



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Larbi Tébessi –Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Sciences de la Terre et de l'univers



MEMOIRE DE MASTER
Domaine : Sciences de la terre et de l'univers
Filière : Géosciences
Option : HYDROGEOLOGIE

Etude de la protection de la ville Boukhadra contre les inondations

Présenté par :
ZERFAOUI Sofiane

Devant le jury :

Dr. BOUBYA Djamel	MCA	Université Larbi Tébessi	Président
Dr. GUEFAIFIA Omar	MCA	Université Larbi Tébessi	Examineur
Dr. SEGHIR Karima	MCA	Université Labi Tébessi	Rapporteur

PROMOTION 2019

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que Soient les termes embrassés je n'arriverais jamais a leur exprimer mon amour sincère.

- A L'homme, mon précieux offre du dieu , qui doit ma vie , ma réussite et tout mon respect : mon cher père El-aarch Zine DJEDDI
- A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui na épargné aucun effort à me rendre heureux : mon adorable mère : lhajja Fadha Gouasmia
- A vous mes frères (Ouard, Koussai, Dhia) et vous mes sœurs (Fairouz, Aya) qui m'avez toujours soutenu t encouragé durant ces années d'études
- A vous mon oncle Nemer Noureddine Djeddi et ma tante Tata Samia, et leurs aides et supports dans les moments difficiles.
- A mes proches amis : Mondher 3chiri , Saber bouhajja, Laarbi weld 3ami , Zahreddine zaza , et Houssam hbibi et Aala aloul
- Atous les cousins, les voisine et aux autres amis que j'ai connu jusqu'à maintenant .
Merci pour amours et leurs encouragements.

تلخيص

المياه يمكن ان تكون ثروة طبيعية كما يمكن ان تكون مصدر للكوارث الطبيعية. انها تشكل حالات متناقضة فقد تشكل مرات حلالات نقص وقصور وفي بعض المرات تكون مصدرا للفيضانات. في حالة الفيضانات قد تصل كمية تساقط المياه الى أكثر من 80 بالمئة مسجلة من الكوارث الطبيعية في العالم بين 1996 الى 2006 مما يخلف اضرار جسيمة بشرية اقتصادية وبيئية.

في دولة نامية كالجزائر التي واجهت الإصرار السلبية للفيضانات حيث كانت من اكثر الكوارث الطبيعية تكرارا ومعظمها كان مدمرا لدرجة كبيرة. وقد كانت منطقة تبسة شمال شرق الجزائر موضوع الكثير من الفيضانات في الآونة الأخيرة.

الهدف من دراستنا هذه هو المساهمة في الدراسة الهيدرولوجية لبعض التيارات الرئيسية التي تمثل المورفولوجيا والصورة الطبوغرافية لمنطقة تبسة والمهددة بالفيضانات المتعددة في الآونة الأخيرة .

Abstract

Water can be fortune s it can be a source of risk. It creates contradictory situations that are both shortages and insufficiency and other times of flooding.

Indeed the floods are at the origin of more than 80% of natural disasters recorded in the world between 1996of 2006 causing damage (human , economic, an envirennementales) in diveloping country like Algeria , wich has bee confronted with the adverse effets of flooding the latter is marked as one of the moste numerous natural isasters many of wich were destructive

Dédicace

Un tel jour nous fait rappeler toutes nos années d'études, nous fait également penser

aux personnes qui ont participé et nous ont aidé à arriver à un des événements les plus Marqués de notre vie.

Je dédie ce travail :

A ma chère mère qui nous a quitté, à l'âme toujours vivant qui m'encourage,

M'illumine le chemin, m'oriente de là-haut.

A mon cher père, l'éducation que j'ai reçue de vous me marquera à jamais, merci d'être

A mes chères femmes,

Toujours là pour moi, de vos conseils et encouragements

A toute ma famille sans exceptionnelle.

Remerciement

Avant tout, je remercie Dieu pour tous ses dons, la force et la santé qu'il m'a accordé

Pour mener ce travail à terme.

Je profite aussi de l'occasion qui m'est ainsi présentée pour exprimer à mon encadreur
Dr. Seghir.Karima

Ma respectueuse gratitude. J'ai été très sensible à sa grande
Disponibilité en dépit de ses responsabilités multiples et à la totale confiance qu'il m'a
Toujours accordée. Ses précieux conseils et ses encouragements ont permis le
bon
Déroulement et l'aboutissement de ce travail.

Je remercie sincèrement tous les enseignants de, qu'ils trouvent ici
L'expression de ma profonde reconnaissance.

إن مشكل الأخطار الطبيعية عموماً و الفيضانات بشكل خاص يعتبر من بين مواضيع الواقع الأكثر انتشاراً و التي سجلت أثراً بليغاً في ذاكرة شعوب العالم عموماً و الجزائر بصفة خاصة، لاسيما من خلال وقائع الفيضانات المسجلة في الآونة الأخيرة. الغرض من هذه الدراسة هو إنجاز بحث بيئيوغرافي موسع حول مشكل الفيضانات من ناحية منشأ هذه الظاهرة ، مع استعمال نموذج هيدرولوجي للتنبؤ بالفيضانات في حوض العبادية. **كلمات مفتاحية:** فيضانات، التنبؤ، مستجمع مياه، النموذج الهيدرولوجي ، نموذج HEC-HMS.

Résumé

L'eau peut être une fortune comme elle peut être une source de risque. Elle engendre des situations contradictoires d'une fois de pénuries et insuffisances et d'autre fois d'inondations. En effet les inondations sont à l'origine de plus de 80% des catastrophes naturelles enregistrés dans le monde entre 1996 et 2006 provoquant ainsi des dégâts (humaine, économique, et environnementales ...) Dans un pays en voie de développement comme l'Algérie, qui a été confrontée aux effets néfastes des inondations ; cette dernière, est marquée comme l'une des catastrophes naturelles les plus nombreuses dont plusieurs étaient destructrices.

La région de Boukhadra, situé au Nord Est de la wilaya de Tébessa (Est Algérien) est marquée par une morphologie hydrologique très favorable aux phénomènes d'inondations au cours de cette décennie.

L'objectif de notre étude est de contribuer à l'étude hydrologique de la région de Boukhadra et de présenter la méthode de sa protection contre des inondations éventuelles ; ce projet est déjà réalisé sur terrain et sert comme model à généraliser pour d'autres région qui ont souffert de même catastrophes.

Mot clés : Inondations, Boukhadra, protection, digues, cours d'eau principales, bassin versant

Abstract

The problem of the natural risks in general and the Floods in particular is a subject of topicality which marks a memorable action in the world and specifically in Algeria. , in particular taking into consideration last great catastrophic risings .The purpose of this study is to presents a synthesis bibliography widened on the problems of the floods the genesis of the phenomenon, and application of a hydrological model to raws prevision on the watershed of BOUKHADRA

Key words: Flooding, Prevision, Watershed, Hydrologic model, model HEC-HMS- SIG

TABLE DES MATIERES

N°		Page
	Préambule	
	Introduction	
PARTIE 1		
Chapitre I.... L'inondation : Définition Genèse et Typologie		
I	INTRODUCTION	02
I.1	GENERALITES AU TOUR DES INONDATIONS	02
I.1.1	Concept du concept du risque	02
▪	Risques naturels	03
▪	Risques technologiques	03
▪	Risques de transports collectifs	03
▪	Risques de la vie quotidienne	03
▪	Risques liés aux conflits	03
I.1.1.1	Quantification du risque des inondations	04
I.1.2	Connaissance de l'ALEA	06
✓	La vulnérabilité	06
✓	L'Aléa	06
✓	Inondation	07
✓	CRUE	08
I.1.3	Plain alluviale	08
I.2	PARAMETRES FONDAMENT AUX D'UN COURS D'EAU	09
I.2.1	Lits du cours d'eau	09
1	Lit mineur	09
2	Lit moyen	09
3	Lit majeur	09
I.2.2	Rive, berge	10
I.2.3	Ripisylve	10
I.2.4	Alluvions et substratum	10
I.3	GENESE DES CRUES ET INONDATIONS	10
I.3.1	Genèse du ruissellement	11
I.3.2	I.3.2 Genèse des crues	11
I.3.3	Causes de formation des crues et des inondations	12
1)	Abondance des précipitations	12
a)	Fusion brutale des neiges	13
b)	Débâcles des glaces fluviales	13
c)	Accidents	13
I.4	FACTEURS AGGRAVANTS LE PHENOMENE D'INONDATION	13
▪	Sur les bassins versants et dans les zones de stockage	13
▪	Dans les zones d'écoulement	13

▪	L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables	14
▪	La diminution des champs d'expansion des crues :	14
▪	L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau	14
▪	La formation et la rupture d'embâcles	14
▪	La défaillance des dispositifs de protection	14
▪	L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants	14
▪	Le transport et dépôt de produits indésirables	14
I.5	TYPOLOGIE DES CRUES ET D'INONDATIONS	15
I.5.1	Crues	15
1	Les crues décennales	15
2	Les crues centennales	15
3	Les crues millenales	15
I.5.2	Inondations	15
I.5.2.1	Montée lente des eaux en région de plaine	15
I.5.2.2	Formation rapide de crues torrentielles	16
I.5.2.3	Par stagnation d'eaux pluviales	16
I.5.2.4	Le ruissellement pluvial en secteur urbain	17
•	Le ruissellement diffus	17
•	Le ruissellement concentré	17
•	Le ruissellement en nappe	17
I.5.2.5	Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle	18
I.5.2.6	Inondations marines	19
I.6	AMPLEUR DES INONDATIONS	19
I.6.1.	Les inondations à l'échelle mondiale	19
I.6.2	Processus hydrologiques de genèse des crues	22
I.6.3	Facteurs de contrôle des processus de genèse des crues	23
A	Topographie et pédologie	23
B	Occupation du sol	23
C	Conditions météorologiques	23
D	Variabilité spatiale des paramètres	25
	CONCLUSION	25
Chapitre II Procèdes de protection des Agglomérations contre les Inondations		
II	INTRODUCTION	26
II.1	L'HOMME ET LES INONDATIONS	26
II.2	PROCEDES DE PROTECTION DES AGGLOMERATIONS CONTRE LES INONDATIONS	
II.2.1	Espaces urbains	27
✓	L'entretien des cours d'eau	27
✓	Limiter l'érosion	28
✓	Les enrochements	28
✓	Les techniques végétales	28

✓	Les épis	29
II.2.2.2	II.2.2. Protection des édifices contre les crues	29
II.3	AMENAGEMENTS EN VERSANT AVANT LE LIT DU COURS D'EAU	30
II.3.1	Changement d'occupation de sol	30
II.3.2	Banquettes	30
II.3.3.1	II.3.3.1 Banquettes pour épandage des crues	31
II.3.4.	Travaux de correction torrentielle sur les lits des Oueds	32
II.3.4.1	Le reboisement	32
II.3.5	Aménagement en lit mineur	32
II.3.5.1	Correction torrentiel	32
II.3.5.2	Barrage écrêteur	32
II.3.5.3	Création des zones d'expansion de crue	32
II.4	DIGUE DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS	34
II.4.1	Caractéristiques des digues de protection contre les inondations	36
II.4.1.1	Fonctionnement d'un système endigué	36
II.5	II.5 Mesure pour réduire la vulnérabilité	39
II.5.1	Délimitation des zones à risque	38
II.5.2	Travaux de protection pour réduire l'aléa	38
II.5.3	Détermination des enjeux	38
II.5.4	Réduire la gravité des crues torrentielles	39
II.5.5	Maitrise de l'urbanisation pour réduire la vulnérabilité	39
	CONCLUSION	40
	Présentation de la zone d'étude	41
1	Contexte géographique	41
2	2. Situation topographique	42
3	le réseau hydrographique	43
	CHAPITRE III GEOLOGIE REGIONALE	
III1	Introduction	44
III2	Stratigraphie	44
III2. 1	Trias	44
III2. 2	Crétacé	45
III2.1.	Crétacé inférieur	46
III2.1.1	Barrémien	46
III2.1.2	Aptien	46
III2.1.3	Albien	46
	L'Albien moyen	46
III2.1.4	Vraconien	47
III2.2	Crétacé supérieur	49
III2.2.1	Cénomaniens	49
III2.2.2	Turonien	49
III2.2.3.	Santonien-Campanien	49

III.2.2.4	Maestrichtien	50
III.3	Paléogène	50
III.3.1	Paléocène	50
III.3.2	Eocène	50
III.4	Néogène	50
III.4.1	Miocène inférieur et moyen	50
III.4.2	Miocène supérieur	51
IV	Tectonique	51
IV.1	La subsidence	52
IV.2	Le diapirisme	52
IV.3.	Les plissements	53
	Les fossés d'effondrement	53
V	Evolution paléogéographique	54
	Le Barrémien	54
	A l'Aptien	54
➤	A l'Albien	55
➤	A l'époque cénomaniennne	55
➤	Au cours du Turonien inférieur	55
➤	Le Campanien supérieur et Maestrichtien	55
➤	Le remaniement de silex, réputé d'âge Yprésien	55
➤	Vers le Miocène supérieur	57
VI	Conclusion	
IV.1	CLIMATOLOGIE	58
IV.1.2	Calcul du coefficient pluviométrique	58
IV.1.3	Diagramme ombrotrmique (station de Tébessa) :	61
IV. 1.4	Détermination des indices climatiques	62
IV.1.4.1	Etude des facteurs climatiques	64
1.4.2	Les précipitations	64
IV.1.4.5	Variation mensuelle des précipitations (pendant 10 ans)	65
IV.1.5	La température	70
1.6	L'humidité	72
IV.1.7	Le vent	74
IV.1.8	Autres facteurs	74
IV.2.	Caractéristiques climatiques de la région	75
IV.1.A.	Les précipitations	76
IV.1.B.	Variation de la pluviométrie annuelle	75
IV. A.2.	Variations annuelles des précipitations	77
IV.A.2.a	Station de Tébessa :	77
IV.A.2.b	Station d'El Aouinet :	78
IV.A.2.C	Station de Ouneza	80
IV.B	Calcul du coefficient pluviométrique :	81
IV.3.	Analyse pour chaque station	84
	Station de Tébessa :	84
	Station d'El Aouinet :	84

•	Station de Ouneza:	84
IV.4	Etude des températures :	84
a	Températures moyennes mensuelles	85
b.1	Indice de Martonne :	86
b.2	Diagramme pluviothermique de Gausсен et Bagnouls :	88
c	Evaporation :	88
D	Evapotranspiration :	89
D.1	Evapotranspiration potentielle ETP :	89
D.1.a	Formule de Thornthwaite :	89
D.2	Evapotranspiration potentielle ETP :	89
E	Commentaire sur les bilans hydriques	95
F	Bilan hydrologique :	95
J	Ruissellements superficiels :	96
CHAPITRE. V application des modelés hydrologiques HEC-HMS		
V	LES MODELES HYDROLOGIQUES	97
	V.1Présenta	
V.2.1	Le processus de fonctionnement	98
V.2.2	Le module structural du bassin	100
V.2.3	Le module météorologique	100
V.2.4	Le module de la fonction de production	101
V.2.5	Le module de la fonction de transfert	103
V. 2.6	Application du modèle HEC-HMS au bassin versant boukhadra	104
V. 2.6.1	Modélisation Pluie-Débit par le modèle HEC-HMS	104
	Modélisation du bassin versant	105
	Le schéma du modèle de bassin	106
➤	Les avantages et les limites du modèle	108
➤	Les limites	108
V 3.1	les résultats de calcul par logiciel	109
V3.2	ASSEMBLAGES DES BASSINS VERSANTS	111
	CONCLUSION	113
CHAPITRE VI HYDROLOGIQUES		
VI1	INTRODUCTION	114
VI2	Caractéristiques du bassin versant :	
VI2-1-1	Paramètres géométriques :	114
▪	Surface du bassin versant :	114
▪	Périmètre du bassin versant :	114
▪	Longueur du thalweg principale	115
▪	VI2-1-2-Paramètres de forme :	116
▪	Indice de compacité (de Graveluis) :	116
▪	Rectangle équivalent :	116
▪	Hypsométrie du bassin :	119
▪	Altitude moyenne :	119
VI Tab.02	Coordonnées de la courbe hypsométrique	120

▪	Indice de pente globale	120
▪	Pente moyenne du bassin versant :	120
–	la pente moyenne du sous bassin de Boukhara :	121
*	L'indice se pente globale (Ig) :	121
*	La classification du relief	121
VI2.2	Caractéristiques hydrographiques :	122
VI2.2.1	Densité de drainage	122
VI2.2.2	Coefficient de torrentialité	123
VI2.2.3	Pente moyenne du cours d'eau	123
VI2.2.4	Temps de concentration :	124
▪	Formule de GIANDOTTI :	124
▪	Formule de CALIFORNIA CULVERT PRACTICE	124
▪	Formule de CALIFORNIA CULVERT PRACTICE	124
VI2.2.5	Vitesse moyenne de ruissellement :	125
.	Hypothèses	125
.	Résultats	125
.	Conclusion	125
VI3	Ajustement a la loi normale	126
VI3.1	Ajustement à la loi de Gumbel	127
	Conclusion	
VI4	Pluie de courte durée et leur intensité a différentes fréquences	128
VI4.1	Evaluation des apports liquides :	129
.	Données disponibles	129
VI4.2	Apport moyen interannuel	129
VI4.2.1	Formules empiriques	130
▪	Formule de SAMIE :	130
▪	FORMULE DE DERI :	130
▪	Formule de MEDINGER:	130
▪	Formule de CHAUMONT :	131
▪	Formule de TURC	131
▪	Formule de URGIPROVODKHOZ	132
▪	Formule de l'ANRH	132
▪	Synthèse des résultats :	132
VI4.5	Répartition mensuelle de l'apport moyen :	133
▪	VI4.6.Calcul du coefficient de variation :	134
▪	Formule de PADOUN :	134
▪	Formule de SOKOLOVSKY -CHEVELEV :	134
▪	Formule d'URKGUIPROVODKHDZ :	134
▪	Formule d'ANTONOV :	134
▪	Formule de KRITSKY MENKEL :	134
IV.4.6.1	Les apports fréquentiels :	135
VI5	TRANSPORTS SOLIDES :	136
VI5.2	Formule de SOGREAH	137

VI6	ETUDE DES CRUES :	138
▪	Formule de Giandotti	139
▪	Formule de Sokolovsky	139
▪	Formule de Mallet - Gautier	140
▪	Méthode de Turazza	140
▪	Synthèse des résultats :	140
VI6.1	Volume maximal de l'apport	141
VI6.2	Caractéristiques de forme	141
VI7	Conclusion	145
VII	Solution proposé	
Chapitre VII INONDATION DE L'ALGERIE		
VII	INTRODUCTION	146
VII1	LE CLIMAT EN ALGERIE	149
VII3	Tableau Distribution régionale de la pluviométrie moyenne (mm)	
VII2.1	perturbations météorologiques (origine et mécanisme de formation).	150
VII3	ANALYSE DES CAUSES DE DEGRADATION DES SOLS EN ALGERIE	156
VII3.1	L'érosion	157
VII4	INONDATIONS DE BAB EL OUED (2001)	158
VII5	LES INONDATIONS AU SUD	
VII6	LES INONDATIONS AU Est	163
	CONCLUSION	165
Chapitre VIII Solution proposé		
VIII	Solution proposé	166
IX	Exécution des travaux sur terrain	168
	Conclusion générale	
	Reference Bibliographie	
	Reference Sito-graphiques	
	ANNEXE	

Introduction générale

Introduction générale

Les cours d'eau représentent, pour les riverains, à la fois une richesse et une menace (Bravard et Petit, 1997). Cette dualité a longtemps été considérée comme globalement bénéfique, mais aujourd'hui il semble que cet équilibre se soit rompu.

D'après les informations de l'International Disaster Database (IDD: la base de données en matière de catastrophes internationales) du Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des Désastres (CRED), les inondations sont au cours des deux dernières décennies au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde. Elles représentent 34% des catastrophes enregistrées à l'échelle mondiale entre 1990 et 2007 (CRED, 2007).

Pour réduire les dommages causés par les inondations et pour assurer la sécurité des biens et des personnes, il faut une parfaite identification des régions présentant le risque d'inondabilité et des facteurs favorisant ou amplifiant l'ampleur des dégâts et des pertes engendrées par ces catastrophes. La détermination des débits des crues du projet reste un outil précieux pour le dimensionnement des ouvrages de protection contre les inondations.

La protection contre le risque 'inondations' est une action importante pour le développement durable. Une protection appropriée contre les crues était, est et restera une condition fondamentale pour une société avertie (Office Fédéral des Eaux et de la Géologie OFEG, 2001). Depuis toujours, l'homme a aménagé les cours d'eau et a développé des systèmes d'assainissement urbain et agricole afin de réduire les risques d'inondation. Les mesures prises pour une réduction de la vulnérabilité sont le plus souvent des mesures structurelles : réalisation d'endiguement, de recalibrage, de rectification, etc. Néanmoins, ces aménagements ont souvent des incidences perverses à l'aval.

L'Algérie est confrontée aux phénomènes des crues et d'inondations qui sont plus fréquents que les séismes. Ces phénomènes provoquent des catastrophes plus destructrices et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Les exemples de Bab El Oued – Alger en 2001, de Sidi Bel Abbes en 2006, de Ghardaïa en 2008 et El Bayadh en 2001 tebessa 2018.

De nombreuses recherches se sont donc attachées, depuis plus d'un siècle, à essayer de comprendre les processus de génération des débits et le fonctionnement du bassin versant qui représente l'entité hydrologique de production et de concentration des écoulements.

Le moyen, pour arriver à comprendre la génération des débits et à établir des simulations, est de remonter jusqu'à leurs causes premières qui sont les pluies.

Introduction générale

Dans ce travail de recherche nous allons procéder à une revue bibliographique sur les inondations et les méthodes de protection contre les inondations.

Pour ce faire, le mémoire est structuré en deux parties, la première partie représente la synthèse bibliographique est structurée par trois chapitres. Le premier chapitre intitulé "Les inondations : Définition, Genèses et Typologie" traite de la typologie des crues et des Inondations et leurs effets nuisibles sur les populations et les biens. On décrit les origines et les caractéristiques des inondations afin de mettre en lumière leur caractère variable et destructeur à travers quelques événements historiques survenus dans le monde.

Dans le second chapitre traite l'aspect présentatif des inondations de crues. Son but est de mettre en évidence les préoccupations essentielles à examiner et à prendre en compte dans le domaine de la lutte et de la protection contre les crues.

Le troisième chapitre, est consacré à la présentation de l'aspect théorique et la Problématique des crues et inondations en Algérie.

La deuxième partie consacrée, à la présentation de la zone d'étude, bassin versant - BOUKHADRA et une contribution à l'étude de prévision de la crue à l'aide du modèle Hydrologie Modeling System Hydrologie Engineering Center (HEC-HMS). Celui-ci devra d'une part répondre à cet objectif d'estimation des débits des crues, et d'autre part, être le plus simple possible.

Enfin, la «conclusion générale" synthétise les résultats de ce travail et suggère quelques perspectives de recherche complémentaires dans l'objectif d'affiner les connaissances initiales et nouvellement produites et de poursuivre la réflexion sur l'élaboration d'un Plan de Prévention du Risque Inondation pour la ville BOUKHADRA et sa périphérie dans le contexte global du développement durable.

Partie I : Synthèse bibliographique

Résumé

Cette partie contient trois chapitres. Le premier chapitre traite la définition des crues, typologie, décrit les genèses et les caractéristiques des inondations. La deuxième chapitre traite l'aspect présentatif des inondations de crues. Son but est de mettre en évidence les préoccupations essentielles à examiner et à prendre en compte dans le domaine de la lutte et de la protection contre les crues, et Le chapitre, est consacré à la présentation de l'aspect théorique et la problématique des crues et inondations en Algérie.

Chapitre I

L'inondation : Définition Genèse et Typologie

INTRODUCTION

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

La crue est un phénomène naturel et saisonnier qui correspond à une élévation du niveau des eaux. Elle ne provoque pas de perturbations majeures lorsque son ampleur est modérée. Mais une crue est susceptible de présenter des risques lorsque le débit et le volume d'eau sont tels qu'il y a débordement par rapport au lieu d'écoulement habituel (le lit mineur) : on parle alors d'inondation. L'eau se répand dans les zones d'expansion des crues, qui correspondent au lit majeur du cours d'eau, souvent largement urbanisées. Il est donc très important de bien différencier les notions de crue et d'inondation. (Ledoux, 2006)

I.1 GENERALITES AU TOUR DES INONDATIONS**I.1.1 Concept du concept du risque**

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

Le risque est défini comme résultant de deux facteurs réputés indépendants que sont (Fig. N° I.1) : l'aléa et la vulnérabilité (Gendreau 1997 ; Molin Valdes, 1994).

Cette décomposition du risque est une première modélisation conceptuelle de l'objet étudié qui comporte dans sa part de simplification (Gilard et ,1998), en représentant l'aléa et la vulnérabilité par deux axes dans un espace plan pour obtenir des courbes d'iso-risque

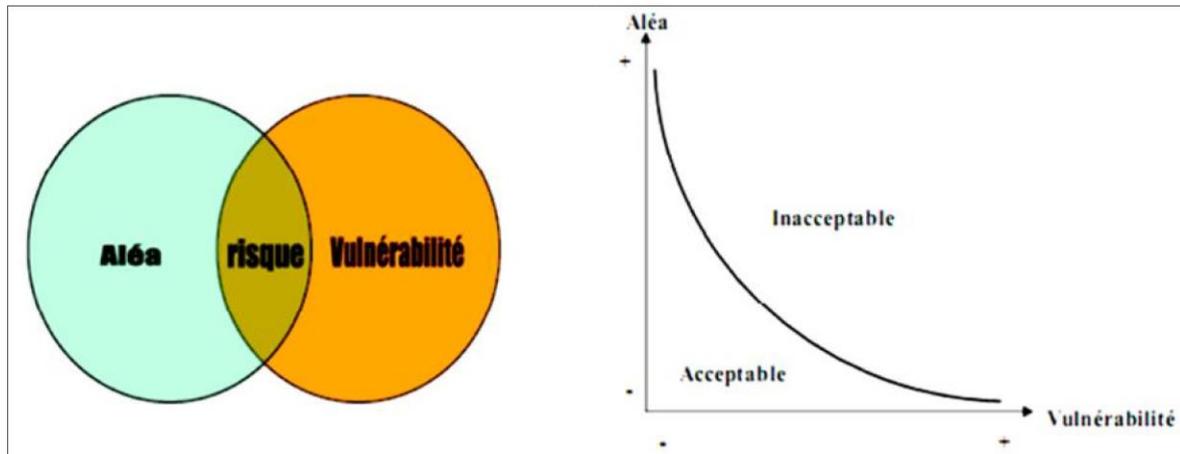


Fig. N° I.1: Risque = F (aléa, vulnérabilité) et Courbe d'iso-risque. (Chachoua, 2009)

Les types des risques auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en cinq familles :

- **Risques naturels** : C'est notamment le cas de toutes les catastrophes dites "naturelles" : tremblement de terre, **inondation**, incendie, tempête, ouragan, tornade, cyclone, typhon, grêles, raz de marée, tsunami, orage, foudre, avalanche, éboulement, mouvements de terrain, éruption volcanique, pollutions, phénomènes climatiques, changements climatiques, effet de serre
- **Risques technologiques** : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaire, biologique, rupture de barrage...
- **Risques de transports collectifs** (personnes, matières dangereuses) : sont des risques technologiques, on en fait un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident ; transport de matières premières, de produits dangereux, d'endommagement + de pipe-lines...
- **Risques de la vie quotidienne** : (accidents domestiques, accidents de la route...) ;
 - **Risques liés aux conflits** : guerres, les terrorismes, les émeutes.

Le risque majeur se résume en fait à « une représentation des pouvoirs publics et des assurances pour lesquels est majeur ce qui se traduit par un coût élevé ou des pertes humaines nombreuses » (Veyret & Meschinet, 2003). Alors seules les trois premières catégories font partie de ce risque majeur qui est caractérisé par ;

- ✓ Une faible fréquence : L'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes ;

- ✓ Une énorme gravité : Nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement. (Merabet, 2008).

Le risque majeur peut être défini comme la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre.

Les inondations constituent un risque majeur du monde contemporain. Elles figurent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde en occasionnant environ 20 000 victimes par an (Simona et Cedric, 2007). À l'instar du reste du monde, la région méditerranéenne a connu de multiples inondations qui deviennent une menace de plus en plus redoutable. Les précipitations y dépassent souvent 200 millimètres en 24 heures (Ducrocq, 2006), et parfois en moins de six heures.

Paul-Henri BOURRELIÉ (1997). propose de définir le risque inondation comme la « co-occurrence d'un aléa hydrographique et d'une vulnérabilité en un point géographique donné » Cette vision qui propose d'analyser le risque comme croisement d'un aléa, d'une vulnérabilité et d'une exposition est la base du système réglementaire français dont la volonté est l'interdiction d'urbanisation des zones à risques (Plan de Prévention de Risque).

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

I.1.1.1 Quantification du risque des inondations

La caractérisation du risque est une problématique délicate. Pour aboutir à une quantification objective du risque, la méthode inondabilité vise à mesurer dans la même unité et à comparer les deux facteurs indépendants que sont l'aléa et la vulnérabilité.

Sa mise en œuvre sur un bassin versant consiste en une modélisation hydrologique (Débitdurée-Fréquence), couplée à une modélisation hydraulique et de l'occupation du sol pour aboutir à une représentation cartographique du risque. Par ailleurs, la quantification du risque est estimée à l'aide d'une différence (Risque = Δ (aléa, vulnérabilité)) contrairement aux

approches traditionnelles qui privilégient souvent un produit : $(\text{Risque} = \text{Coût} \times \text{probabilité})$, permettant ainsi la définition d'un risque acceptable (Δ négatif).

Une augmentation du risque d'inondation dans une plaine alluviale peut être due à un accroissement des enjeux ou une augmentation de l'aléa. Par exemple, l'urbanisation est fréquemment responsable d'une croissance du risque pour deux raisons :

- La construction d'habitations en plaine alluviale accroît les enjeux.
- L'implantation de bâtiments, parkings, de routes... imperméabilise une partie du bassin versant et entraîne un accroissement du ruissellement, une augmentation du débit de pointe et une réduction du temps de concentration dont il résulte une augmentation de l'aléa et une réduction du temps disponible pour faire face (Fig. N° I.2).

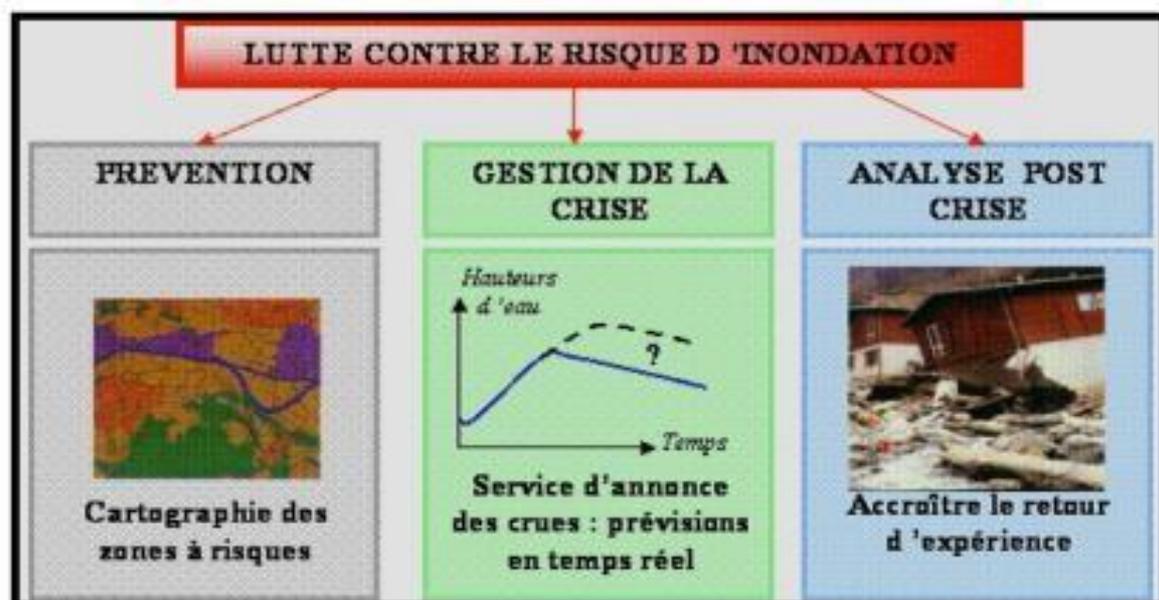


Fig .N° I.2 : Risque d'inondation (Estupina ,2004)

Il n'est pas envisageable, pour une société, de se protéger pour tous les niveaux de risque. Elle doit donc définir un niveau de risque acceptable où les événements naturels extrême et leurs conséquences devront être tolérés le risque zéro n'existe pas. Cette notion de risque dit naturel est quelque peu trompeuse puisqu'elle englobe une importante composante humaine. Cette définition du risque d'inondation englobe uniquement les impacts négatifs de la crue sans prendre en compte les nombreux effets bénéfiques qu'elles génèrent pour une énumération partielle de ces effets.

I.1.2 Connaissance de l'ALEA

Une inondation, au sens d'aléa, est un phénomène naturel très complexe dont l'analyse nécessite des outils performants et élaborés comme les modèles hydrodynamiques. Dans le cadre de la gestion des inondations, la modélisation hydrodynamique est devenue un outil courant (Horritt et Bates, 2002). Elle vise à prédire numériquement l'évolution spatio-temporelle des caractéristiques hydrauliques d'une rivière au cours d'une crue (débit, courants, hauteur d'eau, surfaces inondées, etc.). C'est un outil offrant un grand intérêt pédagogique (création de cartes d'inondations pour l'information des populations : prévention), et/ou prospectif. (Kreis, 2004).

✓ La vulnérabilité

La vulnérabilité de l'occupation des sols aux inondations traduit le fait que les dommages économiques directs et indirects, et plus au moins sévères, apparaissent lorsque l'eau inonde une parcelle. De façon classique, des courbes de dommages qui relient entre eux les paramètres de profondeur d'eau et le coût des dommages correspondants peuvent être construites d'une manière classique. 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, 1998).

✓ L'Aléa

Est défini comme lié uniquement au phénomène physique considéré, la crue fait l'objet de l'essentiel des travaux en hydrologie et hydraulique appliqués à la gestion des risques d'inondation. Il dépend du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique. Il peut être quantifié sur une parcelle (avec une précision plus au moins bonne) grâce aux variables hydrologiques classiquement utilisées que sont la profondeur d'eau et la durée d'inondation, associée à une période de retour. Sur cette dimension probabiliste de l'aléa traduit la notion de fréquence ou de période moyenne de retour. (Gilard, 1998).

Les principaux paramètres nécessaires pour évaluer l'aléa sont :

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

✓ Inondation

Étymologie : Le mot inondation vient du latin : «inundatio» qui signifie submersion. *Définition* : 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).

Par ailleurs, les dégâts occasionnés par une inondation dépendent de plusieurs facteurs : la hauteur de submersion, la durée de submersion, les vitesses d'écoulement, le volume de matière solide transporté, l'érosion des berges.

Ces paramètres permettent d'évaluer l'aléa « inondation » et les critères d'identification des zones à risques (Tableau. I.1).

Tableau I.1 : Critères d'identification des zones à risques (d'après Direction Générale De La Protection Civile, 2007)

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

Modéré	Zones ou les vitesses d'écoulement seront faibles voire nulles	-zones de stagnation des eaux pluviales -zones inondées par remontée de nappe_
Faible à nul	probabilité d'inondation faible à nulle	-zones hautes -zones en dehors du lit mineur ou majeur d'un cours d'eau - -zones éloignées de la bordure littorale

✓ **CRUE**

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. (Salomon ,1997).

I.1.3 Plain alluviale

Le terme « plaine alluviale » désigne usuellement les zones de fond de vallée, à faible dénivelé, constituées par des alluvions déposées lors des crues du cours d'eau. En termes d'écoulement, la plaine alluviale est souvent décomposée en trois zones : le lit mineur, le lit moyen et le lit majeur de la rivière (Fig.I.3). Le lit mineur correspond à la zone d'écoulement du cours d'eau hors débordement. Le lit moyen correspond à la zone d'écoulement pour des crues d'occurrences relativement faibles. Le lit majeur contient toutes les zones de la plaine dans lesquelles le cours d'eau est susceptible de s'écouler et de déborder. (Damien, 2003)

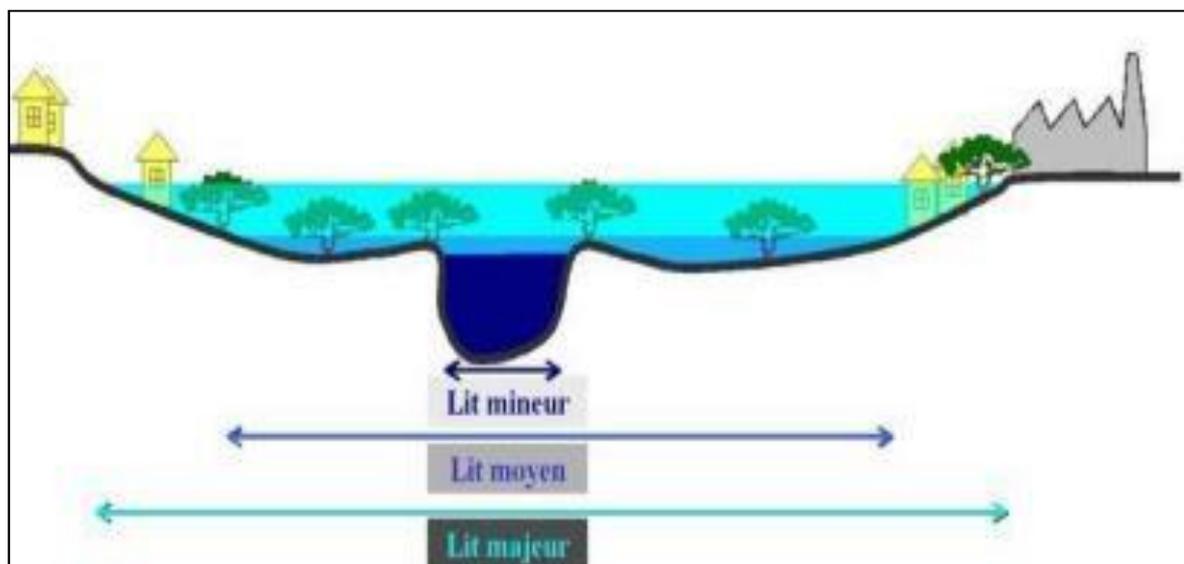


Fig. N° I.3 : Représentation schématique des lits mineur, moyen et majeur en plaine alluviale. (Hostach, 2006)

I.2 PARAMETRES FONDAMENTAUX D'UN COURS D'EAU

I.2.1 Lits du cours d'eau

Les cours d'eau se caractérisent en général par l'existence de trois lits : le lit mineur, le lit moyen et le lit majeur (Fig.I.4). Le lit mineur est constamment occupé [sauf exception, comme dans le cas des oueds (Ballais, 1995)]

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

1. **Lit mineur** : qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles).
2. **Lit moyen** : Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la *ripisylve*;
3. **Lit majeur** : comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles. (Merabet, 2008).

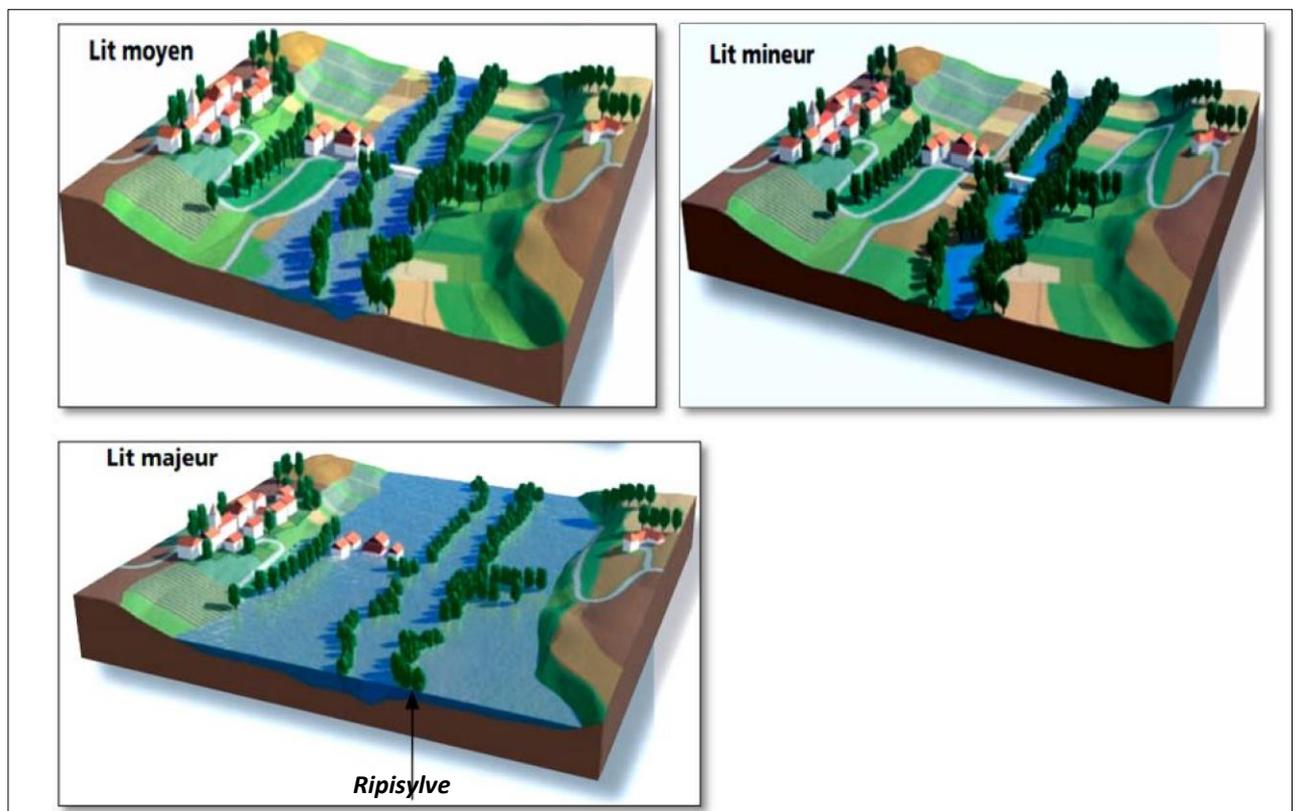


Fig. N° I.4 : Lits d'un cours d'eau. (MEDD, 2004)

I.2.2. Rive, berge

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique. (Merabet, 2008).

I.2.3. Ripisylve

C'est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être limitée à un cordon arboré étroit qui souligne le bord du lit mineur de la rivière ou bien elle est une véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. Cette forêt occupe tout ou partie du lit majeur. C'est un milieu inféodé à la rivière, particulièrement riche en termes de diversité floristique. Il comporte des strates herbacées souvent très diversifiées et des strates arbustives et arborescentes composées d'un nombre restreint d'espèces. (Degoutte, 2012).

Le rôle de la *Ripisylve* sur les crues peut être important ; lorsqu'elle occupe une part significative du lit majeur, elle augmente notablement la rugosité du lit, d'où deux conséquences de nature hydraulique :

- Une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc une réduction des effets érosifs du courant ;
- Un écrêtement des crues pour l'aval. (Merabet, 2008).

I.2.4. Alluvions et substratum

Une rivière coule généralement sur ses alluvions. Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Les alluvions recouvrent le substratum rocheux formé d'une roche dure ou bien d'une roche plus ou moins tendre (schistes, grés, marnes...). (Degoutte, 2012).

I.3 GENESE DES CRUES ET INONDATIONS

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Au sens large, les inondations comprennent les débordements d'un cours d'eau, les remontées de nappes, les ruissellements résultant de fortes pluies d'orages, les inondations par rupture

d'ouvrages de protection, les inondations estuariennes résultant de la conjonction de fortes marées, de situations dépressionnaires et de la crue des fleuves.

Pour les inondations au sens de débordements de cours d'eau en plaine alluvion, la cause majeure est la chute de précipitations importantes sur le bassin versant. De façon schématique, au cours de fortes précipitations, une partie de l'eau s'infiltré dans le sol, le reste ruisselle sur les versants et est ainsi acheminé vers les cours d'eau. Lorsqu'une quantité d'eau très importante parvient au cours d'eau celui-ci déborde de son lit « habituel » (ou lit mineur) et donne ainsi naissance au phénomène de crue et d'inondation.

I.3.1 Genèse du ruissellement

D'après Merabet (2008), le ruissellement apparaît lorsque les eaux de pluie ne peuvent pas ou plus s'infiltrer dans le sol. Ce refus d'absorber les eaux apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (ruissellement « hortonien »), soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée (ruissellement par saturation). Une combinaison des deux phénomènes est possible. L'eau qui ruisselle va alors alimenter directement le thalweg en aval. Dès le début d'une averse, les sols peuvent s'humidifier par rétention d'une partie de la pluie qu'ils reçoivent. Lorsque le sol refuse l'infiltration, lors d'une averse, il y a stockage de l'eau dans les dépressions de surface du sol, se traduisant par la formation de flaques avant la génération du ruissellement.

I.3.2 Genèse des crues

Sous les termes de crues et d'inondations se cache un phénomène multiforme. Les crues, terme plutôt hydrologique, désigne le dépassement d'un certain débit ou d'une certaine hauteur par un cours d'eau. Cette hauteur d'eau peut être qualifiée en fonction de sa durée de retour : crue décennale pour une hauteur d'eau ou un débit qui a une chance sur dix de se produire chaque année. Le terme inondation est d'acceptation plutôt topographique ou géomorphologique. Il désigne le débordement d'un cours d'eau de son lit mineur, mais aussi le remplissage d'une cuvette topographique par les eaux de ruissellement local. Ce type d'inondations pluviales se distingue par la vitesse de l'eau, le volume d'eau écoulé et la hauteur d'eau. Ces paramètres sont essentiels pour comprendre les dommages et instaurer des politiques de prévention efficaces. (Yahiaoui, 2012)

I.3.3 Causes de formation des crues et des inondations

Il est important de connaître les manières de formation des crues et des inondations ; un même territoire peut être inondé dans des proportions identiques par des crues différentes, leur hydrogramme respectif traduisant des modalités de déroulement différentes.

1) Abondance des précipitations : C'est le principal facteur explicatif des crues et des inondations. On peut distinguer plusieurs types :

□ Les averses brutales de type orageux où les orages porteurs de précipitations ont des lames d'eau de 200 à 300 mm en quelques heures. On peut citer comme exemples l'intensité pluviométrique de 10 mm/min ^[1] en Espagne.

[1] Un des plus forts débits spécifiques de crues listés en Europe et qui atteint par le Rio Segura (Province de Murcie, Espagne) le 14 octobre 1979.

Si l'on observe qu'une intensité de 01 mm/min représente un débit d'eau météorique de $16,6\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, il n'est pas surprenant que certains petits bassins versants puissent fournir des débits spécifiques record, parfois supérieurs à $30\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ pendant quelque temps, avec les conséquences catastrophiques que l'on suppose !

□ Les averses durables qui sont moins brutales car elles comportent en fait des séries d'averses successives entrecoupées de périodes de tranquillité, mais elles sont tout aussi dévastatrices. L'exemple de la crue la plus représentative est celui de la Saintes en 1994 qui fut inondée plusieurs semaines.

□ Les pluies de type orographique et cyclonique ; à titre d'exemple une pluie de 1136 mm en 24 heures au Philippines ^[1].

En règle générale, la puissance de la crue et les dégâts qu'elle occasionne sont d'autant plus forts que les précipitations sur le bassin versant ont été fortes, intenses et durables, que les quotients d'écoulement sont plus élevés et que la morphologie et la nature des matériaux se prêtent à l'érosion. (Salomon, 1997)

a) Fusion brutale des neiges

Elle est fréquente en Europe à la fin du printemps et au début de l'été. En effet, en fin d'hiver l'arrivée de front chaud (avec vent et pluie) va fusionner rapidement la neige qui couvre les bassins versants montagneux (Alpes, Pyrénées en France par exemple) ce qui provoque de grandes crues particulièrement importantes sur un sol parfois gelé et sans végétation. Mais le plus souvent l'alimentation d'origine neigeuse se combine à celle des averses. (Salomon ,1997)

b) Débâcles des glaces fluviales

Celle-ci intervient à la suite de la rupture de barrages naturels de glace que ce soit en haute montagne (Alpes) ou dans les pays des hautes latitudes (cas de grands fleuves sibériens ou canadiens). Dans le dernier cas le phénomène est saisonnier ; chaque hiver les températures glaciales gèlent les eaux des fleuves d'abord en surface, puis progressivement en profondeur.

[1] Pluie enregistré par la station de « Baguio » en Juin 1911 aux Philippines.

De grands embâcles se produisent interdisant peu à peu tout écoulement superficiel. Cependant dans les parties amont des cours d'eaux, la prise par les fleuves est moins effective du fait d'une position plus méridionale (donc relativement plus chaudes), si bien que l'eau restée à l'état liquide s'accumule en de grands lacs temporaires. (Salomon ,1997)

c) Accidents

Ex : rupture accidentel de barrage naturel ou artificiel. Parfois cet accident est lui-même lié à un autre phénomène exceptionnel (glissement de terrain, lié à des précipitations importantes, volcanisme, séisme...). (Merabet ,2008)

I.4 FACTEURS AGGRAVANTS LE PHENOMENE D'INONDATION

- **Sur les bassins versants et dans les zones de stockage** : déboisement, modification des écoulements agricoles, suppression des haies, imperméabilisation des sols (routes, parkings...) : tout ce qui empêche le laminage de la crue ou la pénétration des eaux dans le sol.

- **Dans les zones d'écoulement** : constructions, obstacles à la circulation des eaux... : tout ce qui contrarie l'écoulement

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

I.5 TYPOLOGIE DES CRUES ET D'INONDATIONS**I.5.1 Crues**

Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe (ou débit maximum) et son volume (Klemes, 1975). Les crues peuvent être classées en trois grands types en fonction de leur importance et l'intervalle de récurrence :

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

I.5.2 Inondations

En fonction de l'événement créateur de la catastrophe, On peut distinguer plusieurs types d'inondation : inondations de plaine, par remontée de nappe, par crues torrentielles, par ruissellement en secteur urbain ou rural, inondation par rupture d'une digue et inondations marines.-

Dans les quatre premiers cas, le phénomène générateur est la pluie et l'inondation engagera à partir des fleuves et des rivières ; la classification consiste donc à distinguer les inondations provoquées par des crues à cinématique lente (inondations de plaine, remontée de nappe) de celles générées par des crues à cinématique rapide (crues torrentielles, ruissellement). Tandis que dans les deux derniers cas ; le premier c'est les circonstances locales qui jouent pour faire d'une inondation un événement particulier et le deuxième c'est l'action de la mer qui est le facteur principal déterminant la survenance des désordres. (Ledoux, 2006).

Le risque d'inondation peut donc être défini comme étant un phénomène naturel lié aux caractéristiques géomorphologiques et météorologiques d'un bassin versant qui se manifeste par une submersion, rapide ou lente, d'une zone pouvant être habitée; et qui occasionne des dommages de tout genre.

I.5.2.1 Montée lente des eaux en région de plaine

Les inondations de plaine se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. Après une ou plusieurs années pluvieuses, il arrive

que la nappe affleure et qu'une inondation spontanée se produise : il s'agit d'inondation par remontée de nappe phréatique. Ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés (Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004). Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines (Fig. I.5).

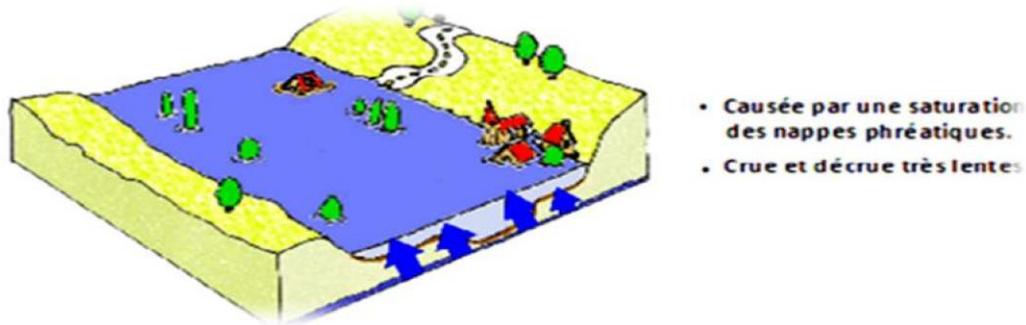


Fig. N° I.5 : Les inondations de plaine par la montée de la nappe (MEDD, 2004).

plusieurs semaines (Fig. I.5).

I.5.2.2 Formation rapide de crues torrentielles

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

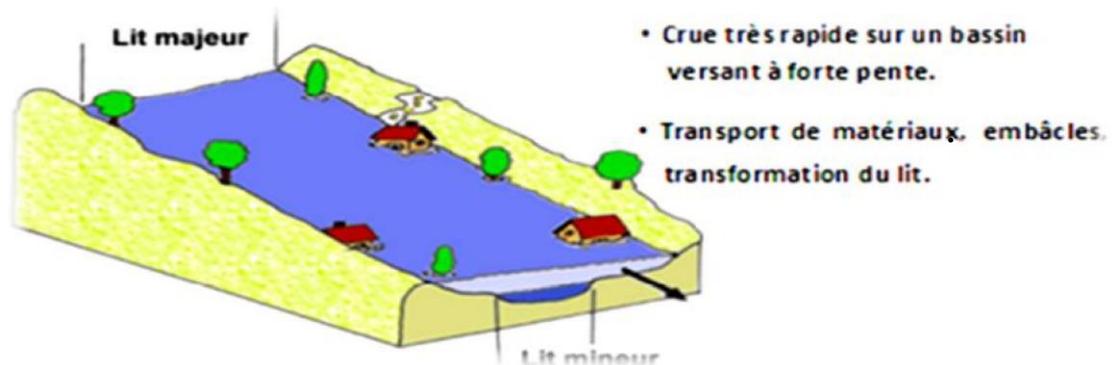


Fig. N° I.6 : Les inondations par crues torrentielles (MEDD, 2004).

I.5.2.3 Par stagnation d'eaux pluviales

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

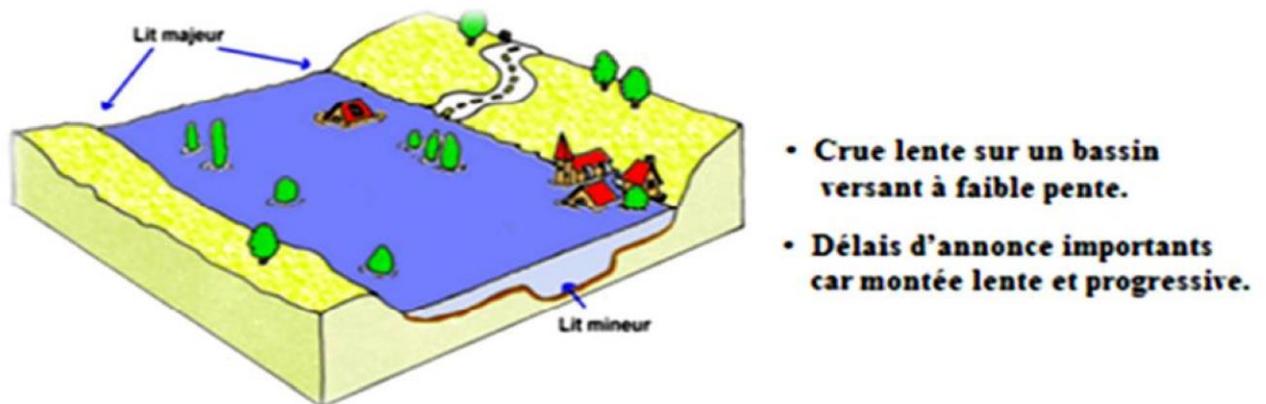


Fig. N° I.7 : Les inondations par stagnation des eaux pluviales (MEDD, 2004).

I.5.2.4 Le ruissellement pluvial en secteur urbain

Le ruissellement est la circulation de l'eau qui se produit sur les versants en dehors du réseau hydrographique lors d'un événement pluvieux. Sa concentration provoque une montée rapide des débits des cours d'eau, pouvant être amplifiée par la contribution des nappes souterraines (MEDD, 2004 et DGPC, 2007) (Fig.I.8)



Fig. N° I.8 : Inondations par ruissellement pluvial en secteur urbain (MEDD, 2004).

Il existe différents types de ruissellement :

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

imperméables, le tapis végétal plus faible, la pente plus forte et les précipitations plus violentes. L'intervention humaine est parfois source d'aggravation de ce phénomène.

L'imperméabilisation du sol par les aménagements (bâtiments, voiries, parkings, etc.) et par les pratiques culturales limite l'infiltration des précipitations et accentue le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides. (Merabet, 2006).

I.5.2.5 Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle

Dans le cas de rivières endiguées, l'inondation survient brutalement soit par débordement au-dessus de la digue, soit par rupture de la digue. Le phénomène peut être très brutal et d'autant plus dommageable que le site est proche de la digue. Le fait d'être derrière un ouvrage de protection dimensionné pour un certain niveau de crue peut donc rehausser le seuil de risque en cas de rupture ou dépassement de ce dernier. Des secteurs habituellement hors de l'eau peuvent se trouver brutalement inondés. Lorsque la crue est suffisamment importante, elle remplit puis fait déborder la retenue. L'ouvrage n'atténue donc plus les débits. Le cours d'eau inonde alors sa plaine alluviale comme s'il n'y avait pas d'aménagement. Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles (SPPI, 2004).

Les végétaux, arbres et arbustes, arrachés aux berges puis entraînés par le courant viennent parfois se coincer et boucher les ponts. Il en résulte une inondation aggravée en amont. La rupture de l'embâcle peut provoquer une vague qui augmente le risque d'inondation à l'aval. (cf. Fig.I.9)



Fig. N°I.9 : Inondation par débordement au-dessus de la digue

Les ouvrages munis de piles, trop petits pour laisser passer les embâcles (la hauteur libre ou tirant d'air sous le pont étant insuffisant) sont les plus vulnérables à ce phénomène. Le risque de contournement, voire de submersion de l'ouvrage est augmenté par la présence de ces bouchons ce qui peut entraîner de gros dégâts voire la ruine complète du pont et/ou de ses remblais d'accès, les remblais routiers n'étant pas conçus pour retenir l'eau ni protégés contre l'érosion du courant.

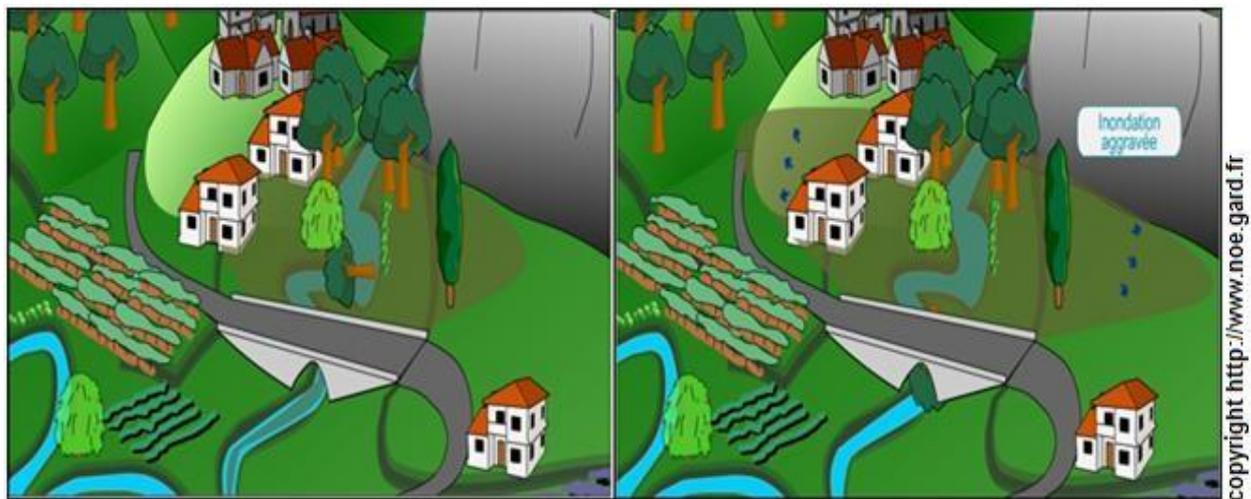


Fig N°.I.10 : Inondation aggravée à cause des embâcles

I.5.2.6 Inondations marines

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (fortes dépressions et vents de mer) et forts coefficients de marée. Elles se traduisent par l'invasion par des eaux salées particulièrement agressives. Elles se manifestent soit lors d'un raz de marée ou de tsunami (occurrence très faible, mais phénomène dévastateur), soit lors d'une tempête (surcote marine, vents et précipitations importants) ou en cas de rupture des défenses contre la mer (dans ce cas, les risques se concentrent le long du boulevard de littoral dans les secteurs dépressionnaires). (SPPPI, 2004).

I.6 AMPLEUR DES INONDATIONS

I.6.1 Les inondations à l'échelle mondiale

Au cours des deux dernières décennies, les inondations ont constitué les catastrophes les plus récurrentes (fig I.11). A l'échelle mondiale, elles représentent 34% des catastrophes naturelles enregistrées entre 1990 et 2007. (CRED, 2007)

L'inondation peut être un risque majeur aux conséquences humaines et matérielles extrêmement préjudiciables. Selon l'étude annuelle du Centre de Recherche sur

l'Epidémiologie des Désastres (CRED, 2007), le nombre de personnes touchées par les catastrophes s'est considérablement accru, atteignant près de 200 millions en 2007 contre 135 millions en 2006. Sur ce total, la grande majorité (164 millions) ont été victimes d'inondations.

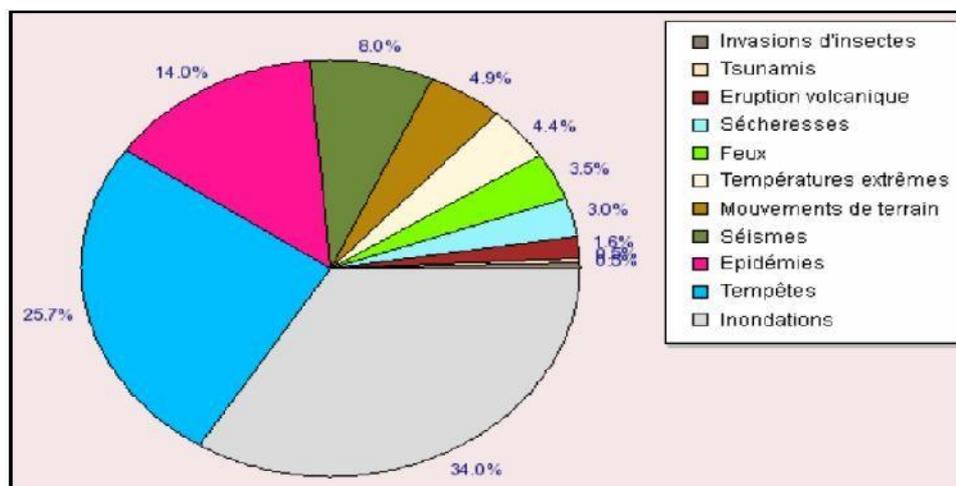


Fig. N° I.11 Type de catastrophes naturelles survenues dans le monde de 1990 à 2007
Source : CRED, 2007

Selon le Dartmouth Flood Observatory (DFO, 2007), le bilan de l'année 1996 fait état de 6210 décès, 12,8 millions de personnes évacuées, 4,7 millions d'hectares submergés et 12,2 milliards de dollars américains de dommages. Selon la même source, le bilan de l'année 2007 est beaucoup plus lourd : 12429 décès, 35,6 millions de personnes déplacées et 22 milliards de dollars de dommages. Ces chiffres montrent bien que les dommages occasionnés par les catastrophes naturelles, les inondations en particulier, deviennent de plus en plus importants aussi bien sur le plan humain que matériel.

L'inventaire global des événements de crues extrêmes qui se sont produites au cours de ces deux dernières décennies (1985-2007) indique que les cyclones tropicaux engendrent les inondations les plus dévastatrices et les plus violentes (DFO, 2007). En 2005, l'ouragan Katrina a causé la mort de 1053 personnes et des dommages évalués à 60 milliards de dollars dans la Nouvelle Orléans (USA) qui a été à 80 % inondée. En 2006, le typhon Bilis est la cause des dégâts considérables en Chine et, à un degré moindre, aux Philippines (629 décès, 2.45 millions de personnes déplacés et 3.328 milliards de dollars de dommages).

Les inondations brutales peuvent causer des dégâts considérables et des dommages environnementaux, parfois très difficiles à évaluer. Souvent, les catastrophes causées par l'eau font régresser le processus de développement pendant des dizaines d'années. En moyenne, pendant les années 90, les pertes économiques imputables à des phénomènes météorologiques extrêmes qui ont provoqué des catastrophes liées à l'eau ont été six fois supérieures à celles

des années 60. Les pays en voie de développement sont touchés de façon disproportionnée, leurs pertes par unité du Produit Intérieur Brut (PIB) étant environ cinq fois plus importantes que celles des pays riches et 13 fois plus de victimes. Ces pertes sont parfois supérieures à une ou plusieurs années de développement économique durement gagné et désespérément nécessaire. Au Mozambique, par exemple, les inondations récentes survenues entre le 3 Janvier et le 10 Mars 2007 ont entraîné un recul de 23 % du PIB alors qu'au Honduras, les dommages occasionnés par l'ouragan Mitch de Novembre 1998 représentaient plus de 69% du PIB et près de 73% de la dette extérieure; la plupart des infrastructures (ponts et routes) étant sévèrement affectées et nécessitant plusieurs années pour être remplacées.(CRED, 2002, Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes des Nations Unies-UN/SIPC, 2005 et UN/ISDR, 2001).

Bien qu'aucune procédure standard n'existe pour évaluer les impacts économiques dont les estimations sont d'ailleurs entachées d'incertitudes, plusieurs institutions ont développé des méthodologies pour identifier puis quantifier ces pertes (CRED, 2008). En France, par exemple, la Mission d'Inspection Spécialisée de l'Environnement (MISE), a établi en 1999 une échelle de gravité des dommages liés aux risques naturels (tableau 1). Cette échelle, reprise par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD, 2003) consiste à hiérarchiser les événements naturels en six classes depuis l'incident jusqu'à la catastrophe majeure.

Tableau I.2- Echelle de gravité des dommages liés aux risques naturels

Classe	Définition	Dommages	
		humains	Matériels
1	Incident	Aucun blessé	Moins de 0,3 million d'euros
2	Accident	1 ou plusieurs blessés	Entre 0,3 et 3 millions d'euros
3	Accident grave	1 à 9 morts	Entre 3 et 30 millions d'euros
4	Accident très grave	10 à 99 morts	Entre 30 et 300 millions d'euros
5	Catastrophe	100 à 999 morts	Entre 300 millions d'euros et 3 milliards d'euros
6	Catastrophe majeure	≥ 1000 morts	3 milliards d'euros ou plus

Source : MISE in MEDD, 2003

La classe retenue de l'événement est celle qui correspond à l'impact humain ou matériel le plus élevé (ex : 3 morts et 50 millions d'euros correspondent à un événement de classe 3 ; 120 morts et 50 millions d'euros correspondent à un événement de classe 4). Les dommages matériels

sont les dommages qui peuvent être couverts par une garantie d'assurance (catastrophe naturelle), mais aussi les dommages aux biens publics, aux infrastructures, aux réseaux, à l'environnement qui font rarement l'objet de tels contrats.

Dans les zones inondables, l'échelle de gravité des dommages, allant de pair avec les données hydrométriques, peut être utilisée dans les analyses 'Coût-Avantage' ou 'CoûtBénéfice'. Ces analyses, qui sont généralement un préalable à l'évaluation du consentement à payer, permettent de chiffrer le coût d'un ouvrage de protection (calibré pour un aléa d'une intensité donnée) et les bénéfices qu'il induit (indemnisation moindre car les dégâts sont moindres). Elles permettent de trouver le juste calibrage des ouvrages de protection comparativement aux bénéfices escomptés. Autrement dit, la confrontation des dommages aux données hydrométriques relatives aux crues de différentes fréquences (hauteur de submersion) permet d'établir la relation 'Dommages-Probabilités', relation fortement utile dans les calculs économiques liés aux risques d'inondations. Le coût espéré des dommages peut être inclus en tant qu'annuité dans l'évaluation des coûts du projet hydrotechnique.

I.6.2 Processus hydrologiques de genèse des crues

Le volume d'une crue peut être décomposé en trois principales parties :
Le ruissellement de surface, l'écoulement hypodermique et l'écoulement de base. L'importance de chacune de ces grandeurs dépend du milieu étudié, des conditions initiales de l'écoulement, et des caractéristiques de l'événement pluvieux (distribution spatiotemporelle, intensité et volume).

Durant ces dernières décennies, le domaine hydrologique a progressé, ainsi plusieurs études ont été menées se consacrant à l'identification des processus hydrologiques au niveau des bassins versants. De nombreuses expérimentations ont été réalisées sur une grande variété de bassins. Parmi les outils importants qui ont favorisé cette évolution et qui ont aidé dans le processus d'identification des facteurs principaux contrôlant la réponse hydrologique à l'exutoire d'un bassin versant nous citons l'instrumentation des bassins et leur échantillonnage en plusieurs stations associés à des traceurs géochimique et/ou isotopiques. Au niveau de la littérature, plusieurs travaux retracent la logique de progression et de compréhension des processus hydrologiques et des outils qui ont permis l'identification de ces processus. Dans cette partie sera abordée les grands axes de cette évolution. Le premier pas et la première théorie importante concernant ce sujet est apparu au début du siècle dernier avec les travaux (Horton, 1933). Cette théorie est basée sur le concept de capacité d'infiltration des sols et la notion de dépassement de capacité. La logique du concept est simple, tant que la capacité

maximale d'infiltration du sol concernant le bassin en question n'est pas dépassée, la totalité de l'eau de pluie se trouve dans le sol par infiltration, et dès que les intensités pluviométriques dépassent ce seuil maximal, le surplus d'apport d'eau se trouve en surface et présente un volume d'eau ruisselée, c'est ce ruissellement qui va former l'écoulement rapide de crue, quand à l'eau infiltrée elle se trouve dans les couches inférieures du sol et contribue très lentement à la recharge des nappes et au soutien du débit de base. Ce processus est conditionné par les états de surface du sol qui décident de la fraction d'eau de pluie qui peut être infiltré ou pas. Vers les débuts des années 60 est commencé à mettre en cause cette théorie suite à des observations directes sur le terrain, et qui ont montré sous certaines conditions et restrictions, que l'écoulement souterrain pouvait participer directement ou indirectement à la formation des crues.

Plusieurs autres mécanismes ont été proposés par la suite pour expliquer la formation des écoulements dans un bassin versant.

Selon (Dunne ,1978), l'écoulement de surface se produit quand l'eau de la nouvelle pluie tombe sur des zones saturées. Le mélange entre la nouvelle eau et l'eau ancienne forme l'écoulement sur des surfaces saturées. Une fois l'apport de l'écoulement de subsurface dépasse la capacité du sol à transmettre un flux d'eau transversal, le processus d'exfiltration de l'eau souterraine s'active et l'eau sub-surfacique se trouve émergée à la surface du sol, la logique de ce concept est illustrée dans la figure I.12.

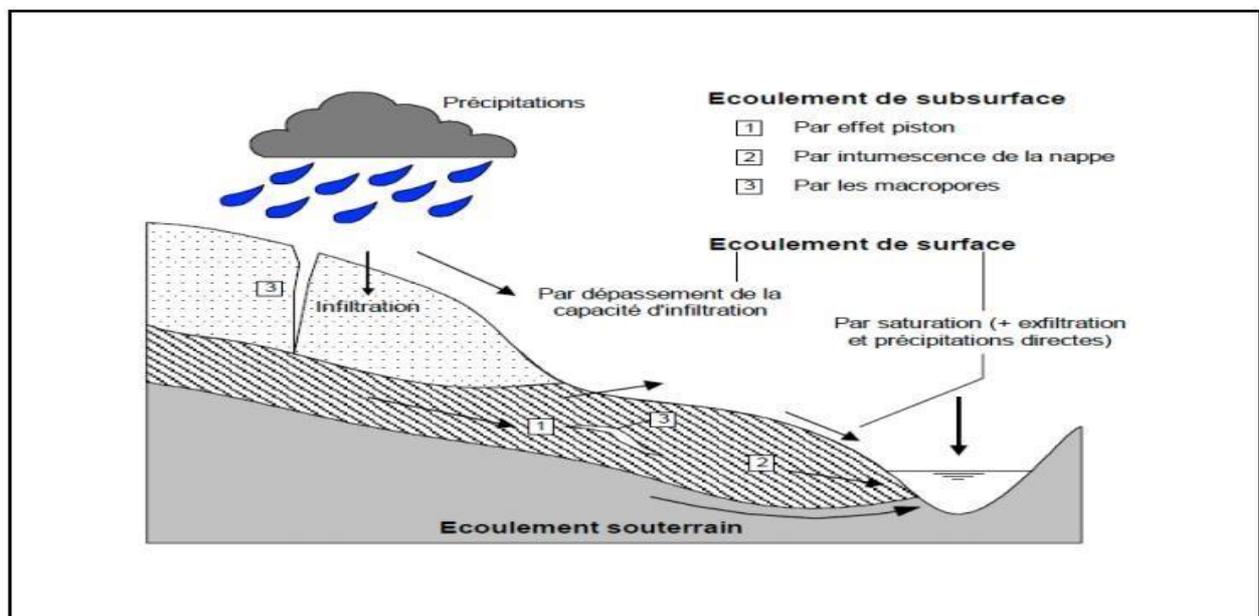


Fig. N° I.12 : Schématisation de processus de genèse des crues

I.6.3 Facteurs de contrôle des processus de genèse des crues

Le débit mesuré à l'exutoire d'un bassin versant est le résultat d'une succession de processus simultanés avec la prise en compte de la variabilité spatio-temporelle. L'activation des processus hydrologiques qui régissent le phénomène d'écoulement dépend en grande partie des propriétés physiques du bassin, des paramètres météorologiques, de l'occupation des sols et des conditions hydriques initiales

A. Topographie et pédologie

Des travaux récents : Western et al (1999), Chaplot et Walter (2003) ont montré que la topographie et parfois la géologie des couches profonde du sol jouent un rôle important dans le contrôle des processus hydrologiques au niveau des bassins versants et que la topographie est un facteur déterminant qui entre directement dans le comportement du système hydrique du sol. Ces études ont été d'une grande utilité dans le domaine d'hydrologie vu que les informations sur la topographie du bassin et la connaissance géomorphologique des sols sont indispensables à la compréhension des écoulements et par la suite à une modélisation plus réaliste.

B. Occupation du sol

Quant à l'occupation du sol, elle a une influence directe sur le processus hydrologique. Dans les zones urbanisées ayant des sols imperméables ou en zones de cultures avec des sols tassés, les écoulements se concentrent en surface. Par contre, pour les zones forestières, d'où la porosité du sol est beaucoup plus importante, il y a une prépondérance de l'écoulement de subsurface par rapport aux autres types d'écoulements. Le fait que les zones forestières jouent un rôle important dans les processus de contrôle du cycle de l'eau devient un point d'accord de la communauté des hydrologues. Un article publié dans une revue bibliographique exhaustive (Humbert et Najjar, 1992) démontre amplement la diversité des sujets de recherches dans le domaine, que ce soit au niveau de l'influence de la forêt sur le cycle de l'eau ou sur le fonctionnement et la contribution des arbres dans le conditionnement des données climatiques de la zone.

C. Conditions météorologiques

Les facteurs météorologiques jouent aussi un rôle dans le phénomène de génération des crues. L'intensité et le volume des précipitations influencent fortement la réponse hydrologique. Le rayonnement solaire ainsi que la température du bassin nous aide à avoir une bonne estimation du phénomène de l'évapotranspiration

D. Variabilité spatiale des paramètres

(Flugel ,1997) a affirmé que la variabilité spatiale est un facteur important dans le processus d'infiltration et de l'écoulement de surface. Ambroise (1999) a souligné qu'il faut considérer le bassin en question comme une entité spatialement organisée pour bien tenir compte de l'effet de variabilité. Un peu plus tard, (Western, 2004) a montré que les paramètres régissant le phénomène d'écoulement peuvent avoir une variabilité spatiale et temporelle avec l'état hydrique du bassin versant. Il convient de signaler que les facteurs étudiés lors de cette synthèse bibliographique à savoir les facteurs topographiques, morphologiques, pédologiques et des caractéristiques d'occupation du sol et de la végétation avec la prise en compte de leurs variabilités spatio-temporelle sont étroitement liés. Ces facteurs constituent une trame d'entrée pour tout modèle hydrologique, ils constituent des paramètres d'entrée importants pour la modélisation des bassins Versants.

CONCLUSION

L'inondation est un risque prévisible dans son intensité, mais il est difficile de connaître le moment où elle se manifestera. Les paramètres concourant à la formation des crues sont nombreux, cependant l'un d'eux est déterminant : la pluie. 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 capacité à gérer l'impact de l'inondation varie également d'un pays, d'une région, d'une communauté et d'un groupe de population à l'autre.

Dans tous les cas il est primordial de s'intéresser aux procédés de protection contre les inondations.

Chapitre II

Procèdes de protection des

Agglomérations contre les

Inondations

II INTRODUCTION

Le présent chapitre traite l'aspect présentatif des inondations de crues. Son but est de mettre en évidence les préoccupations essentielles à examiner et à prendre en compte dans le domaine de la lutte et de la protection contre les crues.

II.1. L'HOMME ET LES INONDATIONS

Depuis l'aube de l'humanité, les inondations ont eu un caractère spécial. Cependant grâce à sa technique, l'homme est parvenu à infléchir sinon contrôler le cours naturel des rivières, selon leur importance et leur localisation géographique. Les crues et les inondations peuvent provoquer des dégâts et même d'effroyables désastres, ceux-ci se manifestent surtout

Par :

□ La destruction d'ouvrages d'arts (barrages, ponts), de voies de communication (routes et chemin de fer), de construction (bâtiments collectifs, usines, ou maisons individuelles) ou de récolte etc...

Les inondations de 1995 en Europe occidentale ont vu l'évacuation de 300 000 personnes aux Pays Bas, en France 250 000 foyers furent privés d'eau et 400 entreprises et commerces sinistrés une crue semblable à celle de 1910 provoquerait près de 60 milliards de Francs de dommage (Rizzoli, 1988), pour la Loire des dommages pourraient s'élever à plus de 10 milliards de Francs pour une crue similaire à celle de 1856 (Jacq, 1987).

Mais les pires désastres ont certainement été ceux provoqués par les crues du Hoang HO (Fleuve Jaune) car la surélévation fréquente au-dessus de la plaine entraîne d'immenses défluviations au cours desquelles les eaux emportaient tout sur leur passage, les victimes se comptèrent alors par centaines de milliers

Les inondations du Pakistan en Aout 2010 dont le nombre de sinistrés a atteint le 15,4 millions de personnes, ont causes 894 000 maisons endommagées et un étendue des zones affectées de 160 000 kilomètres carrés ce qui représente un territoire aussi grand que la Suisse, la Belgique et l'Autriche réunis.

Les statistiques ont montré que les dommages dus aux crues sont d'autant plus graves qu'ils sont moins fréquents, car l'homme à la mémoire courte, ou obéit à des considérations économiques à court terme qui l'amènent à négliger le phénomène ou à admettre ses inconvénients. (Salomon, 1997).

II.2. PROCEDES DE PROTECTION DES AGGLOMERATIONS CONTRE LES INONDATIONS

II.2.1 Espaces urbains

Parfois, les interventions de l'homme peuvent aggraver les dommages causés par une inondation. Cependant, l'aménagement des cours d'eau a tendance à rendre la rivière uniforme : tracé rectiligne, profil large et peu profond...

Pour lutter contre les préjudices causés par les inondations, des opérations sont proposées pour faciliter l'évacuation des eaux, elles visent à limiter la submersion :

✓ L'entretien des cours d'eau

Les atteintes causées par les inondations confirment l'intérêt d'un entretien régulier, où les embâcles risquent de se former en cas de crue au niveau des ouvrages de franchissement (telles les ponts), aggravant l'inondation des terres riveraines et détériorant les ouvrages (pont, voies ferrées...).

L'entretien des cours d'eau englobe l'enlèvement de la végétation présente dans le lit mineur et surtout l'enlèvement des embâcles.



Fig. N°II.1 : Le jet des déchets dans les cours d'eau aboutit à des inondations liées aux Embâcles (oued boukhadra -Tébessa -mais 2019)

Chapitre II Procèdes de protection des Agglomérations contre les Inondations

✓ Limiter l'érosion

Limiter l'érosion permet d'éviter des modifications très importantes de la rivière après une crue et la création d'embâcles qui occasionnent de nombreux dégâts et favorisant l'apparition de "vagues".

Plusieurs techniques sont utilisées :

✓ Les enrochements

Ils sont posés ou fixés le long des berges particulièrement soumises à l'érosion. Cette méthode est couramment utilisée dans les zones urbanisées et offre un bon niveau de protection.



Fig. N° II.2 : Enrochement à (boukhadra - Tébessa). (algerie ,2019)

✓ Les techniques végétales

Il s'agit de planter de la végétation pour stabiliser les berges. En comparaison avec les techniques habituelles de l'ingénierie civile, on peut accorder aux techniques végétales un certain nombre d'avantages :

- Régulation du cycle hydrologique (favorisation de l'infiltration et écrêtement des pointes des crues).
- Excellente intégration paysagère des ouvrages de stabilisation dans le milieu.
- Absence de perturbation dans les échanges entre le lit mineur et la nappe phréatique, à plus grande échelle entre le cours d'eau et ses zones humides et milieux annexes.
- Participation à l'autoépuration du cours d'eau par absorption d'éléments nutritifs ou polluants et filtration d'apports sédimentaires. Ce filtre se réalise essentiellement par les

Chapitre II Procèdes de protection des Agglomérations contre les Inondations

essences herbacées et buissonnantes, qui par la densité de leurs tiges aériennes, piègent les particules en transport dans les eaux.

- Résistance souple opposée aux contraintes hydrauliques, permettant de mieux dissiper l'énergie. (Duglas ,2004)



Fig. N° II.2.a : techniques végétale. Plantation de la berge

Un épi est un talus en enrochement de faible hauteur, enraciné à la berge et établi transversalement par rapport au cours d'eau. Il constitue un obstacle à l'écoulement de l'eau et provoque différents types de coursant. L'espacement entre les épis dépend de la largeur de la rivière, de leur longueur et de leur nature. Théoriquement, pour qu'un système d'épis soit efficace, il faut que l'écart entre deux épis successifs soit de l'ordre d'une fois et demie (1,5) leur longueur.

II.2.2. Protection des édifices contre les crues

Pour protéger les structures riveraines contre les inondations, il faut recourir à quelques techniques de base :

- ✓ Rehausser les fondations au-dessus du niveau de crue, en utilisant un remblai ou des pieux.
- ✓ Enduire le pourtour de la structure de murs étanches en béton, ou l'entourer d'un talus.

Chapitre II Procèdes de protection des Agglomérations contre les Inondations

- ✓ Placer les transformateurs électriques et téléphoniques ainsi que les systèmes mécaniques au-dessus du niveau de crue.
- ✓ Pour les nouvelles constructions, il faut surélever le bâtiment au-dessus du niveau de la crue centennale en rehaussant les terrains autour.

II.3 AMENAGEMENTS EN VERSANT AVANT LE LIT DU COURS D'EAU

Les aménagements sur les versants ont plusieurs avantages sur le ruissellement de crue est sur l'érosion. Leur implantation en zone rurale se fait en fonction de la topographie en repérant sur la carte topographique, les zones de ruissellement importante et les biefs secs, et étudier la faisabilité des aménagements. En zone urbanisée la réalisation de nombreux espace de stockage de différentes natures dont leur nombre influence relativement le volume l'eau ruisselé.

II.3.1 Changement d'occupation de sol

Le changement de type de culture de certain champs et pairies et le reboisement sont des techniques qui favorisent la stabilité de sol contre l'érosion et ralentir le ruissèlement et par conséquence laminier les crues, l'effet de réduction de ruissellement n'est pas illimité lorsque ils tombent de grands volumes dans des courtes durées. (Besson ,2007).

II.3.2. Banquettes

La technique des banquettes est de doubles objectifs, la lutte contre l'érosion et la réduction de ruissellement en favorisant l'infiltration due à la diminution de pente. Leur effet est considérable dans la défense et la restauration de sol. La banquette mécanique se divisée en quatre zones (fig.II.3)

1. Le fossé large reçoit les eaux de ruissellement de l'impluvium ;
2. Le talus reçoit la pluie et un apport latéral des eaux fossé ;
3. L'impluvium à l'amant du fossé ; zone cultivé entre les bourrelets, qui ne reçoit plus que la pluie moins le ruissellement ;
4. La zone de l'impluvium à l'aval et proche du bourrelet qui pourrait recevoir unappoint d'eau par drainage à travers le bourrelet des grosses averses.

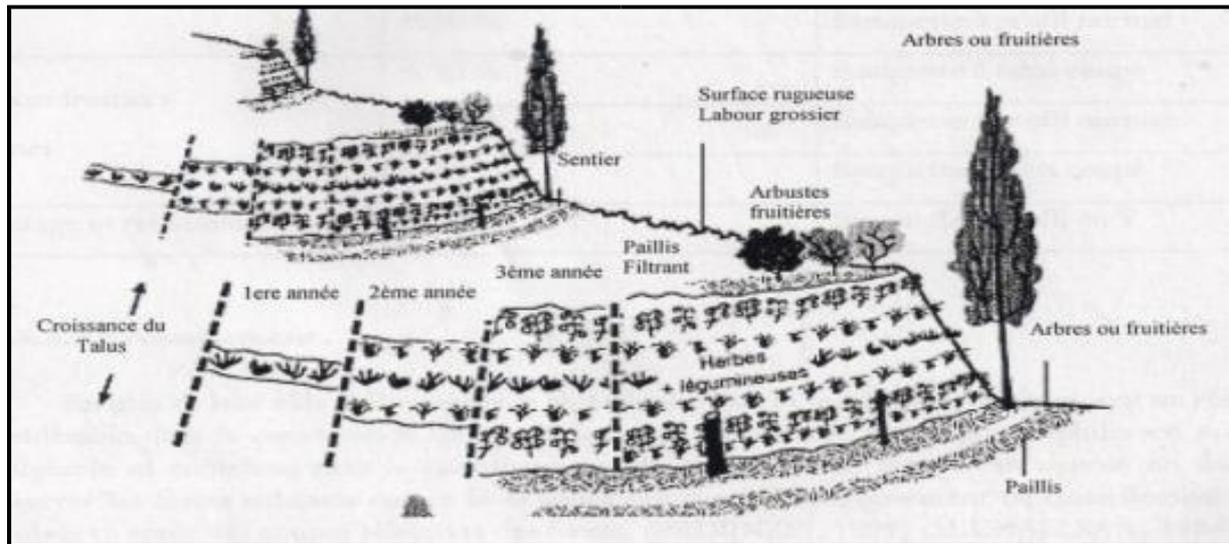


Fig. N° II.3 : Technique de banquettes (Duglas ,2004)

Le type de banquette est adapté en fonction des pentes et le type de cultures (tableau I.1)

Tableau N° II.1 : Banquette en fonction de pente et type de culture.

Culture	Pente du terrain	Type de banquette
Céréales	2 à 3%	Labours horizontaux
	3 à 6%	Culture a bandes
	3 à 5%	Banquette à triple courbure
	5 à 12%	Banquette à double courbure
	12 à 18%	Banquette à simple courbure
	18 à 30%	Banquette à talus coupé en V
	30 à 50%	Banquette à profil en V
Céréales et arbres fruitiers sur bourrelet	< 18%	Banquette à simple courbure
	<30%	Banquette à talus coupé
	<50%	Banquette à profil normal
Arbres fruitières vignes	<30%	Banquette à talus coupé
	<50%	Banquette à profil normal
	<30%	Banquette à talus coupé
Pâturage et reboisement	<80%	Banquette à profil en V

II.3.3.1 Banquettes pour épandage des crues

Ce type de travaux aura le but de limiter l'intensité du ruissellement et par conséquent de l'érosion. Il se réalise en inversant la pente de certaines banquettes à partir du cours d'eau, sur lequel un petit barrage de dérivation (seuil en gabion) est construit. Ce barrage – sorte de barrage de rétention – alimente les banquettes au moyen de canal calibré ou buse. Et de là, il régularise l'écoulement du cours d'eau, et rend les crues plus étendues dans le temps.

II.3.4. Travaux de correction torrentielle sur les lits des Oueds

II.3.5. Aménagement en lit mineur

II.3.5.1 Correction torrentiel

Selon la pente, les rivières se classifient en trois types, dans les rivières torrentielles et les torrents la vitesse d'écoulement est très élevée et provoque le transport des sédiments par la force de l'eau de lave torrentielle, pour diminuer cette vitesse on utilise les travaux de correction torrentiel qui consistent à implanter des digues le long du cours d'eau.

II.3.5.2 Barrage écrêteur

Le barrage écrêteur a pour but l'écrêtement des crues, et parfois à vocation multiple, son principe de fonctionnement est stocker temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau de façon à diminuer le débit de crue en aval selon le schéma de la Fig. N° II.5 (Serre ,2005).

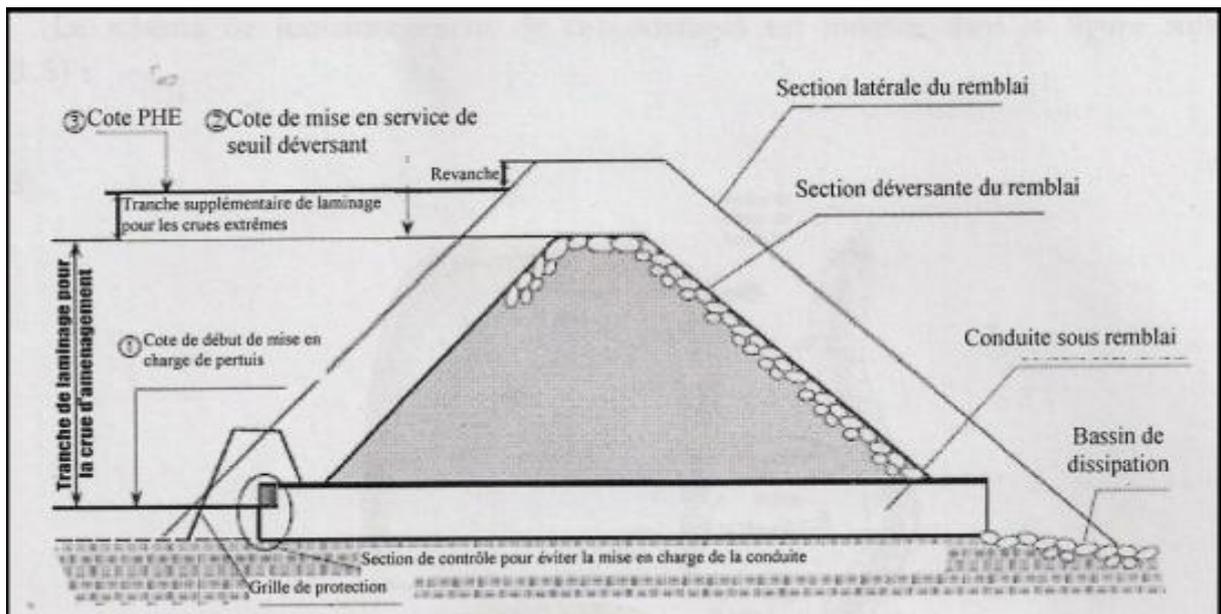


Fig. N° II.5 : Schéma de fonctionnement de barrage écrêteur (Douglas ,2004)

Par un pertuis de fond dimensionné de façon qu'il permet l'écoulement ordinaire et de crues fréquentes et limiter le débit en aval selon les enjeux à protéger contre l'inondation. En cas de crue qui dépasse la capacité de pertuis, le barrage se remplit progressivement et se vide lentement par le pertuis en fin de crue. En cas ou la crue est très forte et le volume d'eau dépasse la capacité de stockage du barrage, le débit excédent s'évacue par le déversoir de sécurité.

Chapitre II Procèdes de protection des Agglomérations contre les Inondations

II.3.5.3 Création des zones d'expansion de crue

Le principe est proche de celui de barrage écrêteur. Il consiste à aménager un rétrécissement d'une section sur le cours d'eau afin d'augmenter la ligne d'eau en amont et si nécessaire de construire des remblais barrant le lit majeur. Le fonctionnement de tel aménagement est plus proche du fonctionnement naturel.

Les champs d'expansion doivent prendre en considération la nature juridique des espaces aménagés afin d'indemniser les propriétaires ou les exproprier. Ce type d'aménagement n'a que peu d'impact sur la vie aquatique de la rivière et sur son fonctionnement. (Duglas, 2004).

Contrairement au fonctionnement naturel des champs d'expansion, ce type d'ouvrage est alimenté par dérivation de cours d'eau par un ouvrage de prise et un chenal d'amené. Les bassins de stockage sont creusés dans le terrain naturel ou par construction de digues. Selon la topographie, ils peuvent être aménagés en plusieurs bassins en cascade qui se remplissent successivement de l'amont vers l'aval par déversement.

Le schéma de fonctionnement de ces ouvrages est montré dans la (fig. II.6) suivante

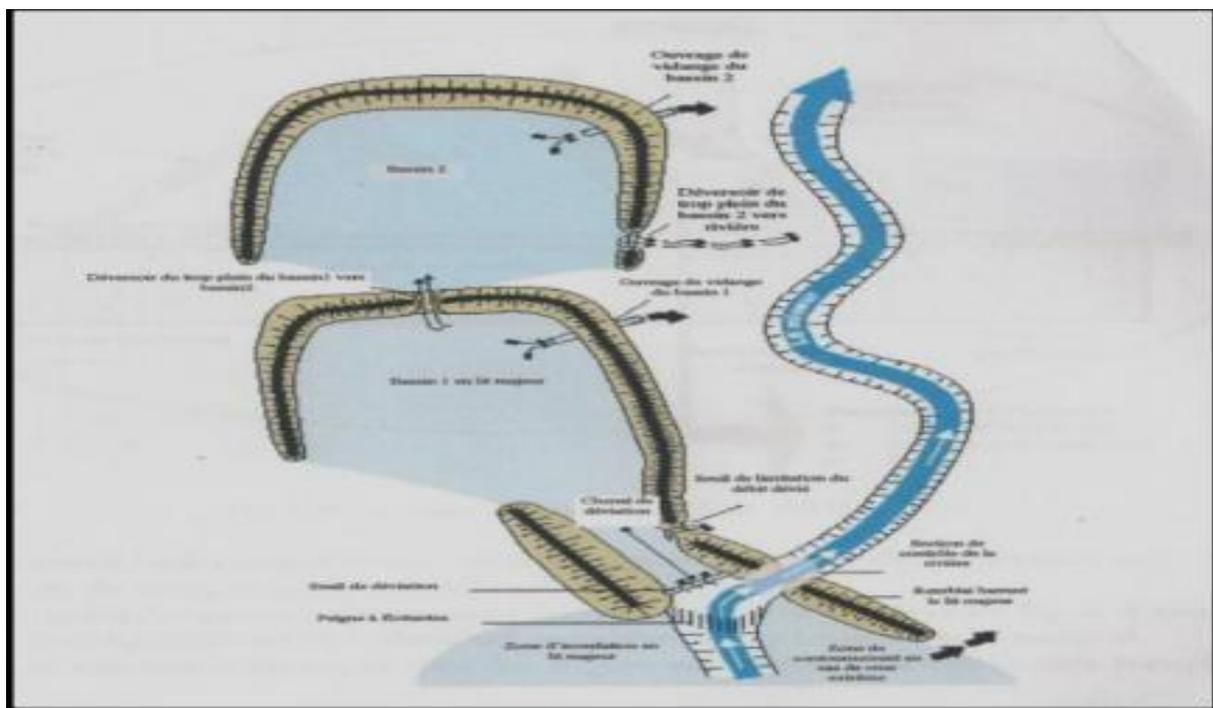


Fig. N° II.6 : Fonctionnement d'ouvrage de stockage en dérivation (Duglas ,2004)



Fig. N° II.7 Canal de dérivation au Sud de la ville de Sidi Bel Abbés (Hallouche, 2007)

L'ouvrage n'entre en jeu que lorsque la crue dépasse une certaine hauteur. En cas de crue exceptionnelle un dispositif de sécurité limite les débits déversés pour protéger les bassins de sur verse.

II.4. DIGUE DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

Les digues de protection contre les inondations sont des ouvrages dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destinés à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables.

Les digues de protection contre les inondations constituent le deuxième grand type de digues. On trouve ces digues essentiellement le long des cours d'eau, parfois positionnées directement en contact avec la berge, ou éloignées de plusieurs mètres, ou plus (quelques centaines de mètres), de celle-ci (Fig. II.5) (Serre, 2005).

Il existe un type particulier de digues de protection contre les inondations : les digues de ceinture. Elles ont la particularité d'entourer, totalement ou partiellement, une zone à enjeux (ville, village, hameau...) en se rattachant à flanc de coteau.

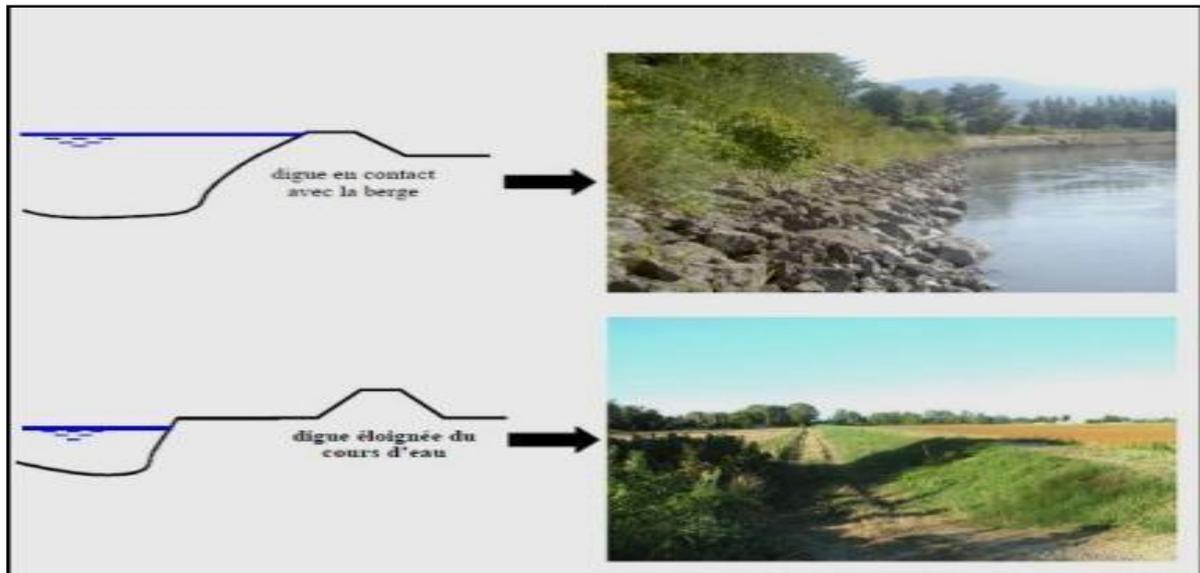


Fig. N° II.8 : Positionnement de la digue par rapport aux cours d'eau (Duglas ,2004)

Il s'agit d'aménagement longitudinal le long des berges qui sert à protéger de l'inondation des zones où sont présents des enjeux importants (habitations, zones commerciales industriels....etc).

Les digues sont des ouvrages dont au moins une partie est construite au dessus du niveau du terrain naturel destinés à contenir le flux d'eau dans les périodes de crue de protéger les zones inondable (Serre, 2005).

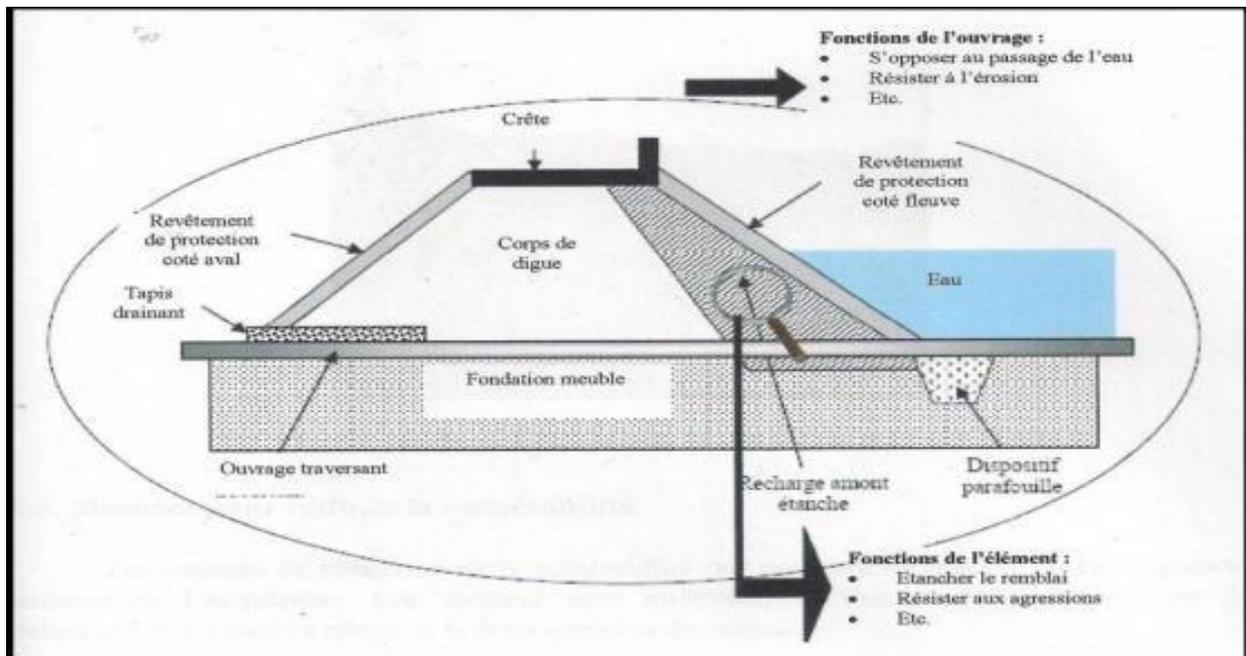


Fig. N°II.9 : Schéma de digue (Serre ,2005)

Le fonctionnement hydraulique d'une vallée endiguée peut être décrit comme suit :

Chapitre II Procèdes de protection des Agglomérations contre les Inondations

- ✓ A la montée de crue, la rivière déborde de son lit ;
- ✓ La digue limite les crues relativement fortes mais elle surélève la ligne d'eau là où la présence des digues conduit à rétrécir sensiblement la largeur de lit naturel ;
- ✓ Dans le cas des fortes crues, le rôle des digues est limité et la vallée sera complètement inondée.

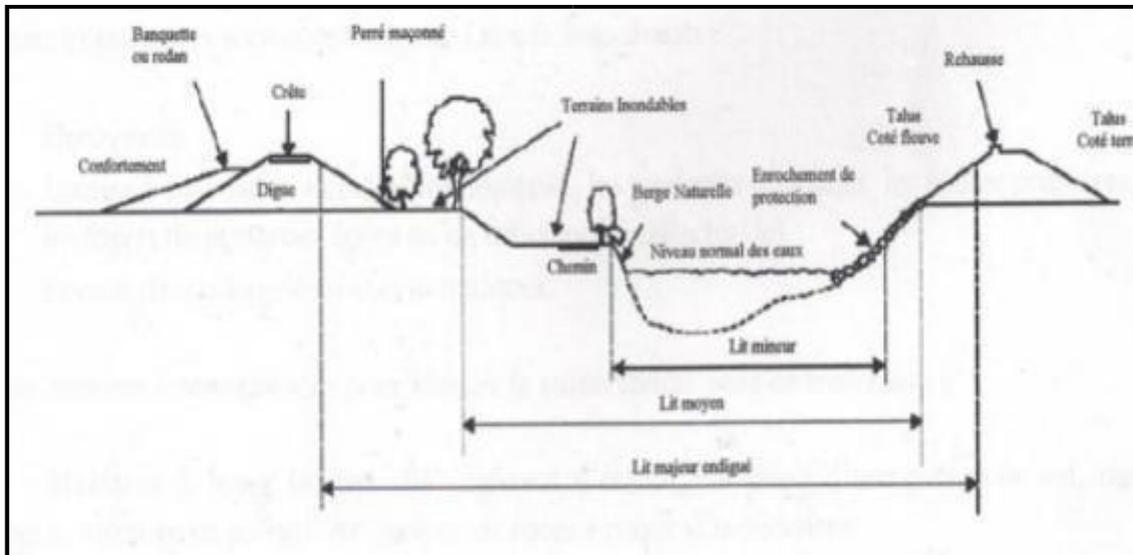


Fig. N°. II.10 : Vallée endiguée (Martiaux, 2001)

II.4.1. Caractéristiques des digues de protection contre les inondations

II.4.1.1 Fonctionnement d'un système endigué

On peut décrire le fonctionnement hydraulique d'une vallée endiguée (Fig. II.10) de la façon suivante :

- ✓ Lors d'une crue, la rivière déborde de son lit mineur et inonde progressivement le lit majeur endigué (Serre ,2005)
- ✓ l'endiguement limite l'emprise de l'inondation pour les crues faibles et moyennes, mais il surélève la ligne d'eau là où la présence des digues conduit à rétrécir sensiblement la largeur du lit naturel (c'est très souvent le cas dans la traversée des villes)
- ✓ l'écrêtement (phénomène qui amortit les débits maximaux par inondation d'espaces en lit majeur) est, de ce fait, limité lors des crues courantes
- ✓ les zones protégées par des digues peuvent, dans certains cas, être inondées par le remous du fleuve à sa jonction avec un affluent, ou par les ruissellements issus de bassins versants latéraux dont les exutoires au fleuve se trouvent saturés, ou encore par remontée de la nappe phréatique
- ✓ on aménage parfois des déversoirs qui permettent :

Chapitre II Procèdes de protection des Agglomérations contre les Inondations

1. De protéger la digue contre le déversement.
 2. L'écêtement de la crue en permettant l'inondation d'une zone à enjeux limités
- ✓ pour les crues extrêmes, l'ensemble de la vallée est inondée, soit à la suite du fonctionnement des déversoirs, soit par des ruptures de digues ; le fleuve ou la rivière recouvrent ainsi l'ensemble de leur lit majeur, comme en l'absence de protections.



Fig. N° . II.11: Digue enroché (Faure ,2004)

II.5 Mesure pour réduire la vulnérabilité

Face à ce constat, il faut agir sur la réduction de la vulnérabilité des enjeux, c'est-à-dire sur la limitation des éventuels dommages : on parle de mitigation. Celle-ci concerne notamment les biens économiques : les constructions (privées et publiques), les bâtiments industriels et commerciaux, ceux nécessaires à la gestion de crise, les réseaux de communication, d'électricité, d'eau, de communication, etc.

La mitigation suppose notamment la formation des divers intervenants (architectes, ingénieurs en génie civil, entrepreneurs etc.) en matière de conception et de prise en compte des phénomènes naturels (climatiques et géologiques), ainsi que la définition de règles de construction. Leur application doit par ailleurs être garantie par un contrôle des ouvrages. Cette action sera d'autant plus efficace quand tous les acteurs concernés, c'est-à-dire également les intermédiaires tels que les assureurs et les maîtres d'œuvre, y seront sensibilisés.

Chapitre II Procèdes de protection des Agglomérations contre les Inondations

Si l'État et les communes ont des responsabilités dans ce domaine, les propriétaires, locataires ou plus simples citoyens, peuvent contribuer à se protéger efficacement et diminuer leur propre vulnérabilité. Pour cela, il est primordial que chacun connaisse au préalable le phénomène auquel il est exposé, en s'informant sur sa description, l'accident possible et les dommages potentiels.

Les mesures de réduction de la vulnérabilité ont pour but de mitiger les conséquences néfastes de l'inondation. Ces mesures sont multiples, ils doivent être précédés par la délimitation des zones à risque et la détermination des enjeux. (Meriaux ,2001)

II.5.1. Délimitation des zones à risque

La délimitation des zones à risque est liée à la capacité hydrologique du bassin versant et la capacité hydraulique à transporter le débit de crue, ainsi que à la distribution des enjeux dans le lit majeur. On distingue généralement plusieurs zones de crues selon les périodes de retour.

II.5.2.Travaux de protection pour réduire l'aléa

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 des digues qui peuvent être submergées ou des barrages égaliseurs sur les grands fleuves, dont l'efficacité est faible en cas de crue majeure. (Cortes ,2006).

II.5.3 Détermination des enjeux

Toutes les personnes ou leurs biens peuvent être classés comme des enjeux. Ils sont définis par leurs importances socioéconomiques. On cite les suivants :

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

Chapitre II Procèdes de protection des Agglomérations contre les Inondations

II.5.4 Réduire la gravité des crues torrentielles

La prévention en matière de crues torrentielles consiste à effectuer des travaux de correction active ou passive pour réduire le transport solide en provenance du lit et du bassin versant. Enfin, l'entretien des cours d'eau (curage régulier, entretien des rives et des ouvrages, etc.) est une nécessité pour éviter l'aggravation des inondations. Cet entretien est à la charge du propriétaire, c'est-à-dire l'État ou les collectivités territoriales et leurs regroupements pour les cours d'eau domaniaux et les propriétaires riverains pour les cours d'eau non domaniaux. Dans certains cas de carence, la commune peut se substituer aux propriétaires privés.

II.5.5. Maitrise de l'urbanisation pour réduire la vulnérabilité

La maîtrise de l'urbanisation doit s'exprimer à travers deux documents : le document d'urbanisme et le plan de prévention des risques. Dans le premier, le code de l'urbanisme exige d'imposer la prise en compte des risques dans les documents d'urbanisme. Ainsi, les plans locaux d'urbanisme (PLU) doivent refuser ou accepter sous certaines conditions un permis de construire, notamment dans des zones inondables. Le refus concerne les biens économiques, les constructions (privées et publiques), les bâtiments industriels et commerciaux, les réseaux de communication, d'électricité, d'eau, etc. qui peuvent être situés dans les zones exposées. C'est pour cela, il est nécessaire d'effectuer une formation des divers intervenants (architectes, ingénieurs en génie civil, entrepreneurs etc.) en matière de conception et de prise en compte des phénomènes naturels climatiques, aussi que la définition de règles de construction. L'application de ces règles doit par ailleurs être garantie par un contrôle des ouvrages.

Tandis que les plans de prévention des risques (PPR), définissent des zones d'interdiction et des zones de prescription, constructibles sous réserve. Ils peuvent imposer d'agir sur l'existant pour réduire la vulnérabilité des biens. Ainsi, les propriétaires, locataires ou plus simples citoyens, peuvent contribuer à se protéger efficacement et diminuer leur propre vulnérabilité.

L'objectif de ces deux actions est double : le contrôle du développement en zone inondable et par conséquent la réduction de la vulnérabilité, et la préservation des champs d'expansion des crues. (Oufella, 2003).

CONCLUSION

En conclusion, le problème de protection contre les inondations ne possède pas de solution unique, car ce sont les conditions locales qui commandent. On peut dire qu'il y a autant de problèmes différents à résoudre que de zones inondables. De plus, la réalisation de telle ou telle protection nécessite la réunion d'un certain nombre de conditions qui la plupart du temps limite les possibilités et les résultats. Il faut donc rechercher toujours le type de protection le mieux adapté à la zone à protéger en prenant les marges de sécurité suffisantes, car les méthodes d'études ne sont pas toujours précises.

Dans le domaine de la protection contre les inondations, il ne faut pas attacher également une valeur formelle aux études économiques qu'elles n'ont pas. Les résultats auxquels elles conduisent doivent être beaucoup plus considérés comme étant des estimations grossières, mais qui permettent de juger si les opérations envisagées ne sont pas déraisonnables sur le plan économique et surtout de comparer les solutions entre elles.

Présentation de la zone d'étude

1.Contexte géographique

Boukhara se situe dans la partie centrale des monts du Mel lègue, non loin des frontières Algéro-Tunisiennes, entre les méridiens 8°.01 et 8°.04 Est et les parallèles 35°. 40

et 35°.50 Nord, il se rattache à la wilaya de Tébessa situé à 40 Km au Sud-est suivant la route

nationale N° 16 Annaba –Tébessa.

La commune Boukhara est située à 38 km environ dans la côte Nord Ouest de la wilaya Tébessa

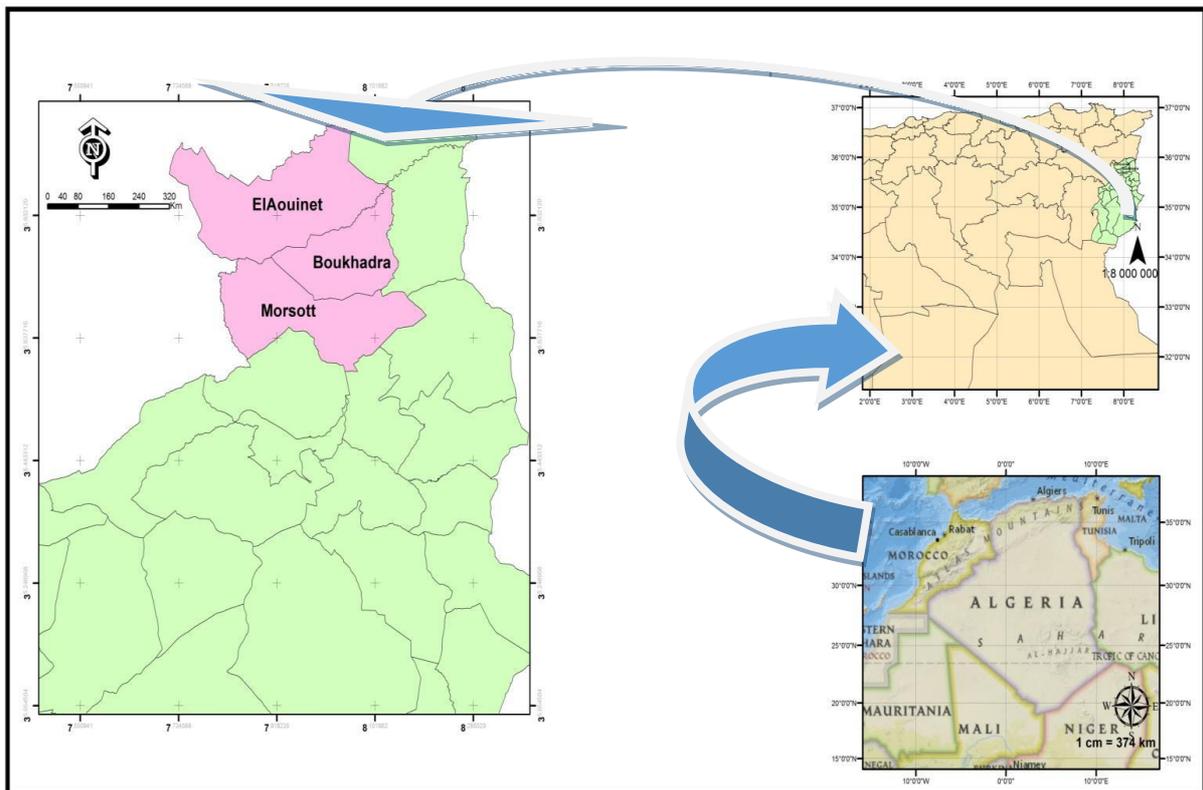


Figure 1: Situation de la ville Boukhara

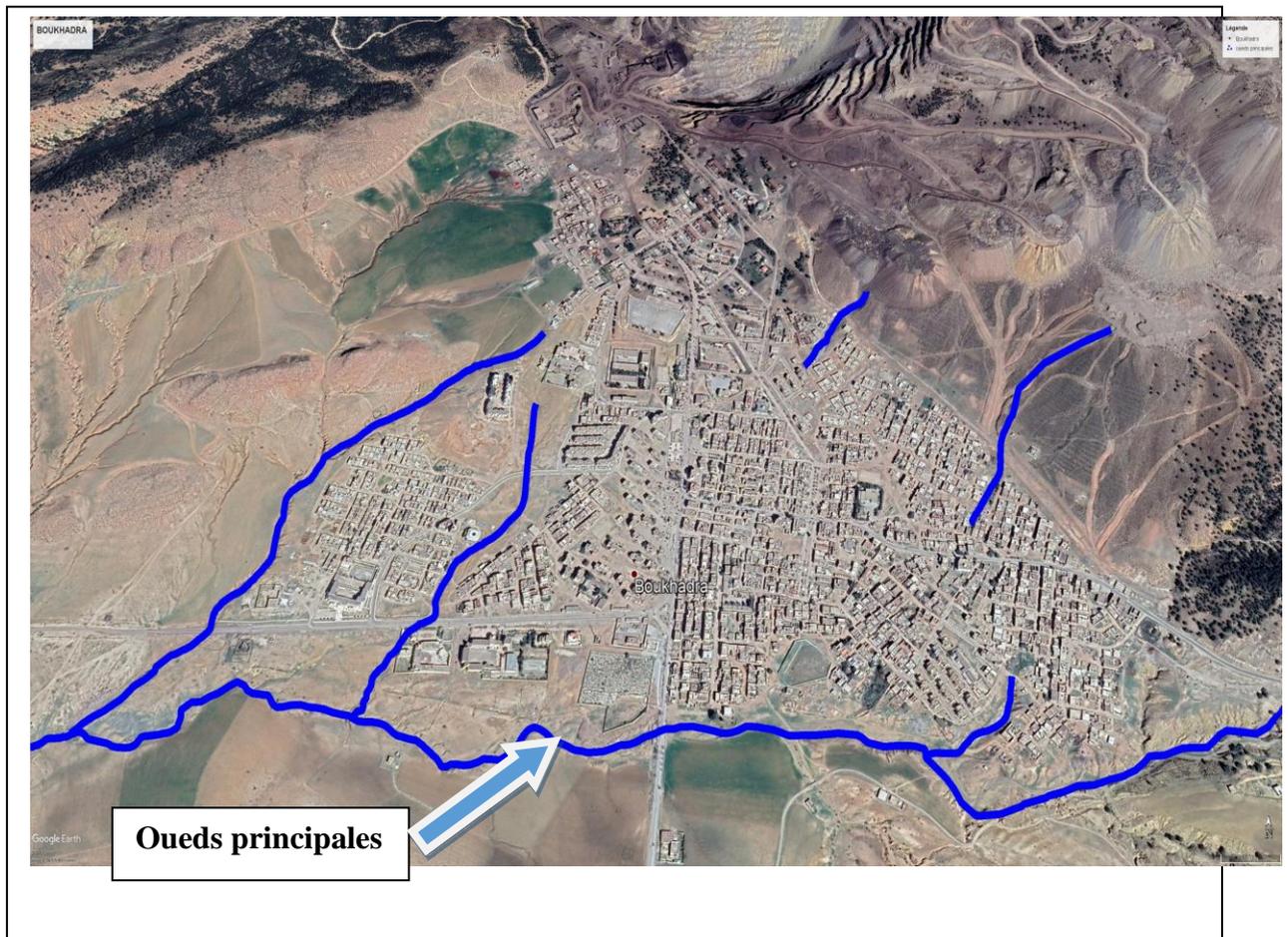


Figure 2 : Vue satellitaire boukhadra (Source : Google Earth2019).

le réseau hydrographique

2. Situation topographique

La ville de boukhadra et ses alentours reposent sur un relief montagneux accidenté à la partie haute jusqu'à où il devient plat à la partie basse de la ville boukhadra est définie par les coordonnées U.T.M fuseau 31 suivantes :

Latitude : 36° 16' Longitude : 1° 41'

La partie haute C'est la partie sud de la ville boukhadra qui se situe sur des chaînes telliennes. Elle nous donne la forme montagneuse du relief, elle est caractérisée par :

Cote maximale = 1400 cote minimale = 750m.

La partie basse Notre cite est pratiquement plat contrairement au coté Nord où la pente est raide, avec une pente variant de (0,3 à 5,5%) dont les altitudes varient entre 70 et 110 m.

3.le réseau hydrographique

Notre zone d'étude se caractérise par un relief assez accusé représenté par de haute plaine traversée par de chaîne montagneuse, d'orientation Nord-Est. Le réseau hydrographique est bien développé et représenté par des lits de petits cours d'eau temporaires qui se déverse dans les Oueds de (Mellègue, Chabro et El Kebarit).

Le climat est de type continental à influence méditerranéenne avec des hivers relativement froids et pluvieux et des étés secs et très chauds. La température moyenne de l'année est de 17 ° avec un minimum absolu de - 4°C et un maximum jusqu'à 46°C.

Le paysage est caractérisé par des plantations de chêne et le sapin et par l'alfa. Les terrains sont utilisés pour les cultures agricoles, notamment des céréales mais avec une rentabilité faible et décroît du Nord au Sud. Le monde animal est pauvre, on rencontre des sangliers, des lapins, des chacals des perdrix.

CHAPITRE III : GEOLOGIE REGIONALE

III.1. Introduction

Entre les monts de Mellègue au nord et la flexure Saharienne au Sud s'étend la large zone dite zone de diapirs» (Dubourdiou, 1956 ; Rovier et Perthuisot, 1992).

Les masses triasiques extrudées sont bordées par d'importantes formations calcaires, rapportées à l'Aptien et attribuées à une sédimentation récifale (Dubourdiou, 1956,1959).

Toutes les aires diapiriques du NE algérien s'allongent de part et d'autre des fosses suivant les axes NE-SW (fig. 08).

III.2. Stratigraphie

Les grandes lignes de la géologie des monts de Mellègue sont bien connues grâce aux nombreuses études, ou des notes géologiques déjà publiées.

Nous allons présenter dans ce chapitre les différentes formations composant la coupe lithostratigraphique des monts Mellègue (fig. 09).

Il s'agit de dépôts méso-Cénozoïques, d'âge Crétacé (*Barremien-Sénonien*) avec des grès marins du Miocène transgressifs sur les calcaires marneux de l'Eocène, et une couverture de quaternaires.

L'ensemble de ces formations est recoupé par les formations du Trias à faciès lagunaire.

III.2. 1.Trias

Le Trias apparaît généralement au Nord-Est de l'Ouenza à l'Est de Dj Harraba, au voisinage de Boukhadra, au Dj Hameimet et enfin, au Nord de Kaàlat Essenam. Il est surmonté en discordance par les roches de la couverture. Les marnes vertes bariolées à gypse, les dolomies, les calcaires dolomitiques, les grès et les fragments des roches constituent les formations typiques du Trias en Algérie.

Cet ensemble est fortement tétanisé, il est caractérisé par la présence de grains de pyrite et des cristaux de quartz bipyramidal.

III.2. 2.Crétacé

Une très grande partie du territoire est formée par des roches du Crétacé (inférieur et supérieur).

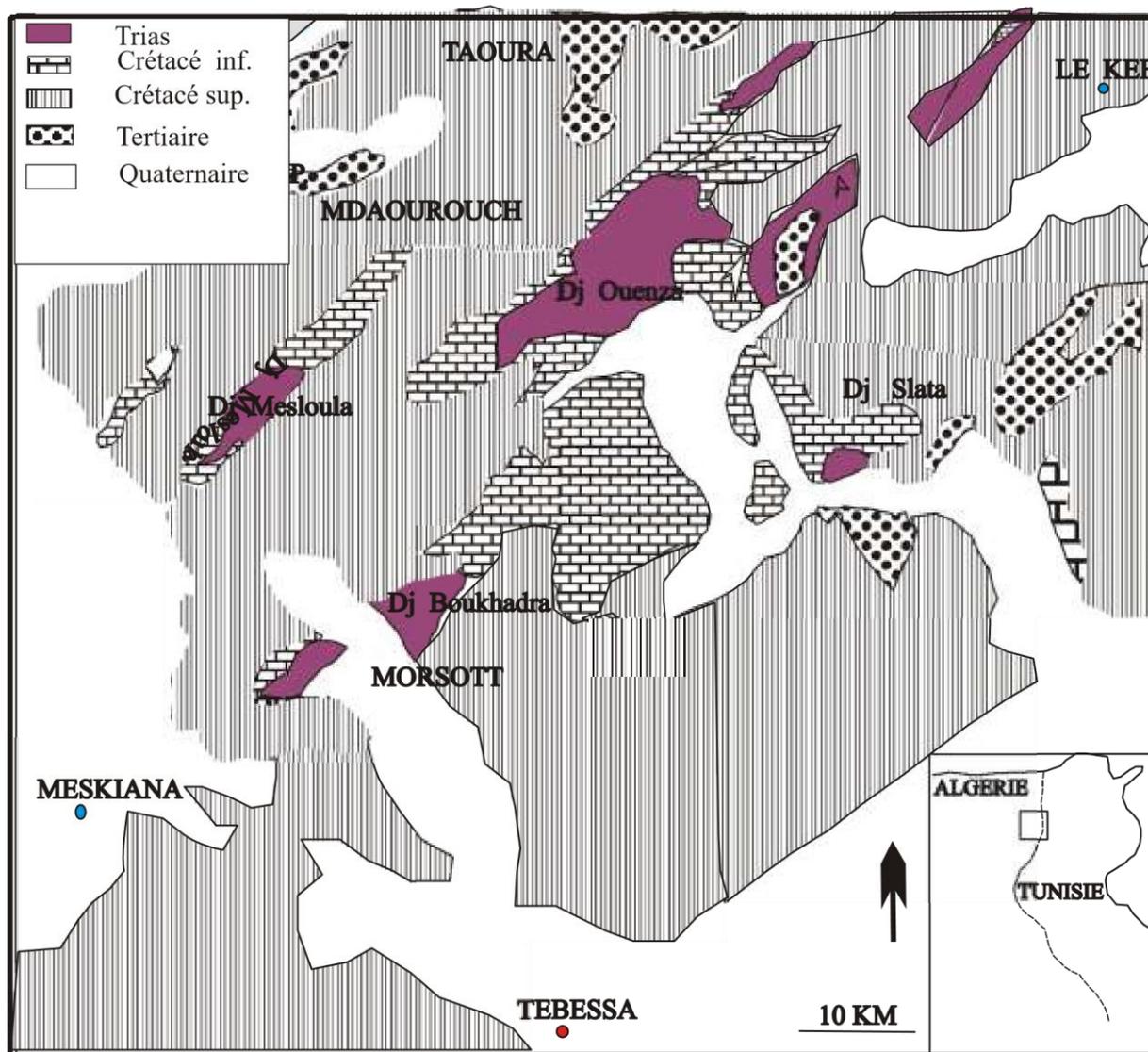


FIG.III.1.: Carte géologique des Monts du Mellègue (in Tlili.M, 2008). .

III.2.1. Crétacé inférieur

Il est représenté par des formations du Barrémien, de l'Aptien, l'Albien et de Vraconien.

III.2.1.1. Barrémien

Ces formations affleurent au voisinage de petit anticlinal de Sidi M'barka au NE de Dj Ouenza (Dubourdiou, 1956), Les formations barrémiennes sont représentées par des marnes grises ou jaunes assez argileuses à *Ammonites* pyriteuses. Vers le sommet, ces marnes sont intercalées par de minces passées de calcaire noduleux gris clair à patine ocre (Dubourdiou1956), avec une épaisseur qui ne dépasse pas 250 m.

III.2.1.2. Aptien

L'Aptien prend dans les monts du Mellègue une grande importance par la nature de ses dépôts et leur développement substantiel (300-600 m d'épaisseur). La série aptienne débute par une alternance d'argiles, de grès et calcaires à Gastéropodes, Mollusques et Echinides, suivis par de puissants blocs de calcaire dolomitique, bioclastique à Orbitolines, Rudistes et qualifiés de récifaux (Dubourdiou1956).

L'Aptien apparaît dans la plupart des anticlinaux de la région ; Dj Ouenza, Dj Boukhadra, Dj Harraba, Dj Boujaber, Dj M'barka, Hameimet et enfin Bouroumane Les successions du Clansayésien affleurent dans divers anticlinaux. Il s'agit de marnes grises à jaunes avec des intercalations gréseuses et calcaires (Dubordieu, 1956), dont les épaisseurs sont : Dj Ouenza 195m, Dj Boukhadra 110 m, Dj Hameimet 140m et Dj Def 175m (Dubordieu, 1956).

III.2.1.3. Albien

A la base, les formations albiennes sont constituées par de petits lits marneux de couleur gris jaune à intercalation de calcaires sableux.

L'Albien moyen est constitué par des marnes de couleur grise à gris foncé. Mais à la partie supérieure il est composé de marnes de couleur noire avec de minces intercalations de calcaires argilo-sableux. Avec une puissance moyenne de 500 m

III.2.1.4. Vraconien

Le Vraconien est essentiellement représenté par des marnes argileuses, avec de minces intercalations de calcaires argileux et argilites, de 500 à 600 m d'épaisseur (Dubourdiou, 1956).

Fig 09: Colonne stratigraphique synthétique des Monts du Mellègue (d'après :Dubourdieu 1956, 1959 ; David 1956; Madre 1969 ; Fleury 1969 ;Thibieroz et Madre 1976 ; Chikhi, 1980 ; Otmanine 1987, Bouzenoune 1993 et Vila et al, 2000). Les chiffres de (1) à (5) présentent les phases diapiriques mise en évidence dans les différents massifs de la région : (1) l'Ouenza, Boukhadra, Boujaber. (2) l'Ouenza, Slata ; (3) Khenchela ; (4) Boukhil (tunisiste) ; (5) l'Ouenza, Boukhadra.

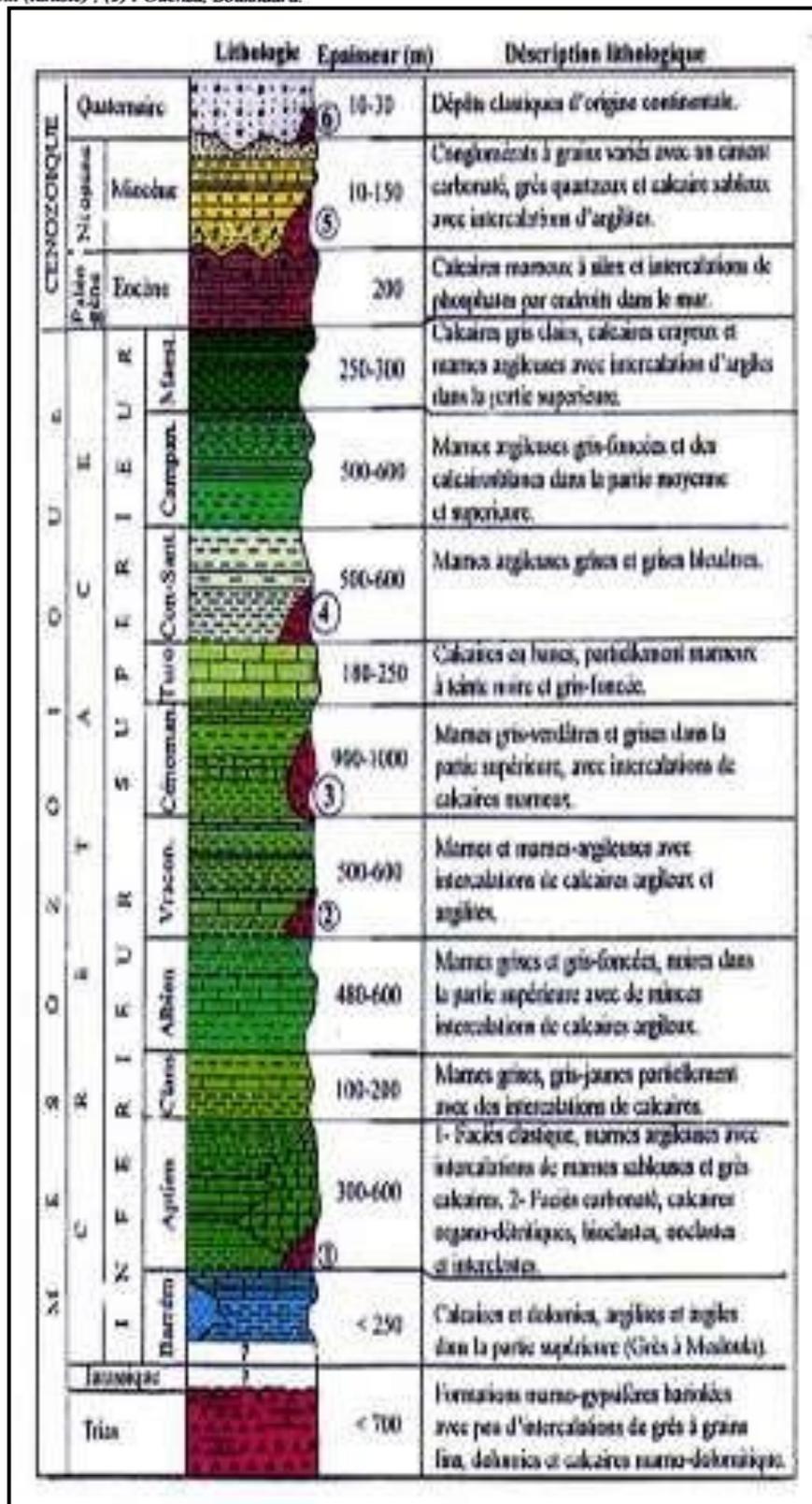


FIG.III.2. colonne stratigraphique

Il est généralement transgressif sur le Trias à l'Ouenza (Thibieroz et Madre, 1976), et sur l'Aptien au Dj.Slata (Smati, 1986) et au Dj Hameimet (Othmanine, 1987).

III.2.2. Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur est représenté par les sédiments du :

- Cénomanién.
- Turonien.
- Santonien-Campanien.
- Maestrichtien.

III.2.2.1. Cénomanién

Durant le Cénomanién inférieur, une série monotone de marnes argileuses verdâtres s'installe au Cénomanién moyen. Ces marnes admettent diverses intercalations calcaires peu développées ou l'on y trouve, en divers lieux, une faune plus ou moins abondante, alors qu'au Cénomanién supérieur, la sédimentation devient carbonatée. L'épaisseur totale du Cénomanién est considérable ; elle est estimée entre 750 et 1100 m.

III.2.2.2. Turonien

A l'approche du Turonien, la sédimentation change rapidement vers des calcaires compacts donnant lieu à des reliefs accusés. Ces calcaires de couleur noire à grise foncée, sont séparés parfois par des marnes grises. La puissance totale du Turonien est de 150 à 200 m et peut atteindre 300 m au Sud de Boukhadra (Dubordieu, 1956).

III.2.2.3. Santonien-Campanien

Les dépôts du Santonien-Campanien ne sont pas subdivisés à cause du manque de la faune. Ils sont représentés par des marnes argileuses grises verdâtres et jaune gris à plaquettes de calcite fibreuse et intercalations de marnes à lumachelles. Leur puissance varie de 200 à 600 m.

A leur base, les dépôts du Campanien sont représentés par des marnes grises verdâtre et grise claires suivis par des calcaires blancs crayeux en bancs minces qui alternent avec des calcaires gris blancs argileux et des marno-calcaires dans les niveaux supérieurs (Dubordieu, 1956). La puissance de ces dépôts varie de 300 à 600 m.

III.2.2.4. Maestrichtien

Le Maestrichtien est marqué par des calcaires blancs bien lités, d'environ 60 m d'épaisseur, recouverts par une très forte accumulation de marnes argileuses grises à noires (150 m) admettant à leur base quelques intercalations de calcaires. Les formations ont été décrites à Kalaat Essnam par Dubordieu, 1956.

III.3. Paléogène

Il est représenté par des formations du Paléocène et de l'Eocène.

III.3.1. Paléocène

A sa base, le Paléocène présente des marnes analogues à celle du Maestrichtien supérieur qui s'intercale.

III.3.2. Eocène

Des calcaires à silex et d'autres à Nummilites caractérisent l'Eocène. L'Eocène inférieur et moyen affleure, à quelques dizaines de kms tous près des périmètres des monts du Mellègue : au Nord de Souk-Ahras, au Kef, à Tedjerouine, à l'Est de Kalaat Essnam et aux environs du Sud de Tebessa.

Dans les monts du Mellègue, aucune assise Priabonienne n'a été reconnue à leur voisinage immédiat (Dubordieu, 1956).

III.4. Néogène

Les dépôts du Néogène sont représentés par les formations du Miocène.

III.4.1. Miocène inférieur et moyen

Les dépôts du Miocène inférieur et moyen reposent transgressivement sur les formations anciennes (*Eocène*). Ils sont représentés par des conglomérats contenant des éléments de calcaires variés, de silex gris et de galets ferrugineux, ils renferment assez souvent des éléments empruntés au Trias, parmi lesquelles des fragments de roches vertes témoignent d'une activité diapiriques (Bouzenoune, 1993).

III.4.2. Miocène supérieur

Le Miocène supérieur est marqué par des grés, des calcaires gréseux et des calcaires avec quartz détritique et une intercalation argileuse. La puissance totale du Miocène peut atteindre 150m. Il affleure en plusieurs endroits : Garet Sekkoum, au Nord-Ouest du Dj Ouenza, l'extrémité Ouest de Koudiet El-Hamra, au voisinage de Dj Boukhadra et Oued Oulidja au Nord de l'Ouenza (Dubordieu, 1956).

II.5. Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont distribués dans les parties basses des reliefs et couvrent des surfaces importantes. Ils sont représentés par des groupes génétiques différents : croutes calcaires, limons, éboulis, cailloutis et poudingues, d'une puissance de 20 à 200 m dans les fossés (Dubordieu, 1956).

IV. Tectonique

Les principaux traits structuraux des monts du Mellègue (fig. 10) résultent des mouvements polyphasés qui ont déterminé l'évolution paléogéographique et structurale de la région et qui se résument comme suit :

- 1- Régime distensif créacé qui est à l'origine d'une importante subsidence des bassins qui s'est manifestée par l'accumulation d'épaisses séries sédimentaires.
- 2- Diapirisme des formations triasiques suite à cette phase distensive.
- 3- Plissement des séries sédimentaires suivant la direction NE-SW au cours d'une phase compressive.
- 4- Au Miocène, création des fossés d'effondrement orientés NW-SE, tronquant ainsi les anticlinaux perpendiculairement.

IV.1. La subsidence

Dès l'Aptien, des failles affecte le substratum anté-triasique, ce qui facilite les transgressions marines qui ont permis l'accumulation de puissantes séries sédimentaires liées à une importante substance post-triasique (Dubordieu, 1956 ; Bouzenoune et al, 1995).

IV.2. Le diapirisme

L'Atlas saharien oriental est marqué par de nombreux pointements de masses d'évaporites triasiques affleurant sur une bande de 80km et ayant une direction NE-SW. Ils sont considérés comme des diapirs ayant percés leur couverture à différentes étapes de leur évolution (Dubordieu, 1956 ; Thibierz et Madre, 1976 ; Bouzenoune, 1993 ; Bouzenoune et al, 1995).

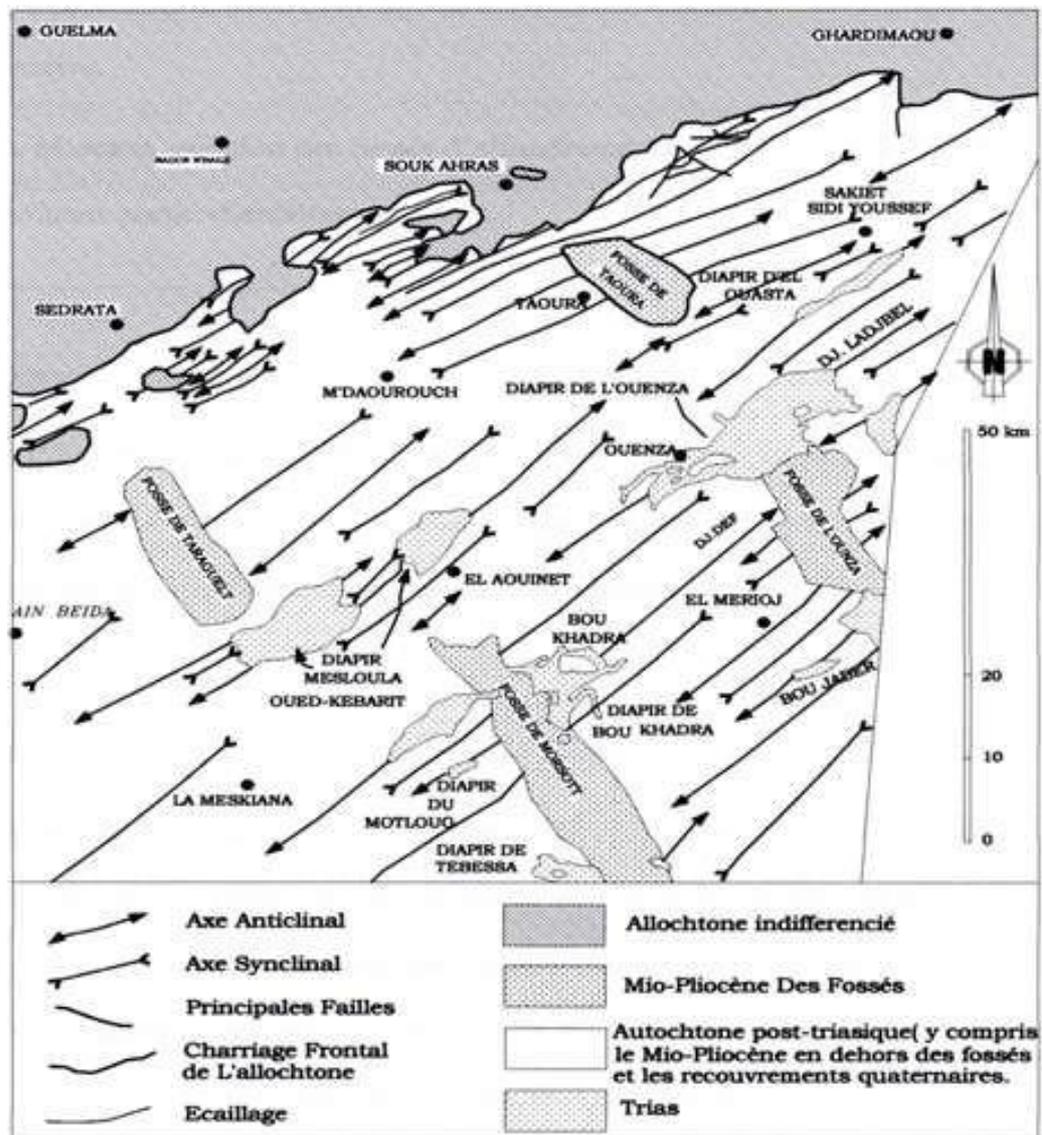


FIG.III.3.: Schéma structural de l'autochtone des confins algéro-Tunisiens (D'après Vila. 1980).

Un diapirisme précoce se produit à l'Aptien et l'Albien dans les monts du Mellègue et paraît intervenir dans un contexte de mobilité tectonique particulier. Les indices de cette activité diapirique sont : un remaniement sédimentaire d'éléments triasique, changement de faciès, construction récifale, variation importante d'épaisseur. Ces effets sont visibles dans de nombreux massifs de l'Atlas saharien oriental : Ouenza (Thibierz et Madre, 1976) M'zouzia (Othmanine, 1987), Boukhadra (Nedjari et al, 1984).

Le redressement, le renversement des séries et la compilation des structures sont les conséquences du diapirisme qui apparaissent à l'Albien. Ces structures sont, en général, ultérieurement scellées par discordance au Vraconien transgressif. Cet épisode a été mis en évidence à Dj Slata (Smati, 1986 ; Perthuisot et al, 1988).

IV.3. Les plissements

Les plis de région des monts de Mellègue ont une allure généralement simple et une orientation atlasique NE-NW (fig.10). Ils correspondent aux anticlinaux de l'Ouenza, Boukhadra, Def, Boujaber (Dubordieu, 1952) et aux synclinaux de Oued El Kseb, Ain Chenia, Haoud S'ghir. Les plis anticlinaux à grand rayon de courbure et dont l'ossature est assurée par les niveaux calcaires compétents, sont souvent percés dans leur charnière par le Trias diapirique. Ils sont généralement suivis par de vastes structures synclinales. Ces anticlinaux ont la caractéristique de présenter des fermetures coniques à chaque extrémité et de légers changements de direction, souvent interrompu par les accidents orthogonaux qui bordent les fossés d'effondrement. Ces plis résultent des compressions Néogène dont l'âge exact est discuté. En Algérie, la phase majeure a été considérée comme étant comprise entre l'Eocène et le Miocène en raison de l'existence d'une discordance entre le Miocène, les terrains créacés et l'Eocène (Dubourdiu et Durozoy, 1950 ; Dubourdiu, 1956 ; Blés 1969 ; Blés et fleury, 1970 ; Vila, 1980 ; Kasi tani, 1986).

IV.4. Les fossés d'effondrement

La réactivation d'anciens accidents aux cours de la phase tectonique distensive (fig. 10) a donné naissance à des fossés d'effondrement orientés NW-SE à E-W (Dubourdiu, 1956 ; Smati, 1986 ; Bouzenoune, 1993)

- ❖ L'âge de cet effondrement est différemment discuté pour certains auteurs tels que Dubourdiou (1956), David (1956), Castany (1951-54), Kazi-tani (1986), il est post-Miocène inférieur (ex : Fossé de Ouled Boughanem et Tébessa-Morsott) ; Pour d'autre, exemple Bismuth (1973), Chihi et al (1984 et 1991), l'effondrement a eu lieu durant le Miocène (Aquitaniens-Totoniens) (ex : Graben de Fossana-Kasserine)
- ❖ Ces fossés ont été ultérieurement comblés par des dépôts récents, notamment par du Quaternaire (graviers et limons).

V. Evolution paléogéographique

C'est avec le Trias que commença l'histoire paléogéographique des monts du Mellègue. Au cours de cette période s'est déposée une puissante série de dépôts salifères et argilo-gypsifères dans des bassins lagunaires et lacustres (Chevenine et al, 1989). Au Trias moyen (Muschelkalk), on note une légère transgression dont les traces sont conservées en intercalation de calcaires noirs stratifiés (Dubourdiou, 1956) les dépôts du Jurassique sont absents dans la région en question (Dubourdiou, 1956 ; Chevenine et al, 1987 et 1988) mais ils ont été recoupés par des sondages pétroliers en dehors des zones diapiriques (Beghoul, 1974).

- **Le Barrémien** est représenté essentiellement par une sédimentation marneuse. Ces sédiments sont déposés sur un haut fond assez proche de la surface (Dubourdiou, 1956). La présence des bancs d'huîtres sous le niveau à fossiles indique qu'à la fin du Barrémien, la tranche d'eau ne devait pas dépasser 200 à 250 m au maximum (Dubourdiou, 1956). A Mesloul, le Barrémien est gréseux (Masse et Thieuloy, 1979 ; Masse et Chikhi, 1982).
- **A l'Aptien**, la mer était plus étendue qu'au Barrémien. Le fait le plus marquant est l'intercalation de récifs sur des rides allongées (Dubourdiou, 1956). Les roches carbonatées rapportées par de nombreux auteurs aux formations récifales se déposent dans des eaux chaudes peu profondes (fig. 11). L'analyse des données de sondages et l'étude des coupes montre que cette période aptienne a favorisé l'essai des processus organogènes : *Biostrome*, et *Bioherms*, etc. (Chevenine et al 1989). L'existence de faciès à *algues vertes* et de faciès oolithiques montre que la région était recouverte à l'Aptien par une mer épicontinentale.

- **A l'Albien**, une faune benthique caractérise les régions peu profondes. A la fin de l'Albien moyen, la sédimentation est transgressive (Ammouri, 1986 ; Chevenine et al, 1989). A l'Albien supérieur, la couverture albo-aptienne est percée par un Trias diapir entraînant le redressement des couches et la complexité des structures (*plis évasés, plis en champignon...etc.*) généralement scellées par la transgression vraconienne (Smati, 1986) ; Ouenza, M'Zouzia, Boukhadra (Bouzenoune, 1993 ; Othmanine, 1987 ; Nadjari et al, 1984).
- A l'époque **cénomanienne**, une intense sédimentation marno-argileuse à intercalation de calcaires peu développés, s'est déposée dans des conditions marines abyssales. Dans la région de Tébessa, cette époque est caractérisée par des décrochements traduisant un raccourcissement NE-SW (Othmanine, 1987).
- Au cours du **Turonien inférieur**, les conditions de sédimentations profondes changent vers un milieu néritique chaud où s'installent d'importantes masses carbonatées. Le même type de sédimentation, à partir du Turonien supérieur, ou une accumulation marneuse parfois rompue par des intercalations de calcaires et d'argiles, prend naissance. Ce même régime continue jusqu'au milieu du Campanien (Chevenine et al, 1987 et 1988).
- **Le Campanien supérieur et Maestrichtien** sont marqués par des conditions de mer peu profonde et une prédominance de calcaires crayeux rarement récifaux.
- Le remaniement de silex, réputé d'âge **Yprésien** à la base du Miocène, témoigne de l'existence d'une mer Eocène, où se dépose une sédimentation marine durant l'Eocène et le Miocène inférieur et moyen.
- Vers le **Miocène supérieur**, une phase de régression commence. Toutes les formations post-miocènes sont continentales et continuent pendant le quaternaire donnant ainsi naissance aux plaines et vallées actuelles.

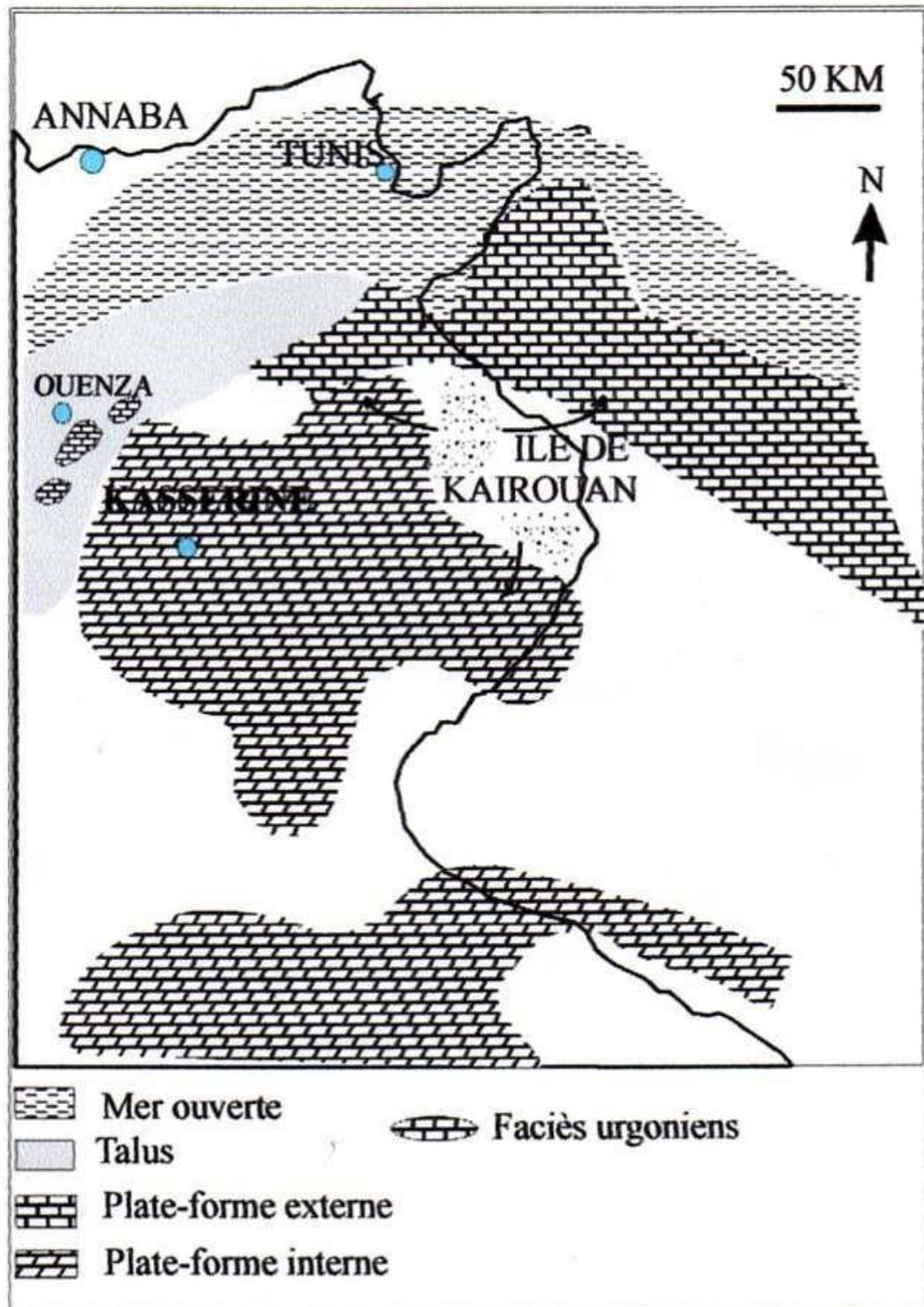


FIG.III.4.: Carte schématique montre l'évolution paléogéographique de la Tunisie et des monts de Mellègue durant l'Aptien.

VI. Conclusion

La région des monts du Mellègue est représentée par du Trias évaporitique, avec une enveloppe qui va, à l’affleurement, du Crétacé inférieur (*Barrémien*) au Miocène, recouverte notamment par du matériel quaternaire de nature classique d’origine continentale.

- Les formations d’âge crétacé (*Barrémin-Maestrichtien*) sont sous forme d’alternance de marnes et de calcaires ; celles de l’Eocène sont des calcaires marneux à silex et enfin conglomératiques, et grès marins du Miocène.
- L’ensemble de ces formations sédimentaires a été plissé suivant une direction NE-SW qui est celle de l’Atlas saharien. Ces plis résultent d’une tectonique compressive qui correspond à la phase atlasique d’âge éocène.
- La partie méridionale de ces plis est recoupée par des fossés d’effondrement qui sont remplies par de formations quaternaires. Ces fossés résultent d’une tectonique distensive, orienté NW-SE d’âge Miocène inférieur.

Enfin, ces déformations de structures entre compression et distension sont accompagnées d’épisodes d’ascension et de percement du Trias (diapirisme), la mise en place du diapir a commencé dans les monts de Mellègue dès l’Aptien (Thibieroz et Madre, 1976). Nous retiendrons donc que l’histoire géologique des monts de Mellègue a été gouvernée par une tectonique tant compressive que distensive accompagnée toujours par le diapirisme triasique.

IV.1. CLIMATOLOGIE

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau, elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations. Seules les précipitations échappant à l'emprise de l'évaporation et participant à la recharge de la nappe sont dites pluies efficaces. L'infiltration d'une lame d'eau dans la nappe assure le renouvellement de la ressource.

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : les précipitations, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionne ce bilan. Cette étude climatique débouchera sur un calcul de bilan en exploitant les données météorologiques disponibles et en utilisant la méthode de Thornthwaite adaptée à la région.

IV.1.1 Type de climat :

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen continental (Semi-aride) caractérisé par un Été chaud et très sec avec de fortes températures et un Hiver humide et froid.

IV.1.2 Calcul du coefficient pluviométrique :

On peut calculer le coefficient pluviométrique par la formule suivante :

$$C_p = (365/h_i) (p_i/p) = K (p_i/p)$$

Avec :

K = coefficient dépendant du nombre des jours du mois considéré.

$$\text{Si } h = 31 \text{ jours, } k = 365/31 = 11.77$$

$$\text{Si } h = 30 \text{ jours, } k = 365/30 = 12.13$$

Pour le mois de Février (28 jours) chaque 3 ans et une fois 29 jours :

$$K = 365 / (28 \text{ jours} \cdot 3 \text{ ans} + 29 \text{ jours}) / 4 = 12.92.$$

Pour la station de Tébessa avec $P = 396.5 \text{ mm}$.

On a :

$$C_p = k \cdot P_i / P$$

II.1. Tableau N°(1) : Coefficient pluviométrique de la plaine de Tébessa

Mois	<i>Saison humide</i>					<i>Saison sèche</i>						
	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sept.	Oct.	Nov.
K	11.77	11.77	12.92	11.77	12.16	11.77	12.16	11.77	11.77	12.16	11.77	12.16
P_i	47.28	31.68	15.5	28.57	33.48	34.52	33.83	16.53	33.66	42.19	37.69	41.55
C_p	1.4	0.94	0.5	0.85	1.02	1.02	1.03	0.49	0.99	1.29	1.12	1.27

Saison humide : C_p (sh)= 4.71

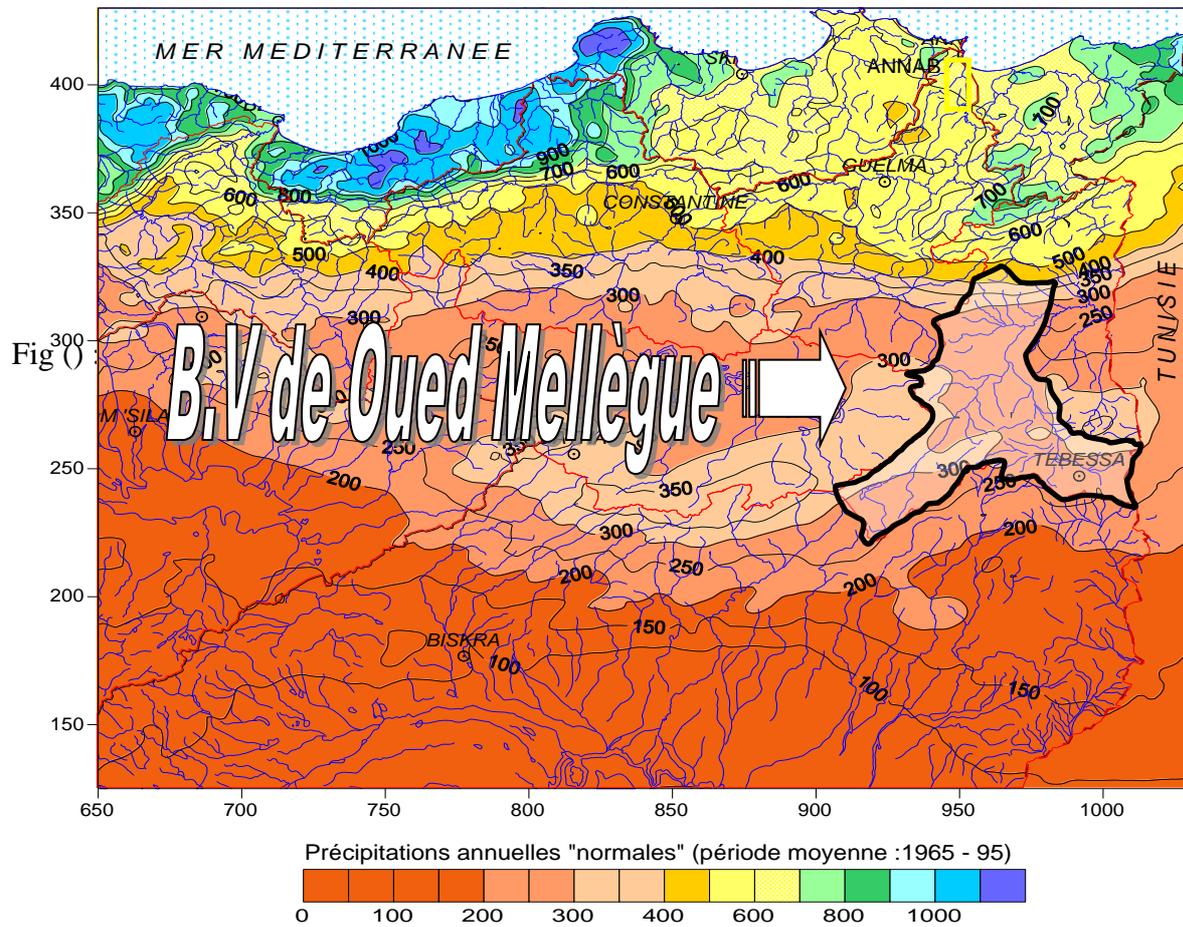
Saison sèche : C_p (ss)= 7.21

$$R = C_p \text{ (sh)} / C_p \text{ (ss)}$$

$$R = 7.21 / 4.71 = 1.53$$

1 < R < 1.75 : en conséquence le climat est semi continental (semi-aride).

La région d'étude est donc à un climat semi-aride (semi-continental), caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide par une moyenne de pluviosité allant du mois de jusqu'au mois d'Avril et par une faible température. L'autre sèche de forte température atteignant leur maximum au mois Juillet.



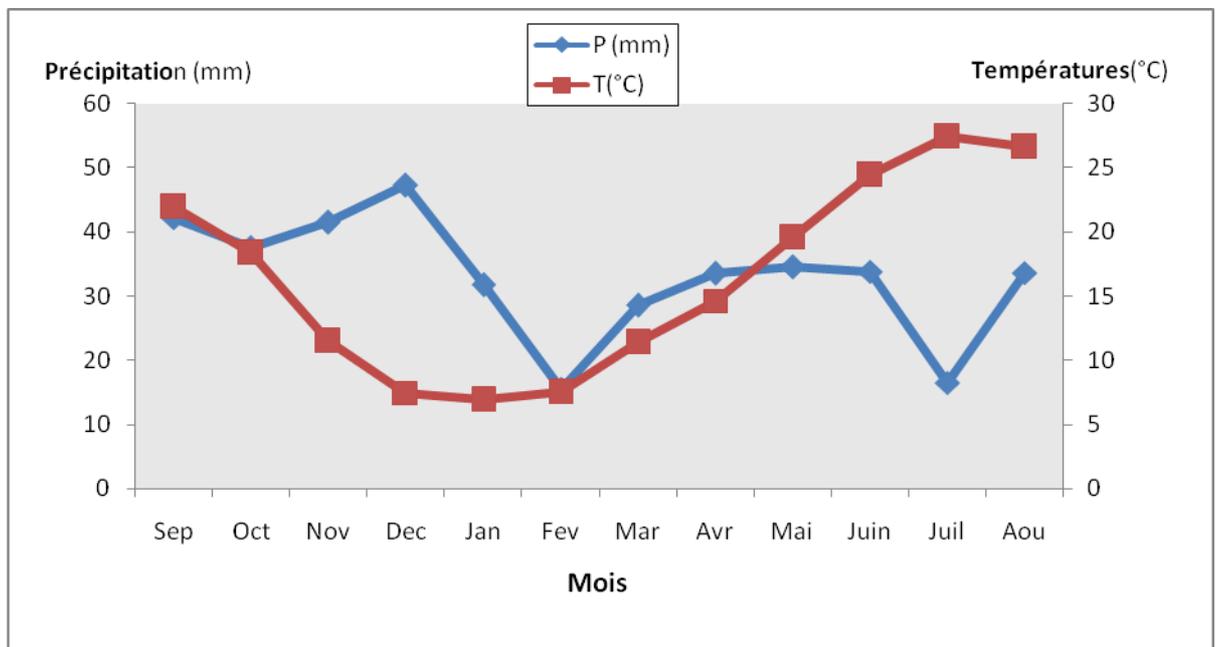
IV.Fig.N°.1 : Précipitations annuelles médianes « normales» (1965-95)

(D'après ANRH-GTZ ,2003) In Azzedine MEBARKI et Jean-Pierre LABORDE

IV.1.3 Diagramme ombrothermique (station de Tébessa) :

En se basant sur les données des précipitations mensuelles existant dans le bassin de Oued Mellègue et les données thermiques mensuelles (Ten°C) sur une période de 10 ans de la station météorologique de Tébessa .

Le but de cette tâche est de déterminer la période de sécheresse où la température supérieure a la précipitation ainsi que la période humide.



IV.Fig.2 .Courbe ombrothermique d’une période de 10ans (1998/2007) station de Tébessa.

IV. 1.4. Détermination des indices climatiques :

a) Le coefficient pluviométrique Q_p d'Emberger :

Pour déterminer les types de climat de la zone méditerranéenne, **L.Emberger** a proposé la détermination d'un coefficient pluviométrique (Q_p). Ce coefficient dépend de la précipitation moyenne annuelle et les moyennes des températures minima et maxima, respectivement des mois les plus froides et les chauds. Ceci nous permet d'estimer la lame d'eau pour chaque zone climatique.

Le coefficient pluviométrique d'Emberger Q_p est calculé par la formule suivante :

$$Q_p = \frac{P}{\frac{M+m}{2}(M-m)} \times 100$$

Avec :

Q_p : Coefficient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

M : Température moyenne des maximums du mois le plus chaud(degé/kelvin).

m : Température moyenne des minimums du mois le plus froid(degé/kelvin).

Pendant de ces donnée, il a établi un Climagramme où chaque station intéressé une figure suivant ses coordonnées, avec en abscisse m (minima en °c du mois le plus froid) et en ordonnées le coefficient pluviométrique Q_p .

II.2. Tableau N°(2) : Le climat en fonction de Q_p :

Valeur de Q_p	Type de climat
$Q_p > 100$	Humide
$100 > Q_p > 50$	Tempéré
$50 > Q_p > 25$	Semi-aride
$25 > Q_p > 10$	Aride
$10 > Q_p$	Désertique

Le calcul de ce dernier dans la zone de Tébessa donne les valeurs suivantes :

Application numérique :

$$Q = \frac{396.48}{(306.51 + 273.94)1/2(306.51 - 273.94)} \times 1000 = 41.94$$

D'après cette valeur on dit que la région d'étude du bassin de Oued Mellègue possède un climat semi-aride.

b) l'indice d'aridité de *D.martonne* :

L'indice d'aridité prend en compte les précipitations annuelles et les températures annuelles :

$$I = P/T + 10$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle.

T : température moyenne annuelle.

Application numérique

$$P = 396.48 \text{ mm.}$$

$$T = 16.47^\circ\text{C.}$$

$$I = 396.71/16.47 = 14.97$$

Selon *D. martonne* :

- $I < 5$: le climat est hyper aride.
- $5 < I < 10$: le climat est très sec (aride).
- $10 < I < 20$: le climat est sec (semi-aride).
- $20 < I < 30$: le climat est tempère.
- $I > 30$: le climat est humide (écoulement abondant).

Pour notre cas est suivant la classification de *D.martonne* :

Les résultats de l'indice d'aridité trouvés pour la zone d'étude (bassin de Oued Mellègue) montrent que le climat est du type *semi-aride* .

IV.1.4.1 Etude des facteurs climatiques :

Les principaux facteurs de climat qui influent d'une façon directe et immédiatement ou à long terme sur le potentiel hydrique sont : Précipitation, Température, Evapotranspiration, humidité, vent.....etc.

1.4.2 Les précipitations :

La précipitation est la quantité d'eau météorique, total, liquide ou solide qui tombe sur une surface horizontale déterminée, appelée "section pluviométrique". La pluie est un facteur climatique très important conditionnant l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes.

La pluie augmente avec l'altitude, elle est également plus importante sur les versants exposés aux vents. Elle diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des versants et de la mer.

Les précipitations constituent le facteur essentiel du régime hydraulique et de l'alimentation des réserves souterraines en eaux puisqu'ils constituent la matière première de débit de cours d'eau et des aquifères donc l'étude pluviométrique aura comme but d'évaluer la lame d'eau tombée sur l'ensemble du bassin versant et son influence sur le régime d'écoulement.

Fig (N°10) Carte pluviométrique (Edition 1993)

VI.Fig.3.variation inter-annuelle des précipitations (pendant 10 ans) :

La carte pluviométrique de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) (Edition 1993) montre globalement une répartition décroissante des précipitations du Nord vers le Sud, et de l'Ouest vers l'Est. En effet dans la région d'Ouenza, la précipitation est de l'ordre de 400 mm; et le tableau suivant mentionne les variations annuelles des précipitations de Station Tebassa de la période de (1990-2006).

1. Station de Tébessa : (fig : 11)

A partir de la répartition inter-annuelle des précipitations on constate que :

- ✓ L'année 2003 est l'année la plus arrosée dans l'ensemble des années avec une hauteur de 610.3mm.
- ✓ L'année 2002 est l'année la plus sèche d'une précipitation de l'ordre de 217.5mm.
- ✓ La précipitation moyenne annuelle est de 396.48mm.
- ✓

2. Station d'El-Aouinet : (fig : 13)

- ✓ L'année 2004 est l'année la plus arrosée dans l'ensemble des données avec une hauteur de 365.4mm.

- ✓ L'année 2002 est l'année la plus sèche d'une précipitation de l'ordre de 77.6mm.
- ✓ La précipitation moyenne annuelle à 233.95mm.
- ✓ Station de Ouenza :
- ✓ L'année 2003 est l'année la plus arrosée avec une hauteur de 407.1mm.
- ✓ L'année 2000 est l'année la plus sèche d'une précipitation de l'ordre 153.8mm.
- ✓ La précipitation moyenne annuelle est de 239.9mm.

IV.1.4.5 Variation mensuelle des précipitations (pendant 10 an) :

1 Station de Tébessa :

A partir du graphe obtenu (fig : 12) et sur une période de 10ans (1998/2007).

On constate que :

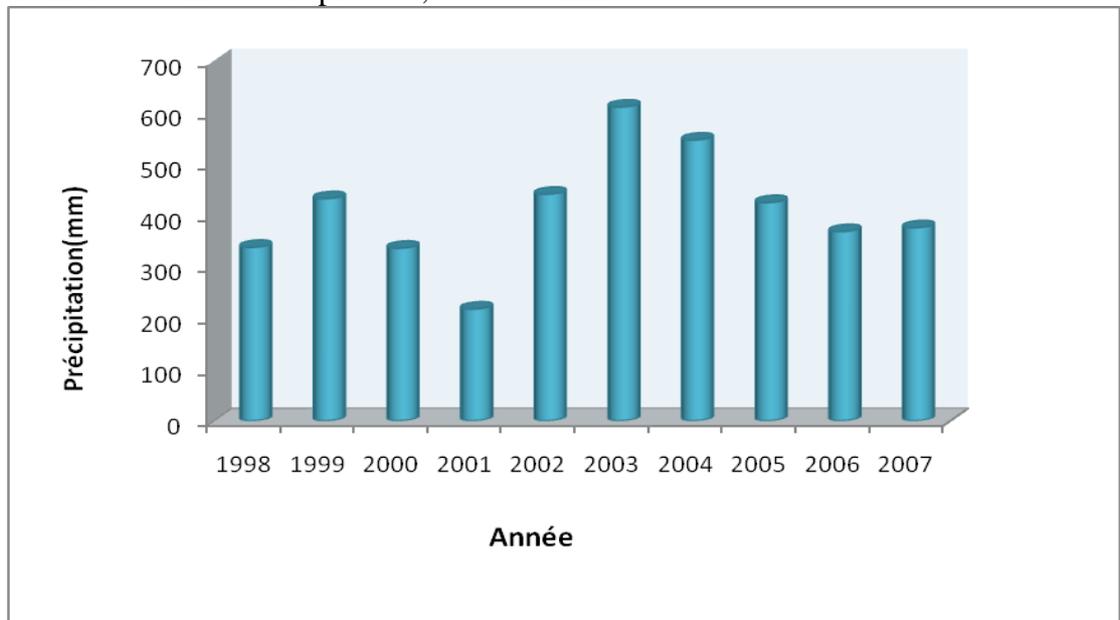
- ✓ Le mois de Décembre est le plus pluvieux, avec 47.28m.
- ✓ Le mois de Février est le plus sec, avec 15.5mm.

2 Station d'El-Aouinet : (fig : 14)

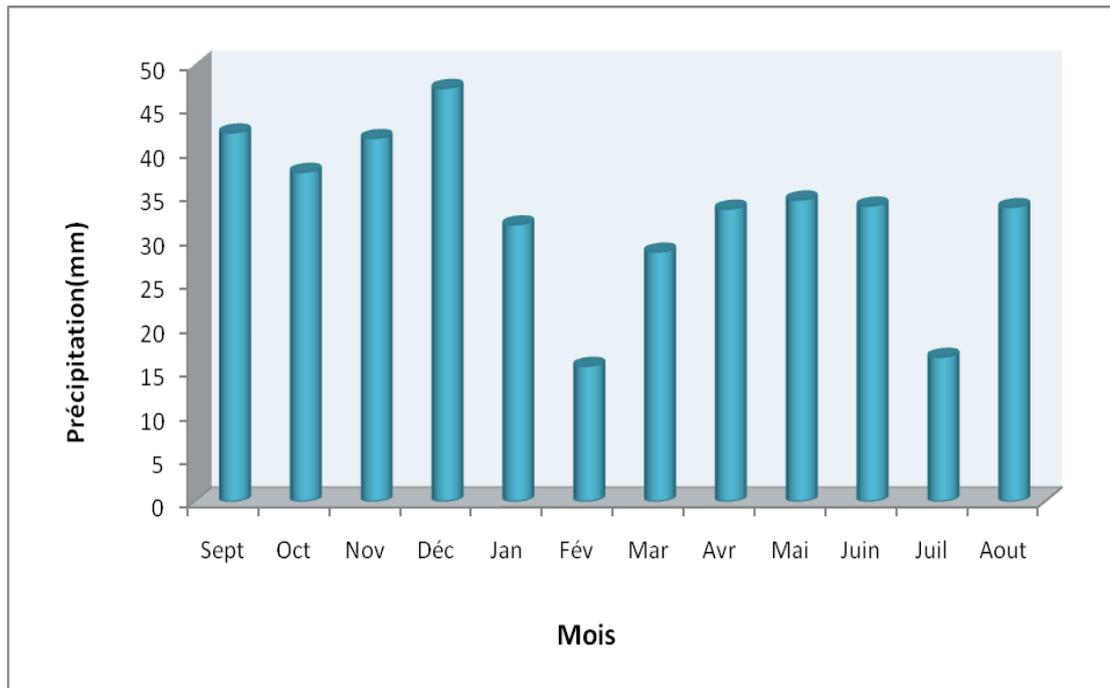
- ✓ Le mois de Avril est le plus pluvieux, avec 30.34mm.
- ✓ Le mois de Juillet est le plus sec, avec 4.68mm.

3 Station de Ouenza : (fig : 16)

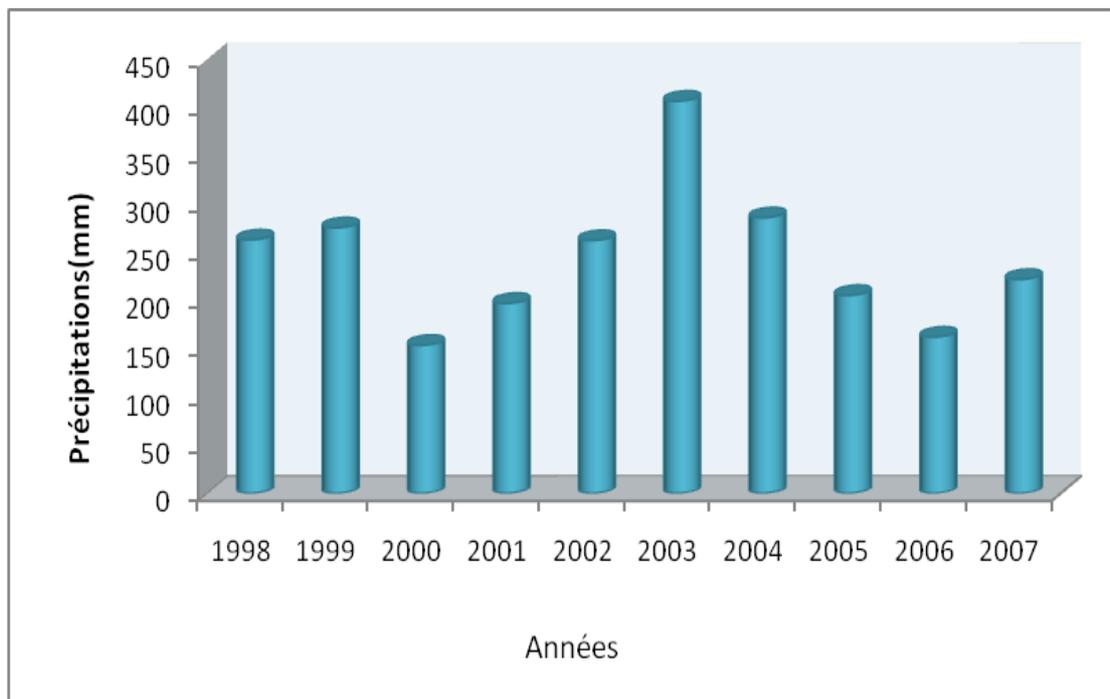
- ✓ Le mois de Mai est le plus pluvieux, avec 32.91mm.
- ✓ Le mois de Juillet est le plus sec, avec 4.48mm.



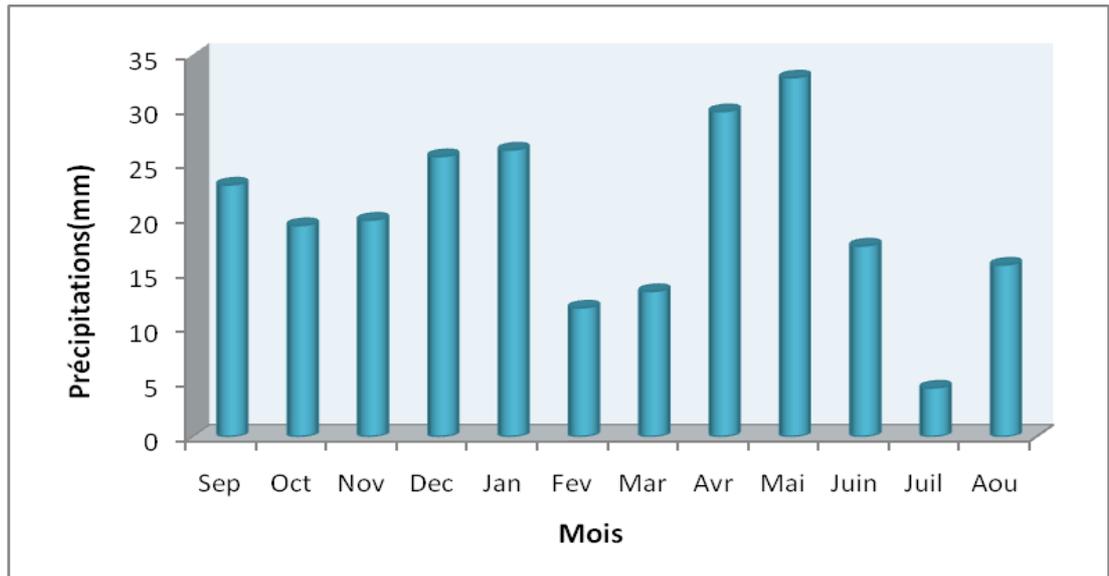
IV.Fig.3.tableau. Variation des précipitations inter-annuelle (Station de Tébessa:1998/2007)



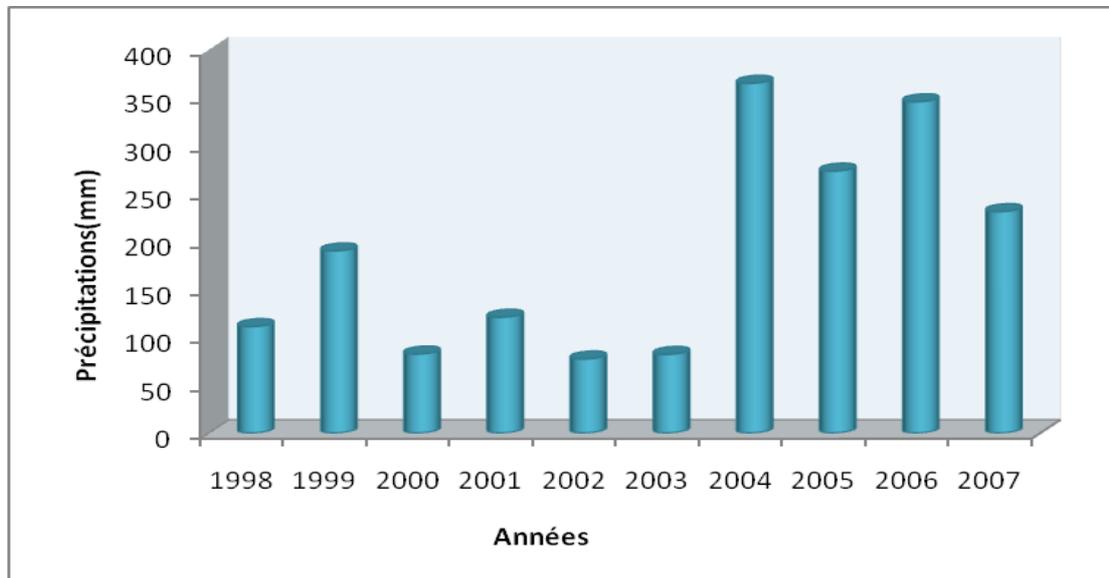
IV.Fig.5 : Variation des précipitations mensuelles (Station de Tébessa : 1998/2007)



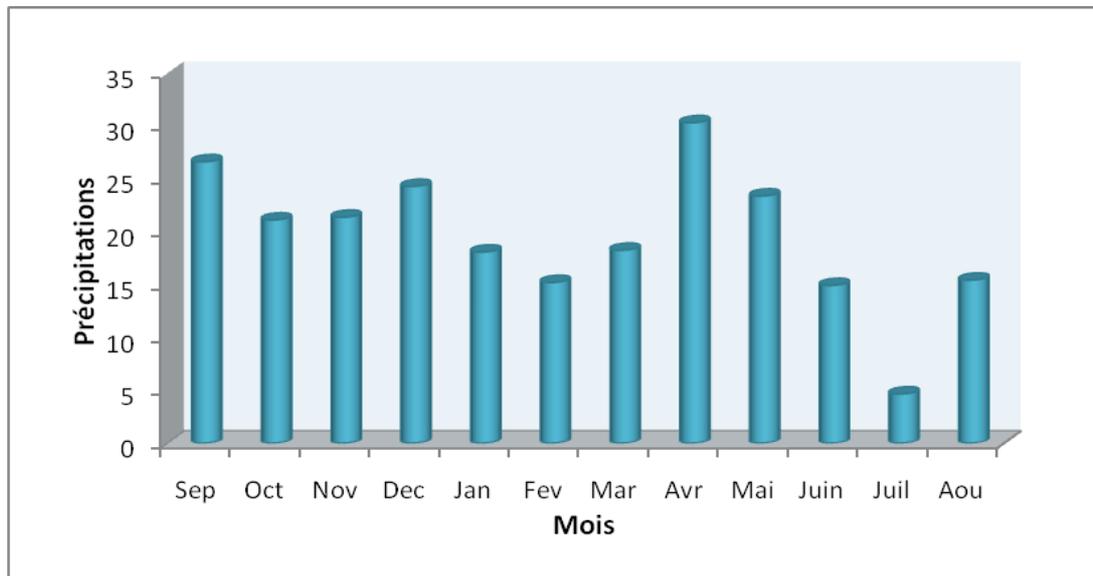
IV.Fig.6 : Variation des précipitations inter-annuelle (Station de Ouenza:1998/2007)



IV.Fig.7 : Variation des précipitations mensuelles (Station de Ouenza : 1998/2007)



IV.Fig.8 : Variation des précipitations inter-annuelle (Station d'El-Aouinet:1998/2007)



IV.Fig.9 : Variation des précipitations mensuelles (Station d’El-Aouinet:1998/2007)

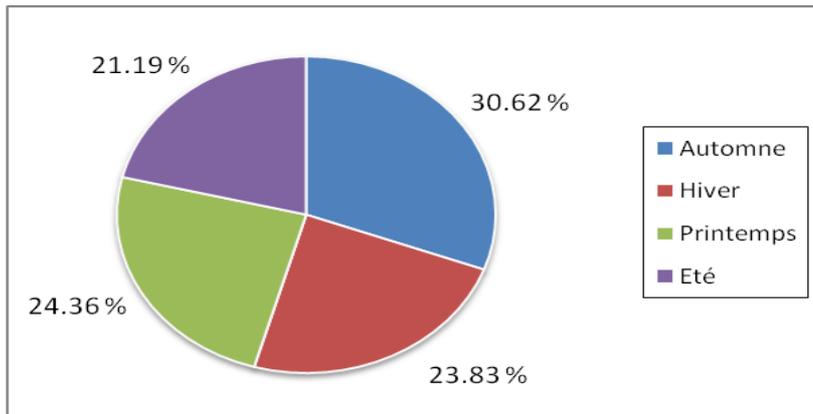
➤ **Répartition saisonnière des précipitations :**

La subdivision des pluies de l’année pour chaque saison est faite suivant les saisons agricoles (automne : *S O N*, l’hiver : *D J F*, printemps : *M A M*, été : *J J A*) (tableau 5).

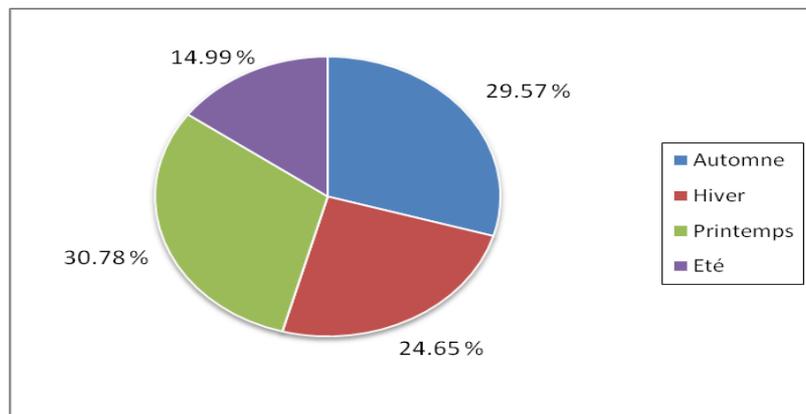
II.3. tableau .Répartition saisonnière des précipitations dans les deux stations.

<i>Saison</i>	<i>Automne</i>		<i>Hiver</i>		<i>Printemps</i>		<i>Eté</i>	
<i>Mois</i>	<i>S</i>	<i>O N</i>	<i>D J F</i>	<i>M A M</i>	<i>J J A</i>			
<i>Station</i>	<i>mm</i>	<i>%</i>	<i>mm</i>	<i>%</i>	<i>mm</i>	<i>%</i>	<i>mm</i>	<i>%</i>
<i>Tébessa</i>	121.43	30.62	94.48	23.83	96.57	24.36	84.02	21.19
<i>El Aouinet</i>	69.19	29.57	57.66	24.65	72.03	30.78	35.07	14.99
<i>Ouenza</i>	62.33	25.98	63.81	26.59	76.05	31.69	37.73	15.73

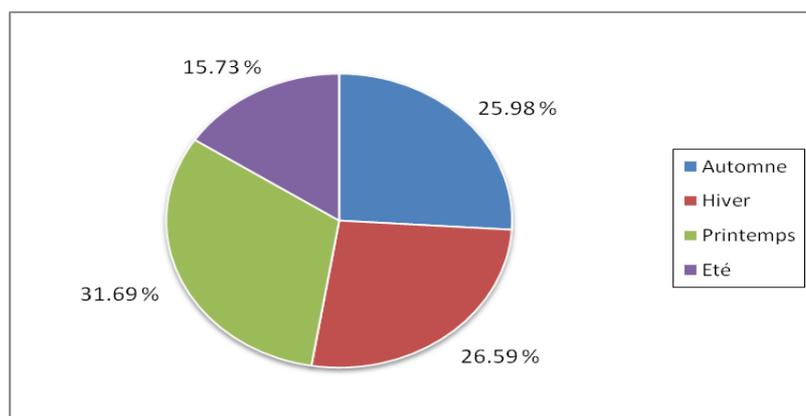
➔ Station de Tébessa :



➔ Station d'EL-Aouinet :



➔ Station d'El-Ouenza :



IV.Fig.10.tableau. Portions de répartition saisonnière des précipitations dans les trois stations.

En observant le tableau ci-dessus, nous remarquons que la saison Automne est la plus pluvieuse dans la région de Tébessa , où il tombe en moyenne de 121.43 mm soit environ 30 % des pluies totales annuelles, est que la saison Printemps est la plus pluvieuse dans les autres région (El-Aouinet, Ouenza) avec 72.03 mm à 76.05 mm soit environ 31 % des pluies totales annuelles.

L'été est la saison la plus sèche ou la pluviométrie est faible allant de 84.02 mm à 37.73 mm à 35.07 mm, soit 21.19% et 15.73 % et 14.99% de la totalité des pluies.(Fig. 17).

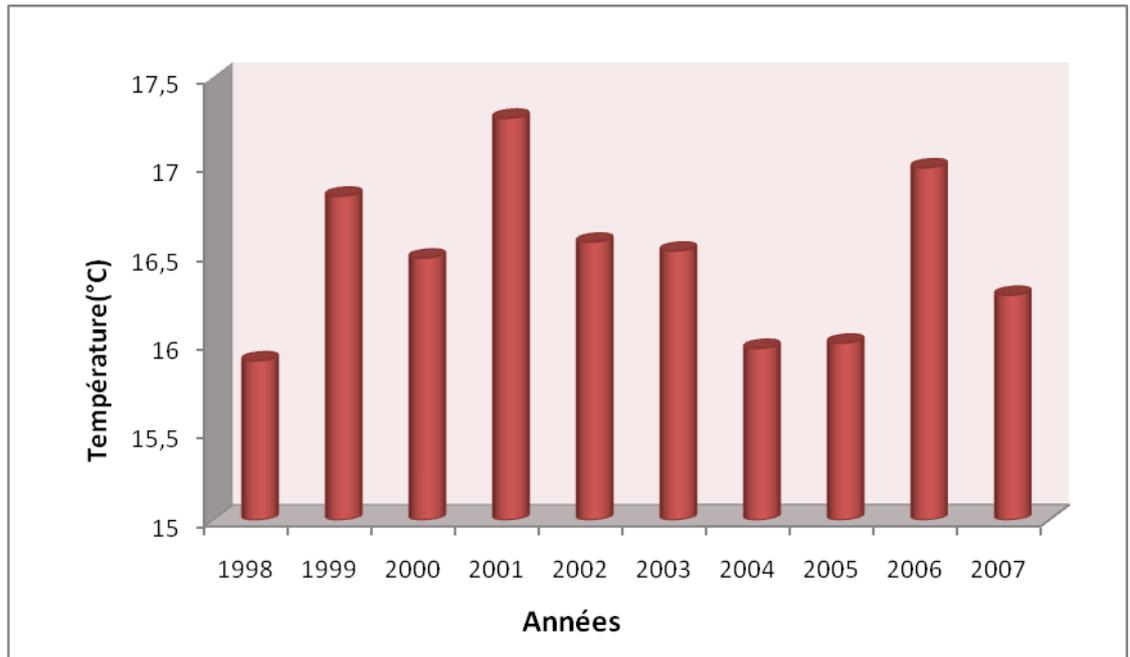
Due aux faibles dilutions, l'été est la saison pendant laquelle nous pouvons avoir les plus fortes pollutions.

IV.1.5) La température :

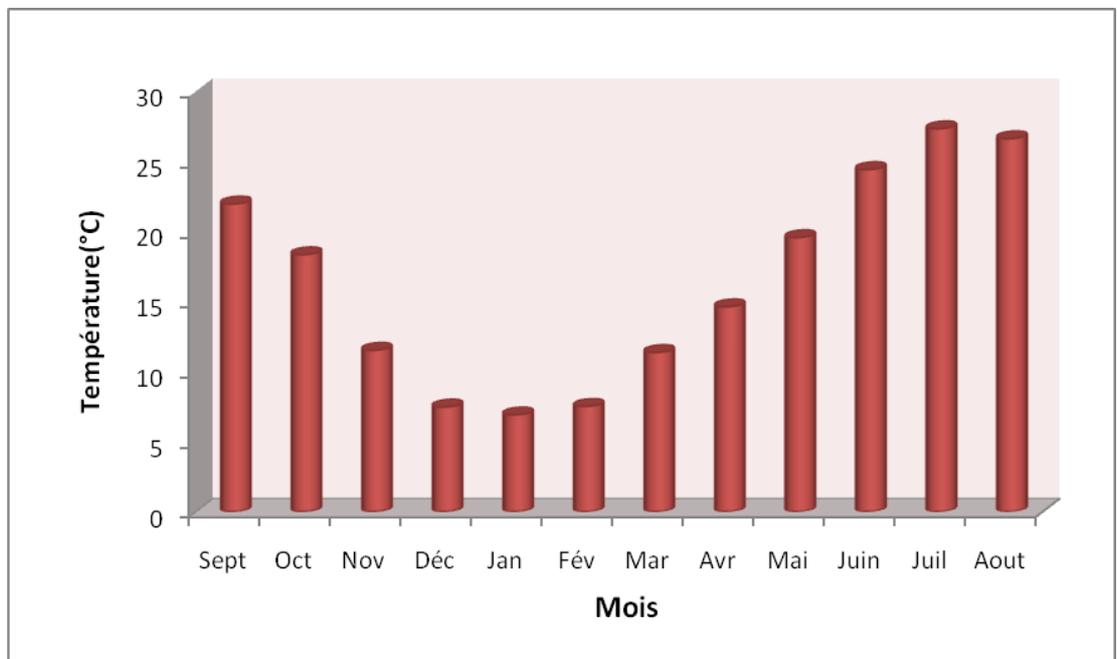
La température est un élément fondamental du climat qui et aussi important que la précipitation. Elle joue un rôle très important pour la détermination du bilan, qui se caractérise par la somme d'énergie, qui est en relation avec l'évaporation et la croissance de la plante et par leur développement.

Par manque des données au niveau de El-Aouinet et Ouenza, on a décidé de prendre les données de la station du Tébessa, qui reste la plus représentatif et elle offre des données climatiques suffisantes.

Station	Les cordonnées			Période d'observation
	X	Y	Z	
Tébessa	991.9	247.2	890	1998 2007



IV.Fig.11. 4.tableau Variation des températures inter-annuelle (Station de Tébessa:1998/2007).



IV.Fig.12 : Variation des températures mensuelles (Station de Tébessa : 1998/2007)

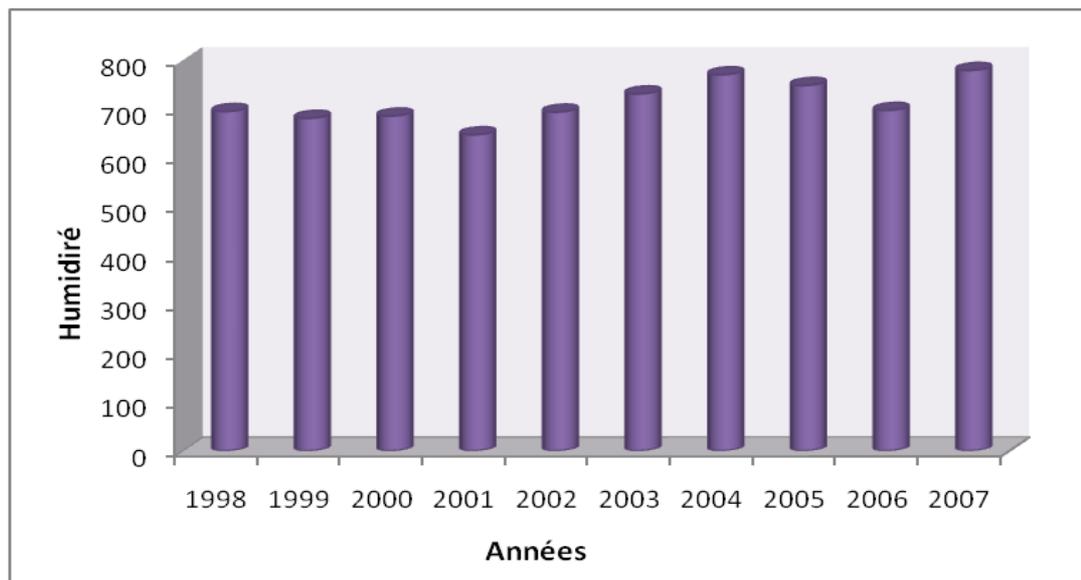
Les observations des températures enregistrées au niveau de la station de Tébessa pour une période de 10 ans (1998/2007) ont permis de constater qu'à :

- ✓ L'échelle mensuelle les hivers sont très froids et humides, les étés sont chaudes et secs avec des enregistrements des températures minimale de 6.92°C au mois de Janvier et maximal de 27.34°C au mois de Juillet.
- ✓ L'échelle annuelle une fluctuation thermique de faible amplitude donnant une certaine constante de l'allure générale. La moyenne annuelle thermique est de 17.77°C.

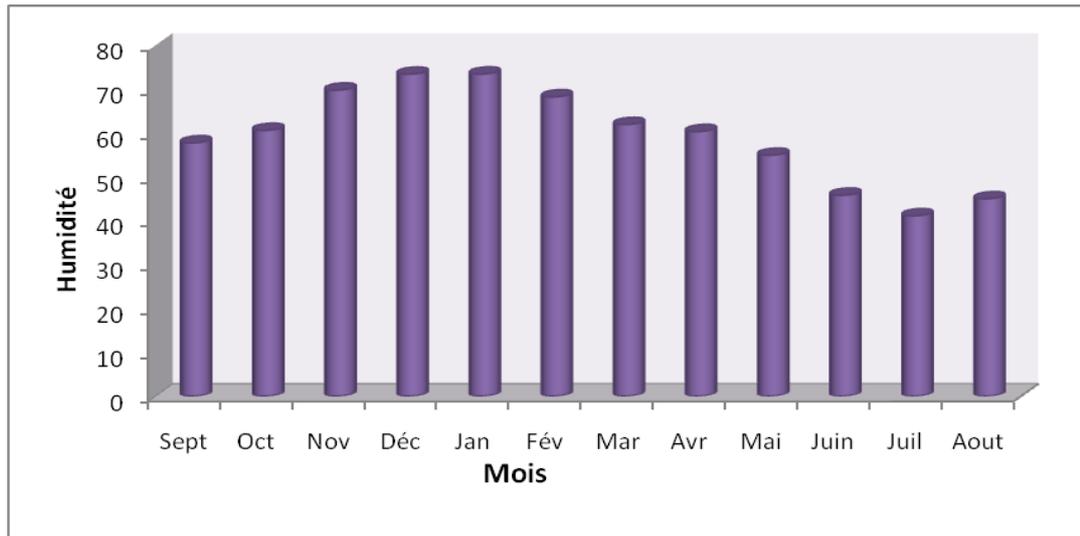
1.6) L'humidité :

L'humidité représente la quantité d'eau retenue dans l'air comme on a déjà signalé avant que notre région d'étude (Bassin Oued Mellègue) appartienne à l'étage climatique semi-aride.

De se fait et à partir des mesures enregistrées par la station de Tébessa durant une période de 10 ans (1998/2007).



IV.Fig.13.tableau. Variation des humidités inter-annuelle (Station de Tébessa:1998/2007).



IV.Fig.14 : Variation des humidités mensuelles (Station de Tébessa :1998/2007)

➤ Variation inter-annuelle des humidités : (fig : 20)

- ✓ L'année 2007 est l'année la plus humide dans l'ensemble des années avec une somme de 779,3.
- ✓ L'année 2001 est l'année la moins humide et de l'ordre 647,5.
- ✓ L'humidité moyenne annuelle est de 713,07.

➤ Variation mensuelle des humidités :

A partir du graphique obtenu (fig :21) et sur une période de 10ans (1998/2007).

On constate que :

- ✓ Le mois de Juillet est le mois le plus sec avec un pourcentage de 41,17%.
- ✓ Le mois de Janvier est le plus humide avec un pourcentage maximal égale à 73,50%.

IV.1.7) Le vent :

La distribution du champ de direction de vent est saisonnière Hiver-Eté.

Avec prédominance :

- En direction W.N.W (Ouest-Nord-Ouest) de Novembre à Avril.
- Et de S (Sud) plus significatif de Mai à Juillet.
- La vitesse maximale prédominante dans la classe (6 à 10 m/s).

Leur violence atteint son maximum en hiver, ce sont les vents du Nord-Ouest qui apportent les pluies d'hiver, les vents du N-W sont souvent secs et froids, en été les vents du Sud sont fréquents, c'est le sirocco qui peut être brûlant et qui augmente l'évaporation pendant les autres saisons.

IV.1.8) Autres facteurs :

➤ Evaporation :

- Juillet est le mois où l'évaporation est maximale avec une moyenne mensuelle de 12,00 mm.
- Janvier est le mois où l'évaporation est minimale avec une moyenne mensuelle de 3,10 mm.

➤ Insolation :

- Juillet est le mois le plus ensoleillé avec une (11,1 heures/jour).
- Janvier est le mois le moins ensoleillé avec (5,3 heures/jour).
-

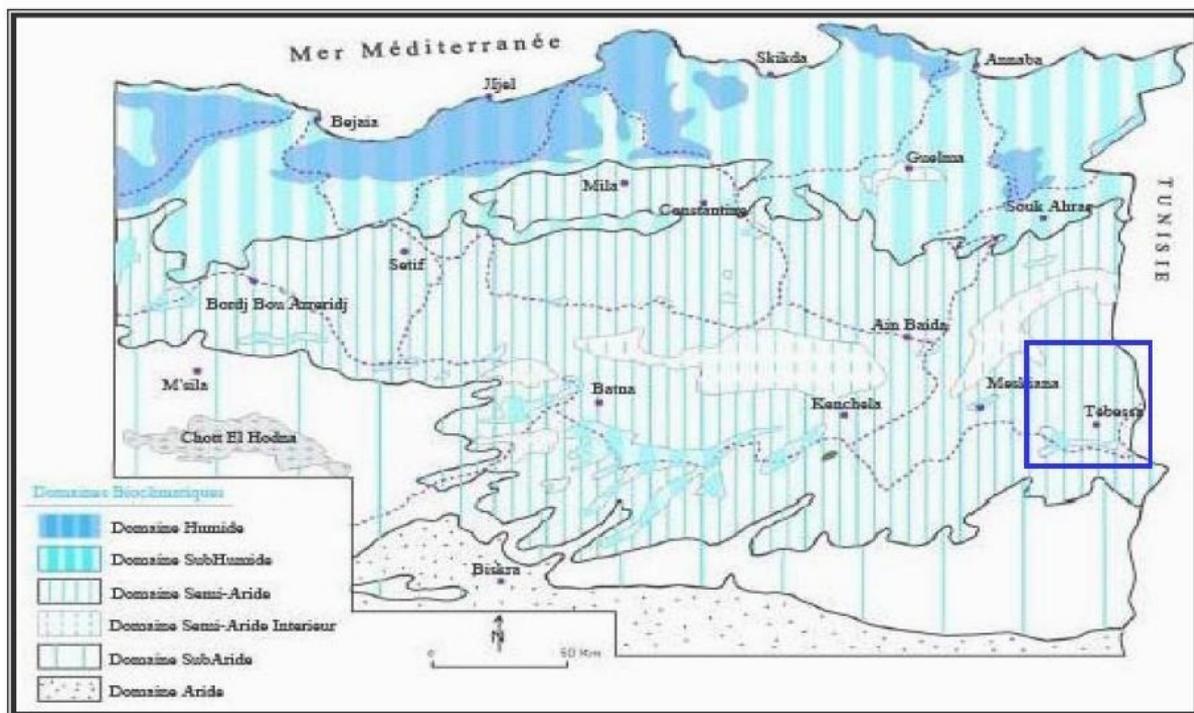
➤ Nébulosité :

- Février est le mois le plus nuageux avec (4,4 OCLA).
- Juillet est le mois le moins nuageux avec (1,4 OCTA).

IV.2. Caractéristiques climatiques de la région

L'Algérie, du fait de sa situation géographique se trouve partagée en trois zones climatiques distinctes (figure 33); la première à climat méditerranéen au Nord, la seconde à climat semiaride vers l'intérieur du pays (hauts plateaux) et enfin un climat aride qui caractérise le grand Sahara.

La région d'étude Ouneza-El Aouinet fait partie de la seconde zone, marquée par les risques et les aléas. Dans ce qui suit nous présentons un aperçu hydroclimatologique, indispensable à la compréhension des processus d'alimentation et de restriction des eaux souterraines, ce qui nous permettra d'avancer dans la connaissance du comportement hydrologique des cours d'eau, et dans la variation des réserves des eaux souterraines. Ainsi, la variation des paramètres climatiques donne des indications sur l'évolution des concentrations des éléments chimiques, en fonction des saisons, tant au niveau des eaux souterraines qu'au niveau des eaux de surface.



IV.Fig.15 : Carte bioclimatique de l'Algérie (Cote M., 1998)

IV.1.A. Les précipitations :

La précipitation est l’une des composantes primordiales du cycle hydrologique ; elle pourra être qualifiée de facteur essentiel puisqu’elle constitue la matière première du cycle. Une eau est dite «précipitée» lorsqu’elle atteint la surface du sol sous état liquide ou solide. A cause des changements de pression et de température ainsi qu’en conséquence des mouvements des masses d’air, la vapeur d’eau contenue dans ces masses se regroupe en gouttes d’eau et en cristaux de neige qui précipitent vers la superficie. La précipitation est un phénomène discontinu, en conséquence on ne peut pas parler de sa variation journalière ou annuel de la même manière que pour la température ou les autres éléments météorologiques ; sa distribution spatio-temporelle est généralement variable. Afin de caractériser cette composante climatique au niveau de la région d’étude, trois stations pluviométriques ont été considérées. Ces stations sont relativement bien réparties. Elles présentent une moyenne base de données s’étalant sur des périodes d’enregistrement, comprises entre 25 et 29 ans (Tableau 8).

Tableau 7: Moyennes pluviométriques interannuelles des stations de la zone d’étude

Station	P (mm)	Indice de Martonne	Type de climat
Tébessa	322,17	12,25	Climat semi-aride

IV.1.B. Variation de la pluviométrie annuelle :

La pluviométrie demeure le paramètre le plus important, elle conditionne l’écoulement saisonnier, le régime des cours d’eau et l’alimentation des nappes d’eau souterraines.

Les hauteurs des précipitations moyennes annuelles sont fournies par l’ANRH et la station météorologique Tébessa.

Nous remarquons une disparité au niveau des quantités de pluie enregistrées pour les trois stations. Cette disparité est importante entre la station de Tébessa et les deux stations, c’est-à-dire que la quantité d’eau qui tombe est presque la même pour la station d’El Aouinet et la station de Ouneza

La pluie annuelle moyenne varie entre un minimum de 305.57 mm au niveau d’El Aouinet et un maximum de 322.17 mm au niveau de Tebessa.

IV. A.2. Variations annuelles des précipitations :

Les figures visualisent l'évolution de la pluviométrie annuelle où l'on remarque que les hauteurs maximales des précipitations atteignent 624 mm au niveau de la station de Tébessa au cours de l'année 1995-96, 486 mm à El Aouinet (2010-2011) et de 413,7 mm à Ouneza

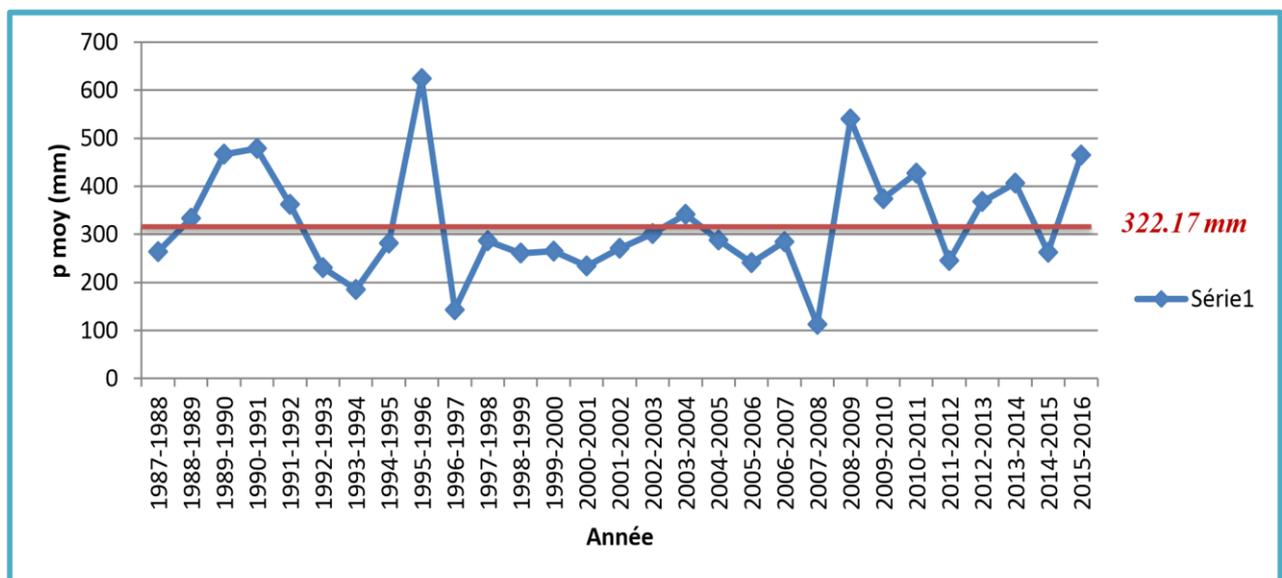
(1996-97) tandis que les hauteurs minimales sont de 185 mm (1993-94) à Tébessa, 183,2 (1997-98) à El Aouinet et de 57,8 mm (1994-95) à l'Ouenza.

La variation temporelle de ces précipitations annuelles montre le régime annuel est très irrégulier d'une année à l'autre (dents en scie).

IV.A.2.a) Station de Tébessa :

Le graphe suivant montre les variations annuelles des précipitations au niveau de la station de Tébessa. L'observation du graphique (figure 34), montre une variation presque cyclique des épisodes déficitaires et des épisodes excédentaires.

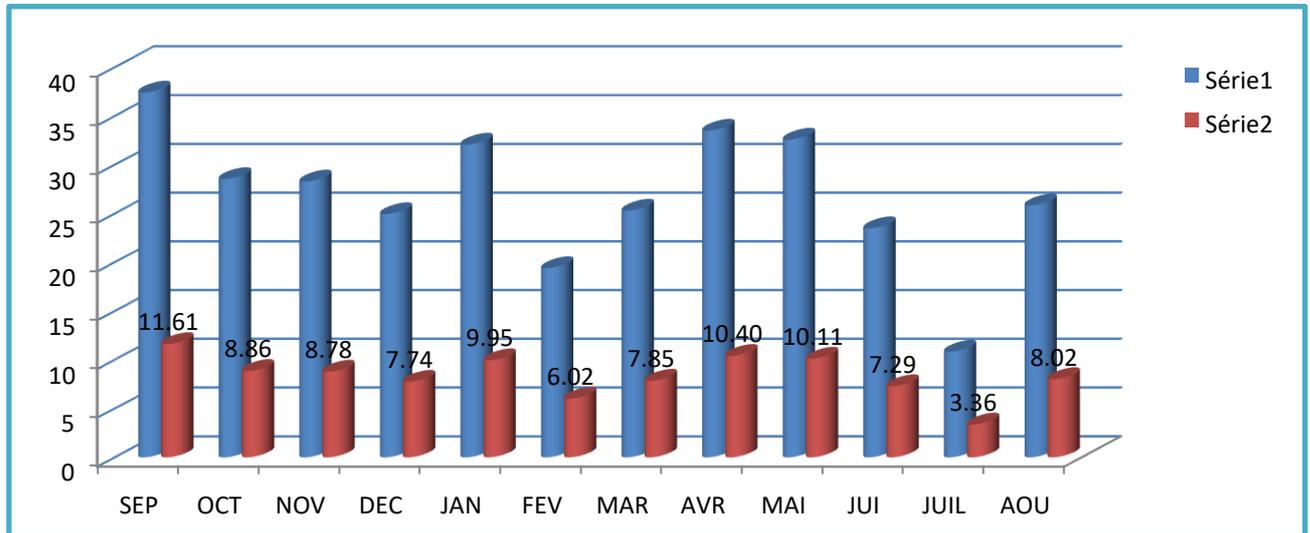
Cette station a une série qui s'étend sur la période 1987-2016, outre, la lame d'eau moyenne annuelle est égale à 322.17 mm. Les calculs font sur différentes périodes montre que les années les plus pluvieuses sont 1989-1992, 1995-1996, 2003-2004, 2009-2011, 2012-2014 et 2015-2016 soit 10 ans en excédent, Par ailleurs, les années les plus sèches sont 1987-1988,



IV.Fig.16 : Précipitations moyennes annuelles de la station de Tébessa pour la période (1987/2016).

1992-1995, 1997-2003, 2005-2008, 2011-2012 et 2014-2015.

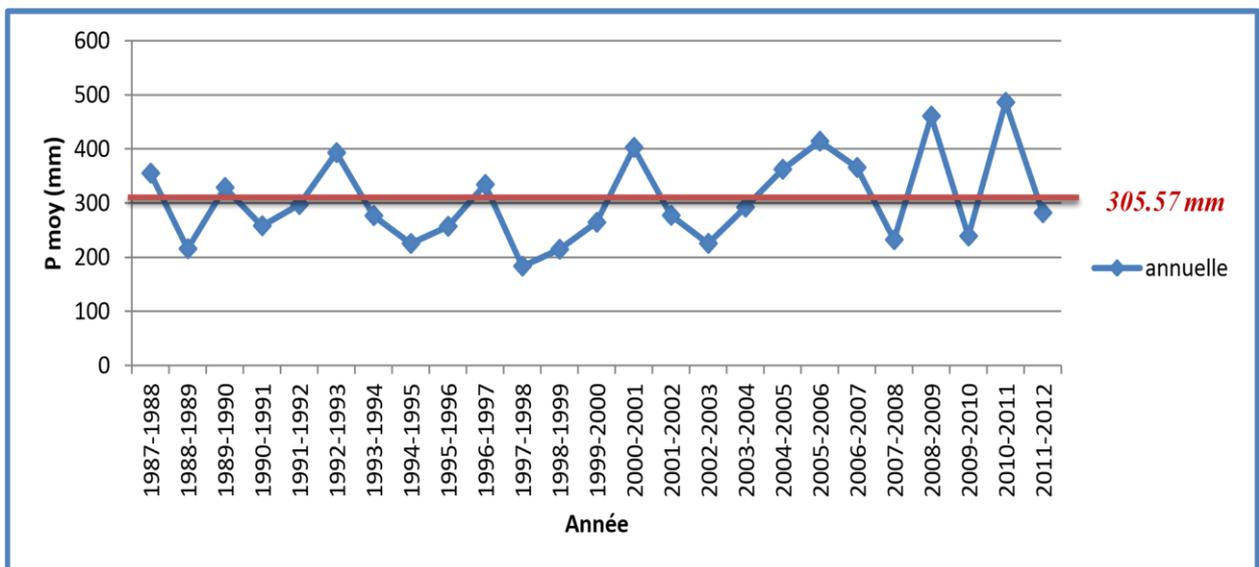
L'automne et le printemps constituent les saisons les plus pluvieuses (29 et 28 % des précipitations annuelles selon la station). La contribution d'hiver atteint les 23 %. L'été est la saison la plus sèche, 18 % des précipitations annuelles s'y produisent (Figure 35) ;



IV.Fig.17 : Contribution de la pluviométrie mensuelle moyenne au niveau de la station de Tébesa

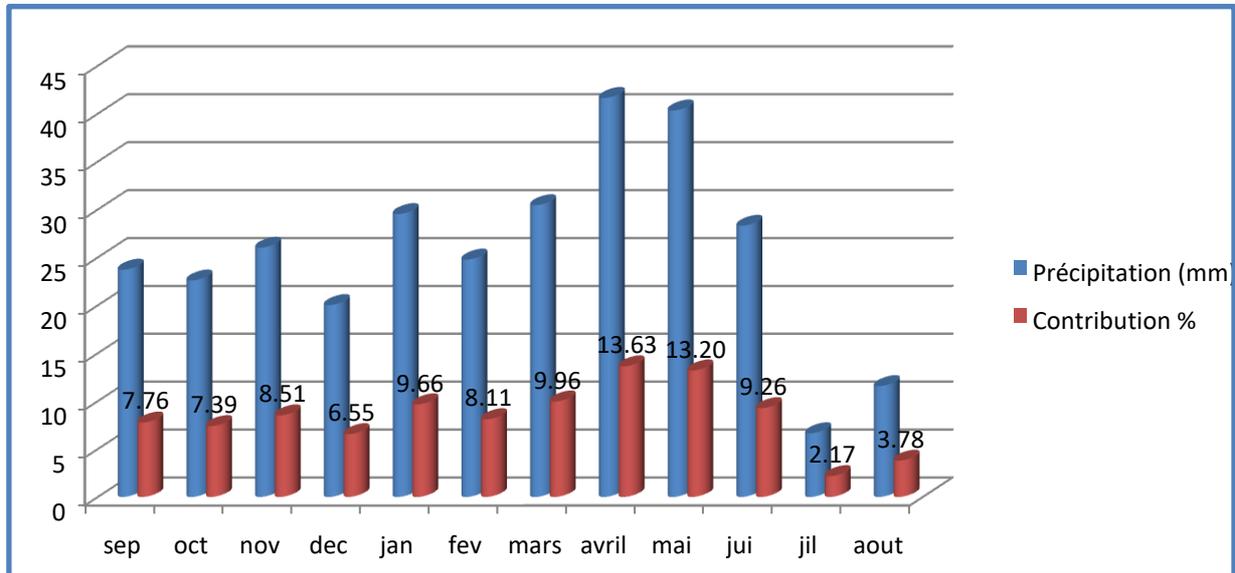
IV.A.2.b). Station d'El Aouinet :

L'observation du graphe montre une variation en dents de scie, traduisant des cycles courts (en durée) des épisodes déficitaires ou excédentaires. (Fig. 36)



IV.Fig.18 : Pluviométrie annuelle dans la station d'El Aouinet (1987-2012)

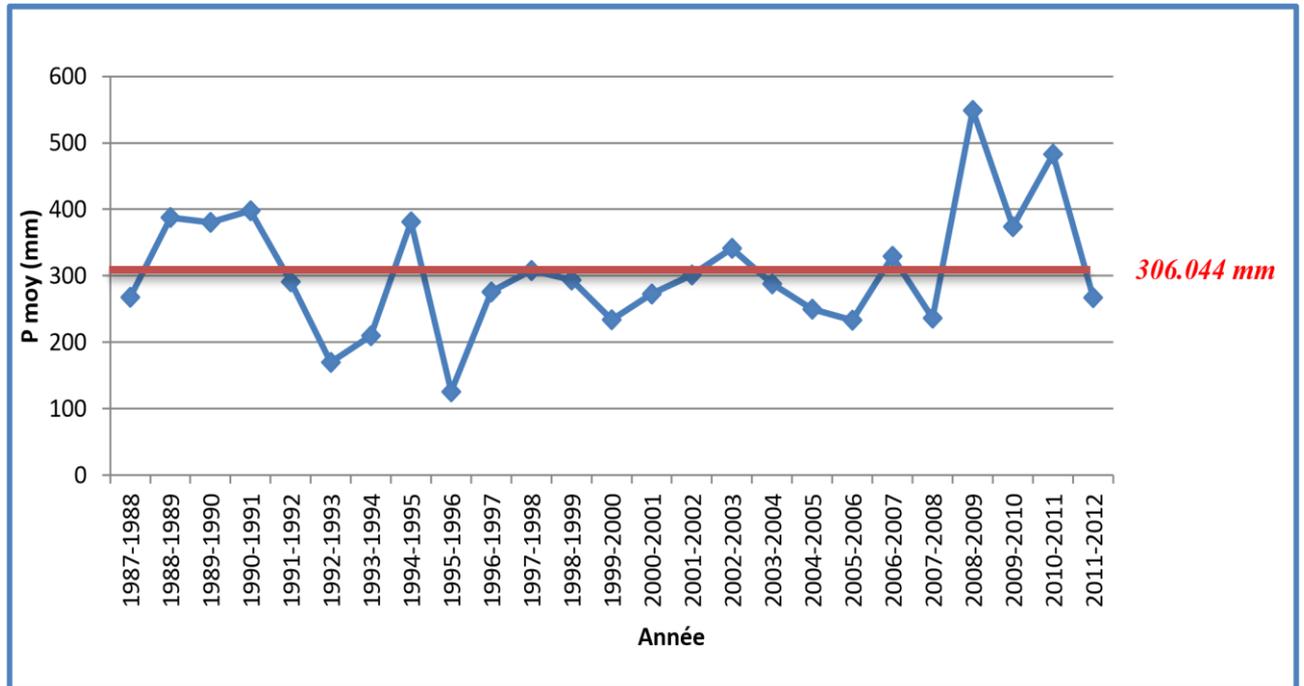
L'hiver et le printemps constituent les saisons les plus pluvieuses (24 et 36 % des précipitations annuelles selon la station). La contribution d'automne atteint les 23 %. L'été est la saison la plus sèche, 15 % des précipitations annuelles s'y produisent (Figure 37) ;



IV.Fig.19 : Contribution de la pluviométrie mensuelle moyenne au niveau de la station d'El Aouinet

IV.A.2.C). Station de Ouneza :

L’observation du graphe montre une variation en dents de scie, traduisant des cycles courts (en durée) des épisodes déficitaires ou excédentaires. **(Fig. 38)**

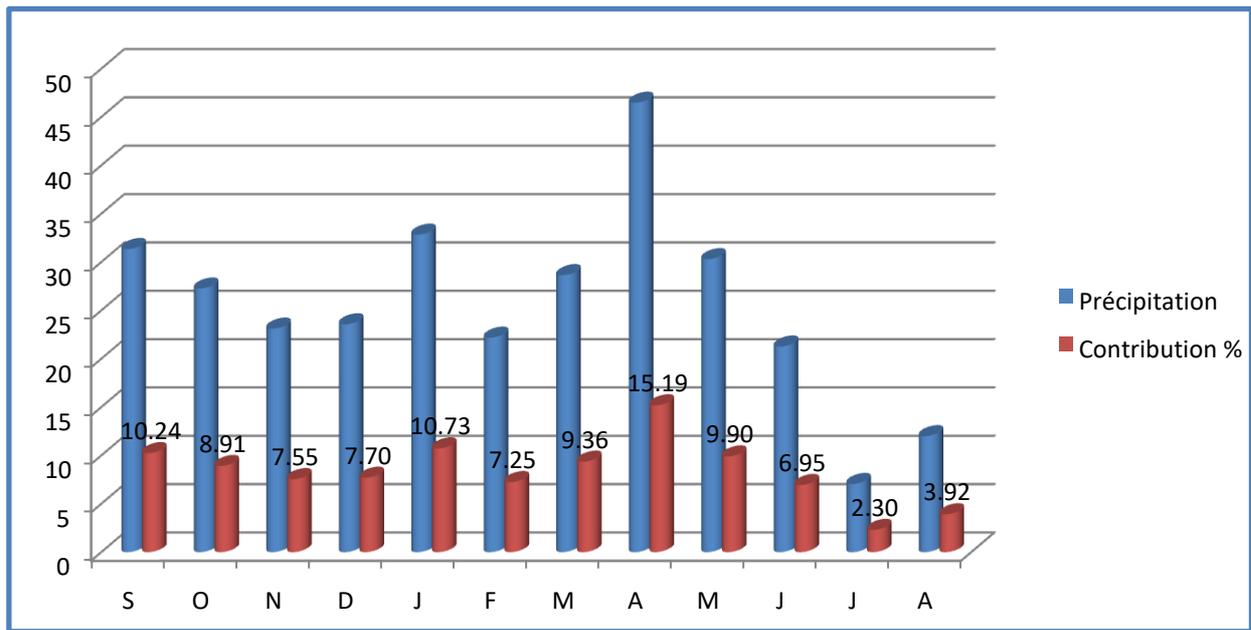


IV.Fig.20 : Pluviométrie annuelle dans la station de Mosott (1987-2012).

L’hiver et le printemps constituent les saisons les plus pluvieuses (27 et 32 % des précipitations annuelles selon la station). La contribution d’automne atteint les 24 %.

L’été est la saison la plus sèche, 16 % des précipitations annuelles s’y produisent

(Figure 28) ;



IV.Fig.21 : Contribution de la pluviométrie mensuelle moyenne au niveau de la station de Ouneza

IV.B. Calcul du coefficient pluviométrique :

Ce coefficient permet de déterminer pour une station donnée si l’année est excédentaire ou déficitaire, il est défini par le rapport de la pluviométrie P d’une année à la pluviométrie moyenne P pour une période de 10 années.

$$H = \frac{P_i}{P_{moy}}$$

P_i : Hauteur annuelle de pluie de l’année considérée, en (mm). P_{moy} : Pluviométrie moyenne en (mm).

H : Coefficient pluviométrique où coefficient d’hydraulicité.

L’année est excédentaire lorsque H est supérieur à l’unité (H>1) et déficitaire quand H est inférieur à 1 (H<1) comme le montre le tableau suivant :

II .4. tableau .Coefficient pluviométrique des stations de Tebessa, Ouneza et El Aouinet.

	Station de Tebessa			Station d'ElAouinet			Station de Morsott		
	Hauteur	Pluviométrie	Coefficient	Hauteur	Pluviométrie	Coefficient	Hauteur	Pluviométrie	Coefficient
	annuelle des pluies P (mm)	moyenne	pluviométrique	annuelle des pluies P (mm)	moyenne	pluviométrique	annuelle des pluies P (mm)	moyenne	pluviométrique
		P (mm)	H		P (mm)	H		P (mm)	H
87-88	263,8	322,17	0,82	355,1	305,57	1,16	267,9	306,044	0,88
88-89	333,3	322,17	1,03	215,4	305,57	0,7	387,9	306,044	1,27
89-90	466,8	322,17	1,45	328,6	305,57	1,08	380,6	306,044	1,24
90-91	478,8	322,17	1,49	257,8	305,57	0,84	398	306,044	1,3
91-92	362,2	322,17	1,12	297	305,57	0,97	291,1	306,044	0,95
92-93	230,5	322,17	0,72	392,94	305,57	1,29	170	306,044	0,56
93-94	185	322,17	0,57	276,5	305,57	0,9	210	306,044	0,69
94-95	281,5	322,17	0,87	225,2	305,57	0,74	381,4	306,044	1,25
95-96	624	322,17	1,94	256,8	305,57	0,84	125,7	306,044	0,41
96-97	142,7	322,17	0,44	334,1	305,57	1,09	275,9	306,044	0,9
97-98	286,4	322,17	0,89	183,2	305,57	0,6	308,1	306,044	1,01
98-99	260,9	322,17	0,81	214,4	305,57	0,7	293,8	306,044	0,96
99-00	264,8	322,17	0,82	264,2	305,57	0,86	234,1	306,044	0,76
00-01	234,1	322,17	0,73	402,6	305,57	1,32	272,8	306,044	0,89
01-02	270,8	322,17	0,84	277,1	305,57	0,91	301,4	306,044	0,98
02-03	301,4	322,17	0,94	225,2	305,57	0,74	341,5	306,044	1,12
03-04	341,5	322,17	1,06	292,1	305,57	0,96	288	306,044	0,94
04-05	288	322,17	0,89	362,2	305,57	1,19	250	306,044	0,82
05-06	240,9	322,17	0,75	414,1	305,57	1,36	233,4	306,044	0,76
06-07	284,5	322,17	0,88	365,6	305,57	1,2	329,5	306,044	1,08
07-08	112,5	322,17	0,35	232	305,57	0,76	236,5	306,044	0,77
08-09	540	322,17	1,68	460,6	305,57	1,51	549	306,044	1,79
09-10	374,1	322,17	1,16	238,8	305,57	0,78	374,1	306,044	1,22
10-11	427,2	322,17	1,33	486	305,57	1,59	483,1	306,044	1,58
11-12	245,3	322,17	0,76	281,9	305,57	0,92	267,3	306,044	0,87
12-13	368,3	322,17	1,14						
13-14	406,5	322,17	1,26						
14-15	262,4	322,17	0,81						
15-16	464,8	322,17	1,44						

L'étude de l'évolution annuelle des trois stations a mis en évidence 12 ans excédentaires sur 29 ans à la station de Tebessa, 10 ans sur 25 ans à la station de d'El Aouinet avec une période qui s'étale de 2004 à 2007, 10 ans sur 25 ans à Ouneza avec une période qui s'étale de 1989 à 1991 et une période secondaire de 2008-2011. Au niveau de cette zone et sur les vingt cinq (25) années on remarque que les nombres des années déficitaires est supérieure au nombre des années excédentaires, ceci implique que les apports par les précipitations reste faible.

IV.3. Analyse pour chaque station :

- *Station de Tébessa :*

Au niveau de cette station, nous observons la répartition suivante :

Années déficitaires : 17 années.

Années excédentaires : 12 années.

Soit 58.62 % des années sont déficitaires et 41.38 % excédentaires.

- *Station d'El Aouinet :*

Années déficitaires : 15 années.

Années excédentaires : 10 années.

Soit 60 % des années sont déficitaires et 40 % excédentaires.

- *Station de Ouneza:*

Années déficitaires : 15 années,

Années excédentaires : 10 années

Soit 40 % des années sont déficitaires et 60 % excédentaires.

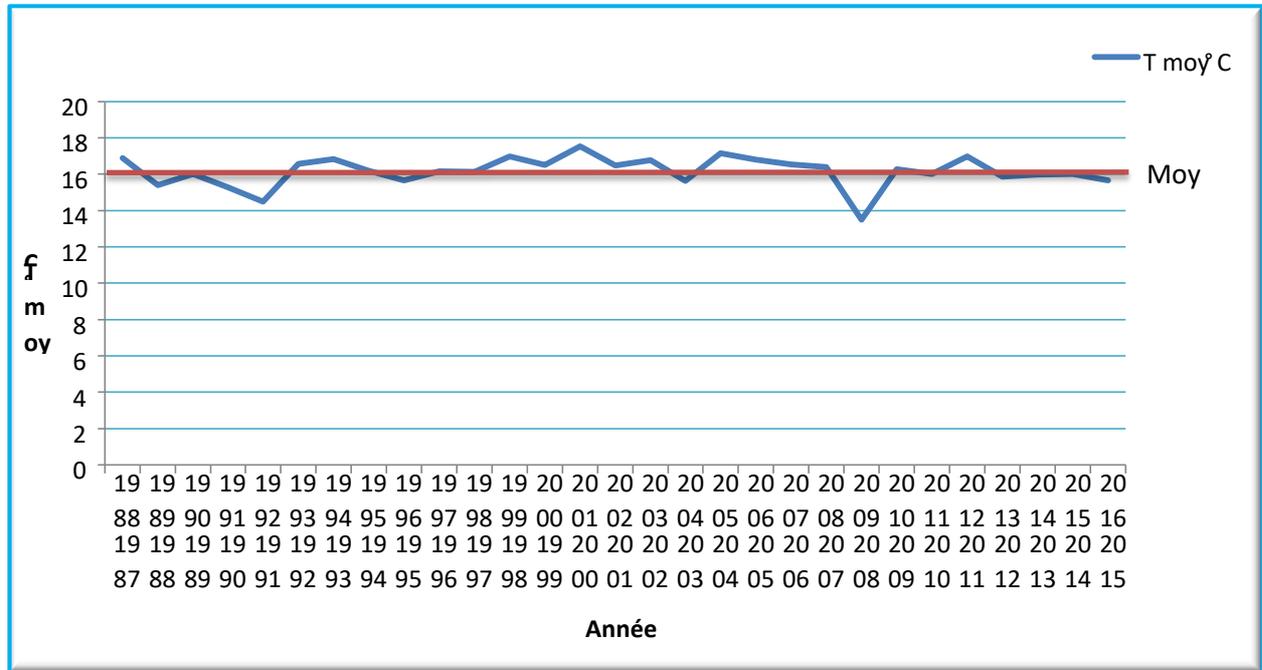
IV.4. Etude des températures :

La température est le second facteur régissant les variations climatiques. Elle intervient dans le calcul du bilan hydrologique de la région. Pour mener notre travail, nous disposons des températures enregistrées à la station de l'aéroport de Tébessa pour la période 1987-1988 à 2015-2016.

II.5. tableau. Les températures annuelles :

Année	T moy C°	Année	T moy C°
1987-1988	16.88	2002-2003	16.48
1988-1989	15.04	2003-2004	16.03
1989-1990	16	2004-2005	16.13
1990-1991	15.28	2005-2006	16.79
1991-1992	14.5	2006-2007	16.55
1992-1993	16.58	2007-2008	16.44
1993-1994	16.84	2008-2009	14.51
1994-1995	16.18	2009-2010	16.28
1995-1996	15.65	2010-2011	15.97
1996-1997	16.42	2011-2012	15.82
1997-1998	16.57	2012-2013	15.86
1998-1999	16.48	2013-2014	15.97
1999-2000	16.04	2014-2015	16
2000-2001	19.08	2015-2016	15.66
2001-2002		16.73	

Les températures moyennes annuelles varient de 14,5 °C (1991-1992) l'année la plus froide à 19,08 °C (2000-2001) l'année la plus chaude. Le reste oscille entre 15,2 et 16,8 °C, la moyenne est de 16,29 °C et un écart type est de 0,81.



IV.Fig.22 : Températures moyennes annuelles de la station de Tébessa pour la période (1987/2016)

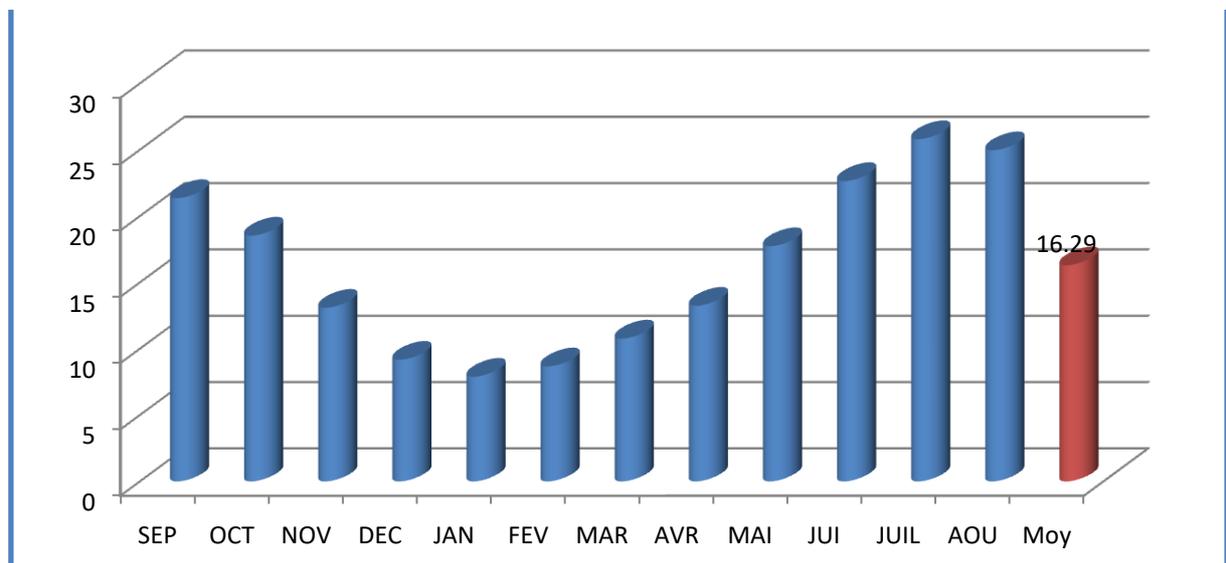
a.Températures moyennes mensuelles :

On dispose des données de températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa pour la période 1987/2016.

II .6. tableau .Températures moyennes mensuelles et annuelles

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Tébessa	21.36	18.53	13.09	9.17	7.89	8.67	10.77	13.24	17.73	22.64	25.80	24.96	16.29

La figure 41 montre que les basses températures s’observent de décembre à février, avec un minimum de 7.89 pendant Janvier, tandis que les températures moyennes élevées s’observent aux mois de juillet avec 25.80°C et août avec 24.96°C. L’écart thermique entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid varie est de 17,91°C.



IV.Fig.23 : Températures moyennes mensuelle de la station de Tébessa pour la période (1987-2016)

B.Les indices thermiques :

b.1.Indice de Martonne :

Cet indice ne peut être calculé pour les stations d’El Aouinet et de Ouneza, car on n’a pas la température.

En se basant sur le régime des précipitations et des températures De MARTONNE (1923) a défini un indice d’aridité "A".

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : température moyennes annuelles (°C).

Pour

$A < 5$: climat hyperaride.

$5 < A < 7,5$: climat désertique.

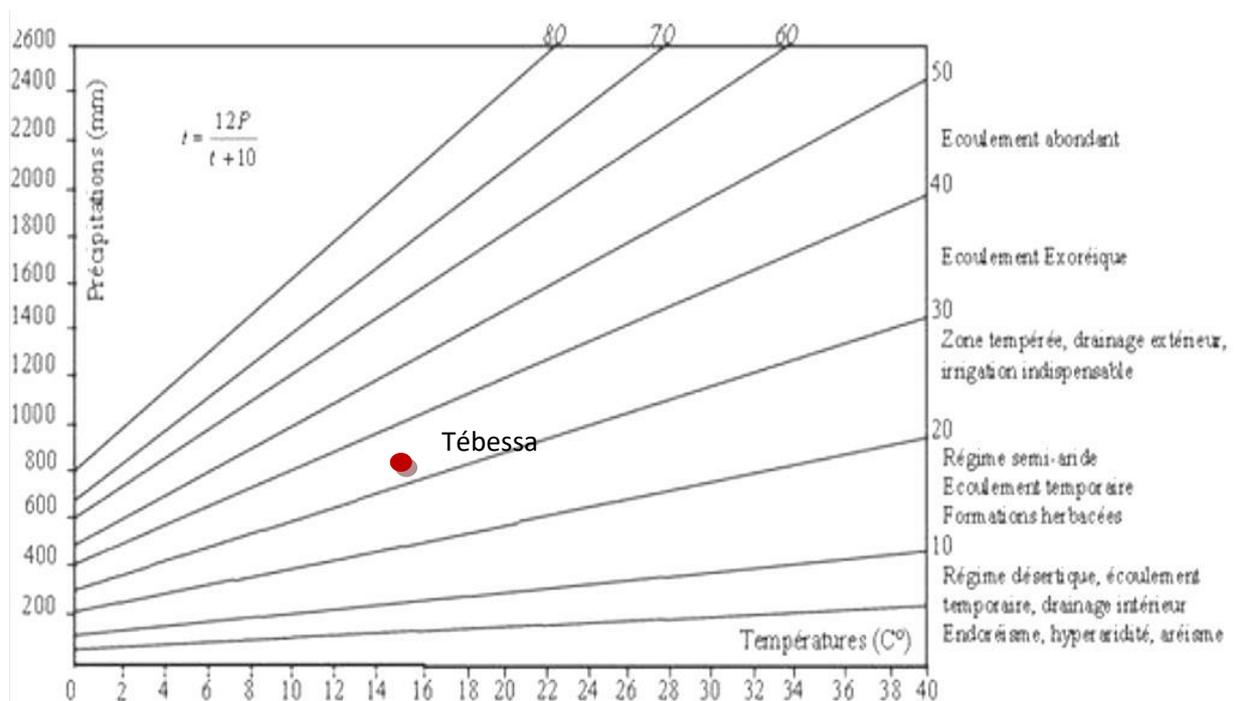
$7,5 < A < 10$: climat steppique.

$10 < A < 20$: climat semi-aride.

$20 < A < 30$: climat tempéré.

II.7. Indice d'aridité annuel de De Martonne

Station	P (mm)	Indice de Martonne	Type de climat
Tébessa	322,17	12,25	Climat semi-aride

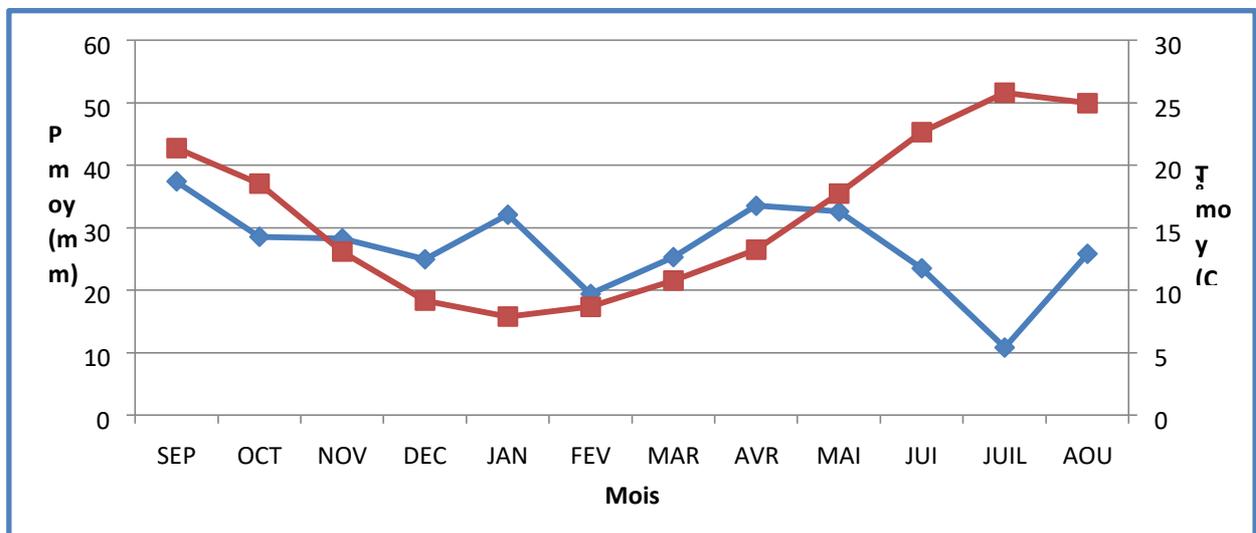


IV.Fig.24 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne

b.2. Diagramme pluviothermique de Gausсен et Bagnouls :

Selon BAGNOULS et GAUSSEN (1953), un mois est dit sec si : le total mensuel des précipitations exprimées en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne, exprimée en degrés centigrades, cette formule ($P \leq 2T$) permet de construire des diagrammes pluviothermiques traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes.

Une application a été faite à la station de Tébéssa, il résulte que la saison humide s'étend du mois du Novembre jusqu'à mi-Avril.



IV.Fig.25 : Courbe pluviothermique de la station de Tébéssa pour la période (1987-2016)

c. Evaporation :

On dispose de mesures réalisées avec un bassin d'évaporation de type « Colorado » : c'est un bac enterré, le bord dépasse le niveau du sol d'une dizaine de centimètres. C'est un parallélépipède dont la section droite est un carré de 0,914 m de côté. La profondeur de l'eau est de 0,462 cm. On dispose des données de Tébéssa pour la période 1971-2006.

II.7. tableau .Moyennes mensuelles de l'évaporation à la station de Tébessa : période 1971-2006.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Evaporation en mm	221,16	161,4	109,16	93,32	88,89	105,95	133,5	175,05	224,68	280,37	367,95	332,95
Evaporation en (%)	9,64	7,03	4,76	4,08	3,87	4,62	5,82	7,63	9,79	12,22	16,03	14,51

D. Evapotranspiration :

C'est la restitution de l'eau à l'atmosphère à partir d'une surface quel que soit sa nature : sol, végétation, surface d'eau libre, neige ou glace, par transformation de l'eau en vapeur. Ce processus est le résultat de deux phénomènes : L'évaporation (E) : s'effectue à partir des surfaces évaporantes, surfaces d'eau libre et les sols humides.

La transpiration (T) ou évaporation physiologique : est l'évaporation biologique des plantes.

D.1. Evapotranspiration potentielle ETP :

L'évapotranspiration potentielle qui correspond à la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on a appliqué les formules de Thornthwaite et de Bouchet.

Les données de température qu'on dispose sont celles de la station de Tébessa.

D.1.a) Formule de Thornthwaite :

La formule THORNTHWAITE basée essentiellement sur les températures de l'air est la suivante :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^{\alpha}$$

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm) ;

T : Température moyenne de la période considérée C° ;

I : Indice thermique annuel égal à la somme des 12 indices mensuels ; i : Indice thermique mensuel et égale à :

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

α : Indice calculé à partir de la formule : $\alpha = \frac{1,6}{100} I + 0,5$

Les valeurs de ETP trouvées par cette formule devraient être corrigées à l'aide d'un facteur correctif noté K, celui-ci dépend du temps, du lieu de la station : ETP corrigée = ETP non corrigée X K

Le résultat obtenu pour la station de Tébessa est mentionné dans le tableau suivant pour : I = 60,8 et a = 1,47, l'ETPc = 849,7 mm, soit 245,87 % des précipitations.

D.2. Evapotranspiration réelle ETR :41.

L'évapotranspiration réelle est une réponse, en termes de vapeur d'eau, d'un milieu donné à la demande exercée par l'évapotranspiration potentielle, compte tenu de la quantité d'eau disponible.

L'évapotranspiration réelle est estimée à l'aide des formules de TURC, COUTAGNE, WUNDT et THORNTHWAITE.

a) Formule de Turc

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm)

T : Température moyenne annuelle en (C°)

P : Précipitation moyenne annuelle en

(mm) L : (300+25T+0.05T³)

b) Formule de Contagne

$$ETR = P - \gamma P^2$$

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm)

T : Température moyenne annuelle en (C°)

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

$$\gamma = \frac{1}{0.8 + 0.14 \times T}$$

Cette formule est valable si : $\frac{1}{8}\gamma < P < \frac{1}{2}\gamma$

Donc, cette formule n'est pas valable pour la région d'étude. P=322.17 γ=0,34

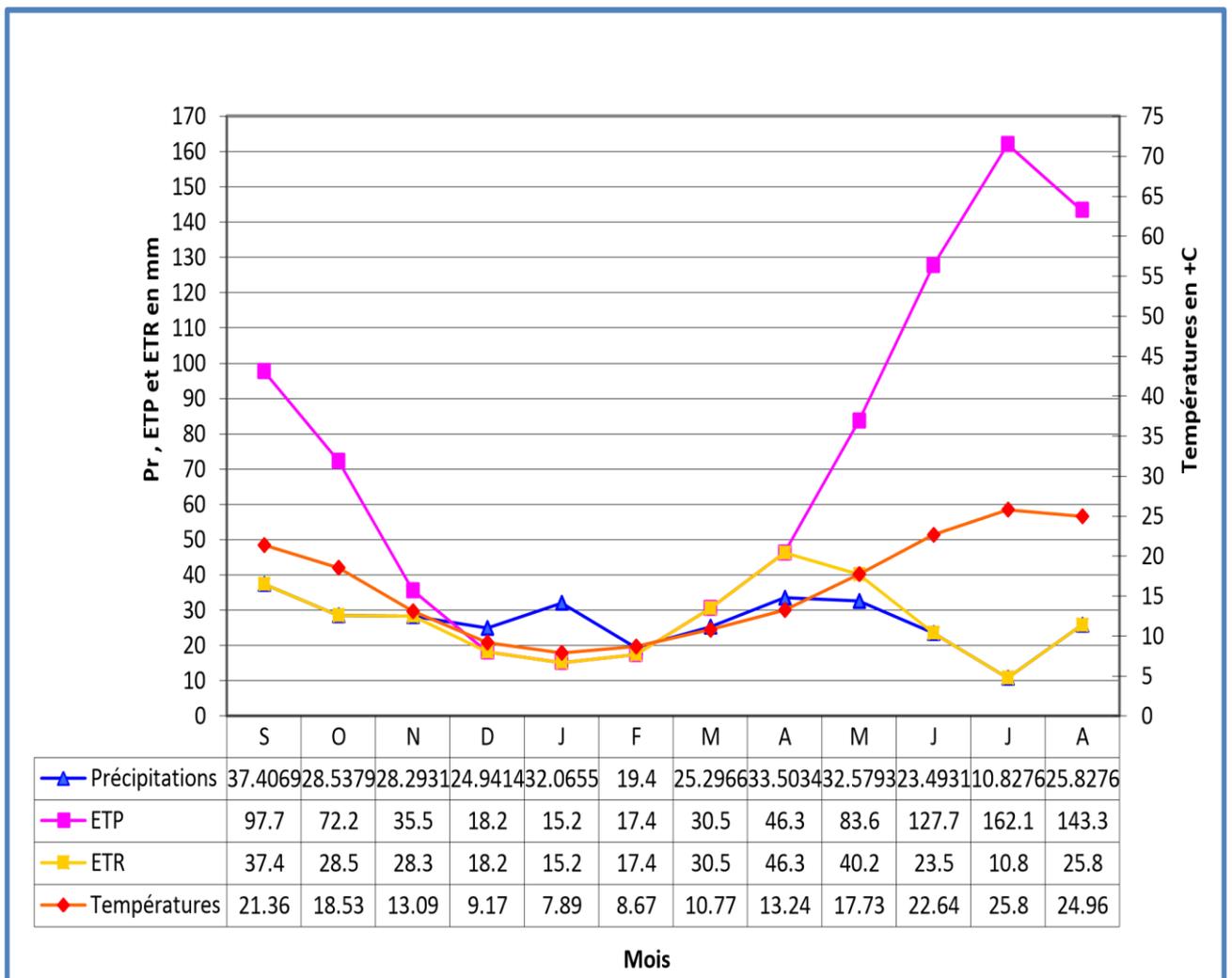
c) Formule de Thornthwaite

- Pour le calcul de l'ETR, on a utilisé la méthode de THORNTHWAITE qui se distingue par deux cas principaux :
- Estimation des réserves facilement utilisable « RFU »
- Elles présentent la quantité d'eau emmagasinée dans le sol donnée par la formule de J.Richard
- 1979
- $$RFU = \frac{1}{3} Da. He. P$$
- RFU : Reserve facilement utilisable en mm
- Da : Densité apparente du sol
- He : Capacité de rétention (teneur en eau)
- P : Tranche d'eau parcourue par les racines
- Calcul du ruissellement « R »
- D'après la formule de Tixeront et Berkalof on peut calculer le ruissellement à partir de la précipitation moyenne annuelle et l'évapotranspiration potentielle.
- $$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$
- Calcul d'infiltration « I »
- La formule du bilan hydraulique est la suivante :
- $$P = ETR + I + R$$
- $$I = P - ETR - R$$
- En tenant compte de si :
- $I > 0$ les entrées sont supérieures aux sorties.
- $I < 0$ les entrées sont inférieures aux sorties.
- Dans notre cas on ne calcul pas l'infiltration ainsi que le ruissellement car le bilan hydrique est déficitaire dans son ensemble.

II.8. tableau .bilan hydrique de la station de Tébessa (1987-2012)

CHAPITRE IV.....CLIMATOLOGIE

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	21.36	9.0	1.03	97.7	37.40	-60.3	-0.6	0.0	0.0	37.4	60.3	0.0
O	18.53	7.3	0.97	72.2	28.53	-43.7	-0.6	0.0	0.0	28.5	43.7	0.0
N	13.09	4.3	0.86	35.5	28.29	-7.2	-0.2	0.0	0.0	28.3	7.2	0.0
D	9.17	2.5	0.81	18.2	24.94	6.7	0.4	6.7	6.7	18.2	0.0	0.0
J	7.89	2.0	0.87	15.2	32.065	16.9	1.1	16.9	23.6	15.2	0.0	0.0
F	8.67	2.3	0.85	17.4	19.40	2.0	0.1	2.0	25.6	17.4	0.0	0.0
M	10.77	3.2	1.03	30.5	25.29	-5.2	-0.2	-5.2	20.4	30.5	0.0	0.0
A	13.24	4.4	1.10	46.3	33.50	-12.8	-0.3	-12.8	7.6	46.3	0.0	0.0
M	17.73	6.8	1.21	83.6	32.58	-51.0	-0.6	-7.6	0.0	40.2	43.4	0.0
J	22.64	9.8	1.22	127.7	23.49	-104.2	-0.8	0.0	0.0	23.5	104.2	0.0
J	25.8	12.0	1.24	162.1	10.83	-151.3	-0.9	0.0	0.0	10.8	151.3	0.0
A	24.96	11.4	1.16	143.3	25.83	-117.5	-0.8	0.0	0.0	25.8	117.5	0.0
Annuel	16.2	75.0		849.7	322.2	-527.5				322.2	527.5	0.0



IV.Fig.25 : Graphe du bilan hydrique par la méthode de THORNWAITE station de tebessa (1987-2016)

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	21.36	9.0	1.03	97.7	23.716	-73.9	-0.8	0.0	0.0	23.7	73.9	0.0
O	18.53	7.3	0.97	72.2	22.592	-49.6	-0.7	0.0	0.0	22.6	49.6	0.0
N	13.09	4.3	0.86	35.5	26.012	-9.5	-0.3	0.0	0.0	26.0	9.5	0.0
D	9.17	2.5	0.81	18.2	20.0256	1.8	0.1	1.8	1.8	18.2	0.0	0.0
J	7.89	2.0	0.87	15.2	29.524	14.3	0.9	14.3	16.1	15.2	0.0	0.0
F	8.67	2.3	0.85	17.4	24.772	7.4	0.4	7.4	23.5	17.4	0.0	0.0
M	10.77	3.2	1.03	30.5	30.448	-0.1	0.0	-0.1	23.4	30.5	0.0	0.0
A	13.24	4.4	1.10	46.3	41.644	-4.6	-0.1	-4.6	18.8	46.3	0.0	0.0
M	17.73	6.8	1.21	83.6	40.336	-43.3	-0.5	-18.8	0.0	59.1	24.5	0.0
J	22.64	9.8	1.22	127.7	28.3	-99.4	-0.8	0.0	0.0	28.3	99.4	0.0
J	25.8	12.0	1.24	162.1	6.644	-155.4	-1.0	0.0	0.0	6.6	155.4	0.0
A	24.96	11.4	1.16	143.3	11.564	-131.8	-0.9	0.0	0.0	11.6	131.8	0.0
Annuel	16.2	75.0		849.7	305.6	-544.1				305.6	544.1	0.0

II.9. tableau .bilan hydrique de la station d'El Aouinet (1987-2012)

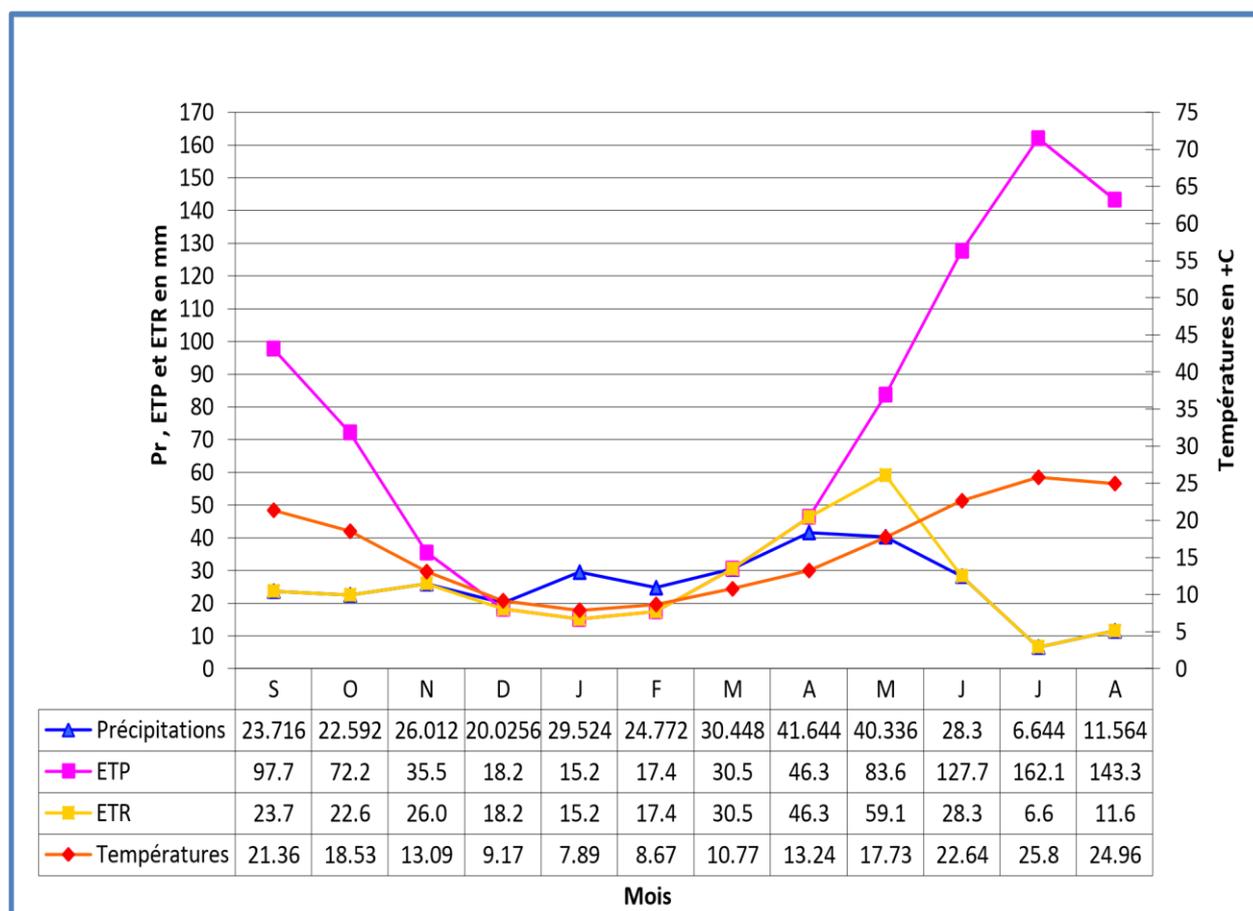
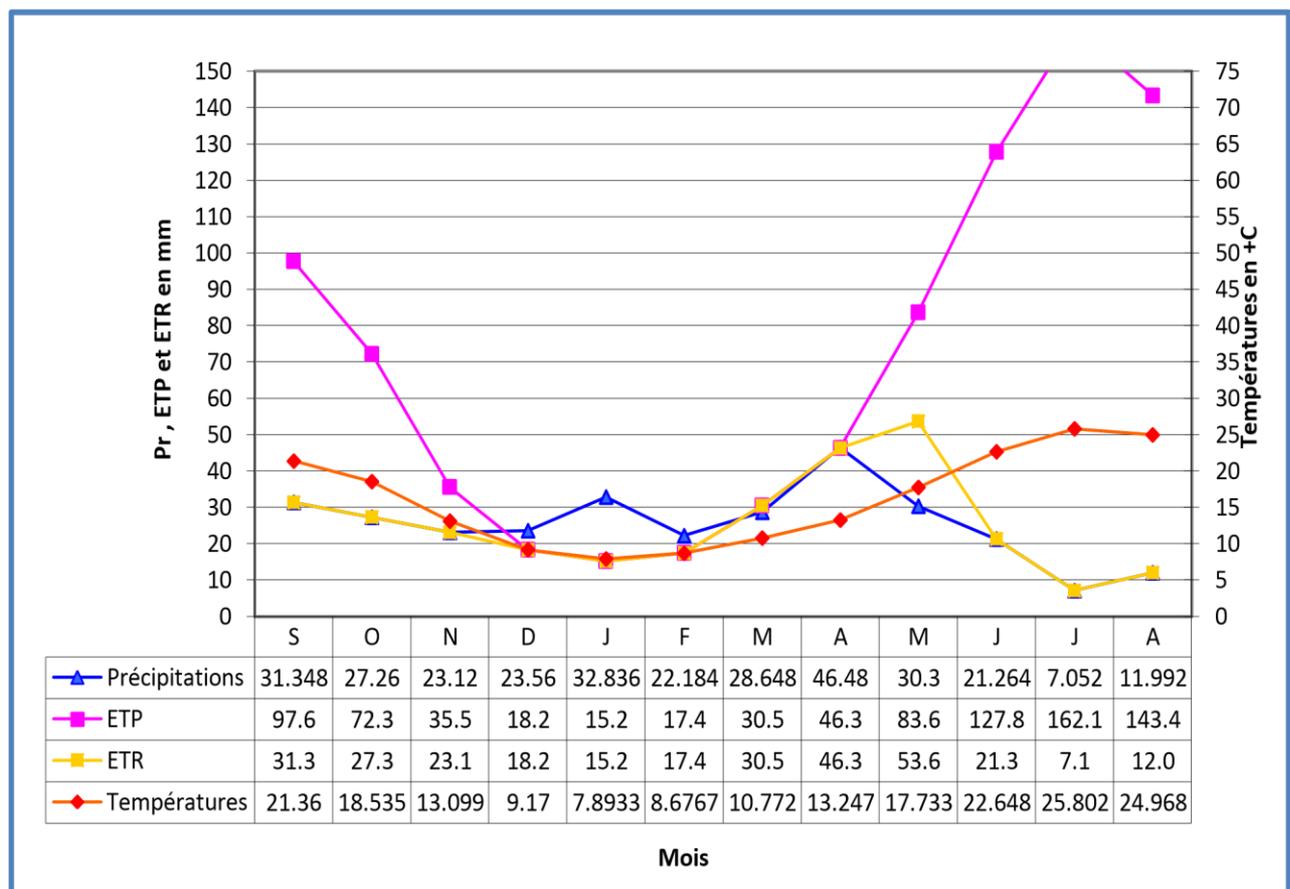


Tableau II.10. tableau. bilan hydrique de la station de Ouneza (1987-2012)

CHAPITRE IV.....CLIMATOLOGIE

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	21.36	9.0	1.03	97.6	31.348	-66.3	-0.7	0.0	0.0	31.3	66.3	0.0
O	18.535	7.3	0.97	72.3	27.26	-45.0	-0.6	0.0	0.0	27.3	45.0	0.0
N	13.0987	4.3	0.86	35.5	23.12	-12.4	-0.3	0.0	0.0	23.1	12.4	0.0
D	9.17	2.5	0.81	18.2	23.56	5.3	0.3	5.3	5.3	18.2	0.0	0.0
J	7.89333	2.0	0.87	15.2	32.836	17.7	1.2	17.7	23.0	15.2	0.0	0.0
F	8.67667	2.3	0.85	17.4	22.184	4.8	0.3	2.0	25.0	17.4	0.0	0.0
M	10.7717	3.2	1.03	30.5	28.648	-1.8	-0.1	-1.8	23.2	30.5	0.0	0.0
A	13.247	4.4	1.10	46.3	46.48	0.2	0.0	0.2	23.3	46.3	0.0	0.0
M	17.7333	6.8	1.21	83.6	30.3	-53.3	-0.6	-23.3	0.0	53.6	30.0	0.0
J	22.6483	9.8	1.22	127.8	21.264	-106.5	-0.8	0.0	0.0	21.3	106.5	0.0
J	25.8017	12.0	1.24	162.1	7.052	-155.0	-1.0	0.0	0.0	7.1	155.0	0.0
A	24.9683	11.4	1.16	143.4	11.992	-131.4	-0.9	0.0	0.0	12.0	131.4	0.0
Annuel	16.2	75.0		849.9	306.0	-543.8				303.3	546.6	0.0



IV.Fig.26 : Graphe du bilan hydrique par la méthode de THORNWAITE station de Ouneza (1987-2012)

E. Commentaire sur les bilans hydriques

Le bilan hydrique nous a permis d'évaluer la part de chaque paramètre hydrologique.

D'après l'établissement de ces bilans on a pu tirer ces quelques conclusions :

- Les hauteurs de précipitation atteignent leurs maximums au mois de Septembre (37.40 mm) sur la station de Tebessa et au mois de d'Avril (41.64 et 46.48 mm) sur les deux stations d'ElAouinet et de Ouneza, où l'ETP atteint en janvier un minimum de 15.2 mm.
- L'ETP atteint son maximum au mois de juillet (162.1 mm) où les précipitations atteignent (10.83 mm pour la station de Tebessa, 6.644 mm pour la station d'El Aouinet et 7.052 mm pour la station de Ouneza).
- Le déficit agricole se remarque à partir du mois de mai et se poursuit jusqu'à novembre, période pendant laquelle la RFU est épuisée.
- Pendant le mois de Février le stock se reconstitue ou la RFU atteint son maximum (25, 23 et 25 mm) aux stations de Tebessa, Ouneza et ElAouinet, ensuite diminue jusqu'à l'épuisement total (Mai).

F. Bilan hydrologique :

Le bilan hydrologique permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les différents composants de ce bilan, à savoir : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration. Le bilan est établi selon la formule suivante :

$$P = E + R + I \text{ Où :}$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm.

E : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm.

R : Ruissellement moyen annuel en mm.

I : Infiltration moyenne annuelle en mm.

1. Ruissellements superficiels :

Il est estimé à partir de la formule de Tixeront-Berkaloff qui est la suivante :

$$R = P^3 / 3(ETP)^2$$

L'application de cette formule a donné les résultats mentionnés dans le tableau :

Tableau 11: valeurs de ruissellement superficiel Période (1987-2016).

Station	P (mm)	Indice de Martonne	Type de climat
Tébessa	322,17	12,25	Climat semi-aride

Le ruissellement superficiel est de l'ordre 15.48 mm, soit 4,80 % des précipitations à Tébessa.

V. LES MODELES HYDROLOGIQUES

Un modèle est une représentation d'un phénomène physique, afin d'en avoir une meilleure compréhension ou d'analyser l'influence qu'il exerce. La représentation peut être physique, analogique ou mathématique.

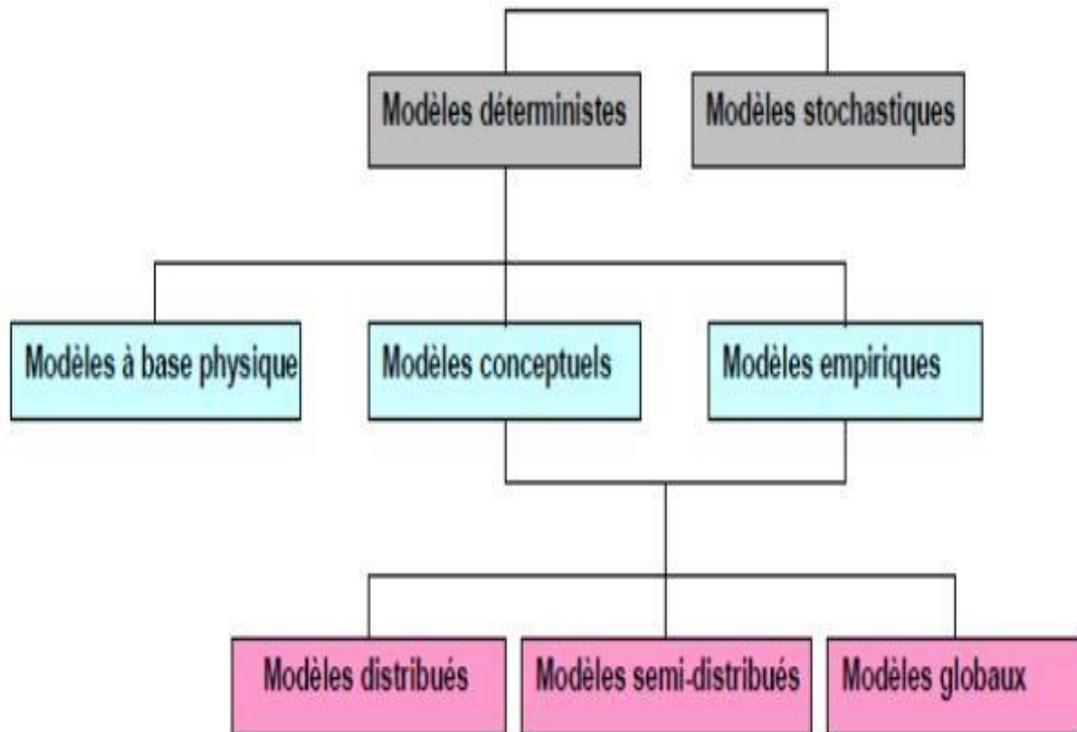


Fig. V.1 : Classification des modèles hydrologiques (Gaume, 2000)

Un modèle «pluie-débit» est une représentation de la relation reliant les pluies enregistrées sur un bassin versant et le débit mesuré à l'exutoire de celui-ci. Un modèle « pluie-débit » est décomposé en deux sous modèles : un modèle de production qui permet de séparer la pluie nette (qui va ruisseler) de la pluie brute (modèle qui va produire le volume qui va ruisseler) et un modèle de transfert qui permet de transférer cette pluie nette vers l'exutoire du bassin versant ,dans notre étude nous avons choisi le modèle hydrologique HEC-HMS.

V.1 Présentation du modèle hydrologique HEC-HMS.

Le HEC-HMS (Hydrologie Modeling System) est un logiciel qui simule le comportement hydrologique d'un Bassin Versant suite à des événements pluvieux prédéterminés, développé par Hydrologie Engineering Center (HEC) du corps de l'armée américaine des ingénieurs. Ce logiciel permet de calculer des hydrogrammes de crues pour plusieurs objectifs à savoir les études de drainage urbain, la prévision des crues et leur impact, la conception des réservoirs, la réduction des effets des inondations. Le programme présente une interface graphique, des composantes hydrologiques intégrées, un système spécifique de stockage de données et des outils de gestion,...etc.

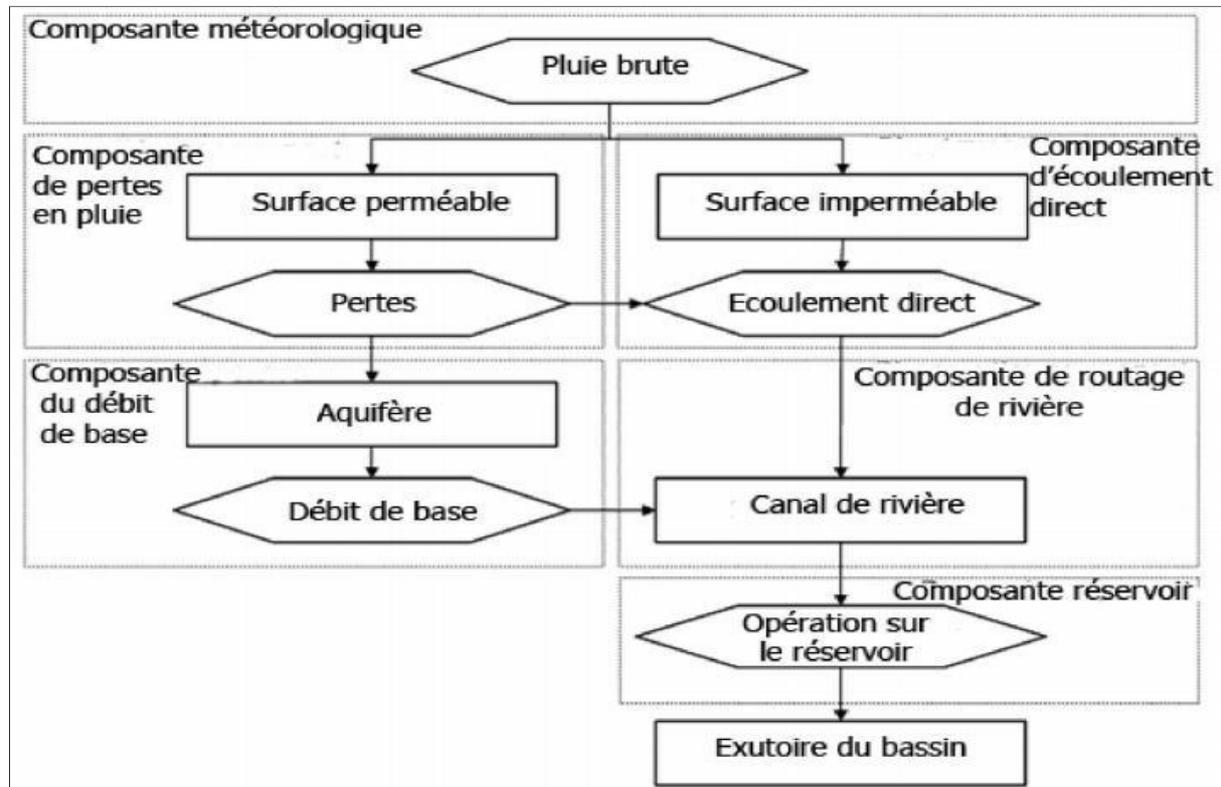
Le logiciel HEC-HMS permet de traiter ou de simuler à la fois les différentes données suivantes :

- ✓ Les précipitations : Ces données peuvent correspondre à des relevés pluviométriques réels d'événements pluvieux ordinaires ou exceptionnels mais aussi à des événements pluvieux théoriques basés sur une étude statistique ;
- ✓ les pertes (par infiltration, retenue ou évapotranspiration) qui permettent d'évaluer le ruissellement à partir des précipitations et des caractéristiques du bassin versant ;
- ✓ Les ruissellements directs qui prennent en compte les écoulements de surface, les stockages et les pertes de charge.

V.2.1 Le processus de fonctionnement

Comme nous venons de le mentionner ci-dessus, le HEC-HMS attribue à chaque module une étape de la transformation pluie-débit, et c'est la combinaison des résultats des modules les uns aux autres qui donne l'hydrogramme final. En général, dans le cas d'une modélisation

Fig. V.2 L'enchainement d'intervention des différentes composantes dans la structure événementielle du modèle HEC-HMS Source :Cunderlik J. M. et Simonovic S. P.(2004)



Événementielle, c'est l'enchainement schématisé sur la figure suivante qui est suivi à la lettre pour aboutir au débit de l'exutoire :

Notre Choix de simuler le comportement de notre bassin versant avec ce modèle, est justifié par les raisons suivantes :

- ✓ Le modèle HEC-HMS est un modèle complet, donc adapté théoriquement à n'importe quel type de climat. En plus ce modèle a la capacité de simuler aussi bien les pertes, l'écoulement de surface et l'écoulement souterrain;
- ✓ Il est facile à configurer et à mettre en place ;
- ✓ Les paramètres du modèle peuvent être déterminés sans calage pour les bassins versant non jaugés et c'est le cas de notre bassin versant ;
- ✓ Le modèle est disponible, gratuit et facile à télécharger ;

- ✓ Malgré qu'il soit conçu au départ pour la modélisation des événements, les dernières versions du modèle permettent aussi de l'utiliser en processus continu (Fadil et al ,2011) Cependant, l'une des difficultés de la modélisation hydrologique avec ce modèle est la préparation des données d'entrée. Cette étape nécessite l'utilisation du SIG (Système d'Information Géographique) afin de générer le modèle du bassin.

V.2.2 Le module structural du bassin

Il consiste à schématiser le bassin versant étudié en éléments fondamentaux connectés entre eux sous forme d'un arbre ramifié. Le HEC-HMS offre l'opportunité de représenter toutes les entités naturelles ou artificielles installées dans un bassin et qui influencent le processus de transformation pluie-débit, allant depuis les sous bassins, les exutoires jusqu'aux canaux de rivières et les canaux de diversion d'eau, en passant par les réservoirs, les retenues de barrages,...etc.

Dans ce qui suit, on cite ces éléments et leurs rôles dans la représentation de l'état du bassin versant :

-  L'élément « Subbasin » : matérialise le bassin si la modélisation est globale, et les sous bassins si on opte pour une modélisation semi-distribuée.
-  L'élément «Reach» : représente le plus souvent la rivière, et sert à faire la connexion entre les autres éléments. L'information de base attachée est la fonction de routage.
-  L'élément «Reservoir»:décrit les réservoirs, les retenues de barrage,...etc. ses caractéristiques attribués permettent de définir les conditions stockage-déstockage.
-  L'élément « Source » : apport supplémentaire d'un cours d'eau permet d'ajouter des stations de mesure de débit ou de représenter les conditions aux limites.
-  L'élément « Jonction » : utilisé pour combiner aux moins deux débits véhiculés par deux éléments, comme dans le cas d'une confluence entre deux rivières.
-  L'élément « Diversion » : représente des endroits où se produit des prélèvements d'eau, c'est le cas par exemple des seguias et des canaux de diversion.
-  L'élément « Sink » : simule l'exutoire des sous bassins versants.

V.2.3 Le module météorologique

Il a comme objectif de répartir les précipitations saisies sur toute la surface étudiée. Pour se faire, le HEC-HMS dispose de huit méthodes différentes, à choisir entre elles en fonction des objectifs et de la disponibilité des données, mais elles ont presque toutes la spécificité de distribuer la hauteur de pluie de manière homogène dans le temps et dans l'espace. Ces méthodes sont :

- ✓ « *Specified Hyetograph* » : hyétogramme spécifié, c'est l'utilisateur qui se charge de saisir son hyétogramme dont il dispose.
- ✓ « *Frequency Storm* » : averse de fréquence, utilisé pour développer un événement de précipitation où les hauteurs pour différentes durées dans l'averse ont une probabilité cohérente.
- ✓ « *Gages weights* » : stations pondérées, utilise un coefficient de pondération à chaque station de mesure de précipitations.
- ✓ « *Inverse distance* » : l'inverse de distance, calcule la moyenne de pluie par l'application de la méthode d'inverse carré des distances pour attribuer à chaque station un coefficient de pondération.
- ✓ « *Gridded precipitations* » : précipitations en maille, permet d'introduire les précipitations sous forme de grille de mesure.
- ✓ « *Standard Project Storm* » : averse de projet standard, répartie une hauteur de précipitations donnée sur un intervalle de temps spécifié.
- ✓ « *SCS Storm* » : averse SCS, applique à la hauteur de précipitations journalière une des distributions d'averse de projet définies par le SCS.

Le choix de telle ou telle méthode est imposé par l'objectif de la modélisation (détermination du débit de projet, étude de fonctionnement hydrologique du bassin versant,...), la quantité (nombre de stations, période de mesure,...), la qualité (pluviomètres, pluviographes, lacune de mesure,...) des données de précipitations et le type de modélisation envisagé (distribuée, globale).En addition à tout ceci, le modèle possède la

capacité d'intégrer l'évapotranspiration et la contribution de la fonte de neige en cas de modélisation continue.

V.2.4 Le module de la fonction de production

La fonction de production assure la transformation de la pluie brute en pluie nette en y retranchant toutes les pertes éventuelles causées par l'interception (obstacles, végétation, cuvettes) l'infiltration et l'évapotranspiration (en cas de modélisation continue).

La fonction de production du modèle HEC-HMS distingue entre une surface perméable et imperméable. La première est considérée comme le champ d'intervention de la fonction, afin de ne pas surestimer les pluies qui participent réellement dans le ruissellement appelées pluies nettes. La deuxième quant à elle, est supposée non affectée par les pertes en pluie surtout si elle est connectée au réseau hydrographique, elle est reconnue dans le modèle par le pourcentage d'imperméable du bassin. Il existe six formalismes pour représenter cette fonction à savoir :

- ✓ « *Initial and Constant Loss* » : pertes initiales, à taux constant. Ce formalisme considère un taux maximum de pertes constant, et une perte initiale à saturer avant que le ruissellement commence
- ✓ « *Deficit and Constant Loss* » : à déficit et à taux de perte constant. Une variante du premier formalisme avec une possibilité de régénération des pertes initiales durant une période sans pluie au cours de l'événement modélisé
- ✓ « *Green and Ampt Loss* » : formalisme qui s'intéresse plutôt aux pertes par infiltration, cette méthode repose sur l'équation de Darcy et la conservation de masse.
- ✓ « *Soil Moisture Accounting Loss* » : formalisme très poussé qui calcule les "pertes" par évapotranspiration, infiltration et percolation profonde selon le principe de couche de stockage.
- ✓ « *SCS Curve Number Loss* » : formalisme qui relie les pertes en pluie à l'occupation du sol et le type de sol et l'humidité antécédente. Cette méthode sera détaillée davantage dans la section de la combinaison modulaire choisie.
- ✓ « *Gridded SCS Curve Number Loss* » : format maillé du formalisme précédent

La sélection de l'un de ces formalismes est une étape délicate qui va influencer sans doute les sorties du modèle. Une toute première contrainte est que le choix peut être dicté par les formalismes utilisés pour les autres modules (module météorologique, fonction de transfert, ...), la deuxième étant la nature de données disponibles (sous forme de maille, détaillées, plusieurs variables,...).

V.2.5 Le module de la fonction de transfert

Une fois la pluie participante au ruissellement calculée, c'est le rôle de la fonction de transfert qui débute. Elle permet de déterminer l'hydrogramme résultant de la pluie nette.

Le modèle offre six formalismes pour y converger :

- ✓ « *User-Specified Unit Hydrograph* » : Hydrogramme unitaire spécifié par l'utilisateur. Ce formalisme consiste à déterminer l'hydrogramme unitaire à partir de données complètes d'un événement pluvieux
- ✓ « *Snyder Unit Hydrograph* » : Hydrogramme unitaire de Snyder.
- ✓ « *Kinematic Wave* » : onde cinétique. Reconnaît les versants du bassin comme des canaux à surface libre dont le débit entrant correspond à la pluie nette.
- ✓ « *SCS Unit Hydrograph* » : Hydrogramme unitaire de la SCS. Résultant de la combinaison des hydrogrammes de plusieurs bassins versants.
- ✓ « *Clark Unit Hydrograph* » : Hydrogramme unitaire de Clark. Prend en compte les deux phénomènes de translation et d'atténuation. Ce formalisme sera détaillé davantage dans la section de la combinaison modulaire choisie.« *Mod Clark* » : forme maillée du dernier formalisme.

En conclusion, pour les différents paramètres des modèles cités ci-avant, le tableau N° V.01 présente les valeurs minimales et maximales des différents modèles acceptées par le logiciel HEC-HMS.

Tableau V.N°1: Valeurs minimales et maximales des différents modèles acceptées par HEC-HMS (Ouazar, 2002)

Modèle	Paramètre	Minimum	Maximum
Perte initiale et à taux constant	Perte initiale	0 mm	500mm
	Taux de perte constant	0 mm/h	300mm/h
Modèle de perte SCS	Rétention initiale	0 mm	500 mm
	Curve Number (CN)	1	100
Modèle de perte de GREEN et AMPT	Déficit hydrique	0	1
	Conductivité hydraulique	0 mm/h	2 50 mm/h
	Wetting front suction	0 mm	1000 mm
Hydrographe unitaire de CLARK	Temps de concentration	h	500 h
	Coefficient de stockage	0 h	150 h
Hydrographe unitaire de SNYDER	Décalage	0,1 h	500 h
	Cp	0,1	1,0

CHAPITRE. V.....application des modeles hydrologiques HEC-HMS

Hydrographe unitaire du S CS	Décalage	0,1 min	30 000min
Onde cinématique	Coefficient de Manning (n)	0	1
Écoulement souterrain	Écoulement souterrain initial Facteur de récession Rapport débit/pic max	0 m3/s 0,000011 0	100 000m3/s - 1
Modèle de Muskingum	K X	0,1 h 0	150 h 0,5
Onde cinématique pour les écoulements fluviaux	Nombre de pas Facteur N	1 0,01	100 10
Décalage	Décalage	0 min	30 000 min

Cependant, l'une des difficultés de la modélisation hydrologique avec ce modèle est la préparation des données d'entrée. Cette étape nécessite l'utilisation du SIG (Système d'Information Géographique) afin de générer le modèle du bassin.

V. 2.6. Application du modèle HEC-HMS au bassin versant boukhadra

V. 2.6.1. Modélisation Pluie-Débit par le modèle HEC-HMS

La modélisation de la réponse d'un bassin versant soumis à un phénomène pluvieux sous le logiciel HEC HMS est découpée en deux parties

- ✓ La modélisation du bassin versant ;
- ✓ La modélisation des précipitations.

➤ Modélisation du bassin versant

La modélisation d'un bassin versant consiste, en premier lieu, en un découpage de celui-ci en plusieurs sous-bassins versants élémentaires, ensuite, spécifier les méthodes utilisées pour le calcul des pertes (fonction de production) et de ruissellement (fonction de transfert). Pour le bassin Abadia jusqu'à l'exutoire du BV, il a été distingué 08 sous bassins élémentaires (Figure 03).

Le schéma du modèle de bassin: Le schéma du modèle de bassin est la représentation du modèle hydrologique du bassin et de ses éléments (biefs, jonctions, sous bassins....) et leurs connectivités dans la Figure 3.

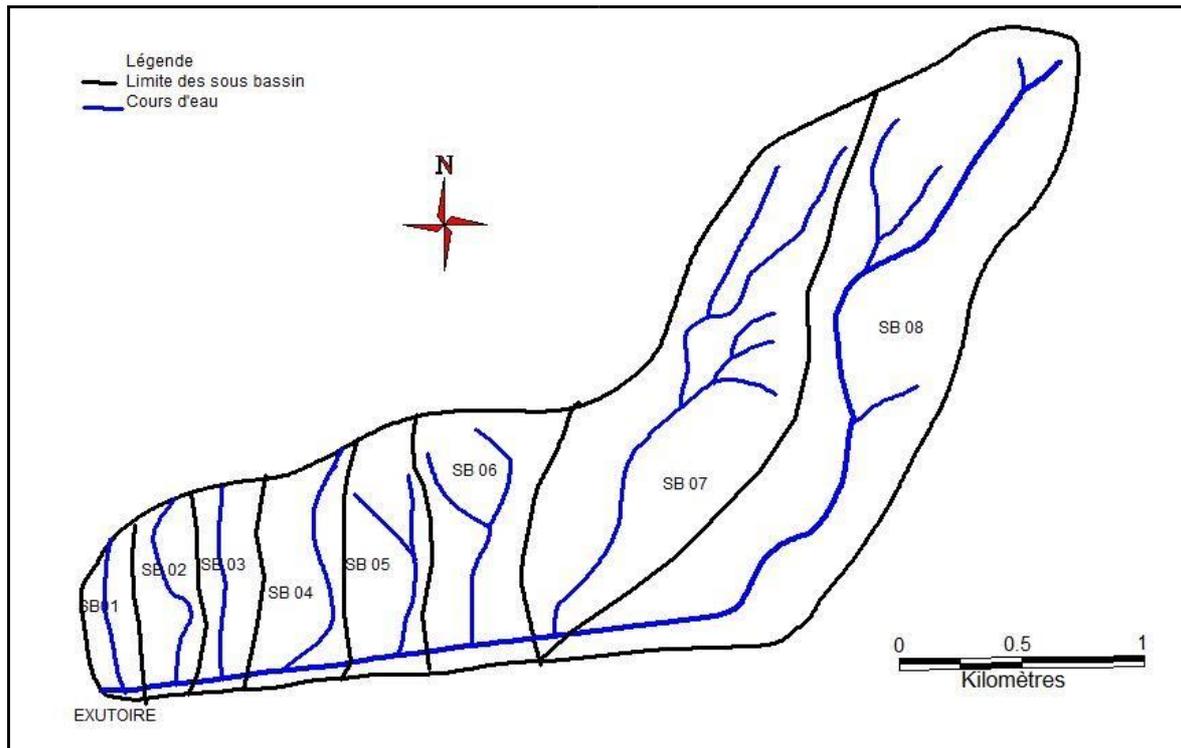


Fig. V.3 Découpage du bassin versant en sous bassin versants

➤ **Le schéma du modèle de bassin**

Le schéma du modèle de bassin est la représentation du modèle hydrologique du bassin et de ses éléments (biefs, jonctions, sous bassins....) et leurs connectivités.

Le schéma du modèle de bassin figure dans la copie d'écran (Figure 09).

- pour les pertes (loss rate) : la méthode utilisée est celle de perte initiale à taux constant ;
- Pour le ruissellement direct (Transform) : SCS (Soil Conservation Service) ;
- - Pour l'écoulement souterrain (Baseflow) : No Baseflow, sol saturé.

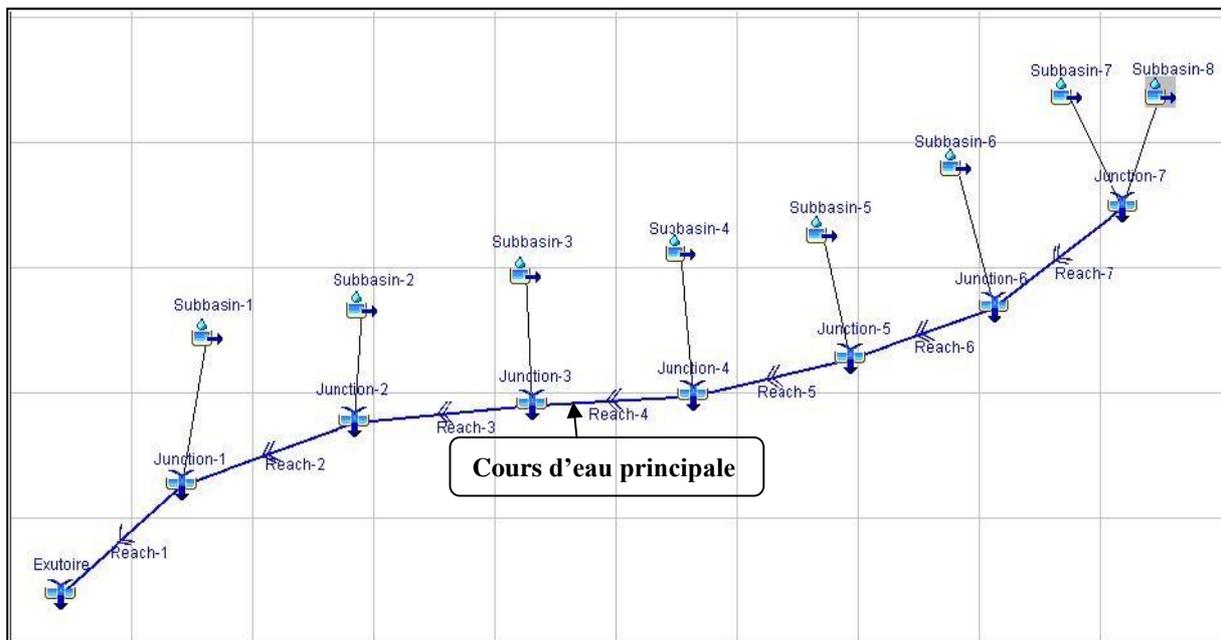


Fig. V.4. Définition du modèle hydrologique sous HEC-HMS du Bv boukhadra

Légende

-  : sous bassin ;
-  : Bief ;
-  : Jonction (point d'influence), ou Exutoire;

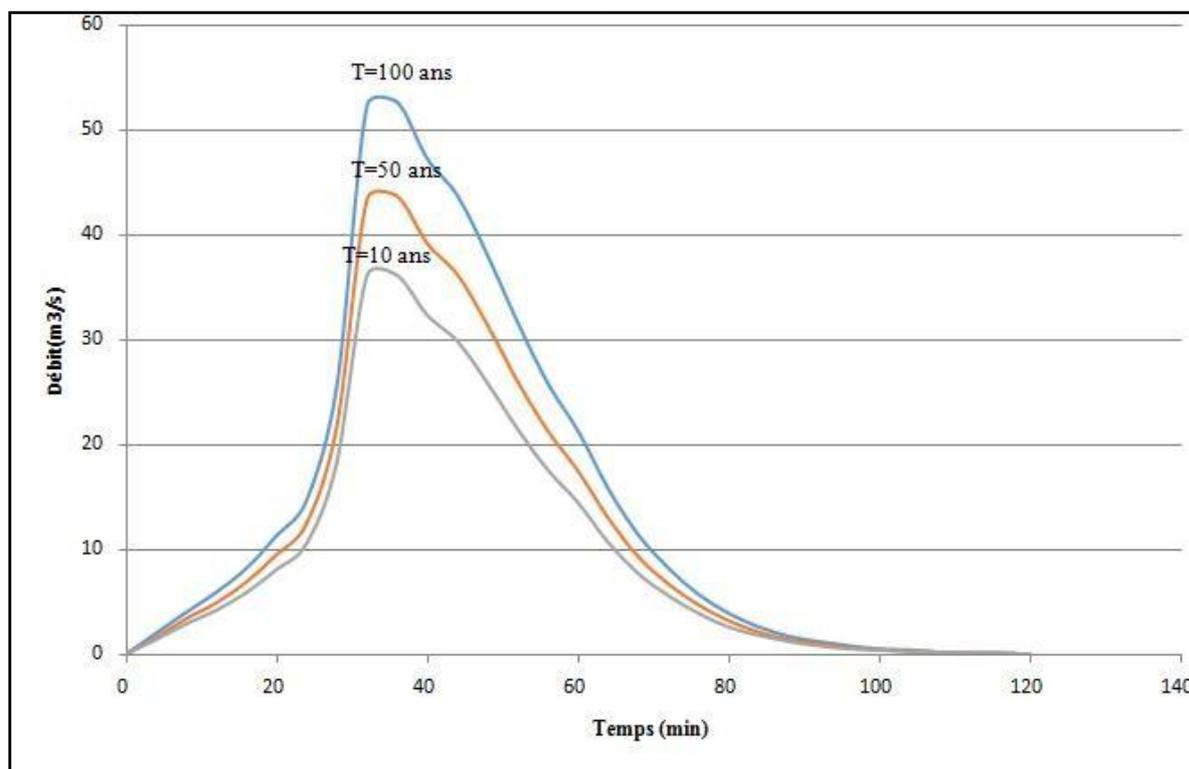


Fig. V.5. Hydrogramme unitaire de SCS pour les différentes périodes de retour

✓ **Les avantages et les limites du modèle**

Puisque, nous avons très bien détaillé la description du modèle, nous n'allons mentionner que les points forts résumés comme suit :

- Diversité dans les formalismes proposés : la variété remarquable de ces méthodes de calcul, offre à l'utilisateur l'opportunité du choix en fonction de ses moyens, ses finalités et de son expérience.
- Diversité dans les combinaisons modulaires possibles : ce critère est garanti par le principe de tâches séparées qui le distingue des autres modèles, et qui lui confie une caractéristique incroyable : « plusieurs modèles en un modèle ».
- Aptitude de calibration et nature des résultats issus : pour plusieurs modèles la calibration est effectuée par un autre programme, d'autres peuvent même la faire, mais avec un choix limité de fonctions objectives et d'optimisation. En plus, ces modèles ne peuvent afficher à la fin que les valeurs des paramètres calibrés, l'hydrogramme simulé et observé et la variation de la fonction objective. En revanche, le HEC-HMS avec ses deux fonctions d'optimisation, ses sept fonctions objectives sans oublier ses graphes explicatifs et analytiques, avec tout ceci, il accorde à la calibration une précision inédite, et à la modélisation une exploitation au bout des choses.

✓ **Les limites**

- Tous les formalismes utilisent des valeurs constantes des paramètres c'est-à-dire qu'ils sont indépendants du temps, alors que pour de longues durées ces paramètres peuvent changer pour diverses motifs. il y a une alternative que le développeur propose à ceci c'est de diviser une longue simulation en plusieurs et de changer manuellement les paramètres entre les simulations (USACE, 2000) .Cette contrainte est loin de détériorer nos résultats, car nous avons opté pour une modélisation événementielle.
- Tous les modules ne sont pas accouplés, c'est-à-dire que chaque partie du modèle est calculée indépendamment de l'autre, mais l'erreur liée à ce problème est minimisée par l'utilisation de courts temps de calcul (USACE, 2000) .Cette limite touche en particulier les modèles continus de HEC-HMS qui intègrent des facteurs étroitement liés comme l'évapotranspiration, la fonte de neige et l'infiltration. Par conséquent les erreurs sont liées à cet inconvénient est à rejeter dans notre cas.

- La représentation de la structure du bassin : représentée dans le HEC-HMS, par un arbre ramifié qui rend son assimilation difficile. Un élément ne peut avoir qu'une seule sortie de débit, l'élément de diversion ne peut pas piquer le débit d'un endroit et le verser dans un autre (USACE, 2000) .Toutes ces limites de représentation sont gênantes, mais dans notre cas, leurs effets sont neutralisés, parce que notre bassin est très simplifié (un élément de « Subbasin », un élément « Reach » et un exutoire).

V. 3.1.les résultats de calcul par logiciel

Méthode pour les débits : Superficielle (Caquot)

Formule pour les diamètres : Manning-Strickler

Coefficient sur les débits : 100 %

Pente minimale : 0.00200 m/m (0.200 %)

Pente maximale : 0.04000 m/m (4.000 %)

Vitesse minimale : 0.2 m/s

Vitesse maximale : 4.0 m/s

No m	A (ha)	C (%)	I (%)	L (m)	Q apport (m ³ /s)	m	Q unit. (m ³ /s)	Q calc. (m ³ /s)	T (ans)
bv1	133.28	5	4.03	1700.7	1.200	1.20	1.906	2.047	10
bv2	110.52	5	13.83	2281.7	0.000	0.95	0.873	0.831	10
bv3	84.59	5	23.95	1354.7	0.000	1.20	0.830	0.997	10
bv4	50.70	5	11.10	1293.2	1.600	1.06	2.044	2.071	10

Tableau .Fig. V.2. les résultats de calcul par logiciel

bv1 bassin versent

A (ha) superficie en hectare

Q : Débit apport (m³/s) Q unit : unitaire. (m³/s (m³/s

Q Débit calcules . (m³/s temps de retour pars ans : T (ans)

Tronçon	Q calculé (m ³ /s)	Diam. théo (mm)	Collecteur	Pente (%)	V = Q/S (m/s)	rQ (Q/Qps)	rV	rH	H calculée (mm)	V calculée (m/s)	V Qps /10 (m/s)	V Ps (m/s)	Q Ps (m ³ /s)	Contrainte
N1 - N2	2.047	1202	135A-1400	0.20	1.33	0.67	1.07	0.60	835	2.14	1.10	2.00	3.077	OK
N2 - N3	2.372	1270	135A-1400	0.20	1.54	0.77	1.10	0.66	923	2.21	1.10	2.00	3.077	Prof Max-
N3 - N4	2.656	1325	135A-1400	0.20	1.73	0.86	1.12	0.72	1004	2.25	1.10	2.00	3.077	Prof Max-
Q calculé est le débit issu de l'assemblage des bassins versants.														
Le diamètre théorique est calculé à partir de la formule de Manning-Strickler (utilise le coefficient K, la pente et le débit Q).														
V = Q / S est le rapport (débit calculé / section du collecteur).														
rQ est le rapport des débits (Q calculé / Q pleine section).														
rV et rH sont déduits de rQ par l'abaque Ab.5 de l'Instruction Technique.														
H calculée (= rH * diamètre) est la hauteur de remplissage (en mm) dans la canalisation.														
V calculée (= rV * Vps) est la vitesse en régime uniforme (m/s).														
La vérification des contraintes de vitesses teste si (V mini <= V calculée <= V maxi)														
Remarque : si le collecteur est en charge (Q/Qps > 1), on ne peut pas calculer rV, rH, H calculée et V calculée.														
Vps est la vitesse à pleine section (calculée par la formule de Manning-Strickler).														
Qps = Vps * S est le débit à pleine section.														

Fig. V.3.les résultats de calcul par logiciel

V. 3.2.ASSEMBLAGES DES BASSINS VERSANTS

Méthode pour les débits :	Superficielle (Caquot)
Formule pour les diamètres :	Manning-Strickler
Coefficient sur les débits :	100 %

Nom	A (ha)	C (%)	I (%)	L (m)	Q appor t (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
bv1	133.28	5	4.03	1700.7	1.200	2.047
S1=(bv1+bv2)	243.80	5	7.43	3982.3	1.200	2.372
S2=(S1+bv3)	328.39	5	9.44	5337.1	1.200	2.656
S3=(S2+bv4)	379.09	5	9.73	6630.3	2.800	4.308

Tableau. V.4. les résultats de calcul par logiciel

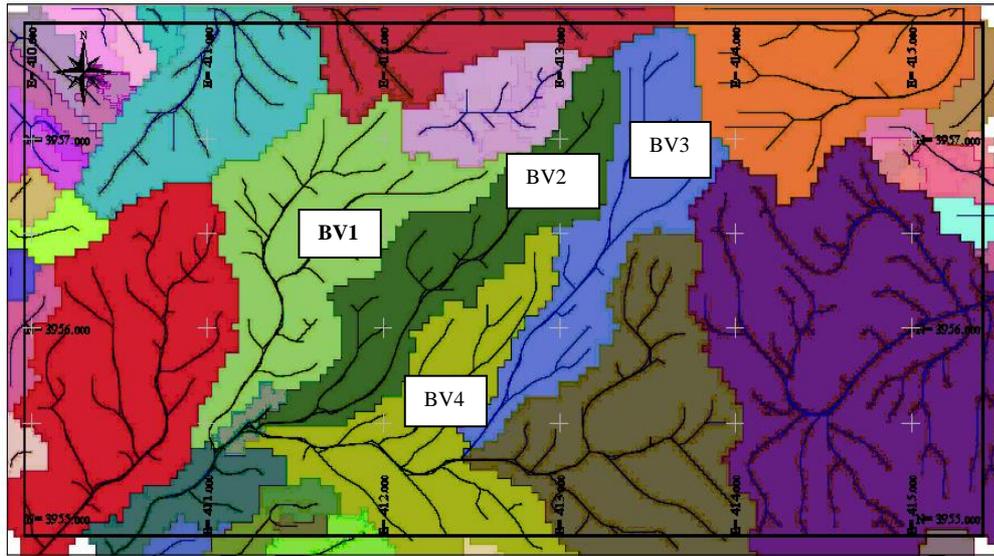


Fig.V.6.délimitation des bassin vessent

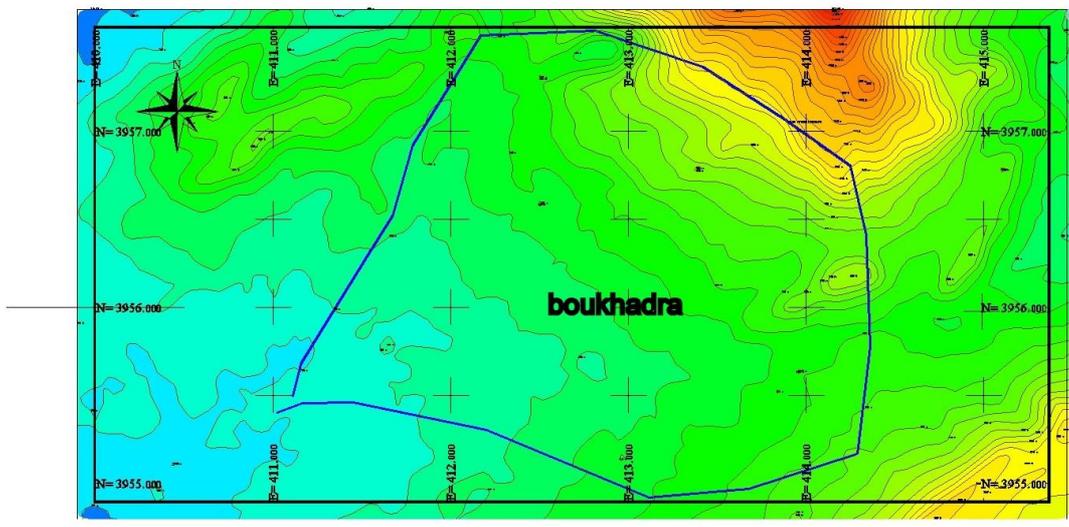


Fig.V.7.carte des pentes

CONCLUSION

Le modèle HEC-HMS nécessite des données pluviographiques plus ou moins précise, permet le calcul des débits des crues pour n'importe quelle période de retour. Le Modèle HEC-HMS donne, à l'exutoire, un débit de pointe centennal de $62 \text{ m}^3/\text{s}$. En effet, on a validé le concept consistant à utiliser les modèles hydrologiques pour générer un hydrogramme de crue à l'exutoire d'un bassin versant. Par ailleurs, la modélisation par le modèle HEC-HMS nous a permis de prédire le débit max en cas de crue du bassin. Ce débit permettra une bonne étude de protection.

VI-1 INTRODUCTION

Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont étroitement liés aux paramètres hydrologiques notamment les apports et les débits de crues.

Dans ce cadre nous procédons ci- après à une étude hydrologique du bassin versant de l'oued Boukhara. Cette étude s'articule en six parties traitant successivement les caractéristiques morphologiques et climatiques du bassin versant, les précipitations, les apports, les crues, le transport solide.

VI-2- Caractéristiques du bassin versant :

Les caractéristiques hydromorphométriques ont été déterminées à partir des relevées topographiques de la carte d'Etat major de Tébessa à l'échelle 1/50.000ème, respectivement feuilles NI 32-2 SERIES P502

L'oued a aménager se situe à proximité du commune Boukhara et plus exactement partie bas du village du coté sud dans le sens de Morsott et a 0.3 Km a vol d'oiseau au Nord du DAIRA de MORSOTT dans la WILYA de TEBESSA Global Mapper 20.1 (64-bit) (**fig 01**).

Ses coordonnées au système LAMBERT sont :

$$X = 982\ 072.51$$

$$Y = 284\ 938.94$$

I-2-1-Caractéristiques morphologiques :

VI-2-1-1-Paramètres géométriques :

- **Surface du bassin versant :**

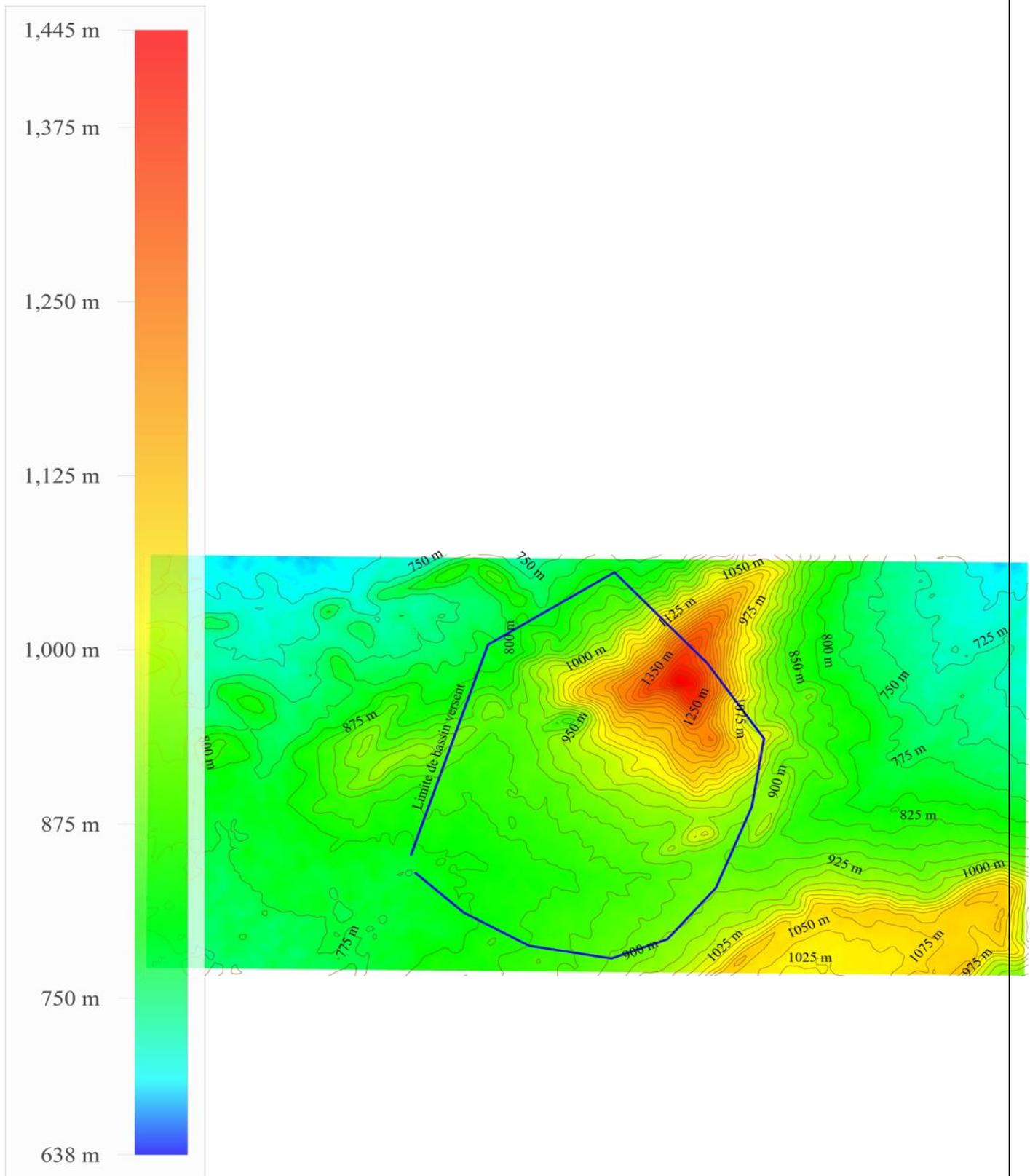
La superficie du bassin versant de l'oued Boukhara obtenue par planimétrie.

$$S = 509\ \text{km}^2$$

- **Périmètre du bassin versant :**

A`aide du curvimètre on a parcouru la ligne de partage des eaux délimitant le bassin versant.

$$P = 85\ \text{Km}$$



IV.fig. 01: Le Bassin Versant

▪ **Longueur du thalweg principale :**

Mesure au curvimètre $L = 3 \text{ Km}$

VI-2-1-2-Paramètres de forme :

▪ **Indice de compacité** (de Graveluis) :

Cet indice nous permettra de déterminer si le bassin est allongé ou non, il est dépendant de « \bar{S} » et de « P » est calculé par la formule suivante :

$$K_C = 0.28 \frac{P}{\sqrt{\bar{S}}} \dots\dots I.1$$

Si $K_C = 1 \Rightarrow$ bassin ramassé

Si $K_C > 1 \Rightarrow$ bassin allongé

$$K_c = 1.05$$

Selon la valeur de K_C on pourra dire que notre bassin est allongé.

▪ **Rectangle équivalent :**

Le but du rectangle équivalent est de comparer les sous bassin entre eux, du point de vue influence de la forme sur l'écoulement et la détermination de l'indice de forme pour chaque sous bassin.

- Les dimensions du rectangle équivalent :

La longueur équivalente : (L)

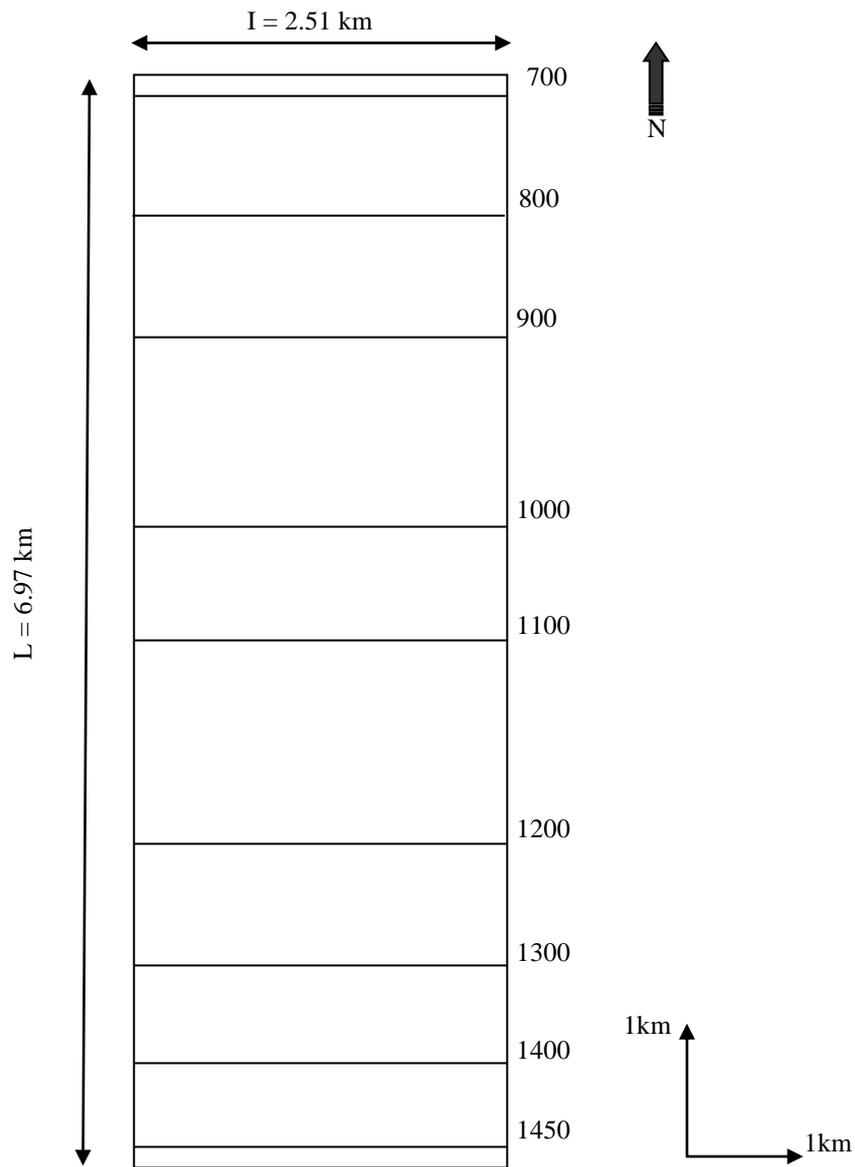
$$L = \frac{K_C \sqrt{S} \left[1 + \sqrt{1 - \left[\frac{1.12}{K_C} \right]^2} \right]}{1.12}$$

Application numérique :

$$L = \frac{1.27 \sqrt{17.5} \left[1 + \sqrt{1 - \left[\frac{1.12}{1.27} \right]^2} \right]}{1.12} \Rightarrow L = 6.9 \text{ Km.}$$

La largeur équivalente : $l = \frac{K_C \sqrt{S} \left[1 - \sqrt{1 - \left[\frac{1.12}{K_C} \right]^2} \right]}{1.12}$

Application numérique : $l = \frac{1.27 \sqrt{17.5} \left[1 - \sqrt{1 - \left[\frac{1.12}{1.27} \right]^2} \right]}{1.12} \Rightarrow l = 2.51 \text{ Km}$



VI.Fig. 02- Rectangle équivalent du sous bassin versant de BOUKHADRA.

Tranche d'altitude en (m)	Superficies partielles si		Superficies cumulées		Altitude moyenne Hi	E Hi Si
	Km2	%	Km2	%		
> 14500	0.175	1	0.175	1	1600	272
1450-1400	0.248	1.42	0.423	2.42	1575	378
1400-1300	1.247	7.13	1.670	9.54	1525	1891
1300-1200	1.850	10.57	3.520	20.12	1475	2728.75
1200-1100	1.873	10.69	5.390	30.8	1425	2664.75
1100-1000	2.62	14.97	8.010	45.77	1375	3602.5
1000-900	1.850	10.57	9.860	56.34	1325	2451.25
900-800	3.120	17.82	12.980	74.17	1250	3900
800-750	1.84	10.52	14.820	84.69	1100	2024
750-700	2.34	13.37	17.160	98.05	950	2223
700<	0.34	1.94	17.50	100	900	306
	17.5	100				1341.15

VI.Tab.01 - Répartition des surfaces en fonction des altitudes du sous bassin versant de BOUKHADRA.

▪ **Hypsométrie du bassin :**

La caractéristique la plus significative d'un bassin versant est la nature du relief .elle nous renseigne sur le taux de surface supérieur ou inférieur à une altitude donnée sur l'aptitude des terrains à l'infiltration et à l'évaporation ; on traçant la courbe hypsométrique ; on utilisant les données du Tableau I-1

A partir de cette courbe on peut calculer l'altitude moyenne et déterminer l'altitude médiane du bassin versant.

La courbe hypsométrique est représentée sur la Figure 01

▪ **Altitude moyenne :**

L'altitude moyenne peut calculée par deux méthodes :

➤ Méthode graphique :

H_m est déduite graphiquement de la courbe hypsométrique

➤ Méthode analytique:

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i H_i}{\bar{S}} \dots\dots I.4$$

Avec S_i : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km²)

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau successive (m)

\bar{S} : Superficie du bassin versant (Km²)

VI. **Tab.02:** *Coordonnées de la courbe hypsométrique*

Altitude (m)	Si(km²)	Hi(m)	Si Hi(km²m)
1400-1100	11.90	1250	10100
1100-1000	9.2	1050	7181.25
1000-900	2.8	950	13466.25
900-880	0.96	890	15895
880-860	1.9	870	13754.75
860-840	1.5	850	8006.25
840-820	1.37	830	16172.35
820-800	1.2	810	8687.25

D’où l’altitude moyenne calculée par la formule I.4 est 1100 m

▪ **Indice de pente globale** :

Cet indice est déterminé par la formule suivante

$$I_g = \frac{D}{L} \dots\dots I.5 = 6.82\%.$$

Avec D= H_{5%}-H_{95%} (ce détermine graphiquement)

▪ **Pente moyenne du bassin versant** :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H(0.5l_1 + l_2 + \dots + l_{n-1} + 0.5l_n)}{\bar{S}} \dots\dots I.6$$

P_{moy} =6.82%.

ΔH : dénivelée entre deux courbe de niveau consécutives en (m)

l₁, l₂, ..., l_{n-1}, l_n : représentent les longueur des courbes de niveau en Km,

S : Surface du bassin versant en (Km²)

– la pente moyenne du sous bassin de Boukhara :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Ip_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Application numérique : $Ip = \frac{1626 - 870}{6.97 \times 10^3} = 68.29 \times 10^{-3} = 6.82\%$

*** L'indice se pente globale (Ig) :**

$$Ig = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Application numérique : $Ig = \frac{4.85}{6.97 \times 10^3} = 0.07 \Rightarrow Ig = 7.03\%$.

*** La classification du relief**

Selon la classification de ORSTOM d'après les valeurs de Ig et D :

Indice de pente globale	Denivlée <<D>>	Relief <<R>>
0.01 < Ig < 0.02	50 < D < 100m	Moderé
0.02 < Ig < 0.05	100 < D < 250m	Assez fort
0.05 < Ig < 0.1	250 < D < 500m	Fort
Ig > 0.1	D > 500m	Très fort

VI . Tab.03- Classification du relief selon l’ORSTOM

VI.2.2 Caractéristiques hydrographiques :

VI.2.2.1 Densité de drainage :

Elle est définie comme étant la longueur totale de tous les talwegs du bassin

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \dots\dots\dots I.7 \quad D_d = 0.6$$

$\sum_{i=1}^n L_i$: Longueur total des talwegs d'ordre i en Km

S : Surface de bassin versant en Km²

Pour précéder au calcul de la densité de drainage, il faut classer les cours d'eau ; il en existe plusieurs classifications dans la plus courante est la classification de SCHUM qui est d'ordre (x+1)

Tout tronçon de rivière formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre (x) Dans notre bassin versant de l'oued Boukhara, le cours d'eau principal est d'ordre 4.

Nom	A (ha)	I (%)	L (m)
bv1	133.28	4.03	1700.7
S1=(bv1+bv2)	243.80	7.43	3982.3
S2=(S1+bv3)	328.39	9.44	5337.1
S3=(S2+bv4)	379.09	9.73	6630.3

VI.Tab.04 : superficie pente longueur

VI.2.2.2 Coefficient de torrentialité :

Le coefficient de torrentialité « C_t » est calculé à l'aide de l'équation I.8

$$C_t = D_d \cdot F_1 \dots\dots I.8 \quad C_t = 0.6 \cdot 0.55 = 0.33$$

Ou F_1 est le rapport entre le nombre des thalwegs d'ordre 1 et la surface globale du bassin versant :

$$F_1 = \frac{N_1}{S} = 0.55 \dots\dots I.9$$

VI.2.2.3 Pente moyenne du cours d'eau

La pente moyenne (\bar{I}) de l'Oued boukhadra est calculée selon la relation ci après :

$$\bar{I} = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots\dots I.10 = 7,65\%$$

ΔH : Différence d'altitude entre deux point du cours d'eau suffisamment éloignés (m)

ΔL : Distance entre ces deux points

Nom	A (ha)	C (%)	I (%)	L (m)
bv1	133.28	5	4.03	1700.7
S1=(bv1+bv2)	243.80	5	7.43	3982.3
S2=(S1+bv3)	328.39	5	9.44	5337.1
S3=(S2+bv4)	379.09	5	9.73	6630.3
Pente moyenne du cours			7,6575	

VI.Tab.05.superficiier pente longueur bassin versent

VI.2.2.4 Temps de concentration :

C'est le temps parcouru par la particule d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il peut être calculé par plusieurs formules entre autres :

- **Formule de GIANDOTTI :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{\bar{S}} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

\bar{S} : Surface du bassin versant en Km².

L : longueur du talweg principale en Km

H_{moy}, H_{min} : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en m

- **Formule de CALIFORNIA CULVERT PRACTICE**

$$T_c = \left(\frac{0.87.L^3}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0.386}$$

Où :

H_{max}, et H_{min} sont les Altitudes maximale et minimale du Bassin versant

- **Formule de KIRPICH :**

$$T_c = 0.6615L_T^{0.77} I_g^{-0.385}$$

I_g : indice de pente globale

L_p : longueur du talweg principale en Km

Les résultats obtenus par les différentes formules sont portés dans le tableau (I.2)

N°	AUTEURS	Tc (h)
1	GIANDOTTI	11
2	CALIFORNIA CULVERT PRACTICE	2.88
3	KIRPICH	8.15

IV.Tab.06: Calcule du temps de concentration

Sur la base de tous ces résultats, vu la pente moyenne du thalweg principale assez faible, il été procédé finalement à l'adoption définitive de la valeur de 11 heures comme valeur du temps de concentration dans le bassin du site de OUED MEHARI

VI.2.2.5 Vitesse moyenne de ruissellement :

Cette vitesse est donnée par la formule I.11

$$V_R = \frac{L_P}{T_c} \dots\dots I.11$$

L_P : Longueur de talweg principal en (Km)

T_c : temps de concentration en (h)

.Teste d'homogénéité à l'échelle annuelle

.Hypothèses

H0 Les moyennes des deux sous-échantillons sont égales

H1 Les moyennes des deux sous-échantillons sont différentes

.Résultats

Valeur de la statistique $|W| = 1$

p-value $p = 0.3$

.Conclusion

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

VI.3.Ajustement a la loi normale :

Calcul des fréquences expérimentales (au non dépassement) :

$$q = F(x_i) = \frac{m - 0.5}{N} \quad \text{et} \quad T = \frac{1}{1 - q}$$

m : numéro d'ordre de la valeur

N : taille de l'échantillon

Paramètres d'ajustement à la loi normale :

$$X_{P\%} = X_{\text{moy}} + \delta U_{P\%}$$

X_{moy} : hauteur de pluie moyenne

δ : Ecart -type

$U_{P\%}$: variable réduite de gauss

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau (**Tab.06**)

Ainsi que le graphique est au (**fig 02**).

IV.Tab.06: Résultats de L'Ajustement à loi de normal

période de retour	q	Valeurs théoriques	Intervalle de confiance
T (ans)			95%
1000	0,999	70	[60-80]
200	0,995	60	[50-70]
100	0,99	60	[50-70]
50	0,98	60	[50-60]
20	0,95	50	[50-60]
10	0,9	50	[40-50]
5	0,8	40	[40-50]
2	0,5	30	[30-40]

VI.3.1 Ajustement à la loi de Gumbel

L'équation de droite de Gumbel :

$$P_{\max j} = \frac{1}{\alpha} y + x_0$$

y : variable de la droite de Gumbel :

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

ou :

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

m : ordre de classement ;

N : taille de l'échantillon ;

$\frac{1}{\alpha}$, x_0 : sont déterminées par la méthode des moindres carrées ;

La présentation de la droite de Gumbel

Les résultats de calcul des fréquences expérimentales et des valeurs théoriques sont exposés dans le tableau (**Tab.06:**) .

IV.Tab.06: Résultats de Ajustement à loi de Gumbel

période de retour	q	Valeurs théoriques	Intervalle de confiance
T (ans)			95%
1000	0,999	90	[60-80]
200	0,995	80	[50-70]
100	0,99	70	[50-70]
50	0,98	60	[50-60]
20	0,95	50	[50-60]
10	0,9	50	[40-50]
5	0,8	40	[40-50]
2	0,5	30	[30-40]

Conclusion :

D’après les schémas ; on trouve que la série des pluies maximales journalières Suit la loi normale parce que tous les points sont à l’intérieur de l’intervalle de confiance.

VI.4.Pluie de courte durée et leur intensité a différentes fréquences :

Les précipitations exceptionnelles (P_{ct}) de durée (t) inférieure à 24heures (courte durée) sont reliées aux précipitations journalières fréquentielles P_{maxj} selon la relation I.12

$$P_{ct} = P_{maxj} \left(\frac{t}{24} \right)^b \dots\dots I.12$$

P_{ct} : pluie de courte durée de fréquence égale à celle de P_{maxj} en mm

P_{maxj} : pluie maximale journalière pour différentes fréquences

t : durée en heures

b : exposant climatique égale 0.29 pour la station de BIR EL ARCHE selon l’étude pluviométrique générale de l’Algerie de Body qui cartographie ce paramètre.

L’intensité de la pluie en mm/h

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \dots\dots I.13$$

Les résultats de calcul sont regroupes dans le tableau, ainsi que le graphique de variations des intensités fréquentielles dans le temps.

VI.Tab.07: pluies fréquentielles de courte durée et leurs intensités :

Fréquence (%)	0.999		0.99		0.9		0.8		0.5	
	P _{ct}	I _t	pct	It						
1	27.85	27.85	23.87	23.87	19.89	19.89	15.91	15.91	11.93	11.93
5	44.41	8.88	38.07	7.61	31.72	6.34	25.38	5.07	19.03	3.80
10	54.30	5.43	46.54	4.65	38.78	3.87	31.03	3.10	23.27	2.32
11	55.82	5.07	47.85	4.35	39.87	3.62	31.90	2.90	23.92	2.17
15	61.08	4.07	52.35	3.49	43.62	2.90	34.90	2.32	26.17	1.74
20	66.39	3.32	56.91	2.84	47.42	2.37	37.94	1.89	28.45	1.42
24	70	2.91	60	2.5	50	2.08	40	1.66	30	1.25

VI.4.1.Evaluation des apports liquides :**. Données disponibles**

L'Oued Boukhadra étant dépourvu de station hydrométrique, de plus, l'analyse du réseau d'observations de la région d'étude et ses environs ne nous a pas permis de mettre en évidence une station hydrométrique analogue dont le bassin versant serait géomorphologiquement similaire au bassin versant de l'Oued Méhari, l'analogie proprement dite ne peut donc être effectuée.

Pour cela, l'estimation des paramètres hydrologiques nécessaires au dimensionnement des ouvrages s'est faite suivant l'approche par les formules empiriques.

VI.4.2. Apport moyen interannuel

Il existe en Algérie de nombreuses formules d'estimation des apports, quelques-unes d'entre elles sont employées pour approcher au mieux la valeur de l'apport moyen interannuel.

VI.4.2.1. Formules empiriques

▪ **Formule de SAMIE :**

$$Le = P^2 (293 - 2,2 (S)^{1/2})$$

Où:

Le : Lame d'eau écoulée en mm

P : Module interannuel en m

On trouve ainsi : $Le = 30.050\text{mm}$

L'apport moyen interannuel est donné par la relation :

$$A = Le \cdot S$$

Où :

S : est la Superficie en m^2 du Bassin versant.

On trouve alors un apport d' $A = 3 \text{ hm}^3$

▪ **FORMULE DE DERI :**

$$A = 0,915 \cdot P^{2,684} \cdot S^{0,842}$$

Où :

A: Apport moyen interannuel en hm^3 .

P : Module interannuel en m

S : Superficie en m^2

On trouve ainsi un apport

$$A = 2.6 \text{ hm}^3.$$

▪ **Formule de MEDINGER:**

Cette formule donne la lame d'eau écoulée C_e :

$$C_e = 1,024 (P - 0,26)^2$$

Avec :

P : Module interannuel en m

$Le = 54.5 \text{ mm}$.

Soit un apport moyen $A = 5.45 \text{ hm}^3$

▪ **Formule de CHAUMONT :**

Cette relation donne le coefficient d'écoulement C_e (à ne pas confondre avec le coefficient de ruissellement ∞ : Coefficient instantané du bassin versant pendant la crue).

$$C_e = 0,6 (1 - 10^{-0,36 P^2})$$

Avec :

P : Module interannuel en m

$$C_e = 52.6 \text{ mm}$$

La lame d'eau L_e écoulée est :

$$L_e = P \cdot C_e \quad \text{soit } L_e = 17.54 \text{ mm}$$

Soit alors un apport moyen interannuel

$$A = 1.75 \text{ hm}^3.$$

▪ **Formule de TURC**

Cette formule établie à partir des observations faites sur 254 bassins versants situés sous tous les climats du globe, donne le déficit d'écoulement D .

$$D = \frac{P}{\sqrt{\left(0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2\right)}}$$

avec :

P : Module interannuel en mm

D : déficit d'écoulement en mm

$$L = 300 + 25 T_o + 0,05 T_o^3$$

T_o : la température moyenne interannuelle adoptée est $T_o = 14.9^\circ\text{C}$.

$$L_e = P - D = 9.25 \text{ mm}$$

d'où un apport moyen de :

$$A = 0.925 \text{ hm}^3$$

▪ **Formule de URGIPROVODKHOZ**

$$M_0 = \left(\frac{P}{340} \right)^{2.24}$$

P : Module interannuel en mm

On trouve $M_0 = 0.951/s/km^2$

Le=30.01mm

Soit donc un apport moyen

$$A = 3 \text{ hm}^3$$

▪ **Formule de l'ANRH**

$$A_0 = 0.915.P^{2.684}.S^{0.842}$$

P : Module interannuel en m

$$A_0 = 2.31 \text{ hm}^3$$

▪ **Synthèse des résultats :**

Les résultats obtenus varient dans un intervalle allant 0.95 hm³ à 5.45 hm³.

Ces résultats sont résumés dans le tableau(I.8)

IV.Tab.08 : évaluation de l'apport moyen interannuel

Méthode ou Formule	Lame écoulee Le (mm)	Apport moyen A (hm3)
SAMIE	30.05	3
DERI	26	2.6
MEDINGER	54.5	5.45
CHAUMONT	17.54	1.75
TURC	9.24	0.95
URGIPROVODKHOZ	30	3
ANRH	23.1	2.31

Sur la base de tous ces résultats on a jugé utile d'écartier les valeurs, de Chaumont, de Turc, de l'ANRH, qui sont plus ou moins faibles, et la valeur de MEDINGER qui est un peu forte, aussi la valeur retenue est celle de UGUIPROVODKHOZ,

$A = 3\text{hm}^3$, c'est-à-dire un débit spécifique $Mo = 0.95 \text{ l/s /km}^2$ ou une lame d'eau écoulée $Le = 30\text{mm}$.

VI.4.5.Répartition mensuelle de l'apport moyen :

La distribution des apports mensuels en pourcentage de l'apport moyen annuel a été établie sur la base de la répartition mensuelle de la pluviométrie régionale dans le bassin versant. La pluviométrie en question étant génératrice des apports de l'oued. Cette technique d'adaptation de la répartition mensuelle de la pluie à été considérée en raison de l'absence d'informations hydrométriques au niveau de l'oued concerne Le calcul se fait par la formule suivante :

Avec $Q_m = P_m \cdot C_e \cdot S$ Tel que $C_e = \frac{L_e}{\bar{P}}$

C_e : coefficient d'écoulement

P_m : pluie mensuelle (mm)

L_e : lame écoulée

\bar{P} : Pluie moyenne annuelle

S : Surface du bassin versant (Km^2)

Q_m : apport liquide mensuel en hm^3

Les résultats de calculs sont récapitulés dans le tableau (Tab.08 :)

IV.Tab.09 : Répartition mensuelle des apports liquide

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
Apports (HM^3)	0.309	0.257	0.223	0.360	0.244	0.249	0.290	0.336	0.384	0.125	0.084	0.133
Apports (%)	10.3	8.57	7.44	12	8.14	8.3	9.7	11.2	12.7	4.18	2.8	4.45

VI.4.6.Calcul du coefficient de variation :

La variabilité de l'apport annuel est caractérisée par le coefficient de variation (C_v) estime dans notre cas ; à défaut d'information hydrométriques par des formules empiriques.

▪ **Formule de PADOUN :**

$$C_v = K \frac{0.93}{M_0^{0.23}}$$

Avec $0.25 < K < 1$ On prend $K=0.7$

M_0 = Module de l'écoulement spécifique (L/S.Km²)

▪ **Formule de SOKOLOVSKY -CHEVELEV :**

Cette formule étant destinée pour les régions arides et semi arides

$$C_v = 0.78 - 0.291 \text{Log}(M_0) - 0.0063 \text{Log}(S+1)$$

S : Superficie du bassin versant

▪ **Formule d'URKGUIPROVODKHDZ :**

Cette formule a été établie sur la base des données de l'apport de 21 bassins de petits oueds de l'Algérie du nord.

$$C_v = \frac{0.70}{M_0^{0.125}}$$

▪ **Formule d'ANTONOV :**

$$C_v = \frac{0.78}{(S + 1000)^{0.097}}$$

▪ **Formule de KRITSKY MENKEL :**

$$C_v = \frac{A}{S^{0.06} \cdot M_0^{0.27}}$$

VI.Tab.10: calcul du coefficient de variation

Formule	Cv
PADOUN	0.65
SOKOLOVSKY	0.66
URKGUIROVODKHDZ	0.70
KRITSKYMENKEL	0,63
MOY	0.66

On choisit la formule qui donne les résultats la plus proche a la moyenne $C_v=0.66$

IV.4.6.1 Les apports fréquentiels :

Les apports fréquentiels ou de période de retour donnée sont nécessaires pour le dimensionnement de la cuvette et digue de l'ouvrage.

Une étude régionale effectuée dans la zone d'étude et ses environs, en particulier pour le site du barrage de Hammam Grouz a montré que les apports annuels s'ajustent bien à la loi de distribution GALTON dont l'équation est :

$$A_{\%} = \frac{A}{(C_v^2 + 1)^{0.5}} e^{u(\text{Log}(C_v+1))^{0.5}}$$

$A_{P\%}$: Apport de fréquence donnée ;

\bar{A} : Apport moyen annuel (hm^3) ;

C_v : coefficient de variation ;

Les résultats sont représentés dans le tableau (**Tab.11**)

VI. Tab.11: Distribution des apports fréquentiels

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	HM³
2	50	2.5
5	20	3.50
10	10	4.16
100	1	6.28
1000	0.1	8.52

VI.5.TRANSPORTS SOLIDES :

L'évaluation de l'envasement est indispensable pour illustrer l'ampleur du comblement au niveau du commune Boukhara en cas d'un manque d'entretien de l'aménagement, et de l'utilisation de la zone aménagée comme dépotoir par les riverains de l'oued. Les apports solides sont importants en Algérie et sont soumis à des précipitations mal réparties dans l'année. De plus, l'érosion est intensive.

L'absence de mesures du transport solide sur Oued boukhadra nous contraint à avoir recours aux méthodes empiriques.

VI.5.1 Formule de TIXERONT

Celle ci a été établie sur la base de corrélations faites entre l'apport moyen liquide annuel et la perméabilité grâce à des données d'observations sur des oueds algériens et tunisiens.

Cette formule donne l'apport solide moyen annuel en suspension en T / km². An.

Elle est exprimée par :

$$Es = \alpha \cdot Le^{0,15}$$

Où :

Es : Apport solide moyen annuel en suspension en T / Km². An

Le : Lame d'eau écoulée en mm

α : Paramètre caractérisant la perméabilité du Bassin versant $\alpha = 350$

Pour une lame d'eau écoulée de 30 mm, on obtient une valeur de 583 t/km² /An pour les transports solides en suspension.

VI.Tab.12: variation de la perméabilité

Variation de La perméabilité	α
élevée	8,5
Moyenne	75
Faible à moyenne	350
Faible	1400
Imperméable	3200

$$A_s = E_s \cdot S$$

S : Superficie du Bassin versant en km²

$$A_s = 58300 \text{ Tonnes / An.}$$

Le volume des apports solides annuel est égal à :

$$V_s = A_s / \gamma_s$$

$$\gamma_s = 1.6 \text{ t/m}^3$$

$$V_s = 36438 \text{ m}^3$$

VI.5.2. Formule de SOGREAH

$$E_s = \alpha \cdot R^{0.15}$$

α : Paramètre caractérisant la perméabilité du Bassin versant $\alpha = 350$

R : Pluie moyenne interannuelle ou module interannuel (mm)

$$E_s = 836.43 \text{ T/Km}^2/\text{An}$$

$$A_s = E_s \cdot S = 83644 \text{ Tonnes / An.}$$

$$V_s = A_s / 1.6 = 52278 \text{ m}^3$$

Nous remarquons sur la base de tous ces résultats que la valeur fournie par la formule de SOGREAH est surestimée, elle ne peut donc être représentative.

Les valeurs finalement adoptées, pour les transports solides sont celles obtenues par la formule de Tixeront, une valeur de $E_s = 583 \text{ T/Km}^2 \cdot \text{An}$, soit un taux de 58300 T /An , et un volume spécifique ou taux d'abrasion de $36438 \text{ m}^3 / \text{An}$.

VI.6. ETUDE DES CRUES :

Les crues étant les événements correspondant à la circulation des débits exceptionnels dans les bassins versants, elles sont influencées par de nombreuses variables parmi lesquelles l'intensité, la durée et la distribution de la pluie dans le bassin, sa topographie etc.

Les débits de crues ont une influence directe sur le régime hydrologique particulièrement en Algérie où les Oueds, à cause de la grande irrégularité, passant de débits nuls à des débits de crues exceptionnels.

Les crues dépendent essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie, de plus, le rôle physique du bassin versant n'est pas négligeable.

De ce fait, l'évolution de la crue obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse, sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, les paramètres morphométriques du bassin (indice de compacité, densité de drainage, rapport des confluences et des longueurs, etc. ...), par la pente des thalwegs, la forme du lit, la largeur de la vallée. De plus, les diverses branches du chevelu hydrographique interviennent bien qu'à un degré moindre dans l'évolution ou la perturbation d'une crue. Dans la plupart des cas, ce sont les averses généralement qui provoquent les grandes crues.

A cause de l'inexistence de station hydrométrique dans le bassin versant de l'Oued boukhadra, des formulations empiriques ont été utilisées pour la prédétermination des débits de crues maximales.

Plusieurs approches ont été considérées et ce, afin de constituer une base de comparaison, compte tenu du caractère aléatoire des débits de crue

En effet, ces approches sont suffisantes pour interpréter le phénomène hydrologique et l'écoulement des eaux dans le cas des petites retenues collinaires, comme cela a été mentionné dans l'inventaire des infrastructures de petite et

moyenne hydraulique, retenues collinaires, Ministère de l'Hydraulique, Direction de la petite et moyenne hydraulique. Alger 1988 .

▪ **Formule de Giandotti**

$$Q_{MAX\%} = \frac{170.S.\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4\sqrt{S} + 1.5.l} P_{tc}$$

Où :

Qmax(%) : Débit maximum de crue en m³/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée Ptc.

S : Superficie du bassin en km²

L : Longueur du thalweg principal en km

H_{moy} et H_{min} : Altitudes moyenne et minimale en m.

Ptc : Pluie fréquentielle de courte durée, correspondant au temps de concentration.

▪ **Formule de Sokolovsky**

$$Q_{max\%} = \frac{0.28.p_{tc}\alpha.s}{t_c} f$$

Où :

α : Coefficient de ruissellement en fonction de la fréquence, voir tableau

T_c : temps de concentration

f : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue f=1.2

P_{ct} : pluie fréquentielle de courte durée, correspondant au temps de concentration

VI.Tab.13 : Coefficient de ruissellement en fonction de la fréquence

Fréquence (%)	0,01	0,1	1
α	0,9	0,8	0,7

▪ **Formule de Mallet - Gautier**

Cette formule n'est valable que pour les fréquences supérieures à 2%.

$$Q_{\max\%} = 2k \log(1 + A.P) \cdot \frac{S}{\sqrt{L}} (1 + 4 \log T - \log S)$$

Où :

T : Période de retour en années

P : Module interannuel en m

A et K : Paramètres constants variant avec la taille du Bassin versant

▪ **Méthode de Turazza**

Formule employée pour les conditions de la formation des débits d'Averses

$$\bar{Q}_{\max(p\%)} = \frac{\alpha \cdot \bar{S}}{3.6 \cdot T_c} \cdot I_t$$

I_t : intensité des pluies fréquentielle en (mm/h)

▪ **Synthèse des résultats :**

Tous les résultats obtenus à partir des méthodes et formules empiriques précédemment employées sont résumés dans le tableau (**Tab.14**)

IV.Tab.14 : détermination des crues fréquentielles

Période de retour T (ans)	2	5	10	100	1000
Fréquences (%)	0,5	0.2	0.1	0,01	0,001
Pluies Ptc (mm)	23.92	31.90	39.87	47.85	55.82
Formules	Débits maximes Fréquentiels (m3/s)				
GIANDOTTI	46006	61354	76683	92031.36	107360
SOKOLOVSKY	51.14	77.95	97.42	131.54	153.45
MALLET –GAUTIER	41.26	122.38	158.17	241.61	302.88
TURAZZA	48.22	64.44	80.44	84.50	84.58

Sur la base de tous ces résultats, les valeurs adoptées pour les débits maximaux fréquents sont représentés dans le tableau (Tab.15):

IV.Tab.15 : Valeur de débits maximaux fréquents

Période de retour T (ans)	2	5	10	100	1000
Fréquences (%)	0,5	0,2	0,1	0,01	0,001
Valeurs adoptées Qmax (m3/s)	51.14	77.95	97.42	131.54	153.45

VI.6.1. Volume maximal de l'apport

Les volumes des crues à différentes fréquences se calculent avec la relation.

$$V_{max} = Q_{max} \frac{t_c}{f}$$

Où :

f : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue (f= 1,2)

Tc : Temps de concentration

Tc = 11 heures

Les volumes des crues fréquentielles sont exposés sur le tableau (Tab.15)

IV.Tab.16 : volumes des apports des crues maximales

Période de retour T (ans)	2	5	10	100	1000
Fréquences (%)	0,5	0,2	0,1	0,01	0,001
Qmax (m³/s)	51	78	97	131	153
Vmax m³	468	14	890	1205	1406

VI.6.2. Caractéristiques de forme :

La forme des crues (temps de montée et de décrue) est déterminée à l'aide de la méthode de SOKOLOVSKY qui assimile l'hydrogramme de crue à deux équations paraboliques l'une pour le temps de montée et définie par :

$$Q_t = Q_{max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^m$$

Et l'autre pour la décrue exprimée par :

$$Q_d = Q_{\max} \left(\frac{t_d - t}{t_d} \right)^n$$

Où :

Q_{\max} : Débit maximal de fréquence donnée.

Q_t : Débit instantané au moment t

t_m et t_d : Temps de montée et temps de décrue

m et n : Puissance des paraboles, pour les Bassins de petits gabarits,

$$m = 2 \text{ et } n = 3 \text{ et } t_b = t_m + t_d$$

Avec :

t_b : Temps de base (heure)

t_m et t_d , définis précédemment.

On considère généralement :

$$t_d = 2 t_m$$

De plus SOKOLOVSKY préconise $t_m = T_c$ pour les petits bassins versants

On aura :

$$t_m = 11 \text{ h}$$

$$t_d = 22 \text{ h}$$

$$t_b = 33 \text{ h}$$

Pour construire l'hydrogramme des crues de boukhadra, on a utilisé les valeurs des débits de crues maximales de fréquences 10%, 1 %, et 0.1% correspondant respectivement à des périodes de retour 10 ans, 100 ans, et 1000 ans.

Les résultats obtenus sont exposés dans le tableau suivant,

T(heure)	t/t _c	(t/t _c) ²	Q _{t(10%)}	Q _{t(1%)}	Q _{t(0,1%)}
1,1	0,1	0,01	1	1	1
2,2	0,2	0,04	4	5	6
3,3	0,3	0,9	9	12	13
4,4	0,4	0,16	15	21	24
5,5	0,5	0,25	24	33	38
6,6	0,6	0,25	35	47	55
7,7	0,7	0,49	48	64	75
8,8	0,8	0,64	62	84	98
9,9	0,9	0,81	79	106	124
11	1	1	97	131	153

t _d -t	t _d -t/t _d	(t _d -t/t _d) ³	Q _{t(10%)}	Q _{t(1%)}	Q _{t(0,1%)}
22	1	1	97	131	131
20.9	0,95	0.85	83	113	131
19.8	0,90	0,72	71	96	112
18.7	0,85	0,61	60	81	94
17.6	0,80	0,51	50	67	78
16.5	0,75	0,42	41	55	65
15.4	0,70	0,34	33	45	53
14.3	0,65	0,27	27	36	42
13.2	0,60	0,21	21	28	33
12.1	0,55	0,16	16	22	25
11	0,50	0,12	12	16	19
9.9	0,45	0,09	9	12	14
8.8	0,40	0,06	6	8	10
7.7	0,35	0,04	4	6	6
6.6	0,3	0,02	3	3	4
5.5	0,25	0,01	1	2	2
4.4	0,20	0,008	0.78	1	1
3.3	0,15	0,003	0.33	0.44	1
2.2	0,1	0,001	0,09	0.13	0.15
1.1	0,05	0,0001	0,01	0.016	0.019
0	0	0	0	0	0

VI.Tab.17 : les valeurs des débits de crues maximales de fréquences

VI.Tab.18: Récapitulatif des résultats relatifs aux caractéristiques du bassin versant

PARAMETRES	SYMBOLE	UNITES	VALEURS
CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES :			
SUPERFICIE	S	Km ²	509
PERIMETRE	P	Km	85
INDICE DE COMPACTITE	Kc		1.05
RECTANGLE EQUIVALENT			
LONGUEUR	L	m	6.9
LARGEUR	l	m	2.51
ALTITUDES :			
MINIMALE	H _{min}	m	700
MOYENNE	H _{moy}	m	1100
MAXIMALE	H _{max}	m	14500
RELIEF :			
INDICE DE PENTE GLOBALE	Ig	m/Km	6.82
PENTE MOYENNE DU B.V	Pmoy	%	7.03
HYDROGRAPHIE			
DENSITE DE DRAINAGE	Dd	Km/Km ²	0.97
COEFFICIENT DE TORRENTIAITE	Ct	-	0.53
TEMPS DE CONCENTRATION	Tc	heure	11
VITESSE MOYENNE DE RUISSELEMENT	Vr	km/h	1.36
PENTE MOYENNE DU COURS D'EAU	Imoy	%	0.765
CLIMAT			
TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE	t	°C	14.9
EVAPORATION MOYENNE ANNUELE	Ev	mm	1230
PLUVIOMETRIE :			
PLUIES MOYENNE ANNUELLE	p	mm	333
APPORT MOYEN	A	H m ³	3

VI.7. Conclusion :

Les valeurs des précipitations annuelles estimées à 333 mm et le volume annuel moyen des apports s'élevant à 3.0 hm^3 relatifs au Bassin versant au site Boukhara, ont été finalement adoptés du fait qu'ils ont été obtenus par suite d'une étude relativement détaillée des données disponibles au niveau de la station pluviométrique de el aouinet. Malheureusement, les apports sur l'Oued n'ont pu être obtenus à partir des débits d'une station hydrométrique pour des raisons absence du station de mesure, de plus, l'Oued Boukhara est dépourvu de station qui lui est propre. Cependant, cela n'enlève en rien à la bonne approximation faite sur l'évaluation de ces apports.

Quant aux valeurs des crues, une estimation comparative des résultats a montré une certaine dispersion de celles-ci, à cause entre autres, de la considération de certains paramètres pour certaines formules, inconsiderés dans d'autres.

Néanmoins, les valeurs adoptées sont représentatives et traduisent assez bien le comportement hydrologique au niveau de l'Oued Boukhara. Etant donné que le site a aménager ne se situe un peu à l'écart du village Boukhara, la crue de projet la plus appropriée du point de vue technico économique est la décennale $Q_{10\%}=97\text{m}^3/\text{s}$. Toutefois les aménagements sur le cours d'eau à proximité BOUKHADE Anseront vérifiés à la centennale $Q_{1\%}=131\text{m}^3/\text{s}$.

Les hydrogrammes établis permettent de voir l'évolution des crues dans le temps.

Finalement, une évaluation plus ou moins variée a permis de fixer les valeurs des transports solides et de l'envasement au boukhadra cas de non entretien et non curage dès l'aménagements de l'Oued Boukhara.

VII. INTRODUCTION

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 par 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 1).

VII.1. Tableau 01 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	26 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

VII.2.Suite Tableau III.01

Sidi Bel Abbcs	04/10/1986	1 décès, 200 familles sans abri
Oued Rhiou	20/10/1993	22 décès, 14 blessés
Bordj Bou Arréridj	23/09/1994	16 décès, dégâts (10 millions DA)
Annaba	23/09/1994	16 décès, dégâts (10 millions DA)
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 700 décès, 115 disparus, des milliers de blessés, dégâts (30 milliards de DA)
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.
Tébessa	13/12/2018	1 décès, dégâts (20 millions DA)

VII. PROBLEMATIQUE D'INONDATION EN ALGERIE

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-temporels 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 Sebou, 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).

VII.1 LE CLIMAT EN ALGERIE

Le climat algérien est un climat de transition, il varie du type méditerranéen et semi aride dans le Nord et au type désertique dans le Sahara (Kadi, 1997).

VII.1.2 Pluviométrie : Le climat intervient par sa composante hydrique (pluviométrie), qui régit fortement le régime des eaux souterraines et superficielles. Du fait de son appartenance géographique aux zones aride et semi-aride, l'Algérie du Nord est soumise à des conditions hydroclimatiques défavorables, caractérisées par :

- ✓ Des *précipitations irrégulières*, avec des variations interannuelles importantes
- ✓ Des *sols imperméables* et à faible couverture végétale, favorisant le ruissellement et

L'érosion

- ✓ Des *régimes hydrologiques dominés* par :
 - Une forte irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements,
 - La violence des crues,
 - L'importance de l'érosion et des transports solides, entraînent l'envasement des
- À travers le territoire, a imprimé les grands traits de la répartition régionale des Ressources en eaux souterraines et superficielles et même des différentes zones à risque D'inondation.

VII.3. Tableau Distribution régionale de la pluviométrie moyenne (mm)

Zones	Région Ouest	Région Centre	Région Est
Littoral	400	700	900
Atlas tellien	600	700-1000	800-1400
Hautes plaines	250	250	400
Atlas saharien	150	200	300-400
Sahara	20-150	20-150	20-150

VII.2.1 perturbations météorologiques (origine et mécanisme de formation).

L'Algérie est soumise régulièrement à des systèmes perturbés pluvieux très diversifié

Liés d'une part à sa grande superficie et d'autre part à sa situation géographique considérée

Comme position centrale entre les phénomènes d'origine polaire et tropicale, subissant des

sécheresses et des inondations d'ampleur et de périodicité variable. En effet, les fortes pluies

qui se produisent généralement entre septembre et mai, sont dues essentiellement aux perturbations du front polaire. Elles sont provoquées par l'arrivée de masses d'air polaire de l'arctique et qui se régénèrent fortement lorsqu'elles parviennent sur les eaux chaudes de la Méditerranée. Le fort flux de chaleur d'humidité de la mer vers les masses d'air est en effet prépondérant dans l'intensification des perturbations. Ces dernières peuvent parfois pénétrer

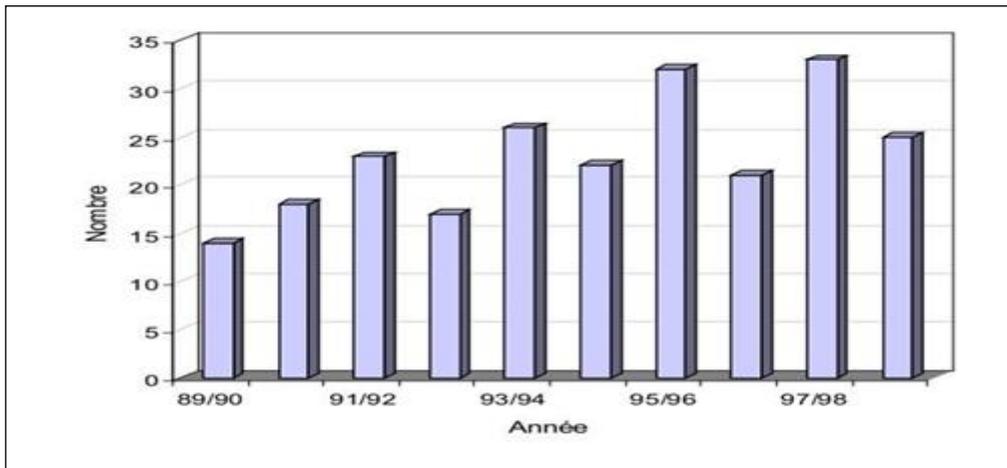
vers les régions sahariennes, elles sont alors fortement alimentées en humidité en provenance

des régions tropicales.

Une analyse des perturbations atmosphériques dites "sévères" (précipitations supérieures à 30 mm pendant 24 heures) ayant affectées l'Algérie (Ambar, 2002), le nombre des perturbations varie considérablement d'une année à l'autre, jusqu'à 33 pendant l'année

1997/98, et seulement 15 perturbations en 1989/90 (Fig III.1).

VII .Fig. N°. 1 : Distribution des perturbations par année. (Ambar, 2002)

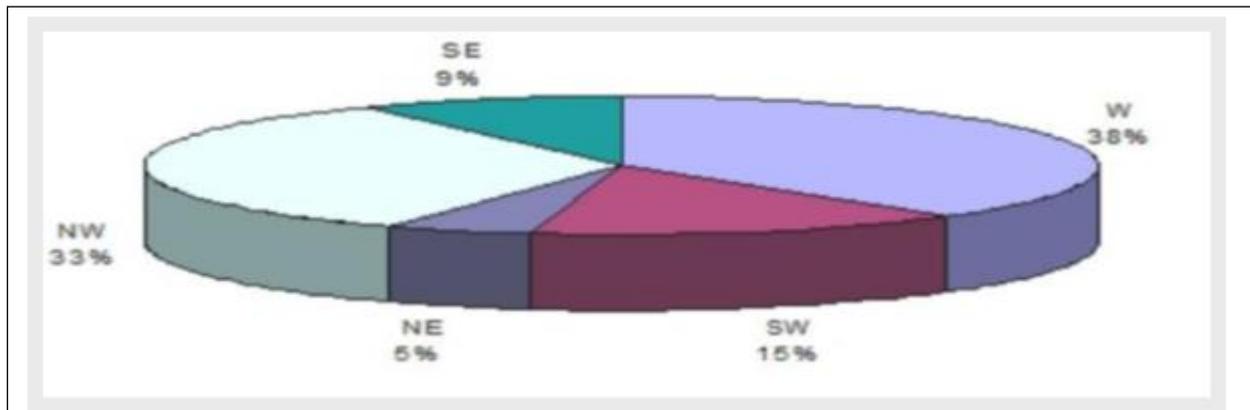


VII .Fig. N°. 1: Distribution des perturbations par année. (Ambar, 2002)

Cette analyse fait ressortir toujours selon Ambar (2002) les éléments suivants :

- La perturbation ayant occasionné le maximum de pluie en 24 heures sur le pays au cours de cette période s'est produit du 2 au 7/11/1992 où la station de Guelma a enregistré un total de 160 mm d'eau en 05/11, soit 25% de la moyenne annuelle à ce même site.
- La perturbation ayant occasionné l'épisode pluvieux le plus important s'est produit du 24 au 28/01/1992 où la station de Miliana avait cumulé 330 mm d'eau en 72 heures, soit 40% de la normale annuelle.

□ Pour le seuil 100 mm d'eau en 24 heures i même période. Environ 70% des perturbations qui traversent le pays ont une origine Ouest et Nord-Ouest, c'est-à-dire océaniques (Fig III.2).



VII .Fig. N°. 2: Distribution par origine des perturbations.

Les précipitations caractérisées, en Algérie, par une très forte irrégularité tant Interannuelle que saisonnière entraînent des étiages extrêmement sévères des cours d'eau et Inversement des fortes crues et des inondations engendrant des dégâts humains et matériels Considérables. La genèse des fortes crues et leurs impacts sur l'environnement et les activités Différentes d'une région à une autre en fonction des conditions géographiques, climatiques et D'occupation des sols qui les caractérisent. (Merabet, 2008).

Bien que la cause fondamentale de la plupart des inondations soit l'arrivée D'importantes chutes de pluie, cependant, elles ne sont pas toutes dues à des phénomènes Exceptionnels. En bien des occasions, d'autres facteurs agissent, soit pour aggraver les effets D'une crue, soit pour créer eux-mêmes des phénomènes hydrauliques dans les surfaces de L'eau tels que la présence des détritiques et des troncs d'arbres qui réduisent la capacité du lit de L'oued.

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

□ Les inondations liées à des situations mété

Une forte pluviosité (pluies importantes, orages violents) tels que les inondations de Décembre 1957 des bassins de Mazafran et de la Sebaou, les inondations de l'automne 1969 en Algérie et en Tunisie, les inondations catastrophiques de Mars 1973 sur l'Est Algérien, les inondations de Mars 1974 des bassins versants de l'Algérois et de la Sebaou, Les inondations de Décembre 1984 surtout l'Est Algérien etc. (Merabet, 2008).

□ Les inondations provoquées par des facteurs :

Réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales, le gonflement des oueds par les Décombres et les détritiques et d'autres agissements humains qui favorisent des dégâts lors Des averses saisonnières ; les cas de la ville de Tiaret inondée presque à chaque hiver et la Plaine de Mزاب ou des inondations se produisent tous les 02 à 03 ans illustrent Parfaitement l'influence de ces facteurs dans l'apparition du phénomène d'inondation. (Merabet, 2008).

□ Les inondations produites dans des :

Topographie défavorable comme le cas des villes traversées par des oueds (Bordj Bou Arréridj, Oued R'hiou, Sidi Bel Abbés) ou situées au pied d'une montagne (Ain Defla, Batna, Medea). Ces agglomérations à forte concentration des populations et sous l'effet D'une urbanisation anarchique et non réglementée présentent des grands risques, des pertes Humaines et des destructions de constructions sont enregistrées à chaque inondation aussi Légère qu'elle soit. (Merabet, 2008)

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

Types :

□ Les inondations par des crues torrentielles

Appelées aussi : crues éclair et affectant les petits bassins versants de quelques dizaines de km² et sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses. Issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses se produisant généralement en automne et été. Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de la soudaineté et de la rapidité avec lesquelles elles se produisent, les ruissellements extrêmement rapides et violents peuvent intervenir moins d'une heure après la pluie et les débits des oueds passent de quelques m³/s à plusieurs milliers de m³/s en 02 à 03 heures seulement. L'inondation de la ville de Oued R'hiou (le 20 octobre 1993) où 20 minutes de pluies ont fait : 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus est l'exemple parfait de ce type de crues. (Merabet, 2008).

□ Les inondations des grands bassins versants :

Précipitations importantes généralisées sur des grandes étendues et caractérisées par leur quantité et leur durée qui peut atteindre 10 à 15 jours.

□ Inondation du 28 au 31 mars 1974 dans les jours) ou on a enregistré à Tizi Ouzou (52 morts, 4 570 maisons détruites, 130 villages isolés, 18 000 sinistrés et des dégâts matériels estimés à 27 Millions de DA).

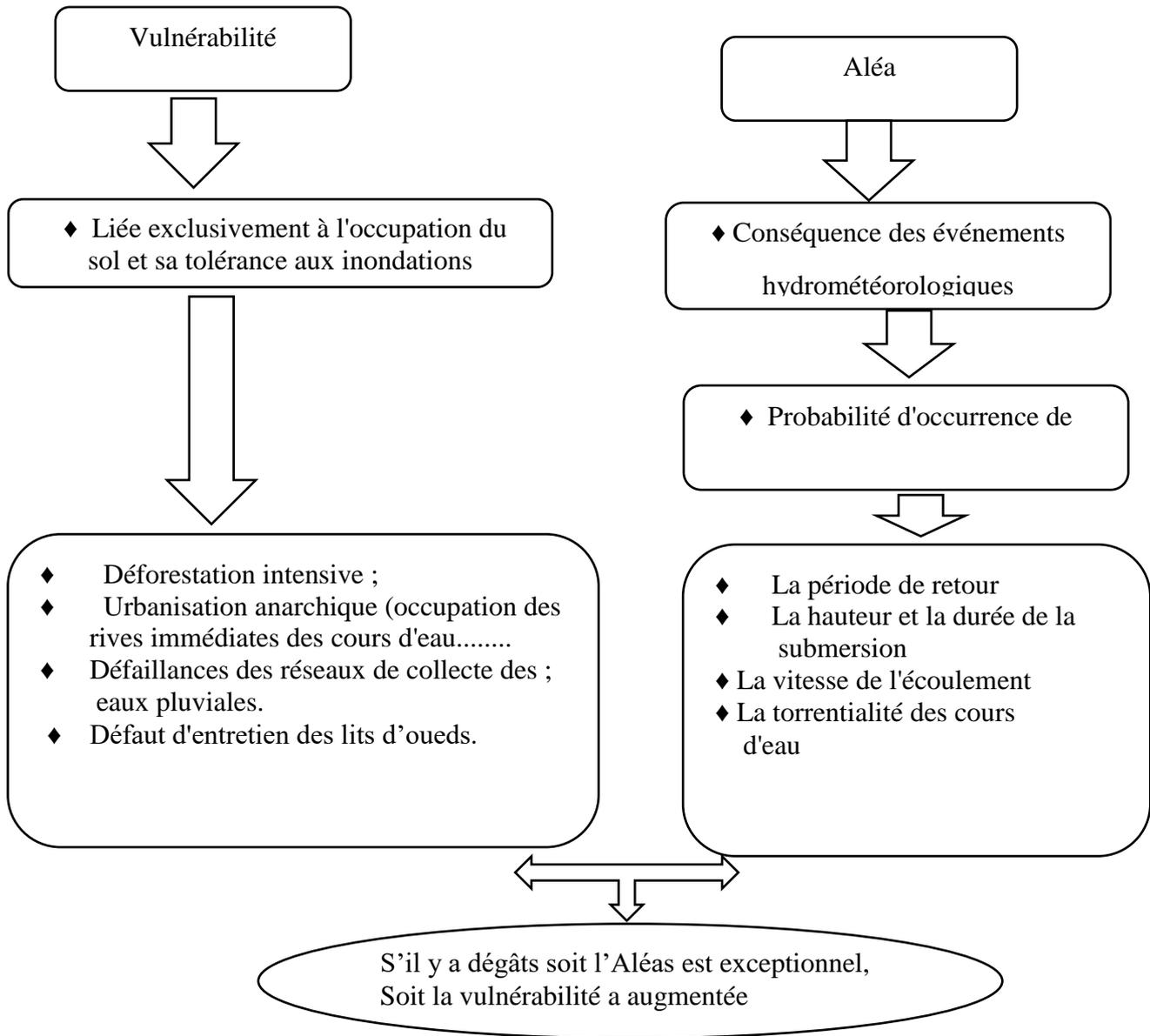
□ Les différents jaugeages de crues

- A Belloua sur l'oued Sebaou ($Q_{max} = 2980 \text{ m}^3/\text{s}$, $V = 311 \text{ hm}^3$);

- A Baghlia sur l'oued Sebaou ($Q_{max} = 3420 \text{ m}^3/\text{s}$, $V = 476 \text{ hm}^3$);

Les crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisibles sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents aval plus courts et plus rapides.

La fig. III.3 représente une schématisation de la vulnérabilité et de l'aléa d'inondation en Algérie (Merabet, 2008).



VII .Fig. N°. 3 : Schématisation de la vulnérabilité et de l'aléa d'inondation en

VII.3. ANALYSE DES CAUSES DE DEGRADATION DES SOLS EN ALGERIE

Le sol qui est le support et le pourvoyeur des plantes en éléments fertilisants et en eau constitue un facteur vital dans tous les écosystèmes. Sa dégradation a un impact direct sur la production. L'inventaire et la cartographie des ressources en sols sont encore loin de couvrir tout le territoire national (Merabet, 2008).

En effet les études réalisées par l'A.N.R.H (agence nationale des ressources hydrogéologiques) et d'autres organismes montrent que 7 864 032 ha ont été cartographiés à différentes échelles. La superficie des sols considérée apte à la mise en valeur hydro agricole (Tableau N°02) sur la base de leurs propriétés physico-chimiques, ainsi que différents facteurs naturels (géomorphologie, topographie, climat...) est de 2 226 313 ha (Merabet, 2008).

N°	Bassin versant	Superficie Total (ha)	Superficie Total (ha)
1	Chelliff	684 156	261 589
2	Côtier Algérois	188 301	132 632
3	Côtier Constantinois	127,343	85 646
4	Côtier Oranais	94 590	44 929
5	Chott Hodna	1 176 636	489 241
6	Chott Melrher	788 645	225 796
7	Plateaux Constantinois	227 981	55 615
8	Plateaux Oranais	534 634	55 615
9	Isser	67 733	37 275
10	Kebir Rhummel	27 799	17 516
11	Mecta	287 810	143 589
12	Medjerda	112 717	64 534
13	Sahara	1 060 789	136 755
14	Seybousse	178 097	101 490
15	Soummam	543 326	228 732
16	Tafha	41 541	27 845
17	Zahrez	296 576	35 742
	Total de la superficie irrigable (ha)		2 226 313

VII.4. Tableau: Ressources en sols inventoriées

Des études pédologiques et géomorphologiques montrent que les sols algériens sont vulnérables à l'érosion causée par la synergie de divers facteurs (climat, relief) et humain (Surexploitation des terres).

VII.3.1. L'érosion

L'action de l'érosion induite par le manque de couverture végétale explique le non
Évolution de certains sols algériens et leur pauvreté en matière organique. Ce décapage crée
Continuellement des sols jeunes alluviaux, colluviaux ou des sols minéraux bruts. L'érosion
Hydrique est d'abord liée au climat méditerranéen régnant sur le pays et caractérisé, entre
Autres, par la violence et l'irrégularité interannuelle et inter-saisonnière du régime des pluies.
Le non-respect par l'homme des façons culturales adaptées aux milieux fragiles
(Labours en courbe de niveau, emploi d'outils à dents...), ses actions de déforestation, le
Surpâturage, accentuent et accélèrent le processus érosif et le transport solide par le
Phénomène d'inondation.

A ce paramètre topographique s'ajoute la nature du substratum géologique tellien
Essentiellement formé de roches tendres et friables facilement érodables.

Plus de 12 millions d'ha sont soumis à l'action de l'érosion hydrique (Merabet, 2008).

Le relief des bassins versants algérien se caractérise par des réseaux hydrographiques
Denses et mal entretenus engendrant des volumes écoulés mal répartis et en résultent des
Bassins versants érodés.

Le climat, la pente, la nature lithologique et le manque de couverture végétale
Expliquent, qu'annuellement près de 2000 T/km² de sédiments sont arrachés aux bassins
Versants de l'Atlas tellien et que 120 millions de tonnes de sédiments sont rejetés
Annuellement à la mer. L'envasement des barrages est la conséquence de cette érosion. Il
Représente 11,2 % de la capacité initiale des 43 barrages recensés en Algérie. Trois barrages
(Forum el Gherza, Biskra et El Guers) ont plus de 50 % de vases. Le taux d'envasement est
Supérieur à 50 % en zones arides et 30-40 % en zones telliennes (Merabet, 2008).

VII.4. INONDATIONS DE BAB EL OUED (2001)

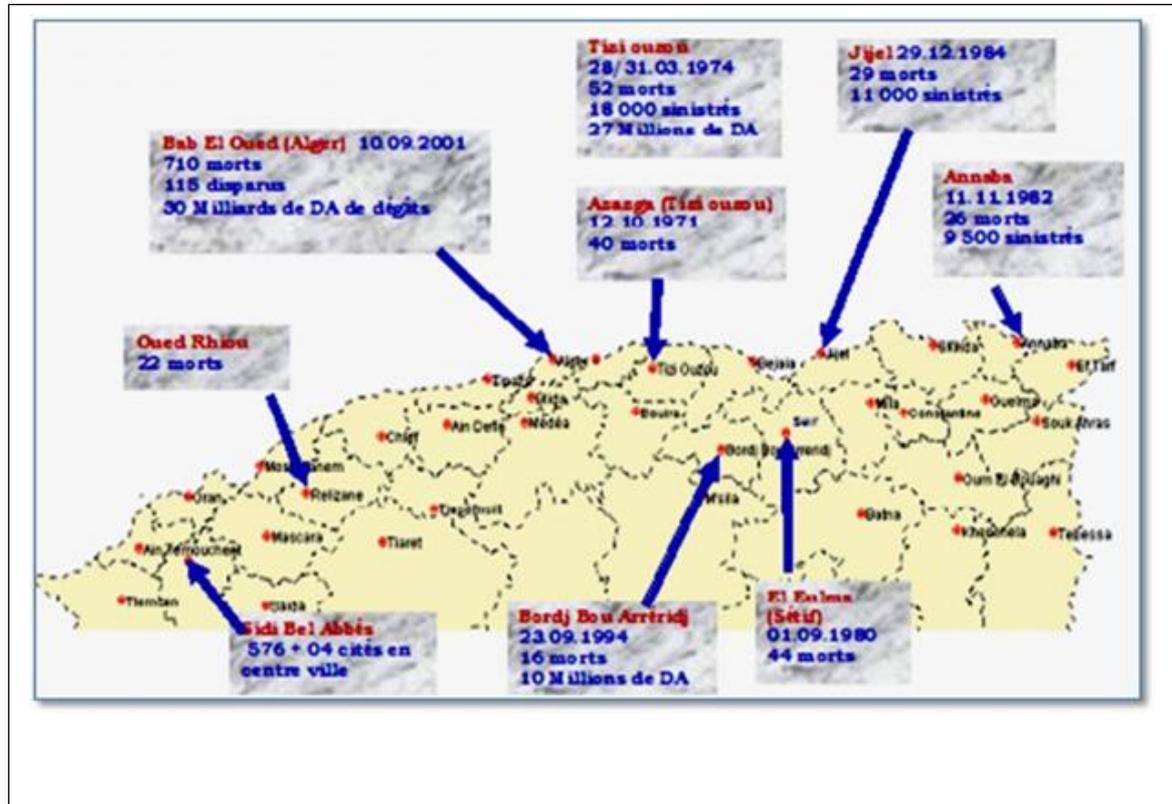
Les pluies abattues sur Alger (Bab el Oued) entre le 9 et le 11 Novembre 2001 (262 mm Dont 204 mm en 24 heures) ont provoqué l'une des inondations les plus dramatiques qu'a Connue l'Algérie. Le bilan de la catastrophe s'est soldé par plus de 700 morts, 115 disparus et 15 des milliers de blessés. Les dommages aux biens (effondrement des constructions, Coupures des routes et de l'électricité, renversement de voitures, arbres et poteaux électriques Arrachés, liaisons ferroviaires interrompues entre Alger et les autres villes) ont été estimés à 30 milliards de dinars algériens (300 millions de dollars). Ces pluies torrentielles (130 mm Enregistrées à la station de Bouzereah durant la matinée du 10 Novembre), accompagnées de Vi autorités algériennes ont déclenché le plan ORSEC pour venir au secours des victimes (évacuation des milliers de familles) et ont appelé à la solidarité internationale (Fig III.4). olentes rafales de vent et de coulées de boue, ont provoqué telleme nt de dégâts que les



VII .Fig. N°. 4: Alger - Bab el Oued

Les inondations qui ont affecté l'Algérois en novembre 2001 sont dues à plusieurs causes dont les plus importantes sont anthropiques. En plus du caractère remarquable des pluies diluviennes abattues sur la ville, il faut noter que la colline qui surplombe la ville d'Alger et qui était recouverte d'une forêt de pins d'Alep et autres espèces méditerranéennes, stabilisant le terrain, a été complètement déboisée et envahie par des constructions, souvent illicites surtout ces dernières années à cause de la guerre civile et de l'exode vers la ville, plus «sécurisée». Il faut dire aussi que la ville d'Alger, conçue pour 500 à 600 000 habitants en supporte près de trois millions actuellement. La population algéroise a quintuplé depuis les trois ou quatre dernières décennies et la demande de logement s'est accrue ; c'est ainsi que les constructions occupent tout l'espace y compris les terrains glissants et accidentés, accentuant de ce fait l'érosion. La configuration géographique particulière du bassin versant accélère les écoulements en cas de pluie très forte, d'autant plus que peu d'ouvrages ont été proposés pour la protection d'Alger et particulièrement de la commune de Bab El Oued, située en contre bas et bordant la mer. De plus, l'imperméabilisation des sols a été accentuée par la construction de routes et pis encore, une voie rapide qui dessert les hauteurs d'Alger vers le centre de Bab El Oued se situe dans le lit de l'oued Koriche, ce qui a accentué davantage l'écoulement de l'eau et le transport des boues et débris lors de la tragédie. Ces inondations ont eu de très lourds impacts et ont provoqué une catastrophe nationale tant par les pertes humaines que des dégâts matériels. En effet, selon les informations publiées par plusieurs sources, on note plus d'un millier de morts et de nombreux disparus.

Ces nombreux dégâts ont permis de dresser un diagnostic et de recommander la mise en place d'une politique de maintenance du patrimoine public immobilier et d'entretien des biens privés. La nécessité d'établir une carte des risques en fonction d'une classification des sols, de veiller aux règles d'urbanisation, de respecter scrupuleusement le plan d'occupation des sols constituent les priorités des services concernés.(Djellouli ; A. Saci, 2003).



VII .Fig. N°. 5. représente l'Ampleur des inondations en Algérie.

VII.5. LES INONDATIONS AU SUD

Des inondations plus isolées ou de grandes envergures ont également marqué le Sud Du pays ; c'est ce qui s'est produit dans les régions d'Illizi, Adrar et Tamanrasset en Mars 2005, à Tindouf en Février 2006, à Béchar en Octobre 2007 et 2008 et à Ghardaïa en Octobre 2008. Des averses torrentielles et brèves engendrent une concentration des eaux ruisselées Dans les lits d'oueds et torrents, le plus souvent à sec (flash flooding), et peuvent provoquer Des débordements particulièrement destructeurs. A titre d'exemple, il a suffi d'une pluie Quotidienne de 79 mm (soit la quantité enregistrée en deux ans) pour détruire 50 à 60% des Infrastructures aux camps des réfugiés sahraouis à Tindouf entre le 9 et 11 février 2006 (Fig.N°6). D'après l'évaluation de l'agence du Haut-Commissariat des Nations Unies pour les Réfugiés (HCR) à Tindouf, au moins 70% des stocks de la nourriture des familles ont été Ruinés. Le Croissant Rouge Sahraoui (CRS) a lancé un appel à la communauté internationale Pour des dons en tentes, médicaments, nourriture et couvertures



VII .Fig. N°. 6. : Tindouf : Camp des réfugiés sahraouis détruit

Suite à de très fortes intempéries qui ont duré plus de 3 jours (oueds Mâadar, Zouzfana et Bechar en crues), la wilaya de Béchar a subi le 18 Octobre 2007 des dommages Considérables. En plus des deux victimes emportées par les eaux, les infrastructures de base Ont été fortement endommagées (lignes téléphoniques coupées, circulation automobile arrêtée, Routes bloquées suite à l'effondrement de plusieurs dalots et ponts, infiltrations des eaux dans Plusieurs habitations). En moins d'une année, la ville de Bechar a été frappée, encore une fois, 20 par l'inondation du 10 Octobre 2008 causant la mort de 8 personnes et des dommages Importants. Cette dernière a été la plus grande depuis 1959 (Fig N°07).



VII .Fig. N°. 7. Bechar :Inondation du 10/10/2008

VII.6. LES INONDATIONS AU Est

Les inondations qu'a connues la wilaya d'Annaba, mardi et mercredi derniers, ont causé la mort d'une dame et de sa petite fille, âgée de 9 ans, apprend-on auprès des habitants d'El-Kalitoussa, une cité semi-rurale de la commune de Berrahal.

Portées disparues depuis mardi dernier, les deux victimes ont été emportées par les eaux vers le lac Fatzara. Le corps de la jeune fille a été découvert jeudi dernier par un de ses propres frères, tandis que celui de sa maman, n'a été retrouvé qu'hier samedi par des agriculteurs aux abords du lac.

La femme et sa fille auraient quitté la maison, mardi dernier, juste après le f'tour, pour se rendre chez son frère, habitant au lieudit Oued El-Hout, dans la commune d'El-Eulma.

Depuis, elles n'ont plus donné signe de vie.



VII .Fig. N°. 8. Annaba: inondations du 2019



VII .Fig. N°. 9. Tébessa : inondaions du13/12/2019

CONCLUSION

En Algérie, la majorité des crues et inondations sont dues à des précipitations

Torrentielles qui engendrent des dégâts humains et matériels considérables.

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, qui sera l'objet de la

Deuxième partie de notre travail.

Pour notre zone d'étude commune de boukhadra se trouve dans la partie à valle de djebel boukhadra qui présent un grand risque de inondation le choix de construction de la ville dans le champ d'action des talwegs qui présent le Grant Danger sur pour la population tout construction individuelle et collective partie de SIG Google Earth, surfer 13.1, Glabal Mapper, 20.1 la protection de la ville et ter Nécessaire et urgent pour la communauté des personnes et la propriété publique

VIII.1.Solution proposé**SITE 01 CANAL EN TERRE PROJETE ROUTE DE MORSOTT**

Hd =818.62-835.62 =17(m) voir profil en long

la longueur du cours d'eau à considérer est :

L =663.77(m).

SITE 02 CANAL EN TERRE A PARTIR DE LA DIGUE VERS FORAGE

Hd=896.59-878.62 =17.97 (m) voir profil en long

la longueur du cours d'eau à considérer est :

L =663.16(m).

SITE 03 CANAL EN LE ÉTUDIANT ON CEM DEUXIEME TRANCHE

Hd=814.92-946.14 = 2.12 (m) voir profil en long

la longueur du cours d'eau à considérer est :

L = 120.16(m).

SITE 04 REAMENAGEMENT DE CANAL EN LE ÉTUDIANT ON EXISTANTE

Hd=952.11-946.14 = 5.97 (m) voir profil en long

la longueur du cours d'eau à considérer est :

L = 1021.97(m).

SITE 05 CANAL EN TERRE ROUTE EL MRIDJ VERS 100 LOG

Hd=870.31-835.62 = 34.69 (m) voir profil en long

la longueur du cours d'eau à considérer est :

L = 634.34(m).

SITE 06 CANAL EN TERRE ROUTE MORSOTT VERS L'EXUTOIRE

Hd=817.89-802.17 = 15.72 (m) voir profil en long

la longueur du cours d'eau à considérer est :

L = 701.63(m).

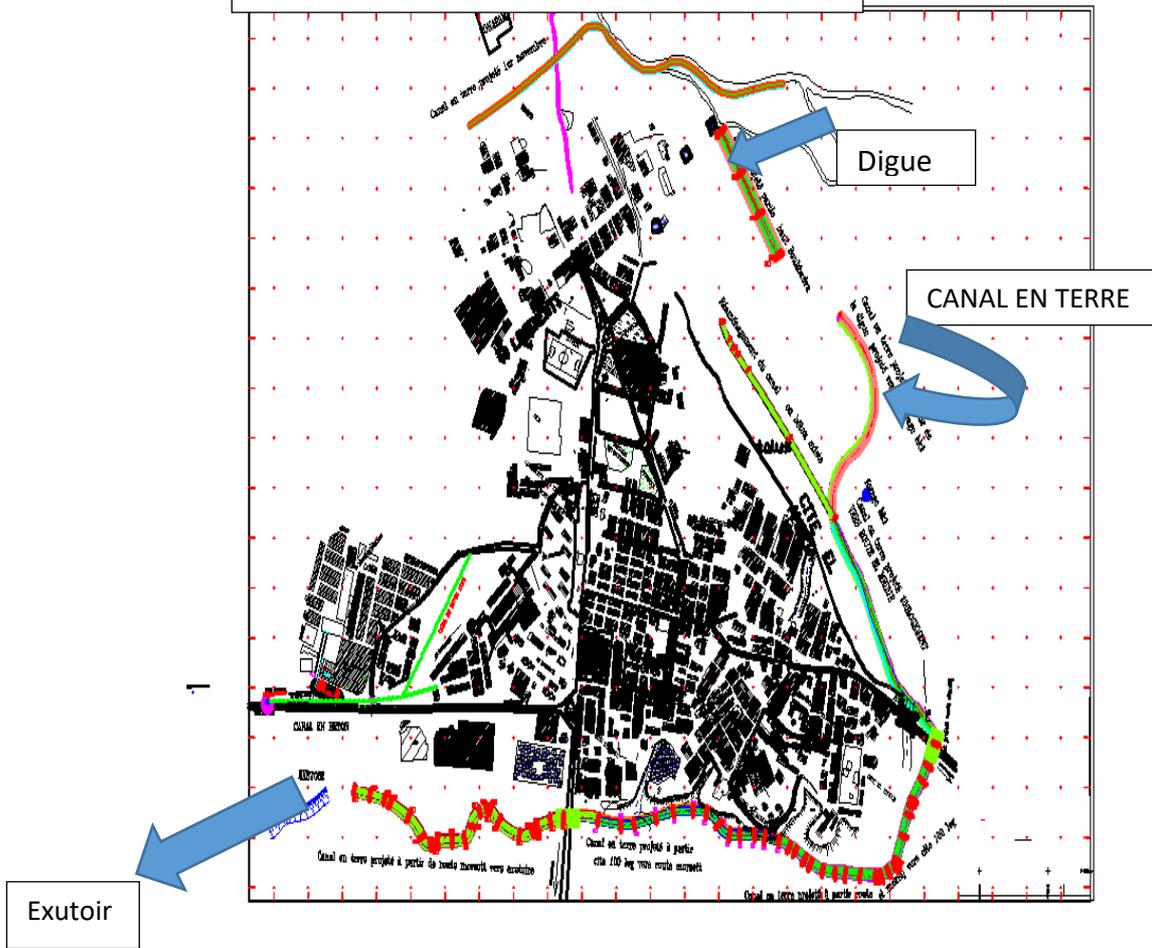
SITE 07 DIGUE EN TERRE PROJETE

Hd=928.24-932.26 = 4.02 (m) voir profil en long

la longueur du cours d'eau à considérer est :

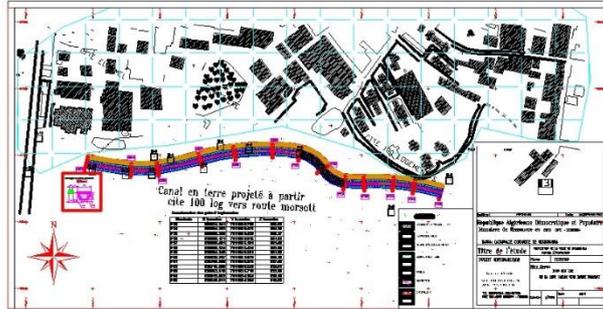
L = 300(m)

Fig. VIII.Plant général de protection de la ville



IX. Exécution et travaux sur terrain

SITE 01 CANAL EN TERRE PROJETE ROUTE DE MORSOTT

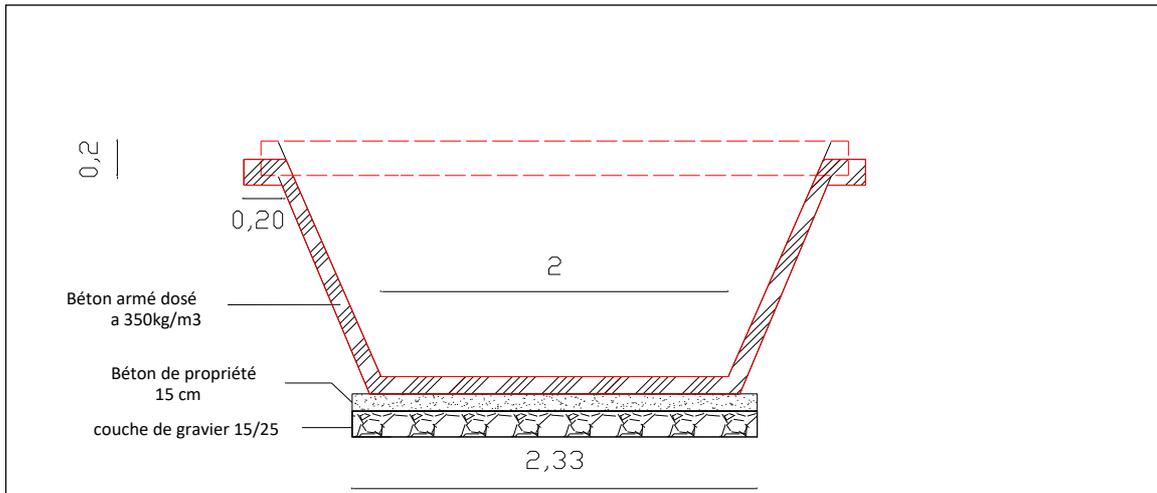


VIII. FIG. 01.CANAL EN TERRE PROJETE ROUTE DE MORSOTT



VIII. FIG. 01. A.CANAL EN TERRE PROJETE ROUTE DE MORSOTT

SITE 03 CANAL EN LE ÉTUDIÉNT ON CEM DEUXIEME TRANCHE

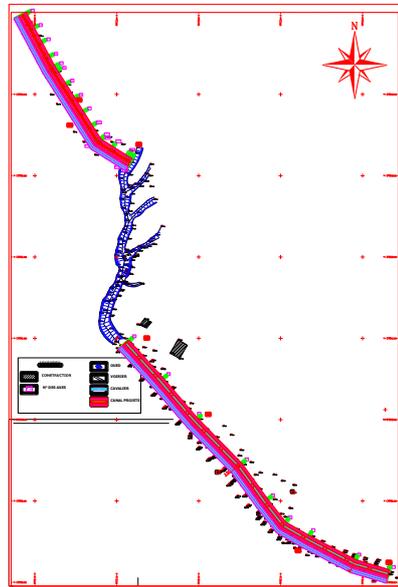


VIII. FIG. 02. canal en béton arme



VIII. FIG. 02. A. Canal en béton arme

SITE 04 REAMENAGEMENT DE CANAL EN LE ÉTUDIANT ON

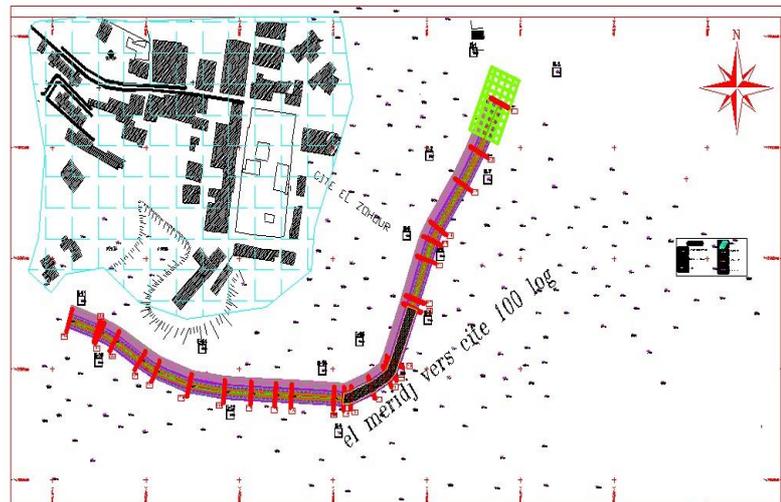


VIII. FIG. 03canal en béton arme



VIII. FIG. 03.A .canal en béton arme

SITE 05 CANAL EN TERRE ROUTE EL MRIDJ VERS 100 LOG

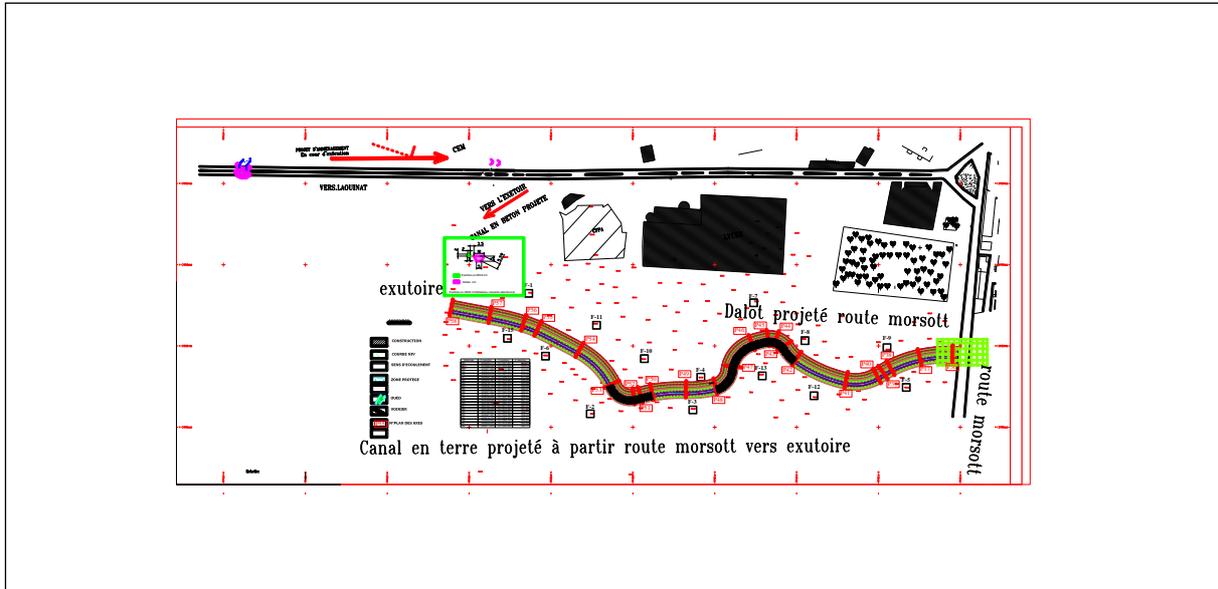


VIII. FIG. 04 .canal en béton arme



VIII. FIG. 04 .A. emplacement de canal en

SITE 06 CANAL EN TERRE ROUTE MORSOTT VERS L'EXUTOIRE

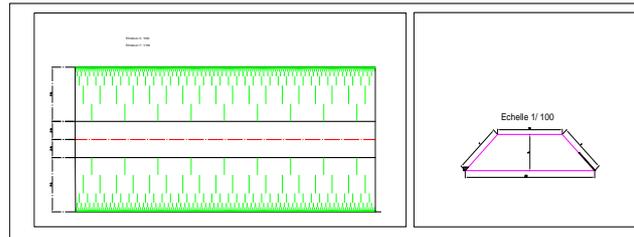


VIII. FIG. 05 . canal en béton arme



VIII. FIG. 05 .A. canal en béton arme

SITE 07 DIGUE EN TERRE



VIII. FIG. 06 . DIGUE EN TERRE



VIII. FIG. 06 .A. DIGUE EN TERRE

Conclusion générale

Le travail de recherche que nous avons mené sur les inondations a permis de déceler les résultats suivants :

Expliquer la notion du risque inondation en montrant qu'il est un concept binomiale combinant en plus de l'aléa (le phénomène physique), la vulnérabilité qui est les conséquences dommageables de cet aléa sur les enjeux. Par conséquent, la maîtrise de sa gestion nécessite obligatoirement la connaissance de deux notions ; d'une part la compréhension du fonctionnement de l'aléa et d'autre part la maîtrise de l'occupation du sol.

Les inondations 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, cependant l'un d'eux est déterminant : la pluie.

La prévision des inondations consiste donc principalement en une observation continue des précipitations.

Face à l'accroissement du risque d'inondation, seule une action volontaire paraît appropriée, fondée sur le constat que la prise en compte des inondations dans l'aménagement et le développement du territoire ne peuvent se limiter à une approche trop locale, sectorielle et à court terme, mais elle suppose une politique globale de prévention des risques naturels. Une série de mesures a donc été définie en juillet 2003, qui a notamment conduit à l'institution de la loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

La prévention des risques inondation doit être considérée comme une affaire commune des représentants du territoire, de l'état, et de tous les acteurs locaux concernés (Walis, Conseillers exécutifs, Chefs de Daïras et P.A.P.C).

Il s'agit d'une stratégie locale de prévention du risque inondation .Cette stratégie est fondée sur les actions suivantes :

- ✓ La connaissance des risques ;
- ✓ La surveillance des phénomènes ;
- ✓ L'information de la population ;
- ✓ La prise en compte des risques dans l'aménagement ;
- ✓ Les travaux de prévention ;
- ✓ La préparation aux situations de crise ;
- ✓ Le retour d'expérience.

L'analyse de l'état actuel de la gestion des risques d'inondation en Algérie montre des lacunes au niveau de la prise en compte de ces risques naturels dans les plans d'aménagement, au niveau de la cartographie des zones à haut risque et au niveau de la définition d'une stratégie globale de lutte contre les risques d'inondations.

L'objectif général de la deuxième partie (chapitre IV) était de parvenir à proposer une approche méthodologique pour la prédétermination des débits de crue des petits bassins versants.

Après avoir énuméré quelque modèle hydrologique « pluie-débit », le choix est porté sur l'utilisation d'un modèle qui a montré leur robustesse et leur performance à l'échelle internationale: le Modèle semi-distribué HEC-HMS, un modèle simple reposant sur un fonctionnement de type SCS. Le choix de ce modèle est justifié par plusieurs critères.

L'application du modèle dans la région d'étude a porté sur la création, l'organisation et la génération des données d'entrée en utilisant un SIG puis l'évaluation des résultats. En fait, le modèle HEC-HMS fonctionnant avec un découpage en sous-bassins se montre plus facile à configurer et à mettre en œuvre. Le Modèle HEC-HMS permet le calcul des débits des crues pour n'importe période de retour.

Références bibliographiques

- AMBAR. B.** (2002), Les perturbations météorologiques extrêmes en Algérie. Journées sur la conception et le dimensionnement des ouvrages d'eaux pluviales et de protection contre les inondations. Alger le 19 et 20 février 2002.
- BALLAIS,**(1995), Alluvial Holocene terraces in eastern Maghreb: Climate and anthropogenic controls, in: J. Lewin, M.M. Mac-klin, J.C. Woodward (Eds.), Mediterranean Quaternary River Environments, A.A. Balkema, Rotterdam, 1995, pp. 183–194.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J-L.** (2006),Hydrologie urbaine. Support de cours OSHU.3. Institut national des sciences appliquées (INSA), Lyon, France.
- BESSON . G :** (2007) ,Protection contre les risque des inondations » Thèse Doctorat.- institut national polytechnique de grenoble.
- BOULGHOBRA N.**(2006), Protection de la ville de Skikda contre l'inondation. essai de PPR. Mémoire de Magister Aménagement Des Milieux Physiques, Université De Batna-
- BOURRIER, R.** (1997) Les réseaux d'assainissement, calculs applications perspectives. Edition Lavoisier, collection Tec & Doc. Paris, France. 810p.
- BOURRELIER P.H** (1997), La prévention des risques naturels ; Rapport d'évaluation, Paris, La Documentation Française, 702 p.
- BRAVARD J.P. et F. PETIT,** (1997) Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial , Armand Colin, Paris, 213 p.
- BRUIJNZEL. L**(1999), structures gestionnaires de digues de protection contre les inondations Thèse Doctorat. Université De Joseph Fourier.
- CERTU.** (2003) (Centre d'études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques) La ville et son assainissement. Principes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau. CERTU, Lyon, France. 503p.
- CHACHOUA ABDELJALIL.** (2009), Gestion de crue dans un bassin versant ; Etude Hydrologique, Hydraulique et Aménagement, Mémoire de Magister-Université de Tlemcen
- CHAHINIAN.** (2004), CHAHINIAN, N., R. MOUSSA, P. ANDRIEUX, and M. VOLTZ, Comparison of infiltration models to simulate flood events at the field scale, May 2004, Journal of Hydrology Volume 306, Issues 1-4, , Pages 191-214.

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.

CRED.(2007), Bilan des catastrophes naturelles dans le monde de 1975 à 2004, The OFDA/CRED International Disaster Database", Université Catholique de Louvain, Bruxelles, Belgique.

CUNDERLIK J. M. ET SIMONOVIC S. P. (2004), Calibration, verification, and sensitivity analysis of the HEC-HMS hydrologic model. Project Report IV .CFCAS project. 113p.

DAMIEN. R (2003)., Méthodologie d'exploitation quantitative des photographies aérienne d'inondation de plaine Thèse Doctorat ; Science de l'eau dans l'environnement-Université Montpellier

DEGOUTTE. (2012), Diagnostic, aménagement et gestion des rivières ; Hydraulique et morphologie fluviales appliquées, éditions Lavoisier, p 57.

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>

DJELLOULI, A. SACI, (2003), catastrophe naturelle: les inondations dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 à Bab el oued (Ager, ALGÉRIE), Association Internationale de Climatologie, Vol. 15, pp 241-242

DUCROCQ V. (2006), Crues rapides dans le midi de la France. Pour la Sci., 51, 82-85

UGLAS. A. (2001),Caractérisation du régime des crues le modèle débit-durée-fréquence convergent Approche locale et régionale. Thèse Doctorat. Institut national polytechnique de Grenoble.

ESTUPINA. B.(2004), Vers une modélisation hydrologique adaptée à la prévision opérationnelle des crues éclair Application à de petits bassins versants du sud de la France. Thèses Doctorat, Sciences de l'université de Montpellier II-

FADIL, A., RHINANE, H., KAOUKAYA, A., KHARCHAF,Y., (2011), Modélisation Hydrologique Du Bassin Versant De Bouregreg A Travers Des Modèles Différents : HEC-HMS Et SWAT. Proceedings Colloque International sur les Ressources en Eau et le Développement Durable, 22 et 23 Février ,2011.Alger, p. 100-104.

FAURE. H ,(2004) Aménagements de protection contre les inondations en France Thèses Doctorat

GAUME. (2000),Cycle de l'eau et modélisation pluie-débit, ENPC- CERREVE, Novembre 2000. E. GAUME, Hydrologie.

GAUME, E.(2002),Eléments d'analyse sur les crues éclair. Thèse de doctorat. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, France, et de l'Institut National de la Recherche Scientifique du Québec, Canada. 359p.

GENDREAU N. & LANG M. (1997) , La méthode Inondabilité. CEMAGREF. Modélisation mathématique pour l'évaluation et la gestion des risques-cours de 1^{ère}année de l'ENGREF, dirigé par Eric PARENT. 8 décembre 1999.

GILARD O. (1998) , Les bases techniques de la méthode Inondabilité, édition du Cemagref, 1998, 207 p

GIOVANOLA M.ET F.HERITIER (2002), Les inondation de Bab El Oued Cours de fiabilités et sécurité II, février 2002, Département de génie civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse,5p.

GREEN W.H., AMPT G.A.(1911), Studies in soil physics. : The flow of water and air through soils. 1911. Agric. Sci., 4: 1-24.

HALLOUCHE. (2006), Cartographie des zones inondables de la plaine de sidi Bel Abbes par l'approche Hydrogéomorphologique . Mémoire Magister – Université de Sidi Bel Abbess

HEC-HMS .(20000), (Hydrologie Engineering Center- Hydrologie Modelling System). .Technical Reference Manual.

HOSTACHE. (2006), Analyse d'image satellitaires d'inondation pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique. Thèse de Doctorat, Ecole nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêt- Montpellier.

JACQ, A. (1987), La protection contre les crues, 40 ans de politique de l'eau en France. Economia. Paris.

KLEMES (1975), Applications de l'hydrologie à la gestion des ressources en eau (au niveau de la planification et de la conception), OMM N° 356, Genève, 121 p

KREIS NICOLAS (2004), Modélisation des crues des rivières de moyenne montagne pour la gestion intégrée du risque d'inondation application a la vallée de la Thur (Haut-Rhin) ;

thèse de doctorat Spécialité : Sciences de l'Eau à l'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, 350p

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

LEDOUX. (2006), La gestion du risque inondation, edition *tec et doc*.

MCCUEN, R., H. (2004) ,Hydrologic analysis and design, 3rd edition. Pearson Prentice Hall. New Jersey. USA. 859p.

M.E.D.D (2004), (Ministère de l'écologie et du développement durable) France , direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs. 2004. Risques naturels majeurs : Les inondations, Août 2004, 20 p,

MERABET ABBES (2008), Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations», Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés

MERIAUX (2001), Les digues sèches, destinées à la protection contre les inondations Thèse Doctorat.

MOLIN VALDES (1994). The international decade for natural disaster reduction and the link with agenda 21. Ecofrcision, 42 - 45 avril 1994

MUSY A. ET HIGY C. (1998), Hydrologie appliquée, Edition *H*G*A*, Bucarest,. ISBN: 973-98530-8-0. 369p.

NRCS. (1986), Urban Hydrology for Small Watersheds, TR-55. NRCS. Conservation engineering Division. USA. pi63.

OUAZAR. D.OUAZAR,P.PRASTACOS&N.WAJDI,(2002).Watershed characterization, potential reservoir sites inventory and development of a geographical information system database, Report WADI, EMI Maroc.

OUFELLA. T(2005),Contribution à la cartographie des zones vulnérables aux inondations Application de la méthode inondabilité ; cas de la ville de Sidi Bel Abbés, revue Semestrielle Scientifique et Technique, Journal de l'eau et de l'environnement –ENSH Blida-

PHILIP J.R. (1957) , The theory of infiltration. 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. 1957, Soil Sci., 84 : 257-264.

CONTRIBUTION à l'étude de l'aléa " inondations": Genèse et prédiction
Cas de la vallée d'El-Abadia (w.Ain Defla) DJEBALI KHALIFA

RADOJEVIC, B. (2002) ,Méthode d'évaluation de l'influence urbaine sur le régime des crues d'un bassin versant de 130km². Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliqués (INSA), Lyon, France, 261p.

RAHAI, A. (2007), DELIMITATION DES ZONE INONDABLES-APPLICATION A L'OUED ALLALAH- Bassin Versant de Ténès. Mémoire de Magister .ENP. Algérie

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

SERRE. D (2005),Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations. Thèse Doctorat. Université De Marne-La-Vallée -

SIMONA N. ET L.CEDRIC. (2007),Gestion durable des zones inondables dans le Delta du Danube (Roumanie). Dans : 1 res Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF, Gestion Intégrée des Eaux et des Sols. Ressources, Aménagements et Risques en Milieux Ruraux et Urbains, 6-9 novembre 2007, Hanoi, Vietnam, 10 p

SOIL CONSRVATION SERVICE (SCS). (1972) ,National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. SCS, US department of Agriculture. Washington, Etat-Unis.

SPPPI. (2004) , Prise en compte du risque inondation dans les études de dangers des installations classées, Cahier technique N°8, DRIRE Haute-Normandie - 21, avenue de la Porte des champs - 76037 ROUEN CEDEX Tél. 02 35 52 32 00 - Fax 02 35 52 32 32.

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

U.S.A.C.E (2000) , Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual version 3.5. Hydrologic Engineering Center. 138 p.

VEYRET Y., MESCHINET DE RICHEMOND N. (2003),Le risque, les risques. In Veyret Y. (dir). Les risques. Dossiers des Images Economiques du Monde, SEDES, Paris, pp.17-47

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.

Mme. Kouidri Linda. Géologie et métallogénie du complexe carbonaté aptien du massif de Boukhadra-Tébessa

ABDESLAM Ilhem DIRECTEURLa ressource hydrique et ses conséquences sur l'alimentation en eau potable dans la région Nord du bassin d'effondrement Tébessa-Morsott NE Algérien

Références Sito-Graphiques

[1] <http://www.photos-algerie.fr/> Consulté le Octobre 2014

[2] ⁻⁴⁰http://www.prim.net/citoyen/definition_risque_majeur/introinondation.htm Consulté le Novembre 2014

http://www.prim.net/citoyen/definition_risque_majeur/definition.html
[3] Novembre 2014

[4] <http://www.photos-algerie.fr/> Consulté le Novembre 2014

[²] ⁻³⁸⁶<http://www.dartmouth.edu/~floods/> **DFO**, "Global Flood Detection, Mapping, and Streamflow Measurement", Consulté le Novembre 2014

