'impact des aménagements de protection... C'est avant l'inondation, quand le temps ne constitue pas une contrainte majeure, dont les moyens d'action peuvent et doivent être évalués

pour améliorer l'efficacité des décisions. Le temps le plus marquant, à différents chefs, est évidemment l'inondation en elle-même, autrement dit, la catastrophe, où chaque instant et chaque décision comptent car des biens et des personnes sont en jeu. Une des préoccupations majeures est alors de connaître l'ampleur de l'événement pour permettre le dimensionnement et le déploiement des moyens d'action. Après l'inondation, le problème principal est de tirer des enseignements et des conclusions, de mesurer l'impact essentiellement en termes financiers et sociaux. Les moyens mis en œuvre et leurs interventions sont évalués pour améliorer les actions futures (Belloula, 2008).

### **I.6 Gestion du risque d'inondation**

Les inondations du début des années 80 auront eu le mérite de susciter une prise de conscience préalable à l'élaboration d'une politique de prévention des risques naturels dans plusieurs pays. La prévention des risques d'inondation repose sur quelques grands.

#### **❖ l'évaluation des risques, l'information des populations représentées dans la prévision :**

La prévision des crues est la modélisation des quantités de précipitations, les apports solides ou liquides, reçues dans un bassin hydrographique et de leur effet sur l'écoulement dans les cours d'eau. Les services météorologiques nationaux utilisent des modèles de prévision numérique du temps pour estimer la quantité de pluie ou de neige qui devraient tomber. Mais souvent, ce sont des collectivités territoriales locales qui notent les quantités reçues, le débit des rivières et utilisent les programmes de modélisation des crues pour prévoir les débordements et limiter les dégâts d'inondation aux riverains.

#### **❖ la restriction de l'urbanisation dans les zones à risque représentées dans réglementation :**

La réglementation est ancienne, variée, souvent incomplète et parfois mal adoptée, elle devrait systématiquement prendre en compte les actions anthropiques aboutissant à une modification substantielle du relief (travaux d'aplanissement, extraction de gravier et carrière etc...) à l'édification de toute construction en zone inondable. Très souvent la réglementation n'est pas respectée ce qui a amené à des situations très dangereuses (Yahiaoui, 2012).

#### **❖ l'entretien des rivières, la recherche et la réalisation de solutions techniques de protection représentées dans L'aménagement du bassin versant :**

Du point de vue de la prévention des crues, l'aménagement du bassin versant apparaît comme fondamental tant au niveau des versants que du lit proprement dit.

### **Au niveau des versants :**

Le reboisement apparaît comme la première solution envisageable pour la protection des versants, car la forêt intercepte la pluie et retarde la fonte des neiges sous son couvert, accroît l'évapotranspiration (en particulier en été ou la transpiration des arbres contribue à l'assèchement des sols et l'abaissement du niveau des nappes phréatiques, au bénéfice de la rétention).

### **Au niveau du lit :**

La correction des lits est souvent la solution proposée par les ingénieurs qui cherchent à accroître la section mouillée en élargissant les lits ou encore à les approfondir par des dérochements ou encore en érigeant des digues, etc... On distingue trois types de lit :

#### ✓ **Le lit mineur**

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

#### ✓ **Le lit majeur**

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

On distingue deux types de zones :

- Les zones d'écoulement, au v voisinage du lit mineur ou des chenaux de crues, où le courant a une forte vitesse.
- Les zones d'expansion de crues ou de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval. Le lit majeur fait partie intégrante de la rivière. En s'y implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même.

#### ✓ **Le lit moyen**

Sous certains climats, et pour certains cours d'eau, on peut identifier un lit moyen. Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la

rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur lequel s'écoulent les crues moyennes

- ❖ **et enfin l'établissement de plans communs d'alerte et de secours dans les communes les plus exposées.**

## I.7 Mesures techniques de protection contre les inondations

### I.7.1 Les moyens de protection

La protection consiste en l'aménagement du cours d'eau ou du bassin versant en vue de contrôler le déroulement et les conséquences de la crue : on parle de protection passive. Diverses mesures existent, tels que les enrochements, endiguements, pièges à matériaux, plages de dépôts, etc.

Ces protections sont efficaces pour une certaine intensité du phénomène, appelée crue de projet. En cas de dépassement de celle-ci, les protections peuvent être inefficaces, voire dangereuses en cas de rupture. C'est le cas par exemple des digues qui peuvent être submergées ou des barrages écrêteurs sur les grands fleuves, dont l'efficacité est faible en cas de crue majeure.



Figure 8 : Zone bâtie protégée par une digue

### I.7.2 Les secours

En cas de dépassement des cotes de pré alerte et d'alerte, les informations sont d'abord transmises au préfet, qui décide d'alerter les maires des localités concernées. Chaque maire alerte ensuite la population de sa commune et prend les mesures de protection immédiates. Certaines collectivités mettent en place leur propre service d'annonce de crue.

Au niveau communal, c'est le maire, détenteur des pouvoirs de police, qui a la charge d'assurer la sécurité de la population dans les conditions fixées par le code général des collectivités territoriales. À cette fin, il prend les dispositions lui permettant de gérer la crise et peut, si

nécessaire, faire appel au préfet représentant de l'État dans le département. Un nouveau texte législatif prévoit de plus l'instauration de plan communal de sauvegarde.

En cas de catastrophe, lorsque plusieurs communes sont concernées, les plans de secours départementaux (par exemple les plans Orsec) sont mis en application, conformément à la loi du 22 juillet 1987. Ils fixent l'organisation de la direction des secours et -permettent la mobilisation des moyens publics et privés nécessaires à l'intervention. Ils prévoient notamment l'organisation des transports, de la circulation, de l'accueil et de la protection des sinistrés ainsi que de la surveillance contre le pillage. Dans chaque département, c'est le préfet qui élabore et déclenche les plans de secours ; il est directeur des opérations de secours.

Lorsqu'elles intéressent le territoire de plusieurs départements, le Premier ministre peut placer le pilotage des opérations de secours sous la direction du représentant de l'État dans l'un de ces départements ou recourir au préfet de la zone de défense concernée.

Il existe une veille permanente assurée par des centres départementaux, interrégionaux (ce sont les zones de défense) et national. Leur coordination est assurée par la direction de défense et de la sécurité civile du ministère de l'Intérieur. [4]

## **I.8 Conclusion**

L'inondation est un risque prévisible dans son intensité, mais il est difficile de connaître le moment où elle se manifesterait. Les paramètres concourant à la formation des crues sont nombreux.

La prévision des inondations consiste donc principalement en une observation continue des précipitations. Enfin, l'inondation est considérée comme un événement climatique extrême. Souvent qualifiée de risque naturel, elle est lourde de conséquences (pertes humaines, sociales, économiques et environnementales) tant pour les pays développés que pour les nations en développement bien que tous ne soient pas affectés de la même manière.

La description du régime des crues d'un bassin versant nécessite une banque de données pluviométriques et hydrométriques, et à l'aide d'une analyse statistique on peut connaître avec un certain degré d'erreur la nature de ce régime.

L'élaboration des plans et des mesures de protection contre les inondations demeure indispensable et incontournable pour minimiser les dégâts de ce phénomène.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and a light gray shadow, positioned horizontally across the middle of the page. The scroll is unrolled, with the top edge slightly curved upwards and the bottom edge slightly curved downwards. The text is centered within the scroll's frame.

# **CHAPITRE II**

“ Présentation et Etude morphométrie du bassin versant de  
l’oued El-Ham ”

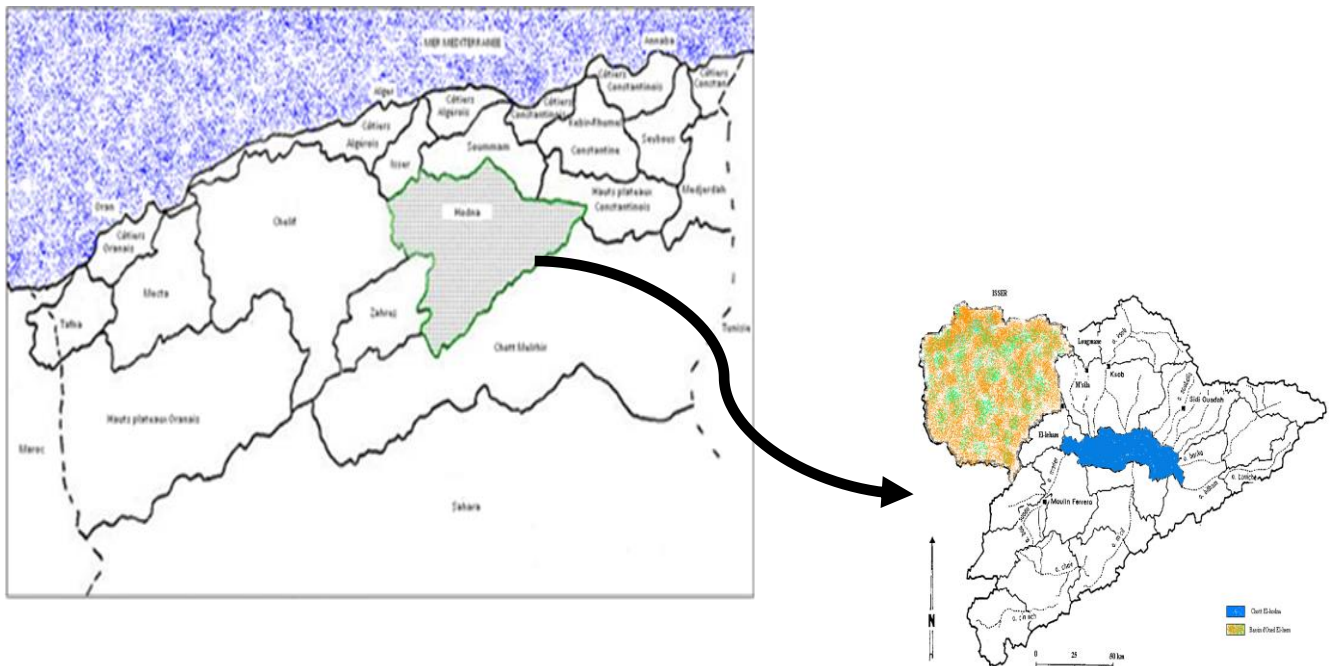
## **II.1 Présentation du bassin versant de l'oued El-Ham**

### **II.1.1 Situation géographique et relief**

#### **II.1.1.1 Situation géographique de bassin**

Le bassin du Hodna représente une des dépressions existantes sur les hauts plateaux d'Afrique du nord, depuis le Maroc jusqu'en Tunisie. C'est le 5ème grand bassin versant de l'Algérie, Il est situé au centre, entre les bassins versant Isser, Soummam, Hauts plateaux constantinois, Chott Merlhir, Zahrez et Chelif. Il occupe une surface de 26000 km<sup>2</sup> divisée entre 8 Wilayets : M'sila, Batna, BBA, Djelfa, Médéa, Bouira, Sétif, et Biskra.

La situation du bassin du Hodna entre deux séries de montagnes au nord et au sud, organise le bassin autour d'une cuvette fermée presque plate à 400 m d'altitude dite Chott El Hodna (1150 km<sup>2</sup>). Cette cuvette reçoit les apports liquides et solides des 17 oueds du Hodna dont l'Oued El ham est le plus grand drainant un sous bassin d'une superficie de 5604 km<sup>2</sup>



**Figure 9 : Situation géographique de bassin**

### **II.1.2 Hydro-Climatologie**

Le climat de la région est semi-aride, caractérisé par des pluies en hiver et une sécheresse en été. La précipitation moyenne interannuelle sur tout le bassin de l'oued El-Ham est de 185 mm, avec une forte variabilité interannuelle (Coefficient de Variation interannuel CV = 0.40).

Les températures maximales moyennes dans le bassin varient de 24° à 27 °C en plaine et de 19° à 21°C sur les zones d'altitude. De même pour les températures minimales moyennes, elles varient de 9° à 12°C en plaine, et de 19° à 21°C sur les zones d'altitude. Le gradient thermique annuel en fonction de l'altitude est de 0.75 °C pour chaque 100 m d'altitude (Boutheldja, 2005)

Du point de vue du classement bio-climatique la grande majorité du bassin est située entre l'aride moyen hiver tempéré et l'aride inférieur hiver froid.

L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée d'après la formule de Turc varie entre 1085 et 1362 mm ; pour la majeure partie du bassin elle est de 1250 mm environ.

L'évaporation moyenne annuelle mesurée à la station M'Sila (bac classe A américain) après sa correction pour l'évaporation sur de grande surface libre est de 2120 mm.

La pérennité des écoulements de surface (oueds) est très relative. Les crues sont violentes et leurs débits sont considérables, autant que leurs débits d'étiage sont faibles.

### **II.1.3 Géologie**

La géologie de la région est très complexe du fait que le bassin du Hodna est situé au croisement de deux systèmes structuraux très différents :

- ✓ L'atlas tellien au Nord
- ✓ L'atlas saharien au Sud

En effet, il y a la superposition du changement litho stratigraphique avec celui du mode tectonique du Sud au Nord et de l'Ouest à l'Est.

Les monts du Hodna au nord se présente grosso-modo comme un anticlinal allongé E-W, dont la voûte axiale s'est effondrée.

Le massif affecte dans son ensemble, autour de plusieurs noyaux liasiques, accompagnés souvent du trias di aphyrique, le jurassique moyen et supérieur et surtout crétacé qui est surmonté sur les deux versants par un nummulitique assez développé dans la partie Ouest mais qui est absent ou réduit.

## **II.1.4 Hydrogéologie**

### **II.1.4.1 l'érosion hydrique**

Oued El-Ham transporte annuellement (en moyenne) 94 Millions de m<sup>3</sup> d'eau et 2.97 millions de tonnes de sédiments, soit une érosion hydrique de l'ordre de 530 T/km<sup>2</sup>/an. Cette dernière valeur est parmi les plus importantes dans le monde, c'est une valeur moyenne associée à une variabilité importante : durant la période de l'étude (21 ans) le coefficient de variation interannuelle de l'érosion Cv est estimé à 1.0. Ce même ordre de variabilité est observé dans d'autres bassins en Algérie (Achite et Meddi 2005). En 1980, oued El-Ham a transporté 460.51 Millions de m<sup>3</sup> d'eau et environ 6 millions de tonnes de sédiments. Toute cette masse d'eau et de sédiments pose un problème sérieux sur la cuvette de chott El-Hodna ; pendant la période de l'étude de 21 ans la perte en sol de tout le bassin de l'oued El-Ham a contribué à l'élévation de la côte du chott (1 150 km<sup>2</sup>) de près de 20 cm. l'oued El-Ham est l'un des 13 oueds qui déversent leurs apports liquides et solides dans cette cuvette.

### **II.1.4.2 Nappe phréatique**

Sa nappe est convergente tout autour du chott. Sa limite d'exutoire vers le chott à été considérée comme courbe isobathe de 5 m à partir de laquelle l'évaporation devient sensible sur la nappe. Ainsi l'aire d'exutoire fait une superficie de 2700 km<sup>2</sup> environ chott compris.

#### **II.1.4.2.1 Formations aquifères**

Les aquifères sont constitués par des formations lenticulaire du quaternaire au NW, N, NE et à l'Est du chott. Tandis qu'au Sud et suivant les zones, le Berriasien supérieur à l'Aptien inférieur et le tertiaire continental s'associent au quaternaire comme aquifères de la nappe phréatique. En réalité ces trois terrains, suivant les zones, deviennent tantôt l'aquifère, tantôt celui des nappes et la disposition structurale de ces formations vis-à-vis des deux nappes.

#### **II.1.4.2.2 Régime Hydraulique**

- Alimentation
  - Infiltration des eaux de précipitation et d'écoulement de surface.
  - Apport par drainance à partir de nappe captive.
- Décharge
  - Prélèvement par puisage (estimé à 250 l/s).
  - Drainage des oueds.
  - Emission par drainance vers la nappe captive sous jacente.

- Exutoire naturel : évaporation.

Il y aura évidemment une variation de réserve plus ou moins grande en fonction de la différence positive ou négative entre l'alimentation et la décharge.

Au stade actuel des connaissances, un tel bilan n'est pas chiffrable. Néanmoins, le débit d'écoulement de la nappe phréatique dans son ensemble, calculé par deux méthodes différentes d'approche est de 3 m<sup>3</sup>/s environ.

## **II.2 Etude de morphométrie du bassin versant de l'Oued El-Ham**

### **II.2.1 Introduction**

S'agit d'étudier s'il existe des variations des paramètres hydrologiques dans les bassins versants et ainsi de souligner d'éventuelles anomalies du drainage et de mettre en évidence un comportement mature ou immature des bassins versants.

L'utilisation de ces différents paramètres et les indices de la morphométrie d'un bassin versant présente un résultat indispensable, et ce afin de caractériser l'environnement physique et leur influence sur l'écoulement superficiel. Nous avons utilisé, dans le cadre de cette étude, des techniques automatiques qui facilitent l'extraction de ces indices.

### **II.2.2 Informations digitales et modèles numériques**

La demande de données spatiales s'est accrue ces dernières années car on sait désormais qu'il est essentiel de connaître la distribution spatiale de la réponse hydrologique pour bien comprendre les processus sous-jacents de la génération de l'écoulement. De plus, la représentation et la connaissance du terrain est essentielle pour comprendre les processus d'écoulement, d'érosion, de sédimentation, de salinisation et de pollution via des cartes de risque.

Aujourd'hui, le développement de techniques d'acquisition et de mise à disposition d'informations digitales a rendu possible la représentation à la fois de la topographie du milieu par le biais de modèles numériques d'altitude (MNA) et de terrain (MNT) ainsi que la représentation de l'occupation des sols par le biais de photographies aériennes ou de données satellitaires.

Cette modèle permettre la mise en œuvre de méthodes d'estimation régionales de paramètres hydrologiques tels que les débits de crue instantanés décennaux ou les apports moyens annuels

Ce MNT permet de retrouver correctement les principaux paramètres morphométriques utilisés en hydrologie. Durga Rao et al. (2009) ont constaté que les paramètres morphométriques d'un bassin versant, estimés à partir d'un MNT SRTM, peuvent améliorer la précision d'un modèle de calcul

des hydrogrammes de crue. Le MNT SRTM a également été utilisé dans la détermination des zones vulnérables à l'inondation (Demirkesen et al. 2007).

### **II.2.3 Définition d'un Système d'Information Géographique (SIG)**

Pour évaluer les risques naturels on fait appel à L'évolution des systèmes d'informations géographiques (SIG) et le développement de la technologie spatiale (télédétection) ont permis une meilleure connaissance et une exploitation efficace des bassins versants. [5]

« Un SIG est un ensemble organisé de matériels informatiques, de logiciels, de données géographiques et de personnel capable de saisir, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes formes d'informations géographiquement référencées. » (Blomac, 1994). Il intègre toutes les fonctionnalités d'un système de gestion de bases de données (analyses statistiques, requêtes...) et s'applique dans un environnement géoréférencé, pour la visualisation (sous la forme d'image assimilée le plus souvent à une carte) et l'analyse.

Burrough (1986) distingue quatre fonctionnalités de base d'un SIG : (i) Saisir des données (numérisation) ; (ii) Stocker des données (base de données graphique et tabulaire) ; (iii) Analyser des données (requêtes, modélisations, simulations) ; (iv) " Sortir " des données (cartes, tableaux, graphiques, exportation et transferts de fichiers)

Les potentialités des outils SIG et télédétection offrent un grand appui qui permet de générer les données descriptives du bassin. L'un des objectifs de la présente étude est de déterminer les caractéristiques physiques du bassin versant de l'Oued El-Ham (caractéristiques de forme, de relief, les altitudes, les pentes, la typologie du réseau hydrographique). Le second objectif est l'élaboration des cartes thématiques (cartes des sous-bassins versant, carte de réseau hydrographique, carte de drainage, carte des pentes,...) et déterminer les zones à risques naturels dans ce bassin. L'utilisation de ces nouvelles techniques a permis ainsi de répondre aux exigences la prévention contre les risques naturels [5].

### **II.2.4 Définition de bassin versant**

Le bassin versant est un territoire géographique bien défini : il correspond à l'ensemble de la surface recevant les eaux qui circulent naturellement vers un même cours d'eau ou vers une même nappe d'eau souterraine. Un bassin versant se délimite par des lignes de partage des eaux entre les différents bassins.

Ces lignes sont des frontières naturelles dessinées par le relief : elles correspondent aux lignes de crête. Les gouttes de pluie tombant d'un côté ou de l'autre de cette ligne de partage des eaux

alimenteront deux bassins versants situés côtes à côtes. A l'image des poupées gigognes, le bassin versant d'un fleuve est composé par l'assemblage des sous-bassins versants de ses affluents.

Selon la nature de terrain, on peut distinguer deux types de bassin versant :

- **Bassin versant topographique** : Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente.
  
- **Bassin versant hydrogéologique** : Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infilte puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux entrent souterrainement dans le bassin).

## **II.2.5 Les caractéristiques morphométriques**

Les objectifs d'une analyse morphométrique d'un bassin versant sont multiples. Il s'agit d'étudier s'il existe des variations des paramètres hydrologiques dans les bassins versants et ainsi de souligner d'éventuelles anomalies du drainage et de mettre en évidence un comportement mature ou immature des bassins versants.

Donc il convient de les préciser dès le début dans toute étude. Les différents paramètres morphométriques sont calculés à partir de **MNT** en utilisant le logiciel **ArcGIS**.

### **II.2.5.1 Caractéristiques de la disposition dans le plan**

#### **II.2.5.1.1 La surface**

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface.

La surface du bassin versant peut être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou, mieux, par des techniques de digitalisation (logiciel ArcGIS). La surface A d'un bassin s'exprime généralement en Km<sup>2</sup>.

Dans notre cas, la surface du bassin versant de oued El-Ham est déterminée automatiquement par l'utilisation des images satellitaires à l'aide du logiciel ArcGis et égal à **5594,41 Km<sup>2</sup>**.

### II.2.5.1.2 Le périmètre

Le périmètre correspond à la longueur de la limite extérieure du bassin, Il représente le contour limitant la surface du bassin versant. Sur des cartes en papier, il est mesuré grâce à des curvimètres, mais sa détermination sur des cartes digitalisées est beaucoup mieux facile et précise (il est mesuré automatiquement par logiciel Arc GIS). Le périmètre du bassin versant de l'oued El-Ham est égal à **491,73 Km**.

### II.2.5.1.3 Indice de compacité de Gravelius

La forme d'un bassin versant à une influence sur l'écoulement et surtout sur l'allure de l'hydrogramme de crue, ainsi un bassin très allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassée, si les autres conditions sont par ailleurs égales.

Il caractérise la forme du bassin, et se définit comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre d'un cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

KG : est l'indice de compacité de Gravelius ;

A : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>];

P : périmètre du bassin [km].

$$K_G=1.84$$

KG =1	le bassin versant est circulaire.
KG = 1,12	le bassin versant est un carré.
KG ≈ 1	le bassin versant est arrondi compacte.
KG s'éloigne de 1	le bassin versant est allongé.

### II.2.5.1.4 Le rectangle équivalent

Autrement dit rectangle de Gravelius, cette notion a été introduite par Roche en 1963 et elle conserve les mêmes caractéristiques morphologiques du bassin (superficie, périmètre, hypsométrie,....etc.).

Il est définie par le rectangle de longueur 'L' et largeur 'l' qui a la même superficie, le même périmètre ( $P=2*(L + l)$  et  $A=L*l$ ), le même temps de concentration et la même hypsométrie que le bassin étudié dont les courbes de niveau devenant des droites parallèles aux petits cotes et l'exutoire du bassin étant assimilé à un de ces petits cotés où la climatologie, la répartitions des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau

Si **L** et **l** la longueur et la largeur du rectangle, et **P** et **A** le périmètre et l'aire du bassin versant, et  $K_G > 1,12$ .

les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$P = 2(L + l) = \frac{K_G \sqrt{A}}{0,28}$$

- ✓ La longueur du rectangle équivalent

$$L = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G}\right)^2} \right]$$

- ✓ La largeur du rectangle équivalent

$$l = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G}\right)^2} \right]$$

**Table 2: Les dimensions du rectangle équivalent**

Altitudes	Surfaces partielles (Xi) en Km <sup>2</sup>	Longueurs partielles Li en Km	Largeur l en Km	Longueur L en Km
441-591	845,16	33,311	25,37	220,50
591-741	2383,88	93,957		
741-891	1392,59	54,887		
891-1041	584,12	23,022		
1041-1191	272,56	10,743		
1191-1341	78,07	3,077		
1341-1491	25,23	0,994		
1491-1641	9,83	0,387		
1641-1823	2,97	0,117		

Les dimensions du rectangle équivalent traduisent que la longueur est 10 fois plus grande que la largeur.

On schématise la forme du bassin et la répartition des altitudes sur le rectangle équivalent. On construit alors une surface ayant même hypsométrie, même périmètre et même surface que le bassin versant.

### **II.2.5.2 Les paramètres du relief**

Le relief regroupe toutes les irrégularités à la surface du globe : montagnes, collines, plateaux, plaines, fosses océaniques, etc. L'état du relief dépend de divers facteurs, dont la nature des roches (les laves donnent des reliefs volcaniques, les granites des reliefs massifs, les calcaires des reliefs karstiques), l'environnement climatique, type d'érosion (relief glaciaire, relief fluvial) et sa durée d'action. Le relief est caractérisé par les paramètres suivants :

#### **II.2.5.2.1 Les courbes hypsométriques**

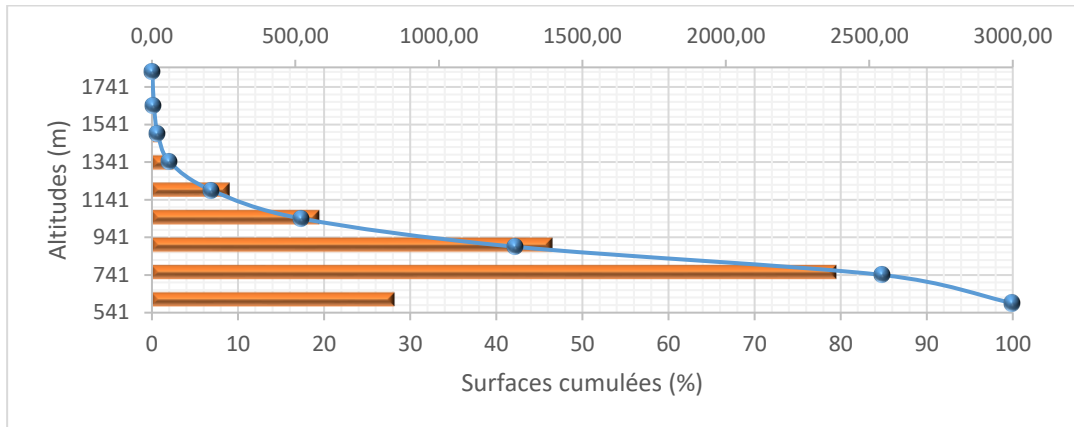
L'étude statistique permet de tracer la "**courbe hypsométrique**". Cette courbe donne la surface **A** (en **km<sup>2</sup>** ou en **%** de la surface totale) où les altitudes sont supérieures à une cote **h** donnée. Cette courbe est établie en planimétrant pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante.

On utilise le modèle numérique de terrain (MNT) pour déterminer les altitudes et les courbes de niveau et on mesure les surfaces entre chaque deux courbes de niveaux successives du bassin versant avec la digitalisation en utilisant le logiciel Arc Gis.

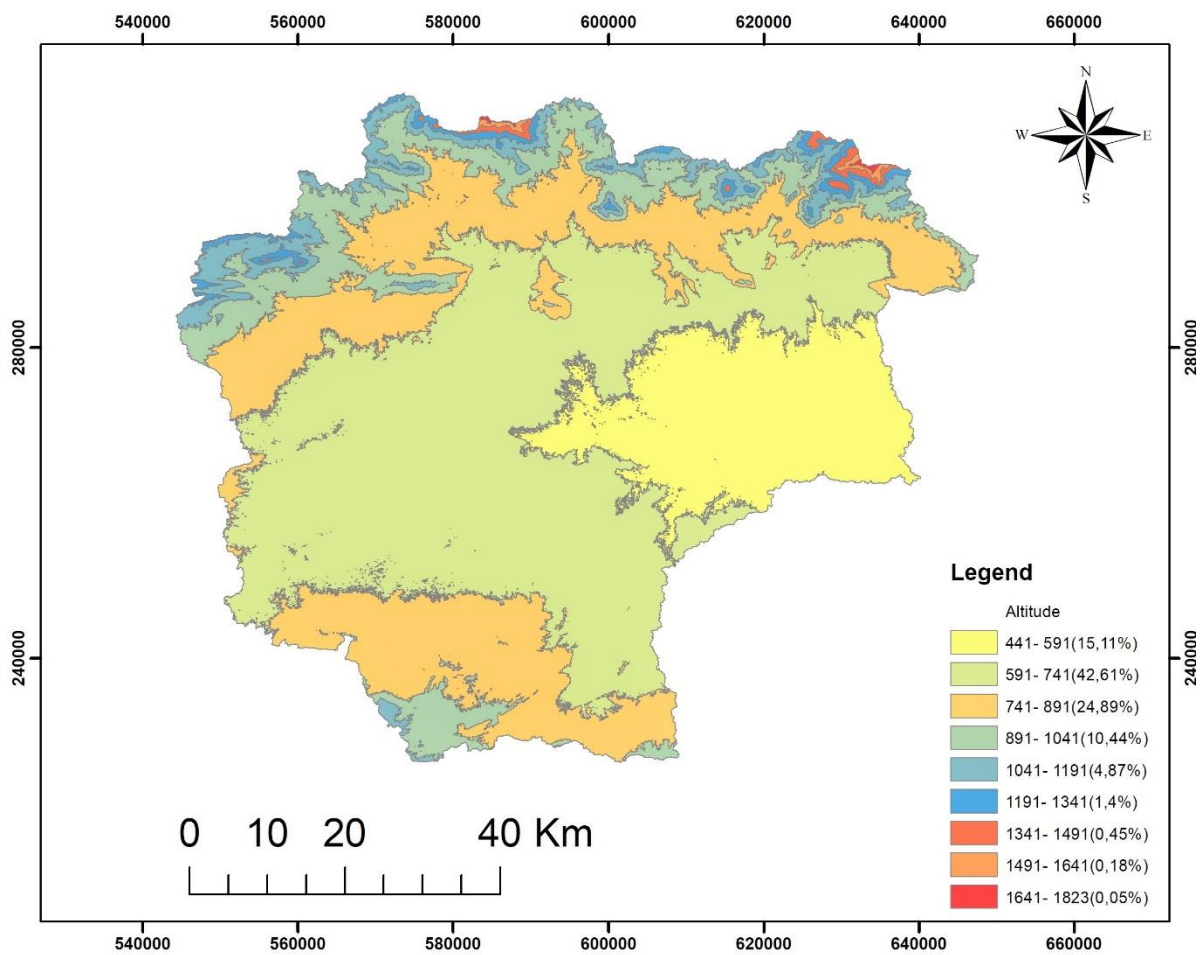
La répartition des surfaces en fonction des côtes est résumée sur les tableaux ci-dessous :

**Table 3 : Répartition des Surfaces Partielles Par Rapport Aux Altitudes**

Altitudes	Surfaces Partielles		Surfaces Cumulées	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
441-591	845,16	15,11	5594,41	100
591-741	2383,88	42,61	4749,25	84,89
741-891	1392,59	24,89	2365,37	42,28
891-1041	584,12	10,44	972,78	17,39
1041-1191	272,56	4,87	388,66	6,95
1191-1341	78,07	1,4	116,10	2,08
1341-1491	25,23	0,45	38,03	0,68
1491-1641	9,83	0,18	12,80	0,23
1641-1823	2,97	0,05	2,97	0,05



**Figure 10 : Courbe Hypsométrique et digramme de Fréquence**



**Figure 11 : Carte Hypsométrique BV Oued El-HAM**

**II.2.5.2.2 Les altitudes maximales et minimales**

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin, tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

L'altitude maximale : **1823 m** ;

L'altitude minimale : **441 m**.

**II.2.5.2.3 L'Altitude moyenne**

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \sum \frac{S_i \cdot H_i}{S} = 747,83 \text{ m}$$

Avec:

- ✓  $H_{moy}$  : Altitude moyenne du bassin versant (m) ;
- ✓  $S_i$  : Aire comprise entre deux courbes de niveau (Km<sup>2</sup>) ;
- ✓  $H_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m) ;
- ✓  $S$  : Superficie totale du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;

**Table 4 :Altitude Moyenne Partielles.**

Altitudes	H <sub>im</sub>	S <sub>i</sub> (Km <sup>2</sup> )	(S <sub>i</sub> x H <sub>im</sub> )/S
441-591	516	845,16	77,95
591-741	666	2383,88	283,79
741-891	816	1392,59	203,12
891-1041	966	584,12	100,86
1041-1191	1116	272,56	54,37
1191-1341	1266	78,07	17,67
1341-1491	1416	25,23	6,39
1491-1641	1566	9,83	2,75
1641-1823	1732	2,97	0,92

#### II.2.5.2.4 L'Altitude médiane

Elle est déterminée de la courbe hypsométrique, en faisant la projection du point **50%** sur l'axe des abscisses sur la courbe ensuite on lit le point qui correspond sur l'axe des altitudes.

L'Altitude médiane dans le bassin de l'oued EL-HAM est égale à :

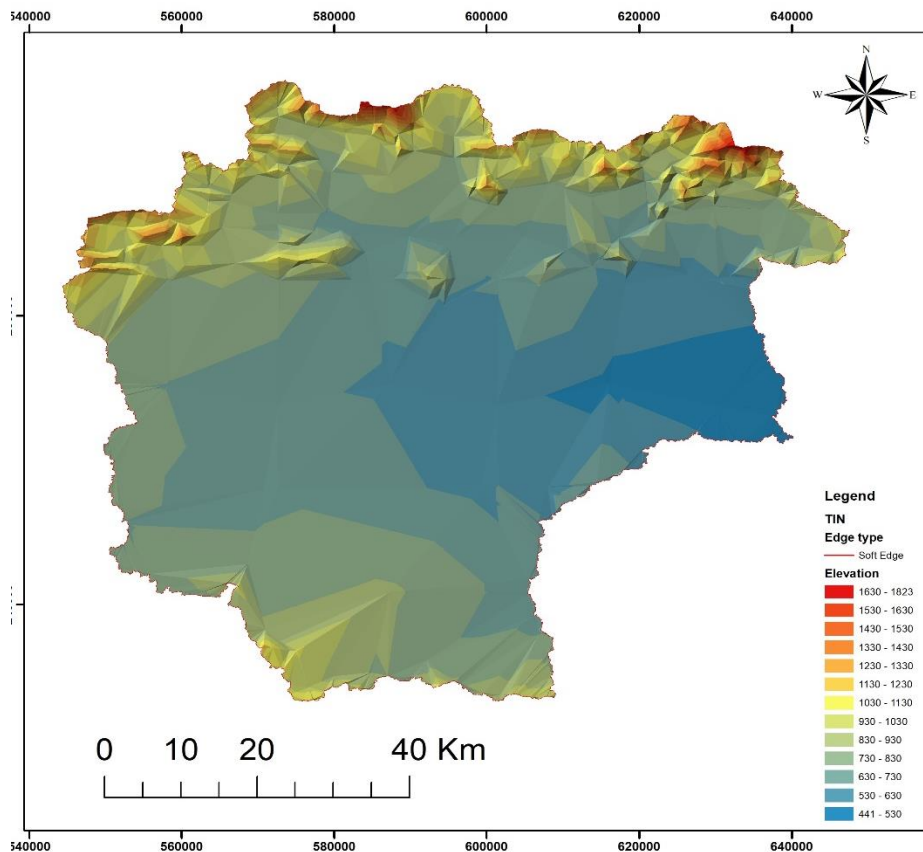
$$H_{\text{médiane}} = 861\text{m}$$

#### II.2.5.2.5 La dénivelée utile (simple)

C'est la différence de cotes entre H5% et H95%, qui sont déduites de la courbe hypsométrique.

$$D_u = H_{5\%} - H_{95\%}$$

$$D_u = 590 \text{ m}$$



**Figure 12 : Carte TIN BV Oued EL-Ham**

#### II.2.5.3 Les indice de pente

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin ce qui permet sa classification et sa comparaison aux autres sous-bassins

### II.2.5.3.1 La pente moyenne

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

La pente moyenne du bassin versant est donnée par Roche (1963) comme étant la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires pour lesquelles on peut considérer que la ligne de plus grande pente est constante. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$I_m = \frac{D.Lc}{S}$$

Où:

- ✓  **$I_m$**  : pente moyenne [%] ;
- ✓  **$Lc$**  : longueur totale de courbes de niveau [km] ;
- ✓  **$D$**  : équidistance entre deux courbes de niveau [m] ;
- ✓  **$S$**  : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

$$I_m = 5,91\%$$

### II.2.5.3.2 La pente de Roche

C'est un indice un peu artificiel qui rend bien compte de l'influence du facteur pente sur le régime hydrologique du bassin.

Cet indice se calcule à partir du rectangle équivalent. Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par la surface intéressée, soit :

$$I_P = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n \left[ X_i \sqrt{\frac{d}{X_i}} \right]$$

Avec:

- **$I_P$**  : indice de pente de Roche (%) ;
- **$L$**  : Longueur de rectangle équivalents (m) ;
- **$X_i$**  : distance qui sépare deux courbes sur le rectangle (m) ;
- **$d$**  : distance entre deux courbes de niveau successives (peut être variable) (m) ;
- **$d/X_i$**  : pente moyenne d'un élément (%).

**Table 5: Calcul de la pente de Roche**

Altitudes	(xi.v(d/xi))
441-591	70,69
591-741	118,72
741-891	90,74
891-1041	58,76
1041-1191	40,14
1191-1341	21,48
1341-1491	12,21
1491-1641	7,62
1641-1823	4,19
La somme	424,56

$$I_p = \frac{424,56}{220,50} = 1,93 \%$$

### II.2.5.3.3 La pente globale

L'indice global de pente sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale S' 5% de S . On déduit les altitudes  $H_{5\%} - H_{95\%}$  entre lesquelles s'inscrit 90% de l'aire du bassin et la dénivelée  $D = H_{5\%} - H_{95\%}$ . L'indice global est égal à :

$$I_g = \frac{D}{L} = 0,0268$$

$$I_g = 2,68 \%$$

**Table 6: L'indice global de pente**

R 1	Relief très faible	$I_g < 0.002$
R 2	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
R 3	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
R 4	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
R 5	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
R 6	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
R 7	Relief très fort	$0.1 < I_g$

#### **II.2.5.3.4 Dénivelée spécifique**

L'indice de pente global décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes. La dénivelée spécifique  $D_s$  ne présente pas cet inconvénient.

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A}$$

$$D_s = 200$$

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ( $D = H5\% - H95\%$ ) et de la forme du bassin ( $l/L$ ). Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins :

**Table 7: deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M**

<b>R 1</b>	<b>Relief très faible</b>	<b><math>D_s &lt; 10</math></b>
<b>R 2</b>	<b>Relief faible</b>	<b><math>10 &lt; D_s &lt; 25</math></b>
<b>R 3</b>	<b>Relief assez faible</b>	<b><math>25 &lt; D_s &lt; 50</math></b>
<b>R 4</b>	<b>Relief modéré</b>	<b><math>50 &lt; D_s &lt; 100</math></b>
<b>R 5</b>	<b>Relief assez fort</b>	<b><math>100 &lt; D_s &lt; 250</math></b>
<b>R 6</b>	<b>Relief fort</b>	<b><math>250 &lt; D_s &lt; 500</math></b>
<b>R 7</b>	<b>Relief très fort</b>	<b><math>500 &lt; D_s</math></b>

Le bassin versant de l'Oued El-Ham présente un Relief assez fort.

## **II.2.6 Les caractéristiques hydrographiques du bassin versant**

### **II.2.6.1 Définition du réseau hydrographique :**

- ensemble des canaux de drainage naturels ou s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de source, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (Roche, 1963)
- cours d'eau naturels ou artificiels, temporaire ou permanent (Musy, EPFL)

### **Facteurs de contrôle du développement et de la géométrie d'un cours d'eau**

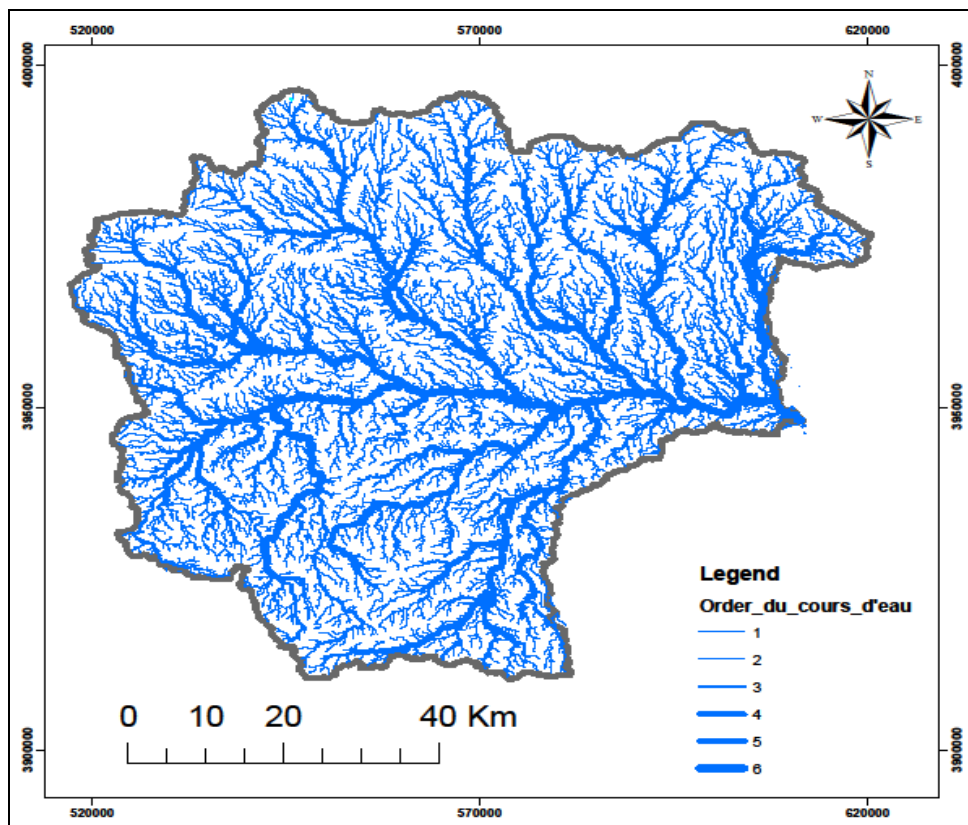
- géologique,
- climatique,
- topographique (érosion/sédimentation)
- anthropique (drainage, barrages, endiguement)

**ordres du BV** : classification de Strahler

L'ordre d'un bassin versant correspond à l'ordre du tronçon à l'exutoire :

### **II.2.6.2 Longueur et nombre des thalwegs**

La mesure des longueurs des thalwegs contribue aux différents calculs des paramètres morphométriques tels que les rapports de longueur et de confluence, la densité de drainage et le temps de concentration. La détermination des rapports de confluence et de longueurs nécessite une classification du chevelu hydrographique. La méthode de Strahler<sup>4</sup> peut être utilisée pour accomplir cette dernière. Cette méthode consiste à classer les cours d'eau et d'affecter un ordre à chacun d'entre eux suivant la règle : "**Est considéré d'ordre (x+1) tout cours d'eau formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre (x); tout cours d'eau sans affluent étant d'ordre 1**".



**Figure 13 : classification réseau hydrographique selon STRAHLE**

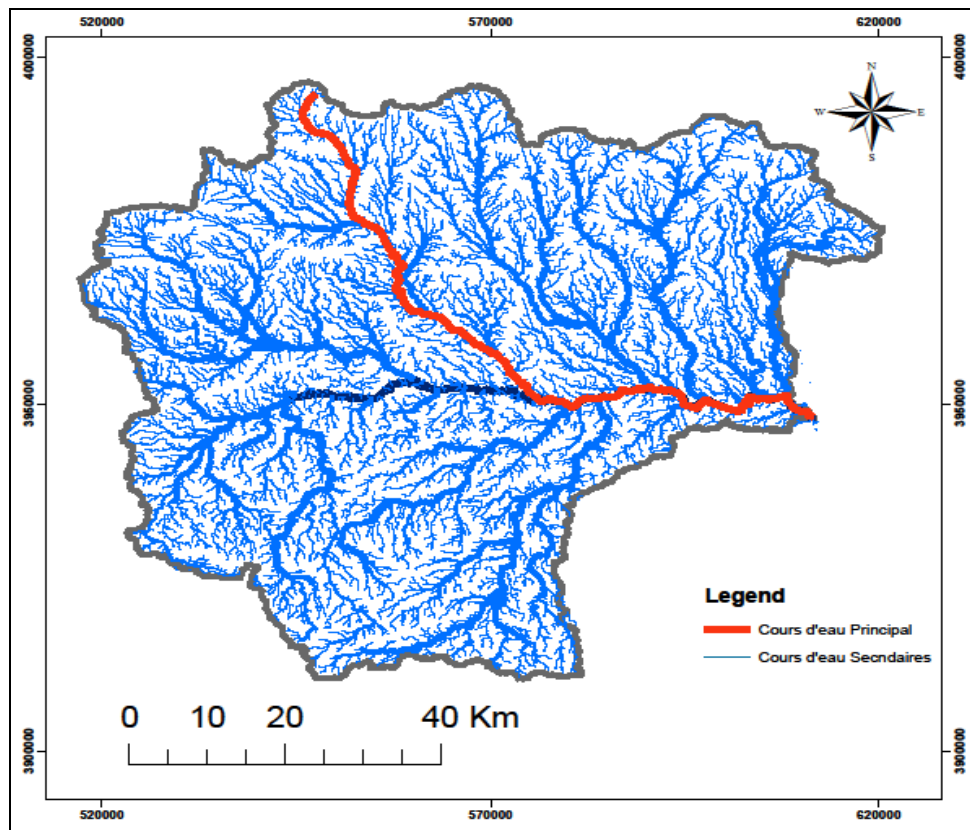
❖ **Longueurs et pentes caractéristiques :**

- longueur du cours d'eau principal ;
- profil en long/longitudinal ;
- pente moyenne du cours d'eau ;
- densité de drainage  $Dd = \Sigma li / A$  ;
- densité hydrographique  $Dh = \Sigma ni / A$ .

### II.2.6.3 Longueur du cours d'eau principal

la longueur du cours d'eau principal (L) est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant.

**L = 110 km**



**Figure 14 : cours d'eau principal du B.V Oued El-Ham**

### II.2.6.4 La densité de drainage (Dd)

Elle est définie comme étant le rapport de la longueur totale ( $L_i$ ), des cours d'eau à la superficie totale du bassin versant (A).

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec:

- **D<sub>d</sub>** : densité de drainage ( $\text{km}^{-1}$ ) ;
- **L<sub>i</sub>** : longueur des cours d'eau (km) ;
- **A** : Surface du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

La densité de drainage dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, la tectonique, l'exposition, le couvert végétal, les pentes et le climat. L'élaboration et l'interprétation de la carte de densité de drainage permettent de donner un contenu à la notion du chevelu; chevelu dense ou lâche.

**Table 8: calcul de la densité de drainage**

Ordre	Longueur d'ordre Ni	Densité de Drainage Dd
1	3623,97	0,6478
2	1874,56	0,3351
3	961,66	0,1719
4	540,17	0,0966
5	304,68	0,0545
6	94,78	0,0169
<b>Total</b>	<b>7399,82</b>	<b>1,3227</b>

la densité de drainage au niveau de l'Oued El-Ham est égale à **1,323  $\text{km}^{-1}$**  ceci traduit que le bassin présente dans son ensemble une formation géologique perméable, dont l'écoulement est plutôt limité et centralisé ainsi que l'infiltration est augmentée.

❖ **Constante de stabilité du cours d'eau :**

Selon SHUMM, la valeur inverse de la densité de drainage est une constante de stabilité du cours d'eau.

$$C = \frac{1}{Dd}$$

$$C = 0,756 \text{ km}$$

### II.2.6.5 La densité hydrographique

La densité hydrographique  $D_h$  représente le nombre de thalwegs d'écoulement par unité de surface.

$$D_h = \frac{\sum N_i}{A}$$

Avec:

- $D_h$  : densité hydrographique ( $\text{km}^{-2}$ ) ;
- $N_i$  : nombre des cours d'eau ;
- $A$  : superficie du bassin ( $\text{km}^2$ ).

**Table 9 : calcul de la densité hydrographique**

Ordre	nombre des cours d'eau	Densité hydrographique $D_h$
1	6305	1,1270
2	2882	0,5152
3	1521	0,2719
4	1059	0,1893
5	632	0,1130
6	214	0,0383
<b>Total</b>	<b>12613</b>	<b>2,2546</b>

Une faible densité de drainage et hydrographique, dans le bassin d'étude présente une région à substratum perméable, à couvert végétal important et à relief peu accidenté.

### II.2.6.6 rapport de confluence et des longueurs

Ce rapport est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage, il varie suivant l'ordre considéré. C'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre, selon Strahler (1964), le RC varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence.

Le rapport de confluence le plus élevé correspond au bassin avec de forme la plus allongée. Sur la base de classification des cours d'eau, (Horton 1932) et (Schumm 1956) ont établi différentes lois :

$$R_c = \frac{N_i}{N_{i+1}} \qquad R_L = \frac{L_i}{L_{i+1}}$$

Avec:

- **R<sub>c</sub>** : rapport de confluence des cours d'eau ;
- **R<sub>L</sub>** : rapport des longueurs des cours d'eau ;
- **i** : ordre d'un cours d'eau u varie entre 1 et n ;
- **n** : l'ordre du cours d'eau principal, classification selon HORTON ;
- **N<sub>i</sub>** : nombre des cours d'eau d'ordre **i** ;
- **N<sub>i+1</sub>** : nombre des cours d'eau d'ordre suivant (**i+1**) ;
- **L<sub>i</sub>** : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre **i** ;
- **L<sub>i+1</sub>** : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre suivant (**i+1**).

Pour le bassin de l'Oued El-Ham ces rapports sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Table 10: Calcul des Rapports de Confluence et du Longueur**

Ordre	Longueur d'ordre Li	nombre des cours d'eau Ni	Rc	RL
1	3623,97	6305	-	-
2	1874,56	2882	2,19	1,93
3	961,66	1521	1,89	1,95
4	540,17	1059	1,44	1,78
5	304,68	632	1,68	1,77
6	94,78	214	2,95	3,21
Total	7399,82	12613	10,15	10,65

### **II.2.6.7 Fréquence des cours d'eau**

Elle représente le rapport du nombre de cours d'eau d'ordre 1 à la surface du bassin versant d'étude.

$$F_r = \frac{N1}{A}$$

Avec

- **N1** : nombre des cours d'eau d'ordre 1 ;
- **A** : surface du bassin versant.

A.N :

$$F_r = \frac{6305}{5594,41} = 0,65 \text{ km}^{-2}$$

### **II.2.6.8 Coefficient de torrentialité**

C'est le résultat du produit de la densité de drainage par la fréquence des thalwegs élémentaires.

$$C_t = D_d \times F$$

$$C_t = 0,86 \text{ km}^{-3}$$

### **II.2.6.9 La pente moyenne du cours d'eau principale**

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé.

Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau :

$$P_{\text{moy}} = \frac{\Delta H_{\text{max}}}{L}$$

Où:

- **P<sub>moy</sub>** : pente moyenne du cours d'eau [m/km] ;
- **ΔH<sub>max</sub>** : dénivellation maximale de la rivière [m] (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire) ;
- **L** : longueur du cours d'eau principal [km].

$$P_{\text{moy}} = 12,56 \text{ m/km}$$

### II.2.6.10 Temps de concentration

Le temps de concentration  $t_c$  des eaux pour un bassin se définit comme la plus grande durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier et est utilisé par certaines méthodes pour déterminer les crues (méthode rationnelle, méthode de l'hydrogramme unitaire), il est fonction de :

- Caractéristiques du bassin (surface, forme, relief, couverture, etc...) ;
- Etat de saturation du sol (humidité du sol) ;
- Précipitations (intensité, durée, volume).

Il est composé de trois termes différents :

- **Th** : temps d'humectation c'est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.
- **Tr** : temps de ruissellement ou d'écoulement, c'est le temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).
- **Ta** : temps d'acheminement c'est le temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration  $t_c$  est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes.

Parmi plusieurs formules proposées dans la littérature, on utilise la formule de GIANDOTTI :

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

Avec:

- ✓ **L<sub>p</sub>** : longueur du talweg principal (Km) ;
- ✓ **A** : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;
- ✓ **H<sub>moy</sub>**: altitude moyenne du bassin versant (m) ;
- ✓ **H<sub>min</sub>** : altitude minimale du bassin versant (m).

Le bassin versant de l’Oued El-Ham présente un temps de concentration de l’ordre **21,66 h**.

### **II.2.6.11 vitesse de ruissellement**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L_p}{T_c}$$

D’où:

- ✓ **V<sub>r</sub>** : vitesse de ruissellement (**m/s**) ;
- ✓ **L<sub>p</sub>** : Longueur du thalweg principal en **m** ;
- ✓ **T<sub>c</sub>** : Temps de concentration en **S**.

Pour le bassin de l’oued El-Ham **V<sub>r</sub>** est donnée comme suit **1,44 m/s**

Le tableau ci-dessous récapitule toutes les caractéristiques morpho-métriques du bassin versant de l’Oued El-Ham.

**Table 11: Les caractéristiques du bassin versant de l’Oued El-Ham**

<b>Caractéristique morpho-métriques et hydrographiques</b>	<b>symboles</b>	<b>unités</b>	<b>Résultats</b>
La surface du bassin versant	A	Km <sup>2</sup>	5594,41
Le périmètre du bassin versant	P	Km	491,73
Indice de compacité de Gravelius	KG	-	1,84
La longueur du rectangle équivalent	Lrec	km	220,5
La largeur du rectangle équivalent	lrec	km	25,37
L’altitude maximale	Hmax	m	1823
L’altitude minimale	Hmin	m	441
L’altitude moyenne	Hmoy	m	747,83
L’Altitude à 95%	H95%	m	651
L’Altitude médiane	H médiane	m	861
L’Altitude à 5%	H5%	m	1241
La dénivelée utile	Du	m	590
l’indice de pente moyenne du bassin versant	Im	%	5,91
La pente de Roche	Ip	%	1,93
L’indice global de pente	Ig	%	2,68
La dénivelée spécifique	DS	m	200
la longueur du cours d'eau principal	L	km	110
La densité de drainage	Dd	km-1	1,3227
Constante de stabilité du cours d'eau	C	km	0,756
La densité hydrographique	Dh	km <sup>-2</sup>	2,2546
rapport de confluence des cours d'eau	RC	-	10,15
rapport des longueurs des cours d'eau	RL	-	10,65
Fréquence des cours d'eau	Fr	km <sup>-2</sup>	0,65
Coefficient de torrentialité	Ct	km <sup>-3</sup>	0,86
La pente moyenne du cours d'eau principale	Pmoy	m/km	12,56
le Temps de concentration	TC	h	21,66
vitesse de ruissellement	Vr	m/s	1,44

## **II.2.7 Conclusion**

Nous avons été amenés à extraire le bassin versant en question, et à déduire ses caractéristiques géomorphologiques et hydrométriques, à partir d'un modèle numérique de terrain. Après avoir évalué ces paramètres, nous avons conclu que :

l'Oued El-Ham draine un bassin d'une superficie de **5594,41 km<sup>2</sup>**, et un périmètre de **491,73 km**, sa forme allongée avec un relief assez fort, par la dénivelée spécifique **200 m**, une pente moyenne **5,91%**, un indice de pente globale **0,0268%**, et une altitude moyenne de **747,83 m**. Le réseau hydrographique de ce bassin est caractérisé par un cours d'eau principal long de **110 km** correspondant à un ordre **6** et un temps de concentration de **21,66 h** ce qui donne une vitesse de ruissèlement de **0,76 m/s**.

A decorative graphic of a scroll, oriented horizontally. The scroll is white with a black outline and features three rolled-up ends: one on the left side and two on the right side. The text is centered within the main body of the scroll.

# **CHAPITRE III:**

‘Etude de la précipitation du bassin ’

### **III.1 Introduction**

Les précipitations constituent un phénomène physique qui décrit le transfert de l'eau entre l'atmosphère et le sol. est un paramètre plus important dans la connaissance préliminaire de la nature de la transformation pluie – débit (générateur de l'écoulement). Elles représentent l'élément le plus important du cycle hydrologique et avec leurs distributions dans le temps et dans l'espace déterminent le genre du climat.

Le but recherché consiste à corriger les erreurs systématiques ou occasionnelles, combler les éventuelles lacunes et par la suite préparer un échantillon optimal afin de dégager les caractéristiques climatiques et de déterminer les précipitations moyennes sur le bassin versant

Pour le cas du bassin de l'oued El-Ham, la pluviométrie peut être étudiée en se référant aux quatre stations pluviométriques les plus proches. Il s'agit des stations pluviométriques d'Ain kermane, Chellal, El Hourane et de Rocade-Sud. La mauvaise qualité des données et les lacunes observées de certaines stations (Ain kermane, Ain El-Hdjel, El Hourane et Chellal), nous étions obligés d'utiliser les stations avoisinantes.

### **III.2 Les stations pluviométrique et les séries d'observations**

Les stations climatiques et hydrométriques doivent être disposées de telle sorte que l'ensemble des observations soient représentative, c'est-à-dire, qu'elles reflètent les conditions météorologiques, non seulement à la station elle-même, mais aussi dans un plus vaste rayon. Le réseau des stations devrait donc être suffisamment dense. Les stations devraient être également réparties sur le territoire et dans la mesure du possible, à différentes altitudes.

Selon l'Agence Nationale de ressource Hydrique (A.N.R.H.), le bassin versant d'Oued El-Ham est équipé de 38 stations pluviométriques et 3 stations hydrométriques. Dans le cadre de cette étude, on utilise les données de 5 stations, les autres stations sont éliminées de l'étude à cause du manque ou insuffisance des données.

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des stations pluviométriques utilisées dans l'étude de la pluviométrie du bassin d'Oued El-Ham :

**Table 12 : Caractéristiques des stations pluviométriques du bassin de l'Oued El-Ham**

Code de la station	Nom de la station	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Série	Nbr d'Année
		Latitude (km)	Longitude (km)			
50703	Rocade sud	614173,131	3944520,24	435	1968-2005	37
50701	Chellal	624403,672	3933124,2	441	1968-2005	37
50702	Ain kermane	603489,339	3925159,91	-	1968-2005	37
50802	El Hourane	626027,133	3981155,43	-	1968-2005	37

### **III.3 Homogénéisation des données pluviométriques**

L'homogénéisation assure la continuité des séries (combler les lacunes) et l'extension (l'insuffisance d'observation) de ces dernières afin d'aboutir à des séries pluviométriques optimales qui nous permettent de dégager les caractéristiques climatiques de la région et d'établir des régressions hydro-pluviométriques en vue de calculer le bilan hydrologique du bassin versant.

#### **III.3. 1 Vérification de l'homogénéité**

La vérification de l'homogénéité des séries pluviométriques se fait par la méthode de comparaison des totaux cumulés annuels ou double – masse.

##### **III.3.1.1 Méthode de la régression linéaire**

Le test de double – masse (double – cumul) est employé pour évaluer, s'il y a lieu, corriger les erreurs systématiques qui auraient pu être introduites à une station.

Le test repose sur le principe qu'un changement dû à des causes météorologiques ne changera pas la pente de la courbe puisque les stations voisines seront affectées de la même façon. Ainsi seuls les changements occasionnés par des erreurs systématiques de la station de référence conduiraient à une variation significative de la pente.

### **III.3.1.2 Comblement des lacunes d'observations**

Le comblement des données manquantes se fait souvent par la méthode de régression linéaire, cette dernière consiste à estimer les variables pluviométriques inconnues de certaines stations à partir des observations d'autres stations avoisinantes prises comme référence.

Après avoir collecté les données disponibles auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), il a été nécessaire de procéder au comblement des lacunes et à l'extension des séries sur une période commune de 37 ans (1969 - 2005) et cela a été établi par régression linéaire entre les séries pluviométriques.

La méthode consiste à relier les précipitations des deux stations étudiées par une loi théorique linéaire qui s'écrit comme suit :

$$Y_x = \bar{y} + r \frac{\delta_y}{\delta_x} (x - \bar{x}) \qquad r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{(k-1)\delta_x\delta_y}$$

Avec

- ✓  $Y_x$  : Moyenne conditionnelle des précipitations ;
- ✓  $\bar{y}$  : Moyenne interannuelle des précipitations à la station à combler pendant la période d'observation commune ;
- ✓  $\bar{x}$  : Moyenne interannuelle des précipitations à la station de référence ;
- ✓  $\delta_x$  : Ecart type des observations à la station dont la série chronologique présente des lacunes ;
- ✓  $\delta_y$  : Ecart type des observations à la station de référence ;
- ✓  $r$  : le coefficient de corrélation entre  $x$  et  $y$ .

La corrélation en hydrologie est classée entre les paramètres des phénomènes hydrologiques à partir du coefficient de corrélation comme suit :

**Table 13 : Classement de la corrélation en hydrologie**

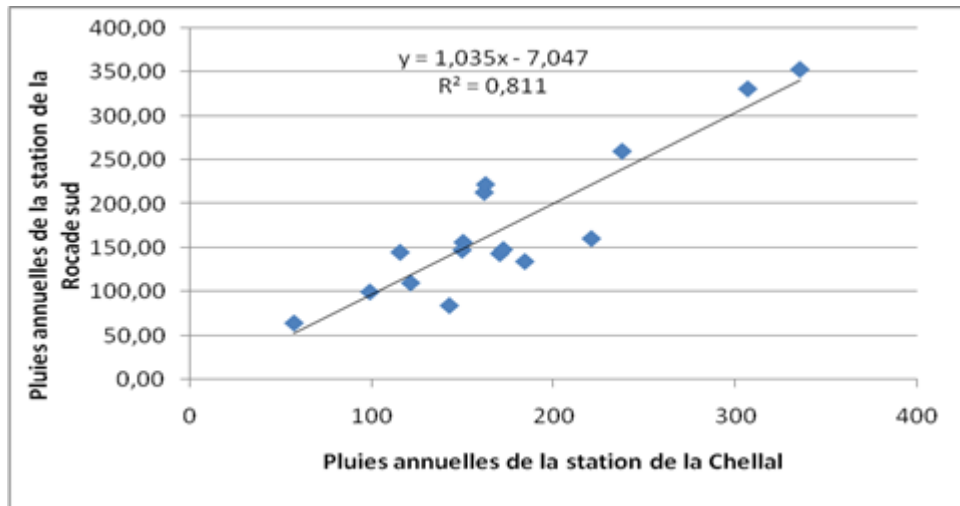
$r=1$	dépendance fonctionnelle direct.
$0.8 < r < 1$	très bonne corrélation directe
$0.6 < r < 0.8$	bonne corrélation directe.
$0.5 < r < 0.6$	corrélation directe insuffisante.
$0 < r < 0.5$	mauvaise corrélation directe.
$r=0$	aucune corrélation.
$-0.5 < r < 0$	mauvaise corrélation réciproque.
$-0.6 < r < -0.5$	corrélation réciproque insuffisante.
$-0.8 < r < -0.6$	bonne corrélation réciproque.
$-1 < r < -0.8$	dépendance fonctionnelle réciproque.

Dans notre cas, nous prenons la station de la Rocade sud comme station de référence, pour compléter les lacunes des autres stations.

Les résultats obtenus de la méthode de la régression linéaire sont Présentés dans le tableau :

**Table 14 : La régression linéaire entre les stations**

Station	Coefficient de détermination ( $R^2$ )	Coefficient de corrélation (r)	Equation obtenue
Rocade sud-Chellal	0,81	0,9	$Y = 1,035x - 7,047$
Rocade sud-Ain kerman	0,72	0,84	$Y = 0,779x + 39,07$



**Figure 15 : La courbe de la régression linéaire**

### **III.4 Etude des précipitations annuelles**

#### **III.4.1 Introduction**

Les précipitations représentent le facteur déterminant du régime hydrologique, pour le cas d'Oued El-hem elles représentent la source principale de l'approvisionnement en eau. A l'échelle annuelle la précipitation annuelle est la somme de toutes les précipitations mensuelles mesurées dans le poste pluviométrique. Dans ce paragraphe, nous étudions les précipitations annuelles des stations suivantes : Rocate Sud, Chellal, Ain kerman et El-Hourane ainsi que leurs variabilités dans le temps.

#### **III.4.2 Variabilité annuelle des précipitations des stations étudiées**

##### **✚ Rocate sud :**

Dans cette station certes on eu des lacunes, mais après leur comblement notre période d'observation s'est étendue sur 37 ans soit de 1969 jusqu'à 2005, avec un comportement pluviométrique irrégulier d'où les hauteurs annuelles varient entre 49,25 et 335,6 mm. La valeur minimale est enregistrée en 1992-1993 et la valeur maximale en 2003-2004.

##### **✚ Chellal :**

Pareil que la station précédente, notre échantillon est étudié dans une période de 37 ans 1969-2005, les hauteurs de pluie annuelles observées sont comme suit : une valeur minimale de 54,4 mm en 1992-1993, et la valeur maximale de 416,6 mm en 1969-1970.

**✚ Ain Kermane :**

31 ans (1969-2005) c'est le nombre d'année d'observation de cette station, sa valeur de pluie annuelle minimale est prélevée en 1983-1984 de 68mm et sa valeur maximale est de 363,82 prélevée en 1969-1970.

**✚ El-Hourane :**

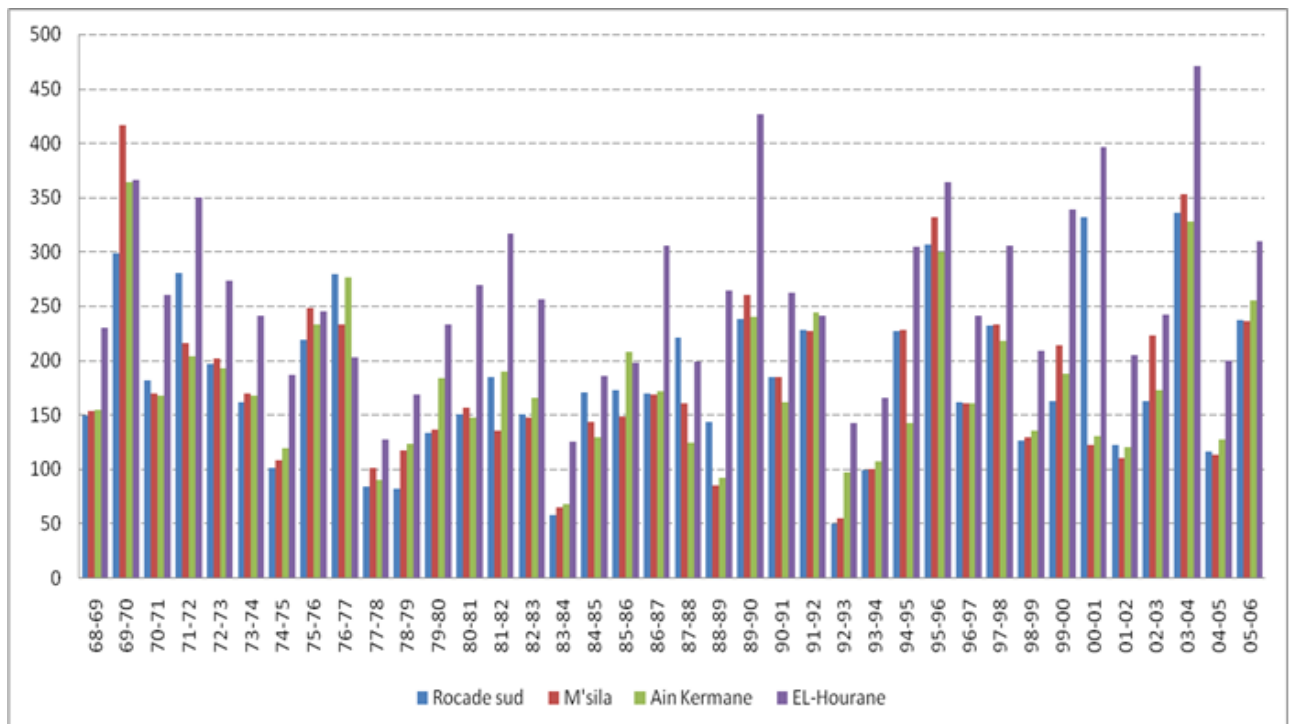
Semblable que les autres stations en ce qui concerne la période d'observation, par contre les valeurs des pluies annuelles requises dans cette période est de 124,60 mm pour le minimum en 1983-1984, et de 470,60 mm pour le maximum en 2003-2004.

**Table 15 : Répartition annuelles des pluies (1969-2005)**

<b>Station</b>	<b>Rocade sud P(mm)</b>	<b>Chellal P(mm)</b>	<b>Ain kerman P(mm)</b>	<b>El-Hourane P(mm)</b>
<b>68-69</b>	149,3	153,1	154,60	230,11
<b>69-70</b>	298	416,6	363,82	365,43
<b>70-71</b>	181,8	168,9	167,14	259,68
<b>71-72</b>	280,5	215,3	203,98	349,50
<b>72-73</b>	196,6	201,3	192,87	273,15
<b>73-74</b>	161,3	169,4	167,54	241,03
<b>74-75</b>	101,2	108,1	118,87	186,34
<b>75-76</b>	218,7	248	233,20	245,00
<b>76-77</b>	279,7	232,4	276,00	202,80
<b>77-78</b>	83,4	101,3	89,50	127,50
<b>78-79</b>	81,7	116,8	122,50	168,59
<b>79-80</b>	133,5	135,8	183,60	232,60
<b>80-81</b>	150,4	156,5	147,60	269,50
<b>81-82</b>	184,3	134,6	189,80	316,20
<b>82-83</b>	149,8	147,6	165,40	256,40
<b>83-84</b>	57,4	64,5	68,00	124,60
<b>84-85</b>	170,5	143,6	129,00	185,50
<b>85-86</b>	172,5	148,2	207,40	197,90
<b>86-87</b>	169	167,88	171,00	305,80
<b>87-88</b>	220,9	160,7	123,80	198,40
<b>88-89</b>	142,8	84,4	92,00	263,90
<b>89-90</b>	237,8	260,1	239,55	426,60
<b>90-91</b>	184,6	184,01	160,90	262,23

## Etude de la précipitation du bassin

<b>91-92</b>	227,99	227,09	244,40	241,00
<b>92-93</b>	49,25	54,4	96,50	142,50
<b>93-94</b>	99,1	99,9	107,20	165,50
<b>94-95</b>	226,9	227,79	141,70	304,50
<b>95-96</b>	306,9	331,2	299,10	363,70
<b>96-97</b>	161,3	159,89	159,99	241,03
<b>97-98</b>	231,6	232,65	217,76	305,00
<b>98-99</b>	126,15	128,7	135,22	209,04
<b>99-00</b>	162	213,3	187,90	339,10
<b>00-01</b>	332,1	122,1	129,98	396,46
<b>01-02</b>	121,5	109,8	120,22	204,81
<b>02-03</b>	162,7	222,3	172,40	242,31
<b>03-04</b>	335,6	353,3	327,60	470,60
<b>04-05</b>	115,7	112,7	126,60	199,53
<b>05-06</b>	237,02	235,82	255,40	309,93
<b>P<sub>max</sub> (mm)</b>	335,6	416,6	363,82	470,60
<b>P<sub>min</sub> (mm)</b>	49,25	54,4	68	124,60
<b>P<sub>moy</sub></b>	181,62	177,63	176,05	258,52
<b>Ecart-type</b>	72,92	77,59	76,13	80,58
<b>Coef variation (Cv)</b>	0,44	0,43	0,37	0,30



**Figure 16 : Moyenne des précipitations annuelles (1969-2005)**

### **III.4.2.1 Les Ecart des pluies à la moyenne interannuelle**

La variabilité des précipitations annuelles, définie comme la déviation moyenne par rapport à la moyenne interannuelle, elle peut s'étudier par l'écart de la pluie annuelle à la moyenne interannuelle. Cet écart est donné par l'expression :

$$\sigma = \left( \frac{P_t - P_n}{P_n} \right) \cdot 100$$

Avec :

- ✓  $\sigma$  : écart à la moyenne ;
- ✓  $P_t$  : module pluviométrique annuel moyen (mm) ;
- ✓  $P_n$  : pluie totale de l'année considérée (mm).

Les écarts à la moyenne des séries sont représentés dans le **tableau IV.5**. Les années présentant des écarts négatifs sont dites sèches et celles qui présentent des écarts positifs sont dites humides.

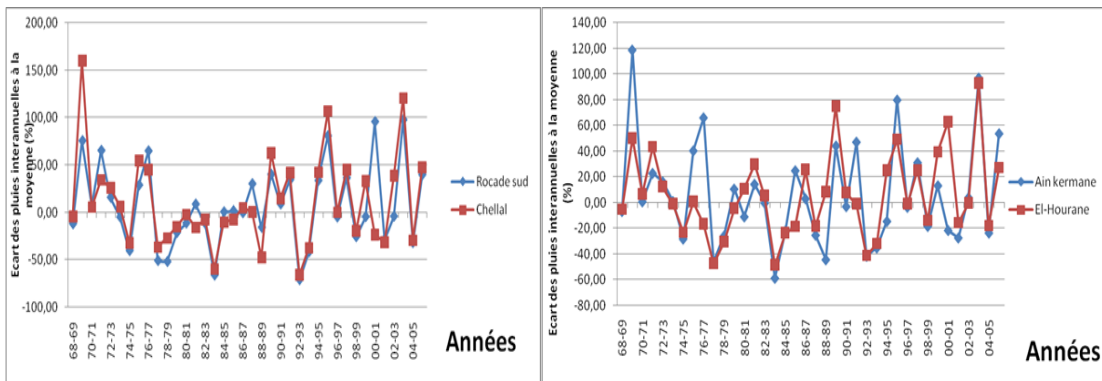
**Table 16 : Ecart des pluies à la moyenne interannuelle**

Stations	Rocade sud		Chellal		Ain kerman		El-Houran	
Années	P <sub>n</sub> =181,62 mm		P <sub>n</sub> = 177,63 mm		P <sub>n</sub> = 176,05 mm		P <sub>n</sub> = 258,52 mm	
	Pt	σ (%)	pt	σ (%)	pt	σ (%)	pt	σ (%)
68-69	149,30	-17,80	153,10	-13,81	154,60	-12,18	230,11	-10,99
69-70	298,00	64,08	416,60	<b>134,53</b>	363,82	<b>106,66</b>	365,43	41,35
70-71	181,80	0,10	168,90	-4,91	167,14	-5,06	259,68	0,45
71-72	280,50	54,44	215,30	21,21	203,98	15,86	349,50	35,19
72-73	196,60	8,25	201,30	13,33	192,87	9,55	273,15	5,66
73-74	161,30	-11,19	169,40	-4,63	167,54	-4,83	241,03	-6,77
74-75	101,20	-44,28	108,10	-39,14	118,87	-32,48	186,34	-27,92
75-76	218,70	20,42	248,00	39,62	233,20	32,46	245,00	-5,23
76-77	279,70	54,00	232,40	30,83	276,00	56,77	202,80	-21,55
77-78	83,40	-54,08	101,30	-42,97	89,50	-49,16	127,50	-50,68
78-79	81,70	-55,02	116,80	-34,25	122,50	-30,42	168,59	-34,79
79-80	133,50	-26,49	135,80	-23,55	183,60	4,29	232,60	-10,03
80-81	150,40	-17,19	156,50	-11,90	147,60	-16,16	269,50	4,25
81-82	184,30	1,48	134,60	-24,22	189,80	7,81	316,20	22,31
82-83	149,80	-17,52	147,60	-16,91	165,40	-6,05	256,40	-0,82
83-84	57,40	-68,40	64,50	-63,69	68,00	<b>-61,37</b>	124,60	<b>-51,80</b>
84-85	170,50	-6,12	143,60	-19,16	129,00	-26,73	185,50	-28,25
85-86	172,50	-5,02	148,20	-16,57	207,40	17,81	197,90	-23,45
86-87	169,00	-6,95	167,88	-5,49	171,00	-2,87	305,80	18,29
87-88	220,90	21,63	160,70	-9,53	123,80	-29,68	198,40	-23,26
88-89	142,80	-21,37	84,40	-52,49	92,00	-47,74	263,90	2,08
89-90	237,80	30,93	260,10	46,43	239,55	36,07	426,60	65,02
90-91	184,60	1,64	184,01	3,59	160,90	-8,61	262,23	1,44
91-92	227,99	25,53	227,09	27,84	244,40	38,82	241,00	-6,78
92-93	49,25	<b>-72,88</b>	54,40	<b>-69,37</b>	96,50	-45,19	142,50	-44,88
93-94	99,10	-45,44	99,90	-43,76	107,20	-39,11	165,50	-35,98
94-95	226,90	24,93	227,79	28,24	141,70	-19,51	304,50	17,79
95-96	306,90	68,98	331,20	86,45	299,10	69,89	363,70	40,69
96-97	161,30	-11,19	159,89	-9,99	159,99	-9,12	241,03	-6,77
97-98	231,60	27,52	232,65	30,97	217,76	23,69	305,00	17,98
<b>98-99</b>	126,15	-30,54	128,70	-27,55	135,22	-23,19	209,04	-19,14
<b>99-00</b>	162,00	-10,80	213,30	20,08	187,90	6,73	339,10	31,17
<b>00-01</b>	332,10	82,85	122,10	-31,26	129,98	-26,17	396,46	53,36
<b>01-02</b>	121,50	-33,10	109,80	-38,19	120,22	-31,71	204,81	-20,78
<b>02-03</b>	162,70	-10,42	222,30	25,15	172,40	-2,07	242,31	-6,27
<b>03-04</b>	335,60	<b>84,78</b>	353,30	98,90	327,60	86,08	470,60	<b>82,04</b>

<b>04-05</b>	115,70	-36,30	112,70	-36,55	126,60	-28,09	199,53	-22,82
<b>05-06</b>	237,02	30,50	235,82	32,76	255,40	45,07	309,93	19,89

Les résultats présentés dans la **figure III.2** montrent que la station de Chellal présente l'année la plus humide (1969-1970) avec un écart de 159,90% et la station de la Rocade sud présente l'année la plus sèche (1992-1993) avec un écart de -70,99%.

En ce qui concerne la station de la Rocade sud, Les écarts sont compris entre 51.77% et -44.60%. Le nombre des années humides est égale à celui des années sèches, ce résultat est valable pour les deux stations et le nombre est de 14 années.



**Figure 17 : Les écarts des pluies annuelles à la moyenne interannuelle**

### III.5 Ajustement de la pluie annuelle à la loi de Gauss

Une analyse fréquentielle des pluies annuelles contribue également à cerner leurs irrégularités, elle permet même de déterminer les pluies annuelles correspondantes pour chaque fréquence (période de retour), la loi de Gauss est applicable si le coefficient de variation  $Cv < 0.5$ .

#### III.5.1 La loi de Gauss

En général, les pluies annuelles s'ajustent à la loi normale de Gauss ou la loi log normale. Dans ce paragraphe on montre que les pluies annuelles de toutes nos stations étudiées s'ajustent bien à la loi de Gauss.

La loi théorique de Gauss s'écrit comme suit :

$$X = \bar{x} + \sigma U$$

Avec:

- ✓ **X** : Valeur ajustée (Gauss) ;
- ✓ **U** : Variable de Gauss ;
- ✓  $\bar{x}$ : Moyenne des  $P_{\text{moy}}$  annuelles ;
- ✓  $\delta$  : Ecart type.

### **III.5.2 Les paramètre de dispersion**

#### **III.5.2.1 La moyenne $\bar{x}$**

La moyenne est une mesure statistique caractérisant les éléments d'un ensemble de quantités (pluie expérimentale). Elle exprime la grandeur qu'aurait chacun des membres de l'ensemble s'ils étaient tous identiques sans changer la dimension globale de l'ensemble.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n}$$

Avec:

- ✓  $\bar{x}$ : La moyenne de la pluie (annuelle, max journalière) en mm ;
- ✓  $\sum_i^n x_i$ : La somme de la pluie en mm ;
- ✓ **n** : Nombre d'observations par ans.

#### **III.5.2.2 L'écart-type $\sigma$**

L'écart type est une quantité réelle positive, éventuellement infinie, utilisée dans le domaine des probabilités pour caractériser la répartition d'une variable aléatoire autour de sa moyenne.

L'écart type est exprimé par la formule :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

### III.5.2.3 Coefficient de variation $C_v$

Le coefficient de variation ( $C_v$ ) est le rapport de l'écart-type à la moyenne. Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande, il permet la comparaison de distributions de valeurs dont les échelles de mesure ne sont pas comparables.

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

L'ajustement de nos séries de pluies à la loi de Gauss est réalisé par le logiciel HYFRAN. Les paramètres statistiques de nos séries sont comme suit :

Stations	Paramètres	La moyenne $\bar{P}$ (mm)	L'écart type $\delta$ (mm)	Coefficient de variation $C_v$
<b>Rocade sud</b>		181,62	72,92	0,44
<b>Chellal</b>		177,63	77,59	0,43
<b>Ain kermane</b>		176,05	76,13	0,37
<b>El-Hourane</b>		258,52	80,58	0,30

Les précipitations annuelles pour différentes périodes de retour (10, 20, 50, et 100 ans) sont présentées dans les tableaux suivants :

**Table 17 : Ajustement de la pluie à une loi de Gauss (station Rocade sud)**

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
<b>149,30</b>	49,25	1	0,0132	-2,222	49,25	19,59	-12,86	44,87
<b>298,00</b>	57,40	2	0,0395	-1,757	57,40	53,48	25,93	75,36
<b>181,80</b>	81,70	3	0,0658	-1,508	81,70	71,64	46,55	91,86
<b>280,50</b>	83,40	4	0,0921	-1,328	83,40	84,77	61,37	103,89
<b>196,60</b>	99,10	5	0,1184	-1,183	99,10	95,35	73,24	113,65
<b>161,30</b>	101,20	6	0,1447	-1,059	101,20	104,37	83,30	122,03
<b>101,20</b>	115,70	7	0,1711	-0,950	115,70	112,35	92,15	129,48
<b>218,70</b>	121,50	8	0,1974	-0,851	121,50	119,57	100,11	136,28
<b>279,70</b>	126,15	9	0,2237	-0,760	126,15	126,23	107,41	142,60
<b>83,40</b>	133,50	10	0,2500	-0,674	133,50	132,45	114,20	148,54
<b>81,70</b>	142,80	11	0,2763	-0,593	142,80	138,34	120,58	154,19
<b>133,50</b>	149,30	12	0,3026	-0,516	149,30	143,96	126,63	159,62
<b>150,40</b>	149,80	13	0,3289	-0,442	149,80	149,36	132,41	164,88
<b>184,30</b>	150,40	14	0,3553	-0,371	150,40	154,59	137,97	170,01
<b>149,80</b>	161,30	15	0,3816	-0,301	161,30	159,68	143,35	175,04
<b>57,40</b>	161,30	16	0,4079	-0,233	161,30	164,66	148,58	179,99
<b>170,50</b>	162,00	17	0,4342	-0,165	162,00	169,56	153,69	184,90
<b>172,50</b>	162,70	18	0,4605	-0,099	162,70	174,41	158,71	189,78
<b>169,00</b>	169,00	19	0,4868	-0,033	169,00	179,22	163,67	194,67
<b>220,90</b>	170,50	20	0,5132	0,033	170,50	184,02	168,57	199,57
<b>142,80</b>	172,50	21	0,5395	0,099	172,50	188,83	173,45	204,52
<b>237,80</b>	181,80	22	0,5658	0,165	181,80	193,67	178,34	209,54
<b>184,60</b>	184,30	23	0,5921	0,233	184,30	198,58	183,25	214,66
<b>227,99</b>	184,60	24	0,6184	0,301	184,60	203,56	188,20	219,89
<b>49,25</b>	196,60	25	0,6447	0,371	196,60	208,65	193,23	225,27
<b>99,10</b>	218,70	26	0,6711	0,442	218,70	213,88	198,35	230,83
<b>226,90</b>	220,90	27	0,6974	0,516	220,90	219,28	203,61	236,61
<b>306,90</b>	226,90	28	0,7237	0,593	226,90	224,90	209,05	242,66
<b>161,30</b>	227,99	29	0,7500	0,674	227,99	230,78	214,70	249,04
<b>231,60</b>	231,60	30	0,7763	0,760	231,60	237,01	220,64	255,82
<b>126,15</b>	237,02	31	0,8026	0,851	237,02	243,67	226,95	263,13
<b>162,00</b>	237,80	32	0,8289	0,950	237,80	250,89	233,75	271,09
<b>332,10</b>	279,70	33	0,8553	1,059	279,70	258,87	241,21	279,94
<b>121,50</b>	280,50	34	0,8816	1,183	280,50	267,89	249,59	290,00
<b>162,70</b>	298,00	35	0,9079	1,328	298,00	278,47	259,35	301,87
<b>335,60</b>	306,90	36	0,9342	1,508	306,90	291,60	271,38	316,69
<b>115,70</b>	332,10	37	0,9605	1,757	332,10	309,76	287,87	337,31
<b>237,02</b>	335,60	38	0,9868	2,222	335,60	343,65	318,37	376,09

<b>Fréquence</b>	<b>U.Gauss</b>	<b>Val.théo.</b>	<b>Borne inf.</b>	<b>Borne sup.</b>	<b>Valeur</b>	<b>Fréq. théo.</b>	<b>Pér. Ret.</b>
<b>0,9</b>	1,282	275,09	256,24	298,07	275,09	0,900	10,0
<b>0,95</b>	1,645	301,50	280,38	327,92	301,50	0,950	20,0
<b>0,98</b>	2,054	331,15	307,13	361,79	331,15	0,980	50,0
<b>0,99</b>	2,327	351,33	325,24	384,92	351,33	0,990	100,0

(Moyenne =181,62 écart-type=72,92 taille 38 et I.C. à 80%)

**Table 18 : Ajustement de la pluie à une loi de Gauss (Chellal)**

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
153,10	54,40	1	0,0132	-2,222	54,40	5,23	-29,29	32,13
416,60	64,50	2	0,0395	-1,757	64,50	41,29	11,97	64,58
168,90	84,40	3	0,0658	-1,508	84,40	60,61	33,92	82,13
215,30	99,90	4	0,0921	-1,328	99,90	74,58	49,68	94,93
201,30	101,30	5	0,1184	-1,183	101,30	85,84	62,31	105,31
169,40	108,10	6	0,1447	-1,059	108,10	95,44	73,02	114,23
108,10	109,80	7	0,1711	-0,950	109,80	103,93	82,43	122,16
248,00	112,70	8	0,1974	-0,851	112,70	111,61	90,91	129,40
232,40	116,80	9	0,2237	-0,760	116,80	118,70	98,68	136,11
101,30	122,10	10	0,2500	-0,674	122,10	125,32	105,90	142,43
116,80	128,70	11	0,2763	-0,593	128,70	131,58	112,68	148,45
135,80	134,60	12	0,3026	-0,516	134,60	137,56	119,12	154,23
156,50	135,80	13	0,3289	-0,442	135,80	143,31	125,27	159,83
134,60	143,60	14	0,3553	-0,371	143,60	148,87	131,19	165,28
147,60	147,60	15	0,3816	-0,301	147,60	154,28	136,91	170,63
64,50	148,20	16	0,4079	-0,233	148,20	159,59	142,48	175,90
143,60	153,10	17	0,4342	-0,165	153,10	164,80	147,92	181,12
148,20	156,50	18	0,4605	-0,099	156,50	169,96	153,26	186,32
167,88	159,89	19	0,4868	-0,033	159,89	175,08	158,53	191,52
160,70	160,70	20	0,5132	0,033	160,70	180,18	163,75	196,74
84,40	167,88	21	0,5395	0,099	167,88	185,30	168,94	202,00
260,10	168,90	22	0,5658	0,165	168,90	190,46	174,14	207,35
184,01	169,40	23	0,5921	0,233	169,40	195,68	179,36	212,79
227,09	184,01	24	0,6184	0,301	184,01	200,98	184,64	218,35
54,40	201,30	25	0,6447	0,371	201,30	206,40	189,98	224,08
99,90	213,30	26	0,6711	0,442	213,30	211,96	195,44	229,99
227,79	215,30	27	0,6974	0,516	215,30	217,70	201,03	236,14
331,20	222,30	28	0,7237	0,593	222,30	223,68	206,81	242,58
159,89	227,09	29	0,7500	0,674	227,09	229,94	212,83	249,37
232,65	227,79	30	0,7763	0,760	227,79	236,57	219,15	256,59
128,70	232,40	31	0,8026	0,851	232,40	243,66	225,87	264,36
213,30	232,65	32	0,8289	0,950	232,65	251,34	233,10	272,83
122,10	235,82	33	0,8553	1,059	235,82	259,82	241,04	282,24
109,80	248,00	34	0,8816	1,183	248,00	269,43	249,95	292,95
222,30	260,10	35	0,9079	1,328	260,10	280,68	260,34	305,58
353,30	331,20	36	0,9342	1,508	331,20	294,66	273,13	321,35
112,70	353,30	37	0,9605	1,757	353,30	313,98	290,69	343,29
235,82	416,60	38	0,9868	2,222	416,60	350,04	323,14	384,56

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,9	1,282	277,08	257,03	301,54	277,08	0,900	10,0
0,95	1,645	305,20	282,72	333,32	305,20	0,950	20,0
0,98	2,054	336,70	311,14	369,30	336,70	0,980	50,0
0,99	2,327	358,20	330,44	393,94	358,20	0,990	100,0

(Moyenne=177,63 écart-type=77,59 taille 38 et I.C. à 80%)

**Table 19 : Ajustement de la pluie à une loi de Gauss (Ain Kerman)**

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
154,60	68,00	1	0,0132	-2,222	68,00	26,88	-2,99	50,16
363,82	89,50	2	0,0395	-1,757	89,50	58,08	32,72	78,23
167,14	92,00	3	0,0658	-1,508	92,00	74,80	51,70	93,42
203,98	96,50	4	0,0921	-1,328	96,50	86,89	65,35	104,49
192,87	107,20	5	0,1184	-1,183	107,20	96,63	76,27	113,48
167,54	118,87	6	0,1447	-1,059	118,87	104,94	85,54	121,19
118,87	120,22	7	0,1711	-0,950	120,22	112,28	93,68	128,06
233,20	122,50	8	0,1974	-0,851	122,50	118,93	101,01	134,32
276,00	123,80	9	0,2237	-0,760	123,80	125,06	107,74	140,13
89,50	126,60	10	0,2500	-0,674	126,60	130,79	113,99	145,60
122,50	129,00	11	0,2763	-0,593	129,00	136,21	119,86	150,80
183,60	129,98	12	0,3026	-0,516	129,98	141,38	125,43	155,80
147,60	135,22	13	0,3289	-0,442	135,22	146,35	130,75	160,65
189,80	141,70	14	0,3553	-0,371	141,70	151,17	135,87	165,37
165,40	147,60	15	0,3816	-0,301	147,60	155,85	140,82	169,99
68,00	154,60	16	0,4079	-0,233	154,60	160,44	145,64	174,55
129,00	159,99	17	0,4342	-0,165	159,99	164,95	150,34	179,07
207,40	160,90	18	0,4605	-0,099	160,90	169,42	154,97	183,57
171,00	165,40	19	0,4868	-0,033	165,40	173,85	159,52	188,07
123,80	167,14	20	0,5132	0,033	167,14	178,26	164,04	192,58
92,00	167,54	21	0,5395	0,099	167,54	182,69	168,54	197,14
239,55	171,00	22	0,5658	0,165	171,00	187,15	173,03	201,76
160,90	172,40	23	0,5921	0,233	172,40	191,67	177,55	206,47
244,40	183,60	24	0,6184	0,301	183,60	196,25	182,11	211,29
96,50	187,90	25	0,6447	0,371	187,90	200,94	186,74	216,24
107,20	189,80	26	0,6711	0,442	189,80	205,75	191,46	221,36
141,70	192,87	27	0,6974	0,516	192,87	210,73	196,30	226,68
299,10	203,98	28	0,7237	0,593	203,98	215,90	201,30	232,25
159,99	207,40	29	0,7500	0,674	207,40	221,32	206,51	238,12
217,76	217,76	30	0,7763	0,760	217,76	227,05	211,98	244,37
135,22	233,20	31	0,8026	0,851	233,20	233,18	217,79	251,09
187,90	239,55	32	0,8289	0,950	239,55	239,83	224,05	258,43
129,98	244,40	33	0,8553	1,059	244,40	247,17	230,92	266,57
120,22	255,40	34	0,8816	1,183	255,40	255,48	238,63	275,83

## Etude de la précipitation du bassin

<b>172,40</b>	276,00	35	0,9079	1,328	276,00	265,22	247,61	286,76
<b>327,60</b>	299,10	36	0,9342	1,508	299,10	277,31	258,69	300,40
<b>126,60</b>	327,60	37	0,9605	1,757	327,60	294,03	273,88	319,39
<b>255,40</b>	363,82	38	0,9868	2,222	363,82	325,23	301,95	355,09

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
<b>0,9</b>	1,282	262,10	244,75	283,26	262,10	0,900	10,0
<b>0,95</b>	1,645	286,30	266,85	310,63	286,30	0,950	20,0
<b>0,98</b>	2,054	313,70	291,59	341,91	313,70	0,980	50,0
<b>0,99</b>	2,327	332,30	308,28	363,22	332,30	0,990	100,0

(Moyenne=176,05 écart-type=67,14 taille 38 et I.C. à 80%)

**Table 20 : Ajustement de la pluie à une loi de Gauss (El-Hourane)**

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
230,11	124,60	1	0,0132	-2,222	124,60	79,46	43,61	107,40
365,43	127,50	2	0,0395	-1,757	127,50	116,91	86,47	141,10
259,68	142,50	3	0,0658	-1,508	142,50	136,98	109,26	159,33
349,50	165,50	4	0,0921	-1,328	165,50	151,49	125,64	172,62
273,15	168,59	5	0,1184	-1,183	168,59	163,19	138,75	183,41
241,03	185,50	6	0,1447	-1,059	185,50	173,16	149,87	192,67
186,34	186,34	7	0,1711	-0,950	186,34	181,97	159,65	200,91
245,00	197,90	8	0,1974	-0,851	197,90	189,95	168,45	208,42
202,80	198,40	9	0,2237	-0,760	198,40	197,31	176,52	215,40
127,50	199,53	10	0,2500	-0,674	199,53	204,19	184,02	221,96
168,59	202,80	11	0,2763	-0,593	202,80	210,70	191,07	228,21
232,60	204,81	12	0,3026	-0,516	204,81	216,90	197,75	234,21
269,50	209,04	13	0,3289	-0,442	209,04	222,87	204,14	240,03
316,20	230,11	14	0,3553	-0,371	230,11	228,65	210,28	245,69
256,40	232,60	15	0,3816	-0,301	232,60	234,27	216,23	251,25
124,60	241,00	16	0,4079	-0,233	241,00	239,78	222,01	256,72
185,50	241,03	17	0,4342	-0,165	241,03	245,20	227,66	262,15
197,90	241,03	18	0,4605	-0,099	241,03	250,55	233,21	267,54
305,80	242,31	19	0,4868	-0,033	242,31	255,87	238,68	272,94
198,40	245,00	20	0,5132	0,033	245,00	261,17	244,10	278,36
263,90	256,40	21	0,5395	0,099	256,40	266,49	249,50	283,83
426,60	259,68	22	0,5658	0,165	259,68	271,84	254,90	289,38
262,23	262,23	23	0,5921	0,233	262,23	277,26	260,32	295,03
241,00	263,90	24	0,6184	0,301	263,90	282,77	265,79	300,81
142,50	269,50	25	0,6447	0,371	269,50	288,39	271,35	306,76
165,50	273,15	26	0,6711	0,442	273,15	294,17	277,01	312,90
304,50	304,50	27	0,6974	0,516	304,50	300,14	282,83	319,29
363,70	305,00	28	0,7237	0,593	305,00	306,34	288,83	325,97
241,03	305,80	29	0,7500	0,674	305,80	312,85	295,08	333,02
305,00	309,93	30	0,7763	0,760	309,93	319,73	301,64	340,52
209,04	316,20	31	0,8026	0,851	316,20	327,09	308,62	348,59
339,10	339,10	32	0,8289	0,950	339,10	335,07	316,13	357,39
396,46	349,50	33	0,8553	1,059	349,50	343,88	324,37	367,17

## Etude de la précipitation du bassin

204,81	363,70	34	0,8816	1,183	363,70	353,85	333,63	378,29
242,31	365,43	35	0,9079	1,328	365,43	365,55	344,42	391,40
470,60	396,46	36	0,9342	1,508	396,46	380,06	357,71	407,78
199,53	426,60	37	0,9605	1,757	426,60	400,13	375,94	430,57
309,93	470,60	38	0,9868	2,222	470,60	437,58	409,64	473,43

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,9	1,282	361,81	340,98	387,20	361,81	0,900	10,0
0,95	1,645	391,10	367,76	420,30	391,00	0,950	20,0
0,98	2,054	424,06	397,51	457,92	423,75	0,980	50,0
0,99	2,327	446,02	417,19	483,14	446,05	0,990	100,0

(Moyenne=258,52 écart-type=80,59 taille 38 et I.C. à 80%)

Les équations d'ajustement obtenues sont rédigées sur le tableau ci-dessous :

**Table 21 : Equations d'ajustement de la loi de Gauss**

Stations	Loi de GAUSS
<b>Rocade sud</b>	$X = 72,92U + 181,62$
<b>Chellal</b>	$X = 77,59U + 177,63$
<b>Ain kerman</b>	$X = 67,14U + 176,05$
<b>El-Hourane</b>	$X = 80,59U + 258,52$

Où :

- U : Variable réduite de Gauss.

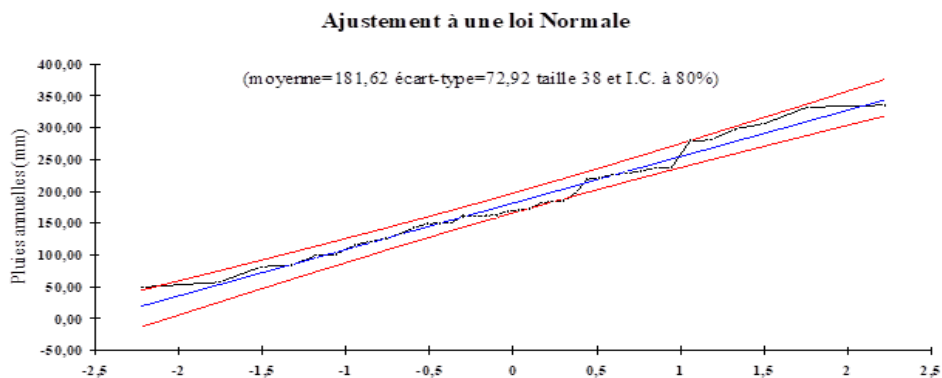


Figure 18 : Ajustement des précipitations annuelles à une loi normale (station Rocado sud)

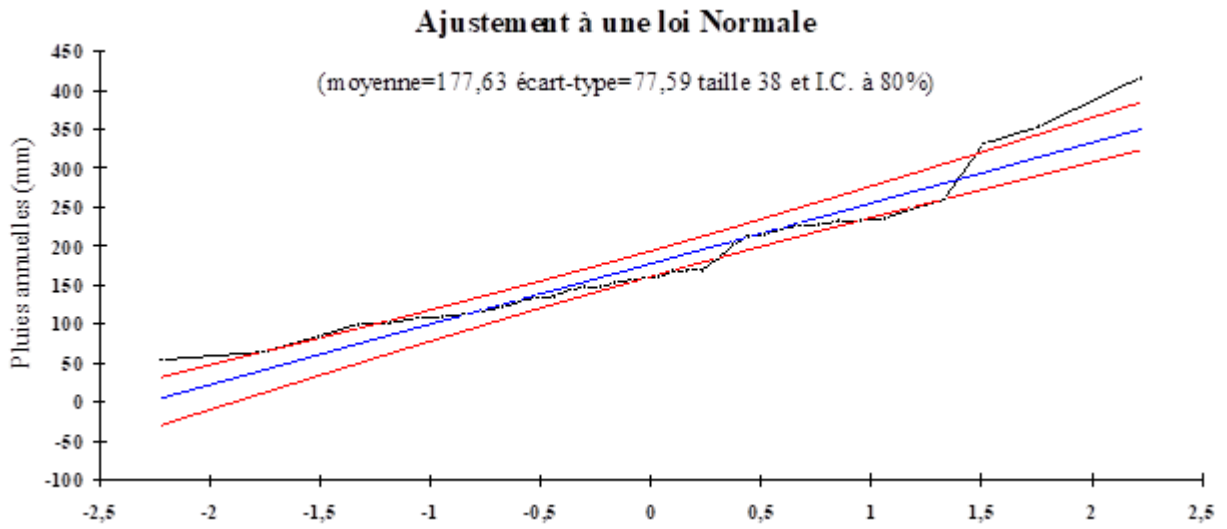


Figure 19 : Ajustement des précipitations annuelles à une loi normale (station Chellal)

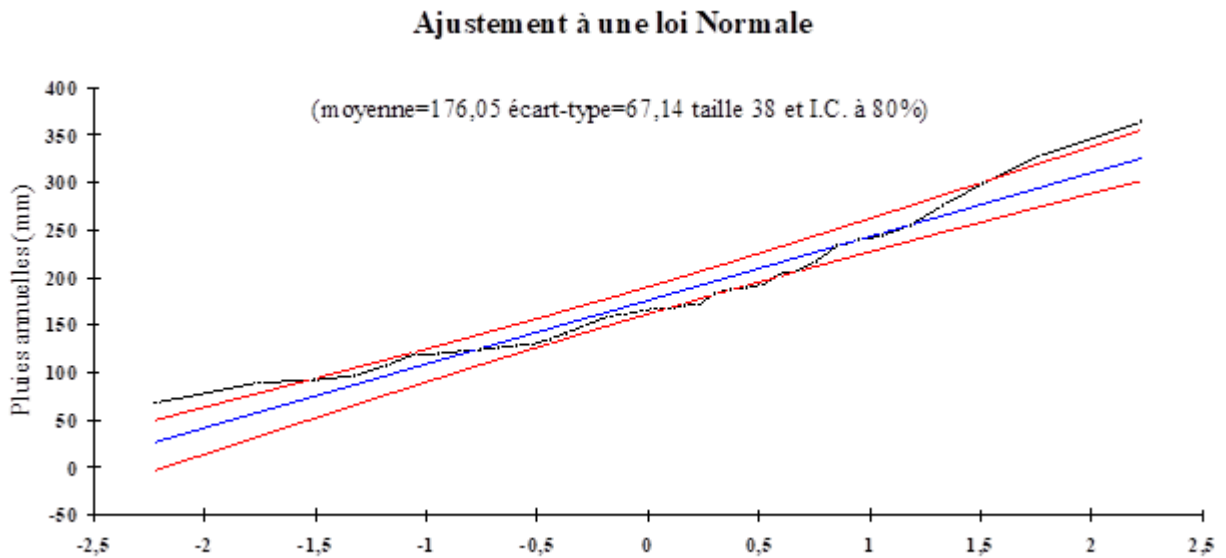
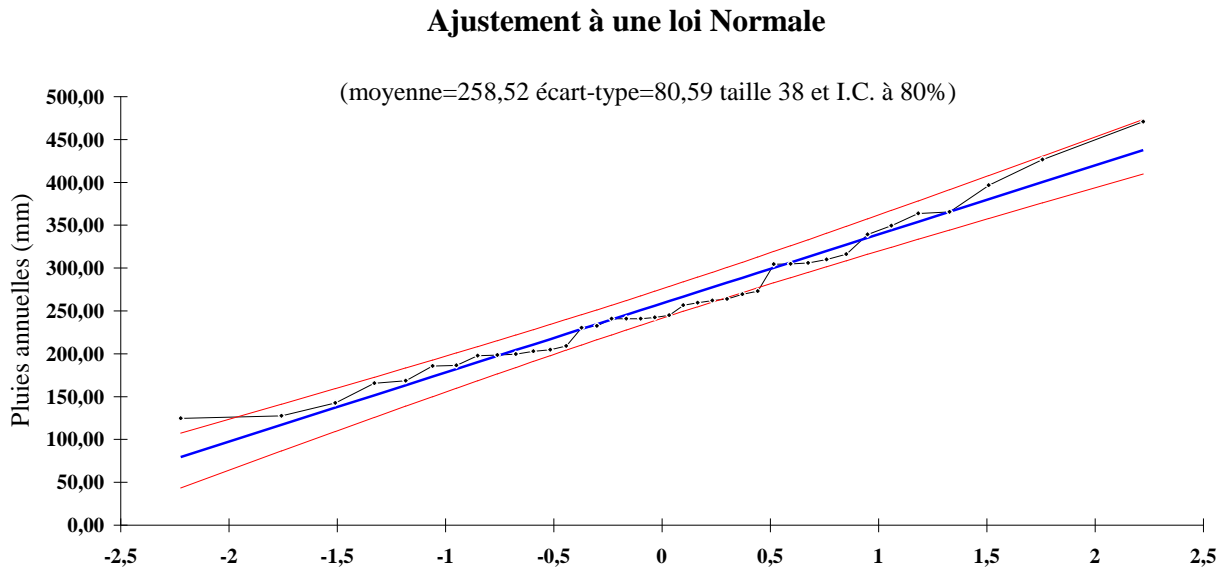


Figure 20 : Ajustement des précipitations annuelles à une loi normale (station Ain kerman)



**Figure 21 : Ajustement des précipitations annuelles à une loi normale (station El-Hourane)**

### **III.6 Estimation de la précipitation représentative du bassin de l'Oued El-Ham**

Pour répartir les précipitations ponctuelles sur toute la surface du bassin versant, ou d'une autre manière, chercher une précipitation représentative du bassin, plusieurs méthodes sont proposées dans la littérature. Nous signalons les méthodes suivantes :

- La moyenne arithmétique.
  - ❖ La méthode des isohyètes.
  - ❖ La méthode de THEISSEN.
  - ❖ Méthode analytique : approche qui prend en compte l'influence de l'altitude.

Dans notre cas on ne dispose de quatre stations, dont une est située à l'exutoire et les autres sont en dehors du bassin. On utilisera une méthode, celle de la moyenne arithmétique étant donné les fausses données des coordonnées géographique des deux stations (Ain kermane, El-hourane) et l'échelle temporelle utilisée y'a pas moyen d'utiliser les autres méthodes.

### **III.6.1 La moyenne arithmétique**

Il s'agit d'une simple moyenne arithmétique des précipitations des postes pluviométriques dans et autour du bassin, on calcule cette moyenne comme suit :

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$$
$$\bar{P} = 181,62 \text{ mm}$$

Avec :

- ✓  $\bar{P}$  : Pluie moyenne sur l'ensemble du bassin (mm) ;
- ✓  $n$  : Nombre des stations.
- ✓  $P_i$  : Précipitation du poste  $i$  (mm).

## **III.7 Bilan hydrique**

### **III.7.1 Evapotranspiration Réelle**

L'évapotranspiration réelle qui représente la quantité d'eau évaporée effectivement par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libres. Dans le cas où on néglige les pertes de l'eau par infiltration, ce terme représentera le déficit d'écoulement. Ce dernier représente la différence entre la précipitation et la lame d'eau écoulée. Quelques formules sont proposées pour le calcul de ce déficit en fonction des paramètres météorologiques comme la température et la pluie. Nous utiliserons comme exemple une formule qui est la suivante :

❖ **Formule de TURC :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

- ETR : Evapotranspiration réelle (mm) ;
- P : Hauteur de pluie annuelle (mm) ;

- L : Pouvoir évaporant de l'atmosphère, il est calculé par la formule suivante :

$$L = 300 + 35 T + 0,05 T^3$$

- ✓ T : Température moyenne annuelle (c°).

Nous prenons la Température moyenne annuelle de la station de M'sila, car, elle représente bien le comportement de la zone de l'Oued El-Ham donc  $T_{\text{moy}} = 16,4^{\circ}\text{C}$ . Avec la pluie moyenne annuelle représentative du bassin versant  $P = 181,62 \text{ mm}$ , nous obtenons un pouvoir évaporant de l'atmosphère  $L = 798.16\text{mm}$ . Par déduction l'évapotranspiration Réelle est de :

$$\text{ETR} = 186,16 \text{ mm}$$

### III.7.2 Evaluation de la lame d'eau écoulée

La lame ruisselée représente le rapport du volume d'eau (annuel ou mensuel) écoulé à travers la surface du bassin versant, pour le cas de l'oued El-Ham elle est égale a 20,15mm (voir détail dans Chapitre VIII).

**Table 22 : Estimation du bilan hydrique de l'oued El-Ham**

<b>Précipitation (mm)</b>	181,62 mm
<b>ETR (mm)</b>	186 ,16 mm
<b>Lame ruisselée (mm)</b>	20,15 mm

### III.7 Conclusion

L'étude et l'analyse de précipitations du Oued El-Ham est faite en utilisant 4 stations pluviométriques. Le comblement des lacunes des séries pluviométriques est réalisé entre les stations en utilisant la régression linéaire, le coefficient de corrélation dans toutes les stations est jugé significatif.

Le choix de la méthode d'ajustement des données pluviométriques dépend de la loi de probabilités, la taille et certaines caractéristiques de l'échantillon. Dans notre étude, on ajuste les pluies annuelles à la loi de Gauss ( $C_v < 0.5$ ).

A la fin on détermine les précipitations représentatives de sous bassin pour pouvoir calculer les paramètres de sous bassin dépendant de la pluie.



A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends, framing the text.

# Chapitre IV

La carte risque des inondation d'oud El-Ham

## **IV.1 Introduction**

Les inondations font partie des catastrophes les plus courantes dont les dégâts sont considérables et constituent des défis pour le monde. Par ailleurs, l'occurrence du risque d'inondation résulte de facteurs naturels et anthropiques (Danumah et al., 2016), cela signifie qu'il s'agit d'un phénomène complexe.

De ce fait, il est important de rechercher un mode de gestion adapté de ces catastrophes naturelles.

## **IV.2 Les modèles des risques des inondations**

Un modèle est une abstraction de la réalité qui décrit un processus, et permet de représenter un système complexe. Les facteurs contrôlant ce processus sont dépendants de l'objectif original du modèle.

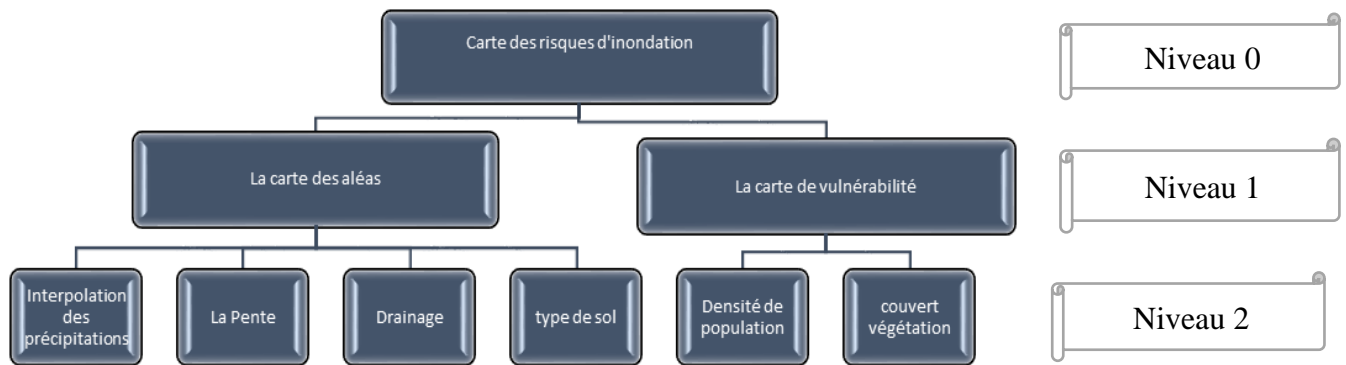
Pour un modèle d'inondation, le processus concerné réside dans les risques des inondations. Les modèles des risques des inondations furent d'abord empiriques, s'appuyant sur un nombre important d'observations pour l'élaboration d'équations quantifiant la risque d'inondations. Par la suite, il fut nécessaire de créer et utiliser des modèles à base physique ou basés sur les processus, afin de mieux comprendre les processus de pouvoir les quantifier. Ces modèles sont constitués d'équations basées sur des mesures et observations du terrain. Ils nécessitent un calage en utilisant des données de terrain.

Ces différents modèles ont été adaptés depuis ces dernières années pour être appliqués dans des SIG afin de pouvoir spatialiser les phénomènes d'inondations.

## **IV.3 Matériel et méthode**

L'approche d'analyse multicritères (ACM) est devenue largement utilisée (Wang et al., 2011 ; Sowmya et al., 2015) pour résoudre des problèmes complexes et évaluer les risques d'inondation. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité de l'approche d'analyse multicritères (ACM) pour identifier et cartographier les zones à risque d'inondation potentielles en utilisant la télédétection et le SIG. La cartographie de la zonation des inondations et l'évaluation des risques impliquent de multiples critères et facteurs géographiquement liés (Booij, 2005 ; Minea, 2013 ; Xu et al., 2013 ; Poussin et al., 2014). La télédétection et les SIG ont apporté une contribution significative à l'analyse des catastrophes naturelles (Omid et al., 2015). Cependant, certaines études ont été réalisées sur la cartographie et l'évaluation des risques d'inondation à l'aide de la télécommande et du SIG dans cette localité géographique (Leumbe et al., 2015), et avait permis d'obtenir une base de données de force sur les différents facteurs causant les inondations, mais sans considérer leur poids pondéré proposé par les méthodes de prise de décision multicritères. Le plus connu et le plus utilisé est le **Analytic Hierarchy Process** (AHP), développé par Saaty (1980).

Dans cette étude, après avoir délimité la zone d'étude à partir de la base de données SOGEFI par ArcGIS, différentes couches thématiques ont été générées à partir de données multi-sources ainsi que d'étude de terrain, d'image satellite Landsat 8, de SRTM, de données pluviométriques et pédologiques. À l'aide des logiciels ArcGIS, et Global Mapper, certaines cartes ont été dérivées, notamment des cartes de densité de drainage, de pente, de sol, de répartition des précipitations et de couverture terrestre. La carte de répartition des précipitations a été générée par krigeage dans ArcGIS 10.3.1, à partir des données de précipitations acquises à la Délégation Régionale du Ministère de l'Agriculture et du Développement rural pour l'Extrême-Nord. La pente et la densité de drainage ont été extraites du SRTM de résolution 30 m à l'aide de l'outil Spatial Analyst dans ArcGIS 10.3.1 et Global Mapper respectivement. La carte des sols a été numérisée à partir de la carte des sols réalisée par Brabant (1985) et complétée et validée avec des données de terrain à l'aide d'ArcGIS 10.3.1. La couverture terrestre a été dérivée des images satellite Landsat 8 en utilisant conjointement les logiciels ArcGIS 10.3.1. Les différents facteurs ont été comparés et combinés selon AHP ; mis en œuvre par Saaty (1980). Le principe de fonctionnement de l'AHP est de comparer les différents critères afin de déterminer leurs effets pondéraux aux inondations. Dans cette étude, le modèle AHP utilisé se fait en trois niveaux hiérarchiques (Figure 1).



**Figure 1.** Modèle de la hiérarchie des paramètres utilisés dans le processus de cartographie des risques d'inondation

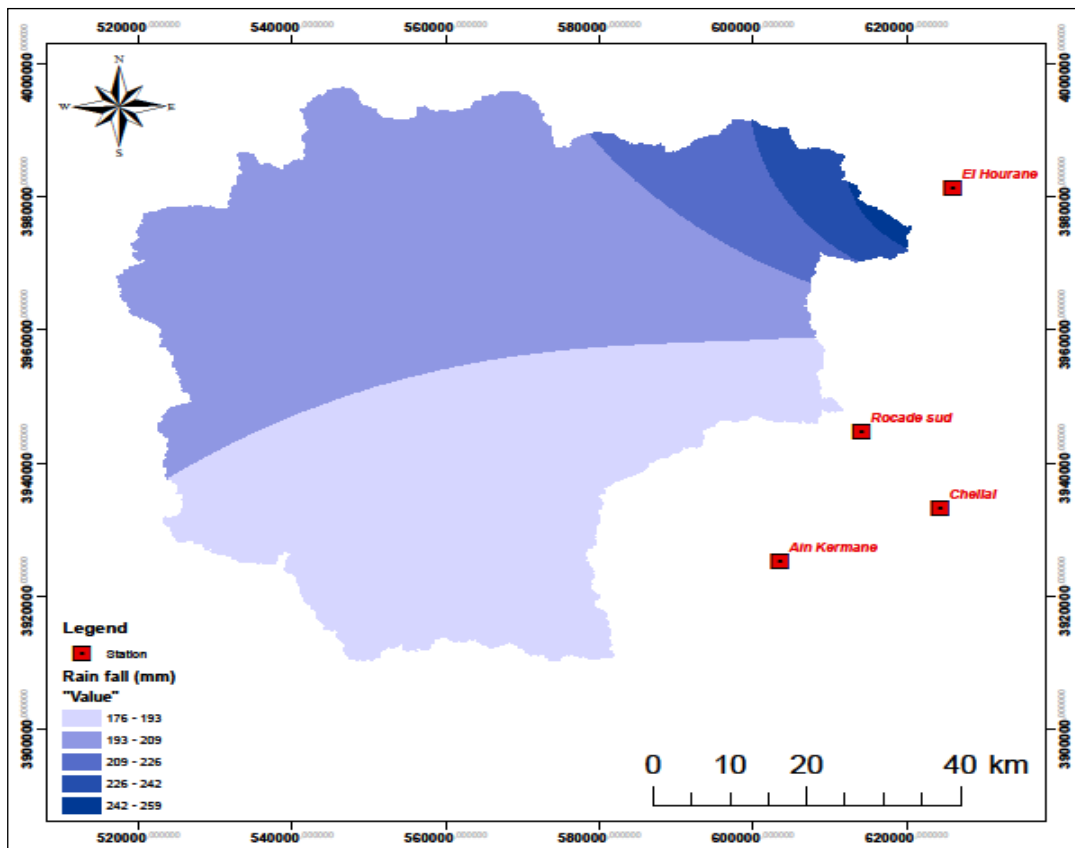
#### **IV.4 Les paramètres estimer le risque des inondations**

Compte tenu des effets causals des facteurs, les inondations sont dues à de nombreux facteurs parmi lesquels les précipitations, les caractéristiques géomorphologiques, l'utilisation des terres, l'occupation de terrain, le type de sol, la densité de drainage, la pente et l'urbanisation (Ashwajit et al., 2015 ; Leumbe et al., 2015 ; Danumah et al., 2016 ; Andongma et al., 2017 ; Farish et al.,

2017 ; Rodeano et al., 2017 ; Zeleňáková et al., 2017). Ces facteurs pourraient être exacerbés par l'aspect socio-économique équitable de la population.

#### **IV.4.1 Interpolation des précipitations**

Pour analyser la variabilité spatiale des précipitations on a interpolé les valeurs des précipitations affectées pour les stations pluviométriques sur toute la surface du bassin versant. Les précipitations diminuent du sud au nord et d'ouest en est dans toute la région. Quantitativement, elles varient de 176 mm au 259 mm sur toute la zone (Figure 2).



**Figure 22 : Interpolation des précipitations d'Oued El-Ham**

#### **IV.4.2 La pente**

L'analyse des pentes montre que la surface de la zone d'étude est dominée par des valeurs très faibles à faibles avec des pourcentages 3,381% et 7,25% ; respectivement. Les pentes modérées, hautes et très hautes, moins étendues, occupent la partie nord et la frontière sud de la région respectivement à 12,80% et 21,26% et 61,59 % (Figure 3).

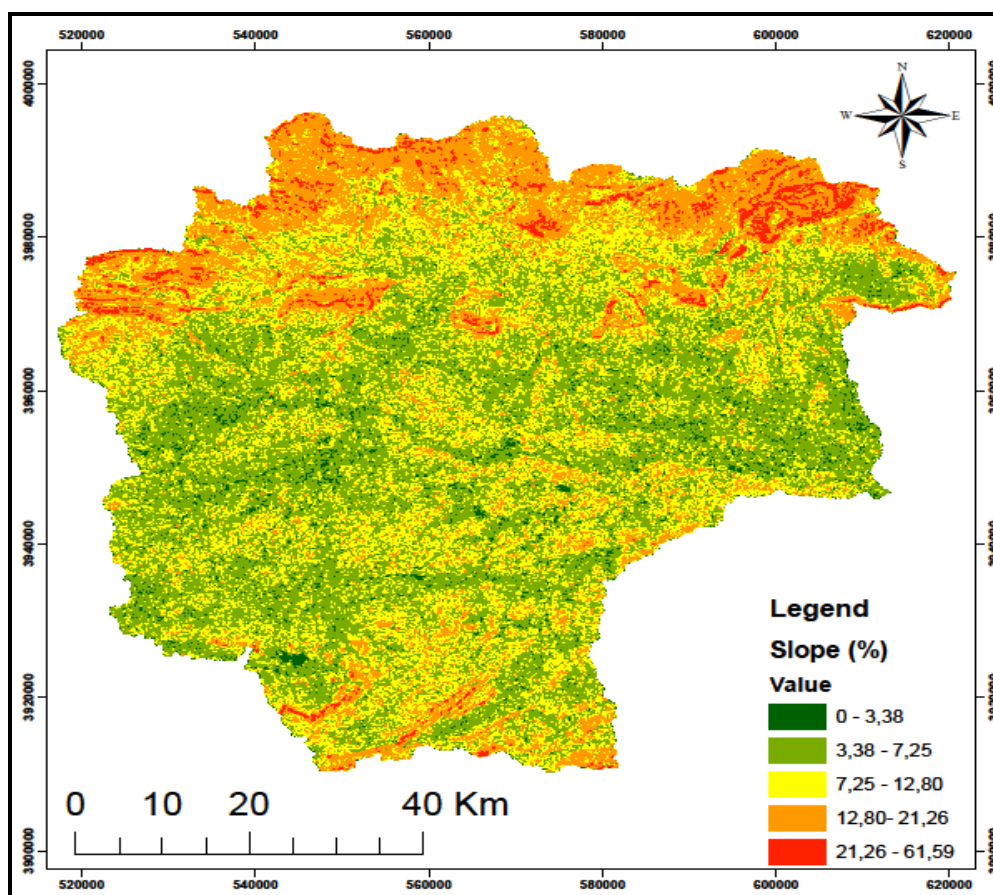
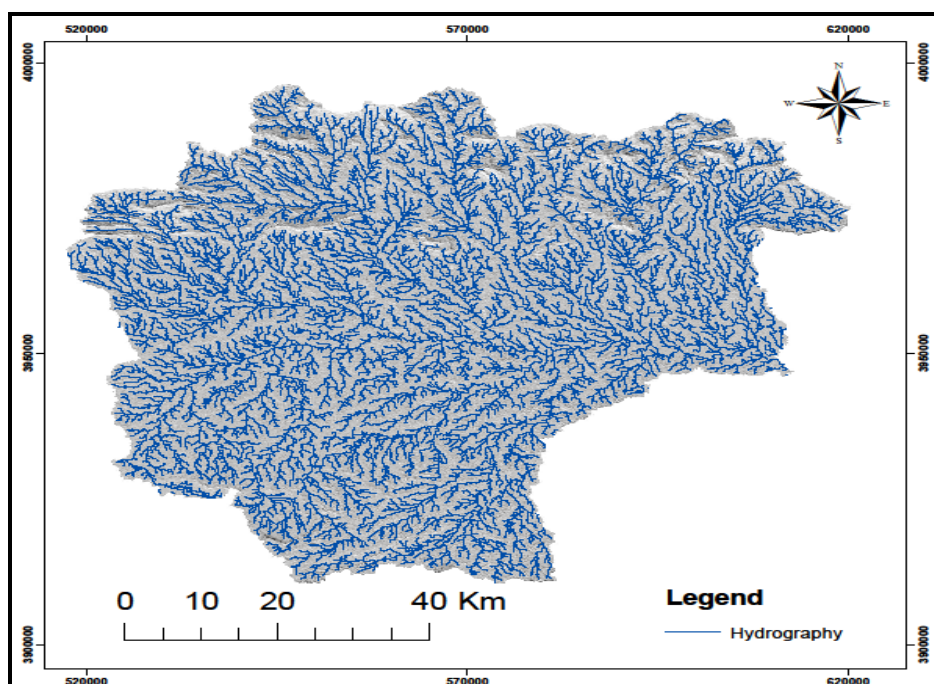


Figure 23 :La carte de pente en (%) de l'Oued El-Ham

#### IV.4.3 Drainage

La densité de drainage est plus dense dans toute la zone d'étude, le réseau hydrographique est constitué principalement de deux cours principaux, toutefois, la surface est très couverte par des petits réseaux de cours d'eau. (Figure 4)



**Figure 24 :La carte de densité drainage de l'Oued El-Ham**

#### **IV.4.4 Le type de sol**

L'infiltration est un paramètre qui dépend de la nature du sol. Elle diminue dans les sols argileux et compacts alors qu'elle augmente dans les sols sableux. Par conséquent, malgré l'augmentation de l'infiltration dans le sol sableux, la quantité précédente d'eau infiltrée remonte après avoir rempli la porosité. La nature de sol de notre zone d'étude est répartie en : Lithosol (1208,22 Km<sup>2</sup>) et le Calcic xerosol (3171,32 Km<sup>2</sup>) les plus étendus. Ils sont suivis d'un Calcic Yermosols (657,22 Km<sup>2</sup>) et Haplic Yermosols (398,05 Km<sup>2</sup>), Modérément étendu. Le Calcic Cambisol (55,85 Km<sup>2</sup>) et Chromic Luvisol (38,55 Km<sup>2</sup>) et Gleuyic Solonchaks (7,78 Km<sup>2</sup>), le moins étendus, contribuent faiblement (Figure 5).

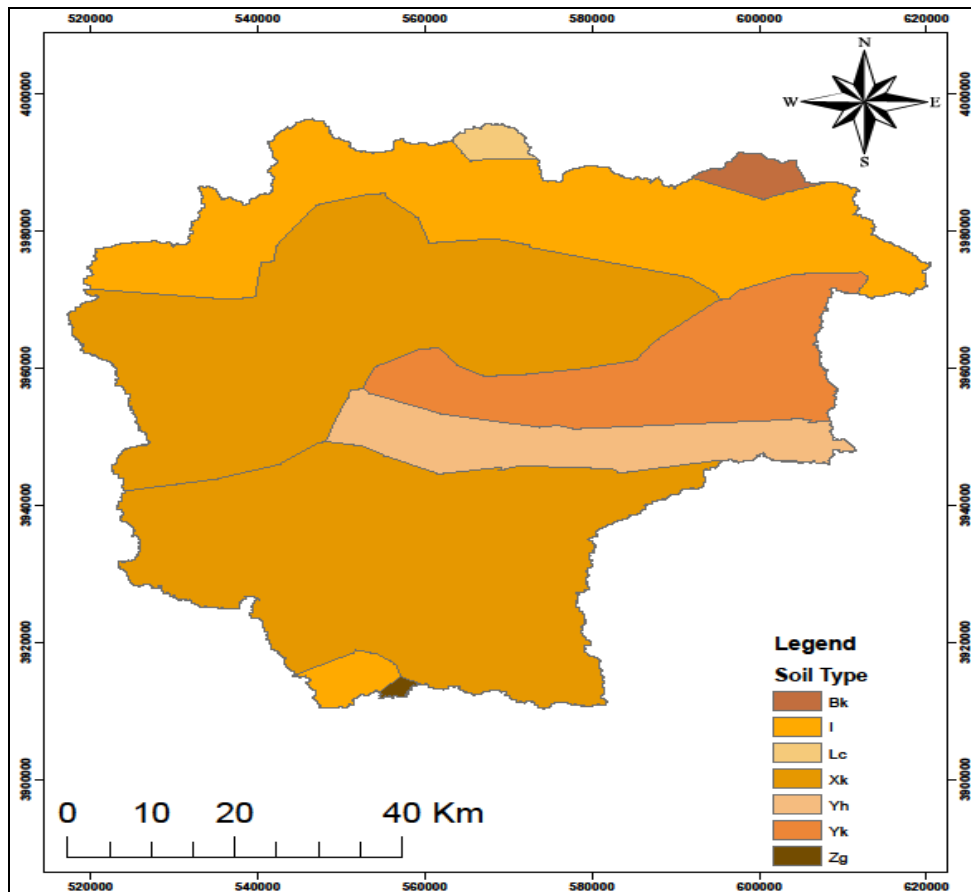


Figure 25 :La carte de type de sol en Oued El-Ham

#### IV.4.5 Couvert Végétation

La région d'oued El-Ham est caractérisée par une couverture végétale diversifiée, la plus grande superficie est dégradé au sud-est de la région, quant au nord, la majorité est constituée de forêts et matorrals, quant au moyen et à l'est, il se distinguait par la diversité de (cultures , stipa tenacissima , défridhement , halophile , dunes urdain ) (Figure 6).

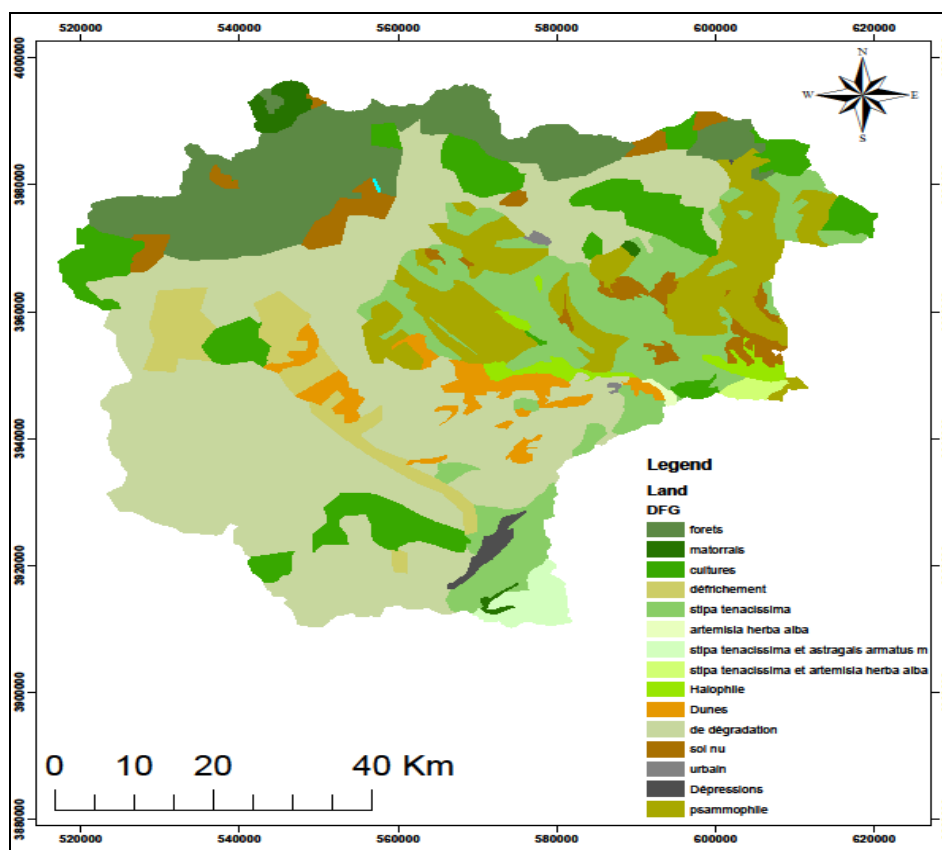


Figure 26 : La carte Couvert Végétation en Oued El-Ham

#### IV.4.6 Densité de population

Toute la Région n'est pas uniformément peuplée. La densité de population varie d'une commune à l'autre. Les plus peuplées se situent au centre de la zone d'étude avec 167,62 habitants/km<sup>2</sup>, et celles qui sont moins denses (4,46 habitants/km<sup>2</sup> ; 4,33 habitants/km<sup>2</sup> ; 14,20 habitants/km<sup>2</sup> ; 50,75 habitants/km<sup>2</sup>) sont localisés aléatoirement au sein de la zone d'étude. (Figure 7).

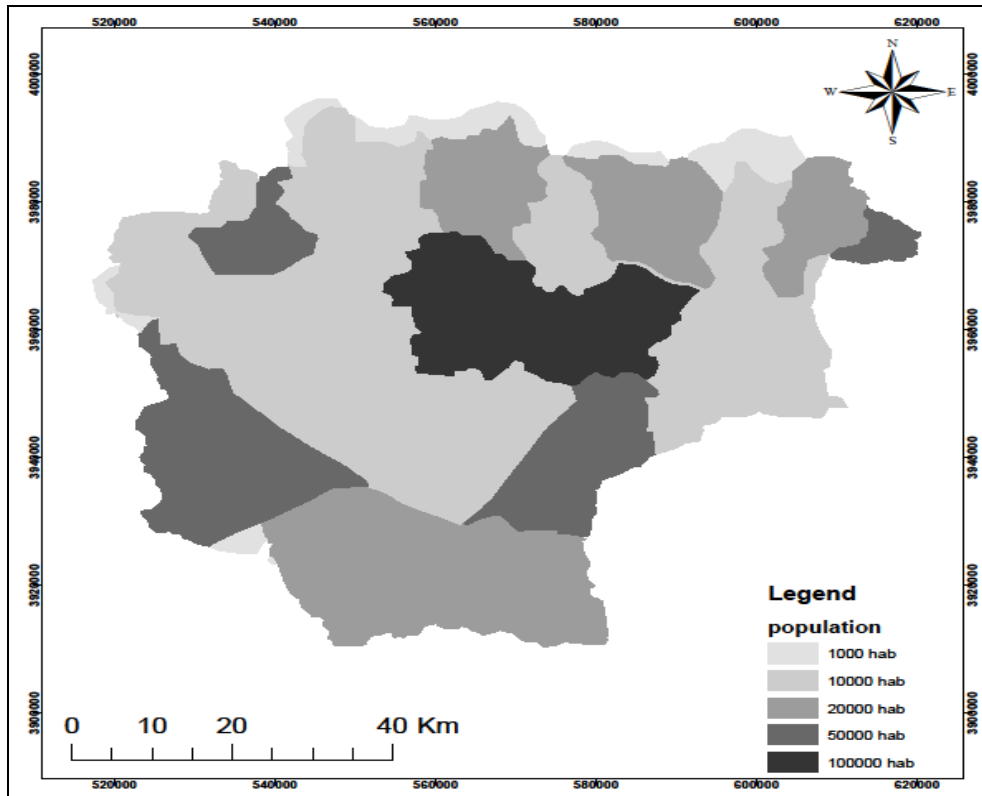


Figure 27 : La carte population en Oued El-Ham

#### IV.5 Le méthode

Le terme risque d'inondation est le produit de l'aléa ou de la probabilité d'inondation, multiplié par la vulnérabilité ou les conséquences ou les impacts des inondations (Leumbe et al., 2015), exprimé par cette formule :  $\text{Risque d'inondation} = \text{Aléa (chance)} \times \text{vulnérabilité ou conséquences}$ , tandis que le terme gestion des risques d'inondation comprend l'évaluation des risques d'inondation et la réduction des risques d'inondation. La gestion du risque d'inondation se traduit par cette expression :  $\text{Flood Risk Management} = \text{Flood Risk Assessment} + \text{Flood Risk Reduction}$

Choix des paramètres et attribution des notes

Il s'agit de déterminer tous les paramètres tant intrinsèques qu'extrinsèques à l'inondation. Des notes variant entre 1 et 10 sont attribuées à chaque paramètre en fonction de son influence sur les inondations. Cinq (5) paramètres sont retenus respectivement de leur influence ou de leur importance pour affecter les inondations : pluviométrie, pente, drainage, densité de population, occupation du sol et type de sol (Tableau 1).

**Table 23 : L'attribution des classes et des valeurs nominales des paramètres**

<b>Critères</b>	<b>Des classes</b>	<b>Qualification de critère</b>	<b>Valeur</b>	<b>Taux</b>
Précipitation	176 - 193	Très faible	2	9
	193 - 209	faible	3	
	209 - 226	Modérer	7	
	226 - 242	haut	8	
	242 - 259	Très haut	9	
La pente	0 - 3,38	Très faible	9	8
	3,38 - 7,25	faible	8	
	7,25 - 12,80	Modérer	5	
	12,80 - 21,26	haut	2	
	21,26 - 61,59	Très haut	1	
Drainage		Très faible	9	7
		faible	8	
		Modérer	5	
		haut	2	
		Très haut	1	
type de sol	Gleyic solonchaks	Très faible	2	6
	haplic yermosols	faible	3	
	chromic luvisols	Modérer	6	
	Lithosols	haut	9	
	Calcic yermosols et calcic xerosols, calcic cambisols	Très haut	10	
Densité de population	4,33	Très faible	2	5
	4,46	faible	3	
	14,2	Modérer	6	
	50,75	haut	8	
	167,62	Très haut	9	
Couvert Végétation	Dunes	Très faible	4	4
	Défrichement -Stipa tenacissima et Astragalus armatus	faible	6	
	Forets et Matorrals	Modérer	7	
	cultures et de dégradation ,Sol nu	haut	8	
	Urbain	Très haut	9	

Tous les paramètres provoquant des inondations dépendent principalement des précipitations, la quantité de ruissellement est liée à la quantité de pluie. Les inondations surviennent généralement à la suite de pluies intenses et abondantes lorsque le sol et les cours d'eau n'ont pas la capacité de transporter l'excès d'eau. Plus les précipitations sont intenses et abondantes, plus le ruissellement

est rapide. Le drainage est également un facteur important de contrôle des inondations car ses densités dénotent la nature du sol ; plus la densité du drainage et du cours d'eau est élevée, plus le ruissellement est lent. La topographie est également un facteur d'inondation affectant qui est remarquable par la pente. Il oriente la direction du ruissellement de surface et contrôle la durée des précipitations jusqu'à l'écoulement et l'infiltration. Sinon, une pente plus élevée favorise le ruissellement tandis que le sol plat est plus vulnérable aux inondations. Plus la pente est douce, le plus important est le ruissellement. De plus, l'infiltration de l'eau dépend du type de sol et agit par ses textures et son taux d'humidité. Le sol sableux absorbe rapidement l'eau de pluie dès qu'il y a ruissellement tandis que le sol argileux est moins poreux et retient plus de quantité d'eau que les autres sols. Ainsi, plus le sol est argileux, plus l'infiltration est lente. Enfin, le risque d'inondation dépend de l'occupation du sol. Il reflète le courant et le type d'utilisation des terres et leur relation avec l'infiltration. La végétation recouvrant le terrain agit en interceptant une partie de la quantité de pluie avant d'atteindre le sol et elle favorise l'infiltration de l'eau par les racines tandis que les bâtiments et les routes diminuent l'infiltration et augmentent le ruissellement des eaux. Ainsi, plus la couverture végétale est dense, plus elle favorise les infiltrations d'eau et ralentit le ruissellement l'infiltration de l'eau dépend du type de sol et agit par ses textures et son taux d'humidité. Le sol sableux absorbe rapidement l'eau de pluie dès qu'il y a ruissellement tandis que le sol argileux est moins poreux et retient plus de quantité d'eau que les autres sols. Ainsi, plus le sol est argileux, plus l'infiltration est lente. Enfin, le risque d'inondation dépend de l'occupation du sol. Il reflète le courant et le type d'utilisation des terres et leur relation avec l'infiltration. La végétation recouvrant le terrain agit en interceptant une partie de la quantité de pluie avant d'atteindre le sol et elle favorise l'infiltration de l'eau par les racines tandis que les bâtiments et les routes diminuent l'infiltration et augmentent le ruissellement des eaux. Ainsi, plus la couverture végétale est dense, plus elle favorise les infiltrations d'eau et ralentit le ruissellement l'infiltration de l'eau dépend du type de sol et agit par ses textures et son taux d'humidité. Le sol sableux absorbe rapidement l'eau de pluie dès qu'il y a ruissellement tandis que le sol argileux est moins poreux et retient plus de quantité d'eau que les autres sols.

**Table 24 : Échelle de Saaty pour l'attribution des poids (Saaty, 1980)**

Numérique notation	Jugement verbal des préférences	La description
1	Importance égale	Deux facteurs contribuent également à l'objectif
2	Importance égale à modérée	Lorsque compromis est nécessaire
3	Importance modérée	L'expérience et le jugement favorisent légèrement l'un sur le autre
4	Modéré plus	Lorsque compromis est nécessaire
5	Forte importance	L'expérience et le jugement fortement importants favorisent un sur l'autre
6	Fort plus	Lorsque compromis est nécessaire
7	Très forte importance	L'expérience et le jugement fortement importants favorisent un sur l'autre
8	Très fort à extrême importance	Lorsque compromis est nécessaire
9	Extrême importance	La preuve favorisant l'un par rapport à l'autre est la validité la plus élevée possible

## **IV.6 Matrice de développement et de priorisation**

Les indices de cette matrice sont fixés sur le principe de la matrice suivante

**Hiérarchisation des facteurs** : le premier niveau correspond à l'objectif principal (carte des risques d'inondation) et le deuxième niveau correspond à l'ensemble des critères d'aléa et de vulnérabilité.

### **Comparaison par paire**

Elle consiste à faire une combinaison binaire pour la comparaison des éléments du tableau. Il s'agit de comparer un facteur à l'autre. Deux facteurs qui contribuent également à l'objectif sont dits d'égale importance (tableaux 2 et 3).

Après avoir combiné les facteurs, il est important :

Pour déterminer les vecteurs propres (Vp) de chaque critère pour chaque élément et il est décrit dans l'équation :

$$V_P = \sqrt[k]{W_1 \times \dots \times W_K}$$

- ✓ k= nombre de paramètres comparés ;
- ✓ Wk = évaluation des paramètres principaux.

Pour calculer les coefficients de pondération (Cp), la formule est donnée dans cette équation :

$$C_P = \frac{V_P}{V_{P_1} + \dots + V_{P_K}}$$

**Table 25 : Matrice de comparaison par paires**

	Rainfall	Slope	Drainage Density	Siol Type	Population density	Land Covre	Vp	Cp
Rainfall	1	3	4	5	6	7	3,69	0,45093486
Slope	0,333	1	2	3	4	5	2,09	0,25540755
Drainage Density	0,25	0,5	1	3	4	5	1,65	0,20163754
Siol Type	0,2	0,333	0,333	1	3	4	0,64	0,07821093
Population density	0,167	0,25	0,25	0,333	1	2	0,083	0,01014298
Land Covre	0,143	0,2	0,2	0,25	0,5	1	0,03	0,00366614
La somme	2,093	5,283	7,783	12,583	18,5	24	8,183	1

### Ratio de cohérence

Saaty (1984) avait déterminé les critères d'appréciation pour vérifier la cohérence, ce critère est appelé ratio de cohérence (CR).

$$CR = 0,053$$

## IV.7 Résultats et discussion

Les six paramètres susmentionnés sont cartographiés séparément pour estimer le risque d'inondation et leurs effets sont exprimés par cinq étapes différentes pour les facteurs valorisés numériques obtenus par la méthode des ruptures naturelles. Ces classes sont classées en très faibles, faibles, modérées, élevées et très élevées.

Dans le cas des facteurs à valeur non numérique, la classification dépend de la contribution de chaque facteur à la recharge des crues. Il s'agit de l'occupation du sol, de la densité de drainage et du type de sol.

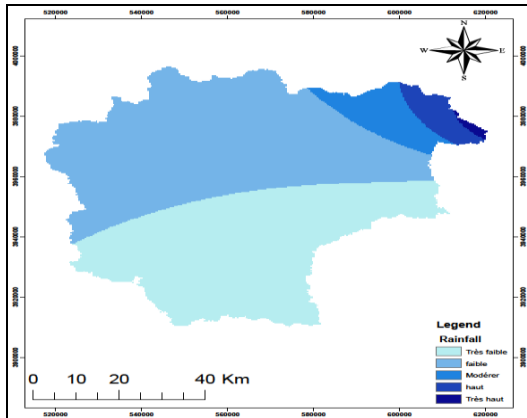


Figure 28 : classes de Interpolation des précipitations

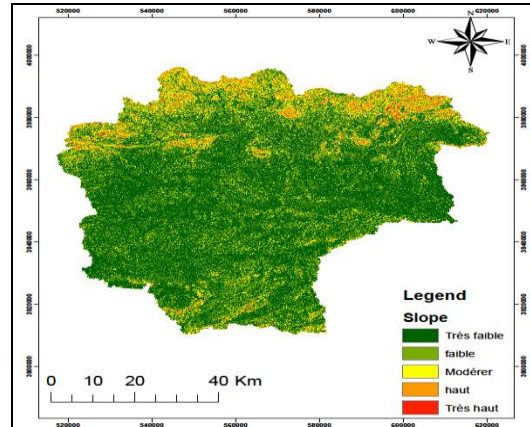


Figure 29 : classes de La pente

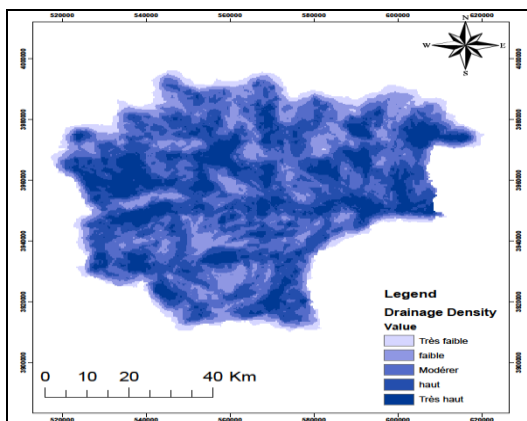


Figure 30 : classes de Drainage

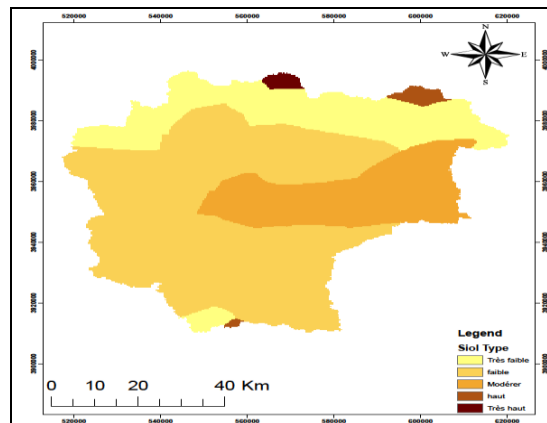


Figure 31 : classes de type de sol

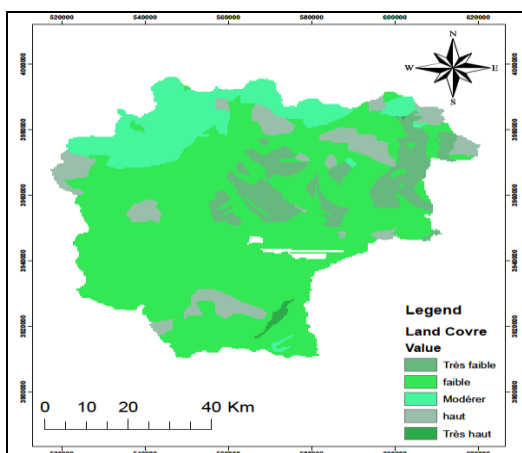


Figure 32 : classes de Couvert Végétation

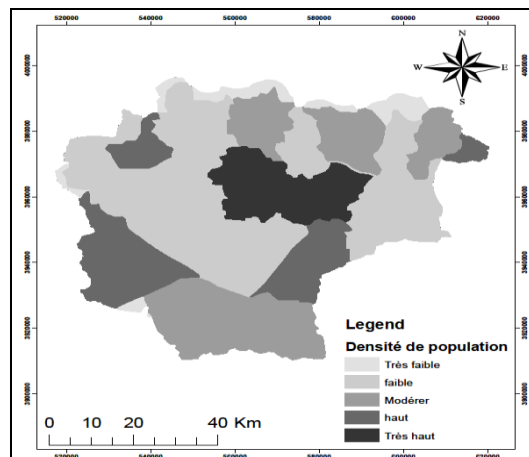
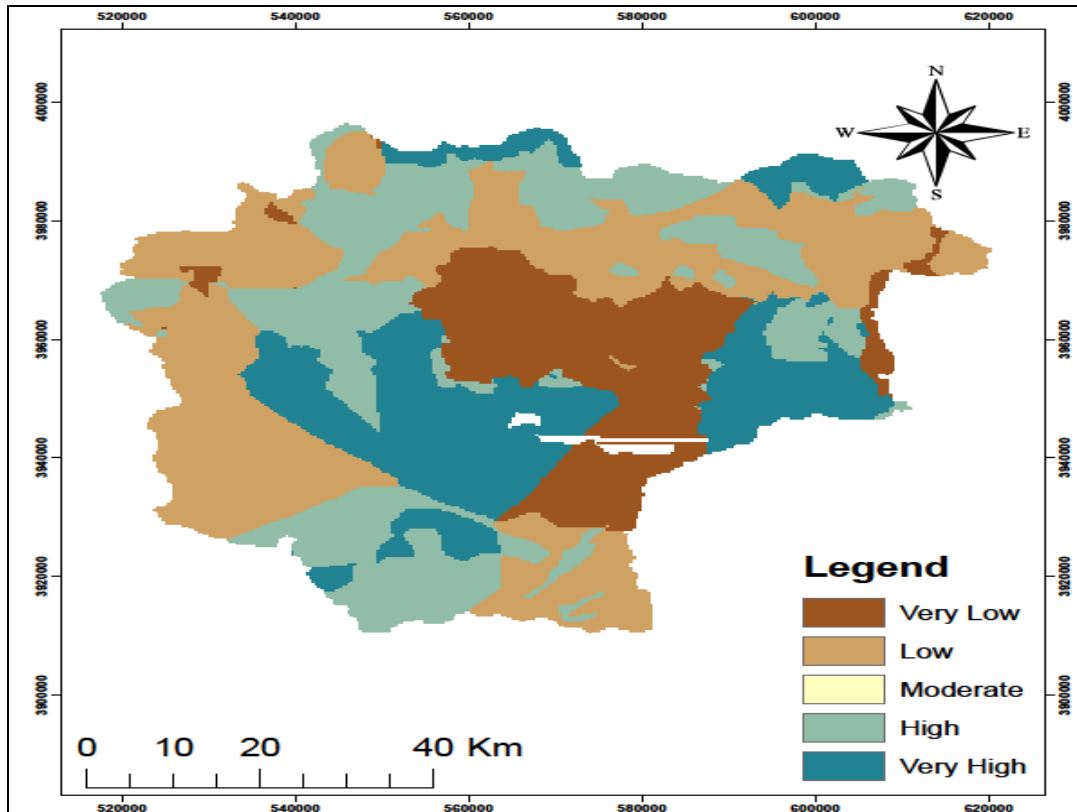


Figure 33 : classes de Densité de population

**IV.7.1. La carte de vulnérabilité**

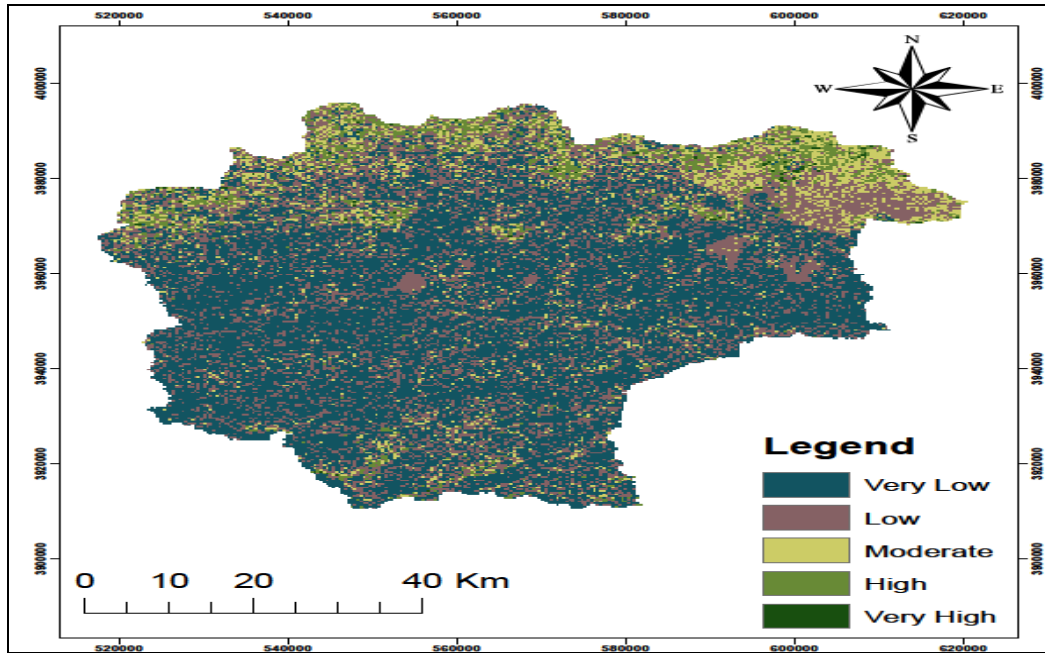
La carte de vulnérabilité montre les différentes étapes de vulnérabilité aux inondations au sein de la zone d'étude. La vulnérabilité est divisée en cinq étapes. La classe de vulnérabilité faible est la plus importante (51,61 %), suivie des classes de vulnérabilité très faible (28,75 %), élevée (13,25 %), modérée (3,77 %) et très élevée (3,17 %) (Figure 14).



**Figure 34 :La carte de vulnérabilité de l'Oued El-Ham**

**IV.7.2. La carte des aléas**

La carte des aléas montre différentes étapes d'occurrence d'un facteur naturel qui contribue à l'inondation. La très haute marche d'aléa, représente 9,45 %. La classe élevée occupe 29,70 %, Les marches modérées, basses et très basses représentent respectivement 33,31, 18,61 et 8,84 %, et sont réparties dans la zone (Figure 15).



**Figure 35 : La carte des aléas en Oued El-Ham**

#### **IV.7.3. Carte des risques d'inondation**

La carte des risques d'inondation montre les différentes étapes d'inondation dans la zone d'étude. Il est obtenu par cette formule : Carte des risques d'inondation = indice d'aléa \* indice de vulnérabilité. Cinq échelons de risque sont définis du très élevé au très faible en passant par les échelons intermédiaires des risques d'inondation à savoir les échelons élevé, modéré et faible. 38,20% et 22,75 % de la zone d'étude sont identifiés comme à très haut et à haut risque tandis que 12,96% et 10,58% représentent les étapes à très faible et à faible risque. 15,69 % sont considérés comme à risque modéré. Les marches à très haut et à haut risque, Par conséquent, d'autres critères secondaires pourraient aggraver le phénomène d'inondation par leurs effets (Figure16).

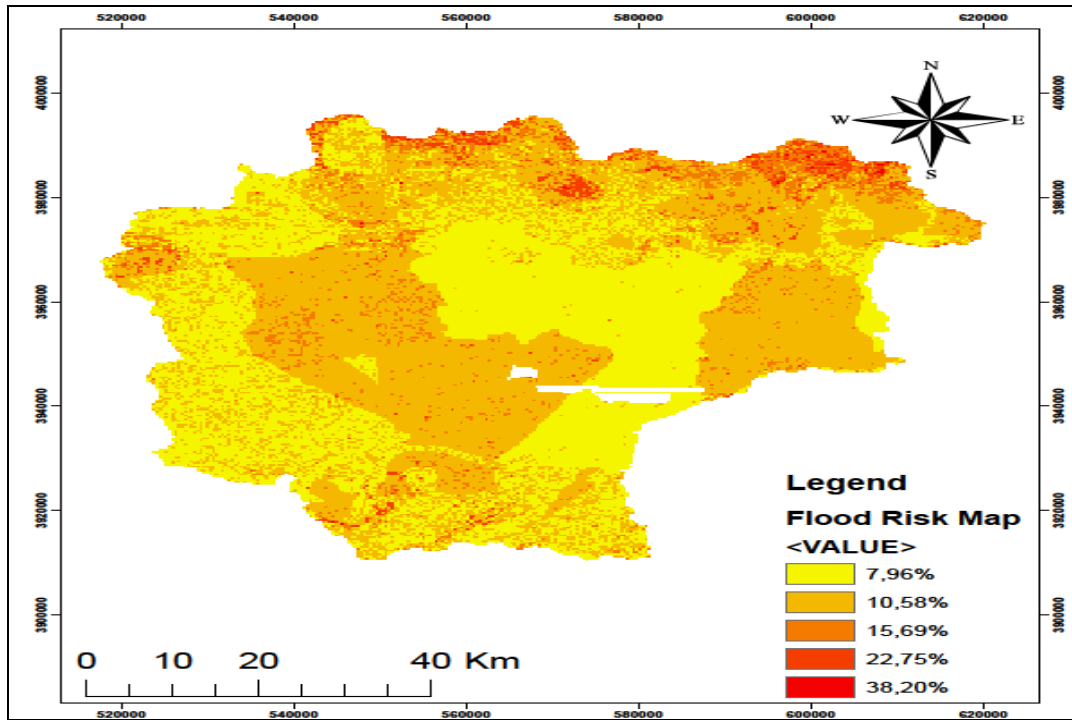


Figure 36 : Carte des risques d'inondation en Oued El-Ham

#### IV.8 Conclusion

L'objectif de cette étude est de développer une méthodologie qui génère une carte des risques d'inondation qui montre les différentes étapes des risques d'inondation. Il est requis pour certaines mesures de gestion lors des événements pré et post-inondation. AHP selon MCA intégré sur SIG a permis d'analyser, de combiner et de comparer six paramètres influençant les inondations. Après avoir généré des cartes de différents facteurs tels que la répartition des précipitations, la pente, la densité de drainage, l'occupation du sol, la densité de population et le sol, la carte des risques d'inondation est obtenue par superposition de cartes d'aléas et de vulnérabilité. Cinq étapes de risques d'inondation sont définies et il y a des étapes très élevées, élevées, modérées, basses et très basses. 60,95 % de la zone d'étude est très élevée et élevée sujette au risque d'inondation et 39,05 % sont modérément à très faiblement sujette.



# **CONCLUSION GENERALE**

# Conclusion Générale

Le bassin versant de l'oued El-Ham est l'un des sous bassins du Hodna, il s'étale sur une superficie de 5604 km<sup>2</sup>, avec un périmètre de 491.73 Km , il a une forme allongée exprimée par l'indice de compacité ( $K_G=1.84$ ), avec un relief fort exprimé par la dénivelée spécifique ( $D_s=200$  m) pour une altitude moyenne de 747,83 m.

Son réseau hydrographique est caractérisé par un cours d'eau principal de 110 km de longueur, avec un temps de concentration de 21,66 Heure, et une vitesse de ruissèlement de 1,44m/s.

La pluviométrie moyenne interannuelle d'Oued El-Ham est de l'ordre de 198.46 mm. Pour la pluie journalière maximale, elle est de l'ordre de 76.81 mm.

Le bassin versant d'Oued El-Ham est caractérisé par une couverture végétale forestière plus importante et un gradient de température en diminution du Nord vers le Sud en liaison avec l'altitude.

Dans notre étude, pour cartographier le risque du bassin versant d'Oued El-Ham à l'inondations, nous avons adopté une méthodologie basée sur une analyse multicritère des paramètres de topographie, de géologie, et de l'occupation du sol avec un facteur du forçage hydro-climatiques représenté par la précipitation.

L'examen de la carte obtenue selon le critère de pente montre que les zones du sud et celle de l'extrême nord présentent un risque élevé à l'inondation, le reste de la surface du bassin versant d'Oued EL-Ham oscille entre à moyenne à faible risque. Selon la géologie, le risque des inondations varie d'une classe moyenne à faible au Sud à de forte risque au Nord.

L'analyse des cartes obtenues pour les différents critères, montre que les constats sont variables d'un critère à l'autre. Toutefois, pour l'ensemble des critères la zone la plus sensible au risque d'inondation dans le Nord et l'est du bassin.

## LA BIBLIOGRAPHIE

**Achite, M. et Meddi, M. (2005)** Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina (nord-ouest algérien), *Revue des sciences de l'eau*, vol. 18, no spéciale, p. 37-56.

**Affeltranger, B. and F. Lasserre (2003).** "La gestion par bassin versant: du principe écologique à la contrainte politique - le cas du Mékong". *V ertigO - la revue en sciences de l'environnement sur le WEB* Vol4 No3.

**Andongma, W.T., Kudamnya, E.A. and Gajere, J.N. 2017.** Flood risk assesment of zaria metropolis and environs: A GIS Approach. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 2(4), pp.1-8.

**Ashwajit, A.B., Sivakumar, V., Chincholkar, S., Thakare, A. and Ingole A. 2015.** Flood hazard zonation of Bhima river basin (Haveli, Shirur, Khedand Daund taluka), Pune, India using Remote Sensing and GIS techniques. *International Journal of Environmental Sciences*, 5(6), p.10.

**Belloula, M., 2008,** Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins Algéro-Tunisiens), Thèse magister en aménagement du territoire, Université du Colonel El Hadj Lakhedar, Batna, pp. 117 - 123.

**Berthier, I., 1995,** aux sources du droit, diagonal février 1995, 3 p.

**Berz, G., 2000,** Flood disasters: lessons from the past – worries for the future. *Proc Instn Civ. Engrs Water & Mar. Engng*, 2000, vol. 142, pp. 3 - 8.

**Booij, M.J. 2005.** Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. *J Hydro.*, 303, pp.176-198.

**Boutheldja. N., 2005.** Contribution à la modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant du Hodna sous bassins versants du Ksob et de Soubella (Algérie), thèse soutenue pour obtenir le titre de docteur en Géographie à l'université de la Provence Aix-Marseille, France.

**Bravard, J. P., 1991,** La dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux: quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières ? *La houille blan*

che, décembre 1991, n°7-8, 515 p.

**CCFSC (2006).** National Strategy and Action Plan for Disaster Prevention , Control and Mitigation in Vietnam-2001 to 2020, Central Committee for Flood and Storm Control , Government of Vietnam: 204.

**Cortes, 2006 : CORTES AMANDINE (2006),** L'appropriation active du risque inondation : intérêts et limites de la réglementation. Etude de cas entre Seyssel et Bregnier Cordon (Haut Rhône), Rapport de stage Ingénieur Maître-Institut de la Montagne.

**Danumah, J.H., Odai, N.S., Saley, B.M. and Akpa, L. 2016.** Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multicriteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (Côte d'Ivoire). *Geoenvironmental Disasters*, 2016. Available from: <https://geoenvironmental-disasters.springeropen.com/articles/10.1186/s40677016-0044y>.

**Dauphine, A., 2005,** Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer, édition A. Colin, Paris.

**DGPC. (2007),** (Direction Générale De La Protection Civile) Algérie , Bureau des risque naturels. .Les inondations en Algérie ,21p, disponible sui le site ile la Direction Générale de la Protection Civile, <http://www.protectioncivile.dz>

**Farish, S., Munawar, S., Siddiqua, A., Alam, N. and Alam, M. 2017.** Flood risk zonation using GIS techniques: District Charsadda, 2010 Floods Pakistan. *Environ Risk Assess Remediat.*, 1(2), pp.29-35.

**Gilard O. et Gendreau N., 1998,** Inondabilité : une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants, *Revue Sciences de l'eau*, Vol. 11, n°3, pp. 429 - 444.

**LAHLAH, S. (2000),** Introduction sur l'étude des inondations en Algérie. Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH) Alger.

**Leumbe O., Bitom L., Mamdem L., Tiki D. and Ibrahim A. 2015.** Cartographie des zones à risques d'inondation en zone soudano-sahélienne: cas de Maga et ses environs dans la région de l'extrême-nord Cameroun. *Afrique Science*, 11(3), pp.45-61.

**Mate M., 1997,** Analyse et modélisation de la répartition spatiale de la neige transportée par le vent sur des sites d'avalanches et sur des domaines skiabiles, Thèse de doctorat, Cemagref division Nivologie, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 180 p.

**Minea, G. 2013.** Assessment of the flash flood potential of Bâsca river catchment (Romania) based on physiographic factors. *Cent Eur J Geosci.*, 5, pp.344-353.

**Pottier, 1998,** L'utilisation des outiles juridiques de prévantion des risques d'inondation: évaluation des effets sur

l'homme et l'occupation des sols dans les plaines alluviales (application à la Saône et à la Marne), Ecole Nationale des ponts et Chaussées- cereve, 436 p.

**Poussin, J.K, Botzen, W.J.W. and Aerts, J.C.J.H. 2014.** Factors of influence on flood damage mitigation behavior by households. *Environ Sci Policy*, 40, p.6977.

**Renaud H., 2006,** Analyse d'images satellitaires d'inondations pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique, Thèse de doctorat de l'Engref, Ecole nationale du génie rural, pp 75 – 80

**Rodeano, R., Felix, T., Norbert, S. and Mohd, N.N. 2017.** Flood Potential Analysis (FPAn) using Geo-Spatial Data in Penampang area, Sabah. *Malaysian Journal Geosciences*, 1(1), pp.1-6.

**SALOMON JEAN-NOËL (1997),** L'homme face aux crues et aux inondations, Presses Universitaire de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux.

**Sowmya, K., John, C.M. and Shrivasthava, N.K. 2015.** Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest coast of India, using remote sensing and GIS. *Nat Hazards*, 75, pp.1271-1286.

**Theys J. et Fabiani J.L., 1988,** La société vulnérable, sous la direction de Paris, l'Ecole Normale Supérieure, 674 p.

**Torterotot, J. P., 1993,** Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes, Thèse de doctorat, spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 284 p.

**TOUAIBIA, B. (2000),** Erosion – Transport solide impact sur les inondations torrentielles. Cours de perfectionnement. Vibo. Valantia. Italie du 25 au 30 juin 2000.

**Wang, Y., Li, Z., Tangand, Z. and Zeng, G. 2011.** A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resources Management*, 25: pp.3465-3484.

**Xu, C., Chen, Y., Zhao, R. and Ding, H. 2013.** Responses of surface runoff to climate change and human activities in the arid region of Central Asia: a case study in the Tarim River Basin China. *Environ Manag.*, 51, pp.926-938.

**YAHIAOUI. (2012),** Inondations Torrentielles Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès) Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique.

**Zeľňáková, M., Blišť'an, P. and Hlavatá, H. 2017.** Rainfall distribution as a main factor influencing flood generation in the eastern Slovakia. International Conference on Environ

mental Science and Technology Rhodes, Greece.

[1] : **Adoui Halima, 2013.** Etude de la vulnérabilité du bassin versant du Hodna aux inondations. Mémoire soutenu pour obtenir le diplôme de Master 2 en Hydrauliques urbaine, université de M'sila. septembre 2013, Algérie.

[2] : **DJELLOULI. Y. ET SACI. A., 2003.** CATASTROPHE « NATURELLE » : LES INONDATIONS DEVASTATRICES DU 9 ET 10 NOVEMBRE 2001 À BAB EL OUED (ALGER, ALGÉRIE), International Journal of Hydrology Science and Technology, Vol. 15, 238.

[3] : **TAHAR SAMIRA, 2013.** Impact des inondations sur l'espace urbain, Le cas de la wilaya SIDI BEL ABBES. Mémoire soutenu pour obtenir le diplôme de Magister en Villes, Territoires, Vie urbaine et Aménagement, université d'ORAN. septembre 2020, Algérie.

[4] : Le risque inondation Dossier d'information La source principale de ce document est le site [www.prim.net](http://www.prim.net) (Conception réalisation : Alp'Géorisques et Graphies).

[5] : Benzougagh B., Dridri M., Boudad Larbi et Sadkaoui D. Utilisation du SIG dans l'analyse morphométrique et la priorisation des sous-bassins versants de l'Oued Inaouène (nord-est du Maroc). European Scientific Journal. Février 2016 édition ; 12(4) : 283-306.