

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE institut de gestion des  
techniques urbaine

DEPARTEMENT Gestion de la Ville



DOMAINE : Architecture, urbanisme et  
métier de la Ville

OPTION : Gestion des risque naturels  
dans le milieu urbain

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

Par : Kharchi Takki eddine et Daif Allah Amel

**La réalisation d'un PPRi pour la réduction de la  
vulnérabilité aux inondations a l'aide des outils  
de la géomatique**

**Cas d'étude : la ville de M'sila**

Soutenu devant le jury composé de :

Nom et prénom Enseignant

**Houbib Hanane**

Université **Hadj Hafsi Lahcen**

Université **Slimani Nabil**

Président

Examinateur

Année universitaire : 2017 / 2018



# Remerciement

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Me : (Houbib Hanane), son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions ainsi que toute la famille de l'institut des techniques urbaine de M'sila.*

*Nos chaleureux remerciements à nos familles et nos conjoints. Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# Dédicace

*A cœur vaillant rien d'impossible A conscience tranquille tout est accessible Quand il y a la soif d'apprendre Tout vient à point à qui sait attendre Quand il y a le souci de réaliser un dessein Tout devient facile pour arriver à nos fins Malgré les obstacles qui s'opposent En dépit des difficultés qui s'interposent Les études sont avant tout Notre unique et seul atout Ils représentent la lumière de notre existence L'étoile brillante de notre réjouissance Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal Espérant des lendemains épiques Un avenir glorieux et magique Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys, Nous prions dieu que cette soutenance Fera signe de persévérance Et que nous serions enchantés Par notre travail honoré, Nous dédions cette mémoire à tous ce qui nous sont chers.*

## Table des matières

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE .....	1
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE	1
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA .....	1
<b>1 - Introduction</b> .....	1
<b>2 - Problématique :</b> .....	1
<b>3 - Hypothèse :</b> .....	2
<b>4 - Objectif de la recherche :</b> .....	2
<b>5 - Le choix de sujet :</b> .....	2
<b>Introduction du Premier chapitre théorique:</b> .....	6
1 – 1. Définition de la Ville : .....	7
1 – 2. Ville et Risques naturels : .....	7
<b>2 - Conception et définition : Aléa, Vulnérabilité, Exposition et risque :</b> .....	8
2 – 1. L'aléa : .....	8
2 – 2. L'exposition : .....	8
2 – 3. La vulnérabilité : .....	9
2 – 4. L'aléa de référence : (7) .....	9
2 – 5. Types de vulnérabilité : (8) .....	10
2 – 6. Le risque : (9) .....	11
2 – 7. Classification des risques naturels : (10) .....	12
2 – 8. Le risque Majeur .....	12
<b>3 - Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité</b> .....	13
3 – 1. Évaluation de la vulnérabilité sociale (12) .....	14
3 – 2. Évaluation de la vulnérabilité physique (13) .....	14
<b>4 - LE PHÉNOMÈNE INONDATION</b> .....	16
4 – 1. Quelques définitions .....	16
4 – 2. Le débit de la rivière .....	18
4 – 3. Le lit de la rivière : .....	18
<b>5 - Le processus de formation des crues :</b> .....	19
5 – 1. L'influence des facteurs naturels : .....	19
5 – 2. L'influence des facteurs anthropiques : .....	22
<b>6 - Les atteintes aux hommes, aux biens et aux activités :</b> .....	24
<b>7 - Les atteintes à l'environnement :</b> .....	24
<b>8 - Les évènements historiques en Algérie :</b> .....	24
<b>9 - Les techniques stratégiques d'adaptation au risque d'inondation pour réduire la vulnérabilité :</b> .....	25

<b>10 - Le Plan de Prévention des Risques naturels :</b> .....	27
10 – 1. Objet et champ d'application du PPR : .....	28
10 – 2. Comment est élaboré un PPR ? .....	28
10 – 3. Contenu du PPR : (46).....	28
10 – 4. Effet du PPR : (47).....	29
<b>11 - Plans de prévention des risques inondation (PPRI) : (48) .....</b>	30
11 – 1. Les objectifs des (PPRI) : .....	30
11 – 2. Les grands Principes et règles de construction applicables en zones d’inondable : .....	31
11 – 3. Quelques exemples des règles de construction : .....	32
<b>12 - L’urbanisation et les Risques Majeurs en Algérie :</b> .....	33
<b>13 - Qu’est-ce que la Géomatique ? .....</b>	35
13 – 1. Quelques domaines d’utilisation de la géomatique : (51) .....	35
13 – 2. Sciences et technologies de la géomatique : (52) .....	36
<b>14 - Conclusion :</b> .....	36
<b>Introduction du Deuxième Chapitre :</b> .....	39
<b>1 - Présentation de la zone d’étude :</b> .....	39
1 – 1. Localisation de la zone d’étude : .....	39
1 – 2. Aperçu générale sur le bassin versant du Hodna : .....	40
<b>2 - Présentation du cadre physique du sous-bassin hydrographique du Ksob :</b> .....	41
2 – 1. Aperçu général sur la géologie du Ksob : .....	42
2 – 2. Description litho stratigraphique du bassin versant : .....	42
2 – 3. Structure tectonique : .....	43
2 – 4. Les caractéristiques lithologiques et la perméabilité des sols du sous-bassin : .....	44
2 – 5. Le couvert végétal et le sol : .....	45
<b>3 - Les caractéristiques géométriques et morpho métriques du Sous-Bassin hydrographique du Ksob .....</b>	47
3 – 1. Les caractéristiques de géométriques : .....	47
3 – 2. Le relief : .....	48
3 – 3. Paramètres morphométrie : .....	52
3 – 4. La topologie : structure du réseau et ordre des cours d'eau : .....	53
<b>4 - Conclusion :</b> .....	58
<b>1 – Introduction du Troisième Chapitre .....</b>	60
<b>2 - Etude de régime thermique :</b> .....	60
2 – 1. Le Vent et le Sirocco : .....	61
2 – 2. Évaporation : .....	61
2 – 3. Humidité relative : .....	62

<b>3 - Synthèse Climatique :</b> .....	63
3 – 1. Diagramme Ombro-thermique : .....	63
3 – 2. Climagramme d’Emberger : .....	63
<b>4 - La pluviométrie et les séries d’observation :</b> .....	65
4 – 1. Teste des données : .....	66
4 – 2. Analyse des précipitations sur l'ensemble de bassin : .....	67
<b>5 - Etude des crues :</b> .....	72
5 – 1. Intensités de courtes durées : .....	72
5 – 2. Différentes méthodes d’évaluation des crues : .....	73
5 – 3. Hydrogramme de crue : .....	74
<b>6 - Conclusion :</b> .....	76
<b>1 – Introduction du Quatrième Chapitre</b> .....	79
<b>2 - Aléa et niveau de risque :</b> .....	79
2 – 1. Quel risque pour les populations : .....	79
<b>3 - Cartographie de l’aléa sur le périmètre d’étude :</b> .....	80
3 – 1. Périmètre de l’étude et phénomènes traités : .....	80
3 – 2. Détermination de la crue et de l'aléa de référence : .....	81
3 – 3. Historique des crues dans la ville de M’sila : .....	81
3 – 4. Crue centennale d’Oued Ksob : .....	82
3 – 5. Dynamique des crues D’Oued Ksob : .....	82
3 – 6. Crue d’Oued Ksob et le Barrage du Ksob : .....	82
3 – 7. Etat des lieux des digues existantes sur notre tronçon : .....	83
<b>4 - Modélisation hydraulique :</b> .....	85
4 – 1. Qualification et représentation des aléas considérés : .....	86
<b>5 - Cartographie des Enjeux :</b> .....	88
5 – 1. Liste des enjeux : .....	88
5 – 2. Les enjeux sur le périmètre d’étude : .....	88
<b>6 - La prise en compte du risque : zonage réglementaire et règlement :</b> .....	90
6 – 1. Les facteurs aggravant le risque .....	90
<b>7 - La cartographie de Risque :</b> .....	92
7 – 1. Le risque dans notre Zone d’étude : .....	92
<b>8 - La cartographie du zonage réglementaire</b> .....	92
<b>9 - Conclusion générale :</b> .....	95
<b>10 - Références bibliographiques :</b> .....	97



## **Liste des Tableaux :**

### Premier Chapitre

**TAB N° (1) :** Les événements historiques en Algérie (Boudjerda et al, 2005)

**TAB N° (2) :** Habitations en zones inondables

### Deuxième Chapitre

**TAB N° (3) :** sous-bassins selon l'ANRH et les sous-bassins hydrographiques et leur superficie

**TAB N° (4) :** Classification du relief selon LORSTOM

**TAB N° (5) :** Récapitulatif des paramétrés géométrique et morphométrique

### Troisième Chapitre

**TAB. N° (7) :** Les moyennes mensuelles interannuelles Des températures [1981-2009]

**TAB N° (8) :** Les vitesses moyennes mensuelles interannuelles des vents [1981 – 2009]

**TAB. N° (9) :** évaporation annuelle observé par la station située dans le barrage Ksob.

**TAB. N° (10) :** Les moyennes mensuelles interannuelles De l'humidité [1981-2009]. Source O.N.M [BORDJ BOU ARRERIDJ]

**TAB. N° (11) :** Les moyennes mensuelles interannuelles des pluies [1981-2009]. Source O.N.M [BORDJ BOU ARRERIDJ]

**TAB N° (12) :** Tableau des résultats de la Station BBA

**TAB. N° (13) :** Coordonnées des stations pluvio-hydrométriques et leurs codes.

**TAB. N° (14) :** Application de la méthode de Theissen au calcul de la pluie moyenne

**TAB. N° (15) :** Comparaison des pluies représentatives du Ksob calculées par différentes méthodes

**TAB. N° (16) :** Tableau récapitulatif des résultats loi normale

**TAB. N° (17) :** Tableau récapitulatif des résultats de Chi-deux loi normale

**TAB. N° (18) :** Tableau récapitulatif des résultats de l'ajustement loi normale

**TAB. N° (20) :** Tableau récapitulatif des résultats de Chi-deux loi Gumbel

**TAB. N° (21) :** Tableau récapitulatif des résultats de l'ajustement loi Gumbel

**TAB. N° (22) :** Pluie de courte durée de la station du Barrage Ksob.

**TAB. N° (23) :** récapitulatif des résultats de débit de crue.

**TAB. N° (24) :** Coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue  $\gamma$ .

**TAB. N° (25) :** Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour

### Quatrième Chapitre

**TAB N° (26) :** Probabilité de voir une crue de fréquence donnée atteinte ou dépassée au moins une

**TAB N° (27) :** Historique des crues dans la ville de M'sila.

## **Liste des Figures :**

### **Premier chapitre**

- Fig (1)** : les composantes du risque
- Fig (2)** : la vulnérabilité environnementale par l'OCD
- Fig (3)** : Les différents éléments constituent le risque majeur
- Fig (4)** : illustration du phénomène d'inondation
- Fig (5)** : la montée des eaux
- Fig (6)** : Illustration d'embâcle
- Fig (7)** : inondation d'estuaire
- Fig (8)** : Lave torrentielle
- Fig (9)** : illustration d'un Bassin versant
- Fig (10)** : les lits de la rivière
- Fig (11)** : inondation del Taref
- Fig (12)** : Matière transportée
- Fig (13)** : Hydrogramme de crue
- Fig (14)** : les labours
- Fig (15)** : 1<sup>er</sup> Principe stratégique
- Fig (16)** : 2eme Principe stratégique
- Fig (17)** : 3eme Principe stratégique
- Fig (18)** : 4eme Principe stratégique
- Fig (19)** : 5eme Principe stratégique
- Fig (20)** : 6eme Principe stratégique
- Fig (21)** : exemple sur les sous-sols
- Fig (22)** : exemple sur les remblais
- Fig (23)** : exemple de prescriptions

### **Deuxième Chapitre**

- Fig (24)** : stratigraphie du Hodna

### **Troisième Chapitre**

- Fig. (25)** : Les moyennes mensuelles Des température station BBA (ONM)
- Fig. (26)** : Histogramme de la Vitesse des Vents de la station B.B.A (O.N.M).
- Fig. (27)** Variation de l'évaporation annuelle
- Fig. (28)** : Les moyennes mensuelles interannuelles De l'humidité [1981-2009], B.B.A
- Fig. (29)** : Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOUL

**Fig. N° (30)** : L'étage bioclimatique de la station de BBA selon le Climagramme d'Emberger.

**Fig N° (31)** : Corrélation simple à l'échelle annuelle en la station du barrage Ksob et celle du Medjez

**Fig N° (32)** : Corrélation simple à l'échelle annuelle

**Fig (33)** : Observations sur papier de probabilité Normale

**Fig (34)** : Histogramme des observations classées par valeur [Nombre de classes =  $5 \cdot \log(n)$ ] Où n est la taille de l'échantillon

**Fig (35)** : Variation annuelle des précipitations

**Fig (36)** : Répartition statistique des pluies annuelles selon la loi NORMALE avec Hyfranplus

**Fig (37)** : Répartition statistique des pluies annuelles selon la loi de Gumbel avec Hyfranplus

**Fig (38)** : Courbe intensité-durée-fréquence de la station Barrage Ksob.

**Fig (39)** : Hydrogramme de crues des différentes périodes de retour.

## Quatrième chapitre

**Fig N° (39)** : Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement (Source : guides du CEPR : Le maire face au risque d'inondation).

**Fig N° (40)** : Oued Ksob vue du pont Rahba près de la Cité d'el Kouche, source : le web

**Fig N° (41)** : Modélisation de l'ouvrage avec Infracwork 360

**Fig N° (42)** : Simulation de l'inondation de Débit 900M<sup>3</sup>/s avec 2Dflow sur Infracwork 360

**Fig N° (43)** : image illustrant la préparation de données géométrique du tronçon pour HEC-RAS

**Fig N° (44)** : image illustrant HEC-RAS au moment de calcule et cartographie des zones inondable

## Liste des Cartes

### Deuxième chapitre

**Carte N° (1)** : Localisation géographique de la ville de m'sila

**Carte N° (2)** : du bassin versant Hodna et des sous-bassins

**Carte N° (3)** : Localisation des sous-bassins faisant l'objet d'étude

**Carte N° (4)** : carte géologique des sous-bassins retenue pour l'étude

**Carte (5)** : image satellitaire de l'indice végétal normalisé

**Carte (6)** et Courbe Hypsométrique des deux Sous-Bassin

**Carte (7)** d'Elévation + Génération 3D du MNT du SB 09 Ksob

**Carte (8)** d'Elévation + Génération 3D du MNT du SB 10 M'sila

**Carte (9)** : représentation des pentes en Degrée

**Carte (10)** : Réseaux hydrographique du SB 09 Ksob

**Carte (11)** : Réseaux hydrographique du SB 10 Ksob

**Carte (12)** : Cours d'eau principale dans nos Sous-bassins

**Carte (13)** : Profile du cours d'eau principale

### Troisième Chapitre

**Carte N° (14)** : la localisation des stations Hydrométriques à travers le sous-bassin

**Carte N° (15)** : Carte des Polygone de Theissen

### Quatrième Chapitre

**Carte N° (16)** : Représente une illustration des digues présente dans notre périmètre d'étude.

**Carte N° (17)** : Carte d'aléa inondation

**Carte N° (18)** : Carte d'enjeux.

**Carte N° (19)** : Carte de vulnérabilité

**Carte N° (20)** : Zonage réglementaire PPRI

**Carte N° (21)** : intervention Proposées

# *Préface*

- 1- *Introduction***
- 2- *Problématique***
- 3- *Hypothèses***
- 4- *L'objectif d'étude***
- 5- *Pourquoi ce choix de sujet***
- 6- *Matériels et méthodes***
- 7- *Structure de la mémoire***

## 1 - Introduction

Dans le monde et surtout en Algérie, les inondations sont en première loge en tant que risque naturel car dans les deux dernières décennies les dommages engendrés par ce phénomène étaient très importants due à une urbanisation et une industrialisation dans les plaines inondables et qui ont pour conséquence une augmentation de la vulnérabilité des biens et des personnes. Vu l'importance des enjeux exposer à cet aléa des efforts sont mis en œuvre pour analyser et comprendre et réduire ce risque.

La gestion du risque d'inondation doit faire face à la fois à l'aléa et la vulnérabilité en répondant à deux objectifs essentiels qui sont la limitation des implantations des biens et des personnes au sein des zones exposées et la protection de l'existant. Une combinaison de ces enjeux est une démarche de base cohérente de gestion du risque d'inondations, tels les plans de prévention du risque d'inondations (PPRI) qui visent une gestion d'inondation particulière grâce à la caractérisation de la vulnérabilité de l'existant et la maîtrise d'implantation futur des biens et des personnes.

Dans une gestion du risque d'inondation, on distingue la prévention, la prévision et la gestion de crise. La prévention, hors contexte de crise, est basée sur l'analyse de crues potentielles ou passées afin d'aider la compréhension des phénomènes physiques. Elle vise à caractériser l'aléa et la vulnérabilité le plus finement possible pour protéger l'existant, informer les populations et limiter l'implantation des biens et des personnes dans les zones fortement exposées. Contrairement à la prévention, la prévision et la gestion de crise qui correspondent à des actions en état d'urgence. La prévision vise à anticiper la survenue d'une inondation et ses conséquences. La gestion de crise rassemble l'ensemble des moyens mis en œuvre pour protéger, informer, et secourir les populations. Elle nécessite des outils opérationnels pour des décisions rapides.

## 2 - Problématique :

Les inondations des bassins versants peuvent être divisés en deux catégories : crue éclairées et lentes. Les crues éclairées sont la conséquence d'événement de pluie intense sur une courte période de temps, ou bien du bris d'un ouvrage de retenue tels les barrages et les digues. Les crues lentes sont quant à elles plus courantes, elles sont dues à des précipitations sur une longue période de temps. Les crues éclairées sont extrêmes par leurs violences et leurs propagations dans un court laps de temps (débit fort et vitesse élevée), donc elles sont les plus critiques en termes d'impacts socio-économique et environnementaux, rendant l'exécution des plans d'urgence et d'évacuation plus difficile si mal orchestrés c'est qui est le cas pour la ville de M'sila qui dispose seulement de quelques plans d'urgence adoptés par la protection civile locale car la situation de M'sila est relativement inquiétante vis-à-vis des crues qui représentent le phénomène étudié et avec l'absence d'alternative pour la gestion et la réduction de la vulnérabilité à cet aléa le risque est donc accru par le vieillissement des infrastructures en place, et constitue un grave danger pour les populations installées dans le lit majeur du Ksob. Ces conséquences sévères renforcent la nécessité d'établir des stratégies de mitigation dans le cadre de la gestion des inondations en zones urbaines due aux événements extrêmes. Une analyse ferme des caractéristiques de propagation des crues est indispensable pour développer des mesures précises visant à quantifier et réduire les impacts de ce risque.

Juger comme la mesure d'intervention et de prévention la plus adéquate pour notre étude, le PPRI qui comprend des informations sur la superficie de la zone inondée ainsi que la vitesse et la hauteur d'eau sous forme de carte de risques d'inondations conçus pour pouvoir prédire l'évolution d'une inondation dans le temps en fonction de plusieurs paramètres et pour aboutir à cela nous devons faire appel à des techniques de modélisation les plus courantes actuellement utilisant la géomatique

comme élément clé dans la prédictions sur le parcours, la vitesse et la profondeur d'eau en fonction du temps.

La problématique de ce sujet de recherche est d'élaborer un PPRi pour l'amélioration primordial de la gestion des inondations en zone urbaines dans la commune de m'sila et ainsi souligner une réglementation pour minimiser les impacts de l'aléa inondation et réduire la vulnérabilité.

Dans ce modeste travail, nous espérons mettre la lumière sur la problématique du risque d'inondation qu'encoure la ville de M'sila, ainsi notre champ d'investigation sera limité aux questionnements suivants :

- Quels sont les éléments favorables à l'évaluation du risque d'inondation de la vulnérabilité urbaine et leurs cartographies ?
- Quelles possibilités d'action en termes de prévision, de prévention et de protection vis-à-vis ce risque.

### 3 - Hypothèse :

- 1- Mesurer les paramètres d'évolution du risque d'inondation aide à le comprendre et bien le gérer.
- 2- La réglementation de l'occupation du sol par le biais d'un PPRi participe de façon directe à la gestion du risque d'inondation.

### 4 - Objectif de la recherche :

Les inondations sont des catastrophes destructrices pour l'homme et les structures. Pertes de vie humaine et animale, destruction d'infrastructures, biens endommagés, et handicap socio-économique de la région font partie des impacts négatifs de tels évènements.

Des modélisations numériques de la propagation de la crue permettent une meilleure connaissance des caractéristiques de l'écoulement dans le tissu urbain et aurait des impacts importants dans la cartographie des zones de risques ainsi que dans la prévention et la sécurité des personnes et infrastructures.

### 5 - Le choix de sujet :

- La gravité du phénomènes traité dans le monde en général et en Algérie en particulier.
- L'importance de ce sujet au niveau mondiale.
- Ce phénomène est considéré comme le premier risque en termes de fréquence d'occurrence et il n'exclut aucun territoire.
- Ce sujet est en rapport directe avec notre spécialité, la gestion des risques naturels dans le milieu urbain.
- Grace à ce sujet comme étudiants on peut relier ce que nous avons appris au cours de notre formation en termes de gestion des risques.

## 6 - Matériels et méthodes :

La méthodologie d'étude adoptée pour mener à bien le travail consiste à suivre les étapes suivantes :

- ✚ Recherche bibliographique.
- ✚ La collecte des données.
- ✚ Etude climatique et hydro climatique.
- ✚ La modélisation Hydraulique.
- ✚ Production cartographique, qui est l'étape la plus importante dans ce projet.
- ✚ Elaboration du PPRI.
- ✚ Propositions de quelques aménagements de mitigation.

Ces données ont permis l'élaboration des documents spatiaux qui ont été par la suite combinés par des méthodes **d'analyse multicritère** pour produire une information synthétique sur les inondations et l'élaboration du PPRI.

Le matériel utiliser se résume à quelques science et technologies de la géomatique comme suivantes :

- ✚ Cartographie à l'aide de système d'information géographique (ArcGIS).
- ✚ Calcule et modélisation Hydraulique à l'aide de (HecRas, HecGeoRas et Hyfranplus)
- ✚ Couvert végétal grâce à la télédétection par l'indice de végétation normalisé (NDIV)
- ✚ Modélisation 3D Grace au logiciel Infrawork360 d'Autodesk avec l'extension 2DFlow.

## 7 - Structure de la mémoire

Pour arriver à nous fins notre recherche c'est articuler autour de quatre chapitres :

\*- Dans le premier chapitre nous avons vue des notions générales sur la conception du risque, les inondations, le PPR et le PPRI et cristalliser plusieurs autre paramétrés afin d'établir une base bibliographique essentiel à notre étude.

\*- Dans le deuxième Chapitre nous l'avons consacré à présenter notre périmètre d'étude ainsi que le cadre physique des bassins versant vue leurs connections direct au phénomène d'inondation.

\*- Dans la troisième partie nous nous somme focaliser sur l'analyse climatique et hydro climatique pour déterminer le comportement hydrologique des diverses unités des bassins qui est influencé par les différents facteurs du climat et ses lourdes conséquences.

En concluent cette partie avec une analyse des précipitations et une étude de crue, de son débit et les différentes périodes de retour Considérer crucial dans la cartographie et l'élaboration du PPRI qui fait l'objet du chapitre Suivant.

\*- Dans la dernière partie, le quatrième chapitre nous avons suivi pas à pas une méthodologie afin d'aboutir à la réalisation de la cartographie du risque pour élaborer notre PPRI.



# *Premier chapitre Théorique*

- 1- Introduction**
- 2- La ville**
- 3- Concepts et définition : Aléa, vulnérabilité, exposition et risque.**
- 4- Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité**
- 5- Phénomène d'inondation**
- 6- Processeurs de formation de crue**
- 7- Les atteintes aux hommes, aux biens et aux activités**
- 8- Les atteintes à l'environnement**
- 9- Evènement historiques en Algérie**
- 10- Techniques stratégiques d'adaptation au risque d'inondation pour réduire la vulnérabilité**
- 11- Plan de Prévention des Risques naturels (PPR)**
- 12- Plan de Prévention des risques Inondation (PPRi)**
- 13- L'urbanisation et les risques majeurs en Algérie.**
- 14- Qu'est-ce que la Géomatique ?**
- 15- Conclusion**

## Introduction du Premier chapitre théorique:

On consacre ce premier chapitre à la partie théorique qui comprends les définitions et les concepts essentiels à notre étude en commençant avec des notions générales sur la ville, sur le risque et ces composantes pour ensuite des risques naturels et de leur classification retenue dans cette étude ainsi préciser la notion de risques majeurs et aussi parler de la vulnérabilité et des méthodes d'évaluation de cette dernière comme première partie.

En deuxième partie nous allons entamer le phénomène d'inondation, la rivière (Débit, crue, lits et processus de formation de crue), l'influence de facteurs naturels et anthropiques, les atteintes aux hommes, aux biens aux activités et à l'environnement pour en finir avec les événements historiques des inondations en Algérie.

En troisième partie on va discuter des techniques stratégiques d'adaptation et de réduction de vulnérabilité aux inondations pour ensuite mentionner les PPR et PPRi (leurs objectifs, contenus...etc.) en donnant quelques règles de construction, ainsi que l'urbanisation en Algérie et le rôle de la maîtrise d'œuvre, du contrôle technique et de l'assurance.

Et pour terminer avec la dernière partie des notions générales sur la géomatique, ces domaines d'application et ces technologies.

## 1 - La ville :

En l'an 2000, selon les perspectives des Nations Unies (1995), près d'un homme ou d'une femme sur deux vivra en ville. Pour bien prendre la mesure du phénomène, rappelons qu'en 1950, moins d'un tiers seulement dans la population mondiale était urbaine, soit 740 millions de citoyens pour environ 1.8 milliards de ruraux. Au lendemain de la seconde guerre mondiale, la population urbaine était surtout concentrée dans les pays développés. Aujourd'hui, la répartition de la population a bien changé, l'urbanisation concerne en premier les pays en développement. En 1996 sur les 2.5 milliards de citoyens, 1.5 milliards vivent dans les villes de ces pays. L'urbanisation rapide est donc une caractéristique majeure des pays du tiers monde. Actuellement, 32% de la population des pays en développement réside dans les villes, contre seulement 17% en 1950. L'Amérique latine, est aussi urbanisée que l'Europe (74% d'urbains) et déjà un tiers de la population africaine demeure en ville (34%) même proportion qu'en Asie (35%). (1)

### 1 – 1. Définition de la Ville :

Une ville est une unité urbaine étendue et fortement peuplée (par opposition aux villages) dans laquelle se concentrent la plupart des activités humaines : habitat, commerce, industrie, éducation, politique et culture.

Les principes qui gouvernent la structure et l'organisation de la ville sont étudiés par la sociologie urbaine. (2)

### 1 – 2. Ville et Risques naturels :

Si les risques naturels concernent toutes les parties du globe, la plupart d'entre eux sont exacerbés dans les villes.

- **Les tremblements de terre** sont la cause des plus grandes catastrophes urbaines. De nombreuses villes très densément peuplées sont situées en bordure de plaque.
- **Les glissements de terrain** représentent également une grande menace puisqu'ils sont déclenchés par les tremblements de terre, les tempêtes, les éruptions volcaniques, et les excès de constructions. Dans les villes, de plus en plus de logements sont situés sur des terres occupées de façon illicite. Ces habitations ignorent les codes d'aménagement du territoire (lorsqu'ils existent) et les normes de construction. Mal construits sur des pentes raides, ces logements sont particulièrement sensibles aux glissements de terrain.
- **Les éruptions volcaniques** présentent également un risque lors de l'expansion urbaine. Souvent, les nouveaux établissements humains s'installent sur les flancs des volcans ou sur des trajectoires historiques des coulées de boue ou de lave.
- De nombreuses agglomérations sont situées le long des côtes. Bon nombre d'entre elles sont donc exposées aux **tsunamis et aux ravages causés par les cyclones**. Dans les pays en voie de développement, les bidonvilles construits le long des côtes constituent un grave péril.
- **Les inondations** ont des causes à la fois d'origine naturelle et humaine, notamment, les pluies torrentielles, les réseaux d'assainissement obstrués, la rupture de barrages, etc. Les inondations sont la calamité la plus fréquente et qui augmente le plus vite, surtout avec l'urbanisation galopante. Les crues soudaines sont un problème grandissant à cause du béton qui réduit la capacité d'absorption,

mais aussi à cause de la faiblesse des systèmes de drainage urbains, de la déforestation et du déversement des déchets dans les fleuves et canaux. Les logements mal situés ou mal construits sur les rives des fleuves ou à proximité des deltas sont une autre grave préoccupation. Ainsi, en l'absence de maîtrise de l'espace et de la croissance urbaine : les inondations sont accélérées par l'extension anarchique des habitations dans les zones inondables, l'accroissement des surfaces imperméabilisées, l'encombrement des lits des cours d'eau, les aménagements mal intégrés y compris les ouvrages de génie civil.

- **Les incendies urbains** sont causés par des explosions industrielles mais également par des phénomènes naturels comme les tremblements de terre. Les risques de feux augmentent avec la forte densité de construction.

- Finalement, **les sécheresses** peuvent déclencher un exode rural massif qui augmente la pression exercée sur les logements dans certaines villes. Suite à cela, les villes peuvent perdre leurs sources d'approvisionnement alimentaire provenant des campagnes environnantes. (3)

## 2 - Conception et définition : Aléa, Vulnérabilité, Exposition et risque :

Le risque est une notion composite.

Le risque est le produit d'un aléa, d'une exposition à cet aléa et d'une vulnérabilité.

C'est pourquoi il est d'abord nécessaire de définir ces termes.

### 2 – 1. L'aléa :

L'aléa est un concept relativement récent qui désigne la probabilité d'occurrence d'un phénomène. L'aléa est principalement fonction de l'intensité du phénomène et de son occurrence. (4)



Fig (1) : les composantes du risque

Par exemple, pour des précipitations pouvant provoquer des inondations brutales, des courbes de quantité-durée-fréquence peuvent être dressées à partir des lois de Gumbell. Une fois ces courbes obtenues, il est possible de définir un aléa à partir d'un seuil donné.

### 2 – 2. L'exposition :

C'est la situation des personnes, des infrastructures, des logements, des capacités de production et d'autres actifs humains tangibles situés dans des zones à risque.

Si un danger se produit dans une zone sans exposition, il n'y a pas de risque. La mesure dans laquelle les personnes exposées ou les actifs économiques sont réellement menacés est généralement déterminée par leur degré de vulnérabilité, car il est possible d'être exposé mais pas vulnérable. (5)

## 2 – 3. La vulnérabilité :

La vulnérabilité, au sens large du terme, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène sur les enjeux. Les enjeux sont les domaines affectés par le risque : les hommes, leurs biens et les milieux dans lesquels ils vivent. Cette palette des enjeux varie suivant la nature de l'aléa. Ainsi, lors d'une invasion acridienne, l'habitat n'est pas un enjeu tandis que c'est un enjeu primordial lors d'un séisme. Pour chaque enjeu reconnu, une évaluation des dommages est établie en fonction des niveaux d'aléa. Les enjeux peuvent évidemment être décomposés plus ou moins précisément. Ainsi, au niveau des biens économiques, il est possible d'estimer les dommages pour l'agriculture, l'industrie, et les services. (6)



Ceci dit, depuis quelques années, on ajoute à cette définition la capacité de réponse des sociétés analysées face à des crises potentielles. Ceci traduit la fragilité d'un système dans son ensemble et, de manière indirecte, sa capacité à surmonter une crise provoquée par un aléa.

Ainsi on peut aussi définir la vulnérabilité comme étant le produit de la probabilité de manifestation du risque (aléa) par la capacité de la population d'y faire face. En clair, plus un système est apte à se rétablir après une catastrophe, moins il est vulnérable.

Il existe plusieurs mesures de la vulnérabilité : vies humaines, importance financière, impacts économiques, intérêts culturels, etc. Quelle que soit la vulnérabilité envisagée, il est clairement établi que, pour un même aléa, les conséquences d'une catastrophe varient selon les catégories de personnes atteintes. Ainsi, les personnes aisées sont généralement moins touchées que les pauvres car elles vivent dans des sites moins dangereux, à l'écart des zones inondables et des zones industrielles, et dans des résidences souvent plus résistantes aux agressions extérieures. De plus, leur patrimoine peut être assuré et une partie de leur richesse est préservée hors du site touché par la catastrophe sous forme de compte en banque ou d'action. En revanche, les démunis vivent quotidiennement dans des sites plus vulnérables et concentrent toute leur maigre fortune dans leur maison, sur le lieu même qui est emporté par les cataclysmes.

## 2 – 4. L'aléa de référence : (7)

Pour bâtir l'aléa trois approches distinctes mais complémentaires peuvent être utilisées : l'approche historique, l'approche dite « hydro géomorphologique » et l'analyse hydraulique. Ces méthodes ont pour objectif de déterminer :

-  Un aléa de référence.
-  Une cartographie précise de cet aléa.

### L'approche historique :

Elle s'appuie sur les crues anciennes issues de la recherche historique. L'exploitation des données disponibles, de l'analyse des événements passés a pour objectif de traiter les informations sur des crues plus ou moins anciennes qui permettront de matérialiser les Plus Hautes Eaux Connues. Si les informations sont fiables et repositionnables, la donnée historique pourra être utilisée pour définir la crue de référence et cartographier la zone inondable. Si tel n'est pas le cas, elle permettra simplement d'enrichir la connaissance locale, d'asseoir les résultats des deux autres méthodes et de favoriser la prise de conscience des risques potentiels.

### L'approche dite « hydro géomorphologique » :

L'approche hydro géomorphologique ne permet pas de définir une crue de référence au sens strict du terme. Elle fournit cependant une vision du fonctionnement de la vallée en situation extrême, mais réaliste.

### L'approche hydraulique :

Cette approche est quantitative dans le sens où elle permet l'étude du comportement de l'eau dans la rivière : sa hauteur, sa vitesse, etc. Elle nécessite un modèle qui permet de simuler par ordinateur l'écoulement de l'eau lors de l'événement de référence (défini au préalable soit grâce à l'information historique, soit à partir de l'analyse hydrologique du bassin versant). Elle fournit des hauteurs d'eau, des vitesses, des zones inondées utiles à la cartographie.

Dans notre cas d'étude l'approche historique n'était pas abordable vu le manque flagrant de données cependant pour aboutir aux résultats nécessaires notre étude nous avons pris en compte les deux dernières approches ensemble en fusionnant les résultats.

## **2 – 5. Types de vulnérabilité :** <sup>(8)</sup>

Ils existent quatre types principaux de vulnérabilités :

### 2 – 5 - 1. Vulnérabilité physique

La vulnérabilité physique d'une zone dépend de sa proximité géographique avec la source et l'origine des catastrophes, par ex. Si une zone se trouve à proximité des lignes côtières, des lignes de faille, des collines instables, etc., elle rend la zone plus vulnérable aux catastrophes que la zone éloignée de l'origine de la catastrophe. La vulnérabilité physique comprend aussi la difficulté d'accès aux ressources en eau, aux moyens de communication, aux hôpitaux, aux postes de police, aux pompiers, aux routes, aux ponts et aux sorties d'un bâtiment ou d'une zone, en cas de catastrophe.

En outre, l'absence de planification et de mise en œuvre adéquates dans la construction de bâtiments résidentiels et commerciaux se traduit par des bâtiments plus fragiles et vulnérables dans les tremblements de terre, les inondations, les glissements de terrain et autres risques.

### 2 – 5 - 2. Vulnérabilité économique

La vulnérabilité des différents secteurs économiques, les impacts potentiels des aléas sur les actifs et les processus économiques (c'est-à-dire l'interruption des activités économiques et les effets secondaires tels que l'augmentation de la pauvreté et la perte d'emplois).

La vulnérabilité économique d'une communauté peut être évaluée en déterminant la variabilité de ses sources de revenus, la facilité d'accès et le contrôle des moyens de production (terres agricoles, bétail, irrigation, capital, etc.), l'adéquation des mécanismes de repli économique et la disponibilité des ressources naturelles dans la région.

### 2 – 5 - 3. Vulnérabilité sociale :

Se réfère à l'incapacité des personnes, des organisations et des sociétés à résister aux impacts négatifs des aléas dus aux caractéristiques inhérentes aux interactions sociales, aux institutions et aux systèmes de valeurs culturelles. Elle comprend les aspects liés à l'alphabétisation et à l'éducation, l'existence de la paix et de la sécurité, l'accès aux droits humains fondamentaux, les systèmes de bonne gouvernance, l'équité sociale, les valeurs traditionnelles positives, les coutumes et croyances idéologiques.

#### 2 – 5 - 4. Vulnérabilité environnementale :

L'épuisement des ressources naturelles et la dégradation des ressources sont des aspects clés de la vulnérabilité environnementale, comme ici est le cas de l'Afrique en 2014 par l'OCD.

(Voir le lien : [Observatoire de la Compétitivité Durable \(OCD\)](#) )

#### Vulnérabilité environnementale (PVCCI)

2014

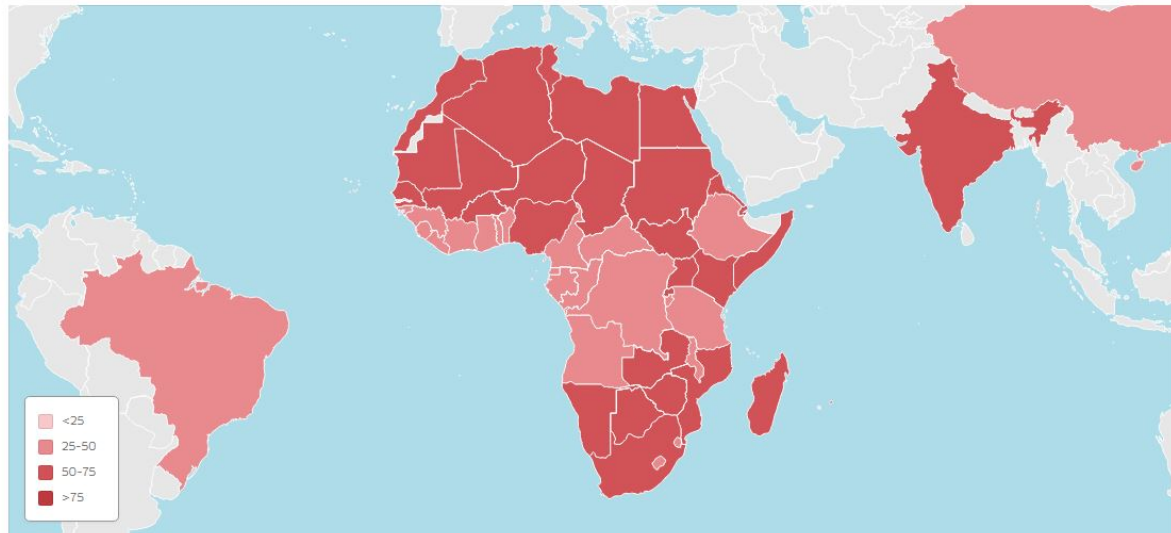


Fig (2) : la vulnérabilité environnementale par l'OCD

#### 2 – 5 - 5. Vulnérabilité Attitudinale :

Une communauté qui a une attitude négative envers le changement et qui manque d'initiative dans la vie devient de plus en plus dépendante du soutien externe. Ils ne peuvent pas agir indépendamment. Leurs sources de subsistance n'ont pas de variété, manquent d'esprit d'entreprise et ne possèdent pas le concept de collectivisme. Cela entraîne la désunion et l'individualisme dans la société. Ainsi, ils deviennent victimes de conflits, de désespoir et de pessimisme qui réduisent leur capacité à faire face à une catastrophe.

En général, la vulnérabilité est donc fonction du statut socioéconomique des populations frappées par une catastrophe tant au niveau local (une ville, par exemple) que sur le plan international. C'est ce qui explique en partie l'écart considérable entre les pertes humaines comptabilisées dans les pays développés et celles qui sont relevées dans les pays en voie de développement. D'autres critères influent sur la vulnérabilité, en particulier l'âge et le sexe. Les enfants et les personnes âgées sont bien plus fragiles que les hommes dans la force de l'âge.

#### 2 – 6. Le risque : <sup>(9)</sup>

Le risque est largement reconnu comme la conséquence de l'interaction complexe entre un aléa et les processus de développement qui génèrent des conditions d'exposition et de vulnérabilité.

La clé pour comprendre le risque c'est de reconnaître qu'il est un indicateur des échecs de développement car l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité sont affectés par un certain nombre de facteurs de risque, comme la pauvreté et l'inégalité, le développement urbain et régional mal planifié et mal géré, les changements climatiques et la dégradation de l'environnement, une mauvaise gouvernance.

Un **risque naturel** est un évènement catastrophique d'origine naturelle (l'aléa). On y distingue principalement : les feux de forêt, les inondations, les mouvements de terrain, les cyclones, les tempêtes, les séismes et éruptions volcaniques mais aussi les raz de marées, les invasions d'insectes nuisibles, les sécheresses prolongées...On parle de **risque majeur** lorsque les dégâts et le nombre de victimes sont importants.

## 2 – 7. Classification des risques naturels : (10)

Il est crucial d'examiner la nature scientifique des phénomènes. Les dangers sont généralement divisés en plusieurs catégories : géophysique, météorologique, hydrologique, climatologique et biologique.

Il existe de nombreuses mesures pour classer les types de risques naturels. Dans notre étude, nous allons dépendre de la classification par force motrice, de ce fait il existe deux catégories :

- Les risques naturels liées à la géodynamique interne (Séismes et Volcans)



- Les risques naturels liées à la géodynamique externe (Inondations, Mouvements de masses Cyclones, Sècheresse et Invasion acridiennes)



## 2 – 8. Le risque Majeur :

On qualifie de risque majeur un risque qui a une faible occurrence mais une forte gravité, la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionnent des dégâts importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées. (11)

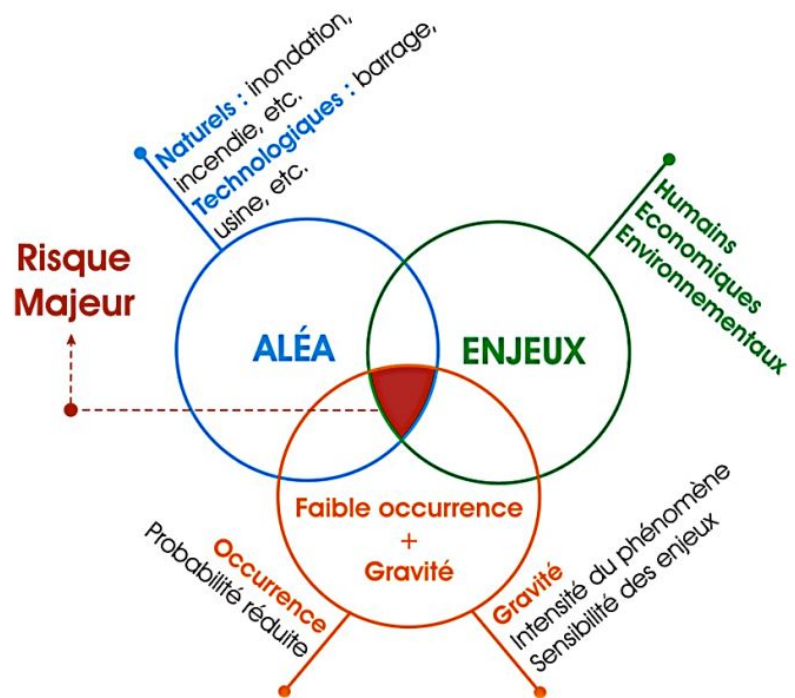


Fig (3) : Les différents éléments constituent le risque majeur

### 3 - Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

Au cours des dernières décennies, des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité ont été développées et testées dans le cadre de l'analyse des risques, la plupart d'entre eux conçus pour un risque spécifique.

La Recherche a démontré que, quel que soit le type d'évaluation (scientifique naturelle ou sociale), il y a quelques questions clés liées à la définition du système vulnérable qui doit être adressé. Il est particulièrement important d'établir l'objectif et l'échelle (temps / espace) d'une analyse.

Cela dictera le type d'approche (méthode) utilisée en tenant compte des données et la disponibilité des ressources. Les évaluations de vulnérabilité les plus détaillées sont menées au niveau local, souvent d'individus, mais les données requises à ce niveau ne sont pas facilement disponibles.

À des fins décisionnelles, une évaluation régionale ou nationale peut être utilisée, ce qui entraîne une perte d'information inhérente. Un problème supplémentaire est le problème qui implique différents niveaux de généralisation et de prise en charge. C'est particulièrement important lorsque la qualité et la quantité de données sont faibles parce que cela influence la certitude du résultat.

La vulnérabilité dépend non seulement du site et de l'échelle mais varie également selon les types de risques (inondations, glissements de terrain, tremblements de terre, tsunamis, etc.), en fonction des caractéristiques du processus (mode de production, taux d'apparition, intensité, l'environnement, etc.) et le type d'élément (ou d'ensemble d'éléments) à risque.

Par conséquent, les méthodes utilisées pour l'évaluation de la vulnérabilité aux séismes ne sont pas directement transférables aux sécheresses, par exemple. La vulnérabilité des objets ou des systèmes exposés peut également varier pour des processus similaires. De plus, il est reconnu que différents types de processus (ex. : Coulées de débris contre chutes de pierres pour les glissements de terrain, inondations fluviales ou inondations pluviales pour les inondations) peuvent entraîner différents modèles de dégâts.

Un autre facteur qui doit être pris en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité est la cible de l'analyse, c'est-à-dire les éléments à risque comme les objets, la population, les activités et les processus qui peuvent être affectés différemment par des phénomènes dangereux, dans un domaine particulier, directement ou indirectement.

Les dommages ou pertes causés par l'apparition de dangers peuvent être multiples. À court terme, lorsqu'une catastrophe survient, les pertes potentielles dues aux victimes (décès, blessures et personnes disparues), aux conséquences physiques (fonctionnelles) des services, des bâtiments et des infrastructures et aux pertes économiques directes sont les principales préoccupations. À long terme, les conséquences économiques indirectes, les « perturbations » sociales et la dégradation de l'environnement pourraient devenir plus importantes.

De nombreuses conséquences ne peuvent être mesurées ou quantifiées facilement. Ces pertes sont appelées pertes intangibles (par exemple perte de cohésion sociale due à la perturbation de la communauté, perte de réputation, conséquences psychologiques résultant d'impacts de catastrophes, effets culturels, etc.).

Dans l'évaluation de la vulnérabilité, les pertes tangibles (qui peuvent être mesurées, quantifiées) sont le plus souvent évaluées alors que les pertes intangibles sont aux mieux décrites. La différence entre les deux types de pertes rend leur agrégation dans une analyse complète des conséquences très difficile.

En général, la vulnérabilité peut être mesurée soit sur une échelle métrique, par ex. en termes d'une monnaie donnée, ou une échelle non numérique, basée sur des valeurs sociales ou des perceptions et des évaluations. Les pertes humaines, sociales et physiques directes peuvent être décrites et quantifiées en utilisant différentes approches méthodologiques. Une description non exhaustive des méthodes fréquemment utilisées pour l'évaluation de la vulnérabilité physique et sociale est donnée ci-dessous.

### **3 – 1. Évaluation de la vulnérabilité sociale** <sup>(12)</sup>

Le concept de vulnérabilité sociale est complexe. Un certain nombre d'études développées dans le cadre de projets de recherche spécifiquement dédiés à la mesure de la vulnérabilité sociale aux risques naturels ont montré qu'il existe des différences fondamentales entre les principaux types d'approches d'évaluation. Ceux-ci sont largement basés sur des traditions de recherche qualitatives ou quantitatives qui ont des différences importantes dans leurs paradigmes connexes. Il existe deux perspectives distinctes sur la dimension sociale dans l'évaluation de la vulnérabilité :

- (1) L'une se réfère aux pertes intangibles et aux éléments connexes à risque dont la valeur ne peut être facilement dénombrée ou évaluée en termes économiques. Ces facteurs peuvent être classés, par exemple (mais sans s'y limiter) dans les domaines de l'environnement (biodiversité, paysages naturels / attractions touristiques, actifs environnementaux utilisés dans l'activité économique, etc.), culturels (structures, matériel historique, sites culturels particuliers). Valeur / importance, etc.), institutionnelle (perte des ressources humaines et matérielles liées au fonctionnement des institutions publiques, y compris la santé, l'application de la loi, l'éducation et la maintenance).
- (2) L'autre interprétation fait référence aux facteurs socio-économiques sous-jacents dans une société causante ou produisant une vulnérabilité. Les méthodes de cette catégorie peuvent se pencher sur le tissu de la société pour évaluer sa préparation et sa capacité d'adaptation. Un large éventail de facteurs peut être pris en compte et il n'existe pas de méthodologie généralement acceptée qui couvre tous les aspects de la vulnérabilité sociale.

### **3 – 2. Évaluation de la vulnérabilité physique** <sup>(13)</sup>

Si dans l'évaluation de la vulnérabilité sociale l'accent est mis sur les indicateurs de la capacité d'adaptation des sociétés à tout risque naturel et identifier les groupes ou individus vulnérables sur la base de ces indicateurs, le rôle du danger et de ses impacts est souligné dans l'évaluation de la vulnérabilité physique, alors que les systèmes humains dans la médiation des résultats sont minimisés. Dans la littérature technique sur les risques naturels, la vulnérabilité physique est généralement définie sur une échelle allant de 0 (pas de perte / dommage) à 1 (perte / dommage total), représentant le degré de perte / dommage potentiel de l'élément à risque.

L'évaluation de la vulnérabilité et de la combinaison du danger et de la vulnérabilité pour obtenir le risque diffère entre les phénomènes naturels. Cependant, la majorité des modèles voient des vulnérabilités comme étant à la fois dépendant de l'agent actif (impact physique d'un événement dangereux) et élément exposé (caractéristiques structurelles ou physiques de l'objet vulnérable).

Les expressions les plus courantes de la vulnérabilité physique pour différents types de risques (glissements de terrain, inondations, tremblements de terre) sont : les courbes de vulnérabilité (fonctions d'endommagement de scène), les courbes de fragilité, les matrices de dommages et les indicateurs de vulnérabilité.

Les recherches sur l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations ont considérablement progressé (en particulier à l'aide de techniques de calcul) et différentes approches de modélisation allant des observations de dommages post-événement aux expériences en laboratoire et à la modélisation physique ont été développées. L'une des principales applications de l'analyse de la vulnérabilité aux inondations consiste à élaborer des lignes directrices pour réduire la vulnérabilité structurelle de différents types de propriétés. De même, les résultats de ces études sont utilisés dans les stratégies de développement spatial (aménagement du territoire) et pour l'identification des éléments ou des zones où des dommages seraient attendus en cas d'inondation. Il existe deux approches principales de l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations :

- (1) L'une se concentre sur les dommages économiques ça consiste essentiellement en une quantification des dommages prévus ou réels à une structure exprimée en termes monétaires ou par une évaluation du pourcentage de perte attendue.
- (2) L'autre traite de la vulnérabilité physique des structures individuelles et de l'estimation de la probabilité d'occurrence de dommages physiques ou d'effondrement d'un seul élément (par exemple un bâtiment).

Dans la dernière catégorie, deux méthodes générales peuvent être identifiées, cas des inondations :

**3 – 2 – 1. Les méthodes empiriques** reposent sur l'analyse des conséquences observées (collecte des informations réelles sur les dommages causés par les inondations après l'événement) au moyen d'entretiens, de questionnaires et de cartographie sur le terrain. Le principal avantage de ces méthodes est l'utilisation de données réelles. Cependant, les résultats dépendent beaucoup de la perception du risque des répondants pour les deux premiers et de la disponibilité des données (en particulier pour la dérivation des courbes de dommages) pour la dernière méthode de collecte. (14)

**3 – 2 – 2. Les méthodes analytiques** différents paramètres d'inondation (durée, vitesse, pression d'impact, etc.) sont directement contrôlés au cours des expériences de laboratoire et leurs effets sur les structures sont quantifiés ; des modèles numériques et des techniques de simulation par ordinateur sont utilisés pour estimer la fiabilité d'une structure et / ou calculer sa probabilité de défaillance (en général, la modélisation hydrologique et hydraulique de la plaine inondable est un prérequis). Ce type d'approche est exigeant en termes de ressources (temps et argent) mais permet une meilleure compréhension de la relation entre l'intensité de l'inondation et le degré d'endommagement d'une structure exposée présentant des caractéristiques précises. (15)

Les paramètres clés utilisés pour quantifier la vulnérabilité physique aux inondations sont liés aux forces (flottabilité, pression hydrostatique et pression dynamique) que l'inondation est susceptible d'exercer sur une structure (par exemple un bâtiment, un pont, un barrage, etc.). Directement liés à ces forces sont les caractéristiques de l'agent dommageable (eau) qui se reflètent dans un certain nombre d'actions sur la structure exposée : hydrostatique, hydrodynamique, érosion, flottabilité, etc.

De même, le paramètre d'influence des dommages d'inondation, par ex. la hauteur des eaux, peut ne pas être le seul indicateur de danger qui contribue à la quantité de pertes. L'accent est mis sur l'importance d'influencer d'autres facteurs tels que la durée de l'inondation, la concentration des sédiments, la disponibilité et le contenu informatif des crues et la qualité de la réponse externe en cas d'inondation. Pour les crues statiques (eaux lentes), la hauteur est considérée comme suffisante pour l'analyse, mais pour les crues dynamiques, la vitesse est considérée comme plus importante.

## 4 - LE PHÉNOMÈNE INONDATION

Entre 1994 et 2004, les catastrophes naturelles ont touchées 2,5 milliards de personnes et ont causé le décès de 478 100 personnes, et des pertes économiques estimées à 690 milliards de dollars. Parmi ces catastrophes, les inondations demeurent l'une des catastrophes naturelles les plus dévastatrices, touchant plusieurs pays à travers le monde.

Similairement aux autres pays du monde, le passé de l'Algérie a été marqué par de nombreuses inondations. Au cours de la décennie écoulée, les inondations en Algérie sont les plus meurtrières de celles survenues dans les pays du bassin méditerranéen Comme les inondations de (**Bab El Oued– Alger**)10-11 novembre 2001 : pluies diluviennes, **733** victimes, **30 000** de sans-abris et d'importants dégâts matériels.

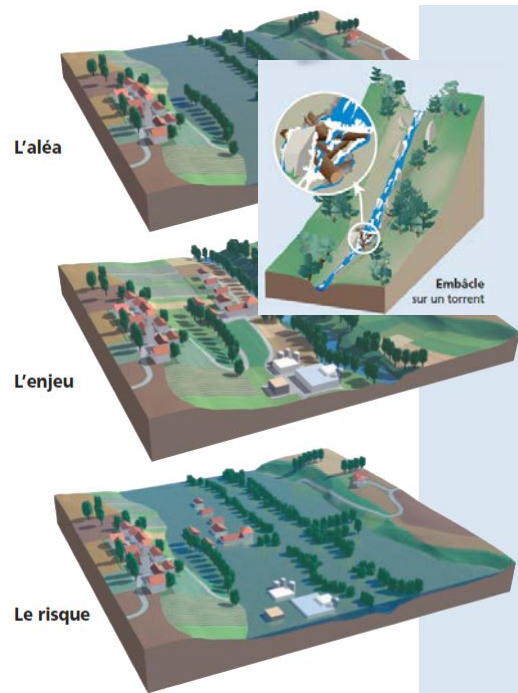


Fig (4) : illustration du phénomène d'inondation

### 4 – 1. Quelques définitions

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités. (16)

On distingue trois types d'inondation :

#### 4 – 1 – 1. La 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 : on parle d'inondation par remontée de nappe phréatique. Ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines. (17)



Fig (

#### 4 – 1 – 2. La formation rapide de crues torrentielles :

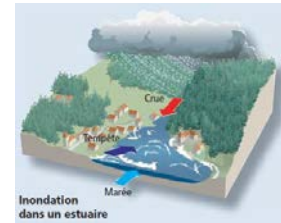
Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments et de flottants (bois morts, etc.), ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières

transportées. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui, s'ils viennent à céder, libèrent une énorme vague pouvant être mortelle. (18)

**Fig (6) :** Illustration d'embâcle

#### 4 – 1 – 3. Le ruissellement pluvial :

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 dans les rues. (19)



**Fig (7) :** inondation d'estuaire

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

#### 4 – 1 – 4. Un cas Particulier : Les Laves Torrentielles :

Les laves torrentielles se forment dans le lit des torrents au cours d'une crue liquide, lorsqu'une grande quantité de matériaux meubles (éboulis, paquets de terre, etc.) y est mobilisable. Ces écoulements sont composés d'un pourcentage de matériaux solides supérieur à 50%, de tailles variées, allant des matériaux fins jusqu'à de très gros blocs. La lave torrentielle se comporte comme fluide visqueux très dense, dans lequel les blocs paraissent flotter dans une pâte boueuse (mélange d'eau et de fines). Elle a un pouvoir destructeur plus important qu'une crue torrentielle de débit équivalent, en raison de sa densité élevée de déplacement (plusieurs Km/h selon la pente du torrent) et de la quantité de matériaux charriés. Les blocs transportés peuvent atteindre plusieurs dizaines de tonnes. (20)

**Fig (8) :** Lave torrentielle



Lorsque la lave torrentielle survient, l'écoulement liquide du torrent s'arrête. Alternent alors des successions de bouchons (embâcles) et de coulées boueuses (débâcles) qui déferlent dans le lit du torrent. Par

ailleurs, en raison des quantités de matériaux transportés le colmatage du lit du torrent peut s'accompagner de divagations dans les zones urbanisées de fond de vallée, qui occupent les cônes de déjection torrentiels.

## 4 – 2. Le débit de la rivière

### 4- 2 – 1. Le débit :

(Q) d'un cours d'eau en un point donné est le volume d'eau passant en ce point pendant une unité de temps ; il s'exprime en  $m^3 / s$  ou en  $l / s$ . (21)

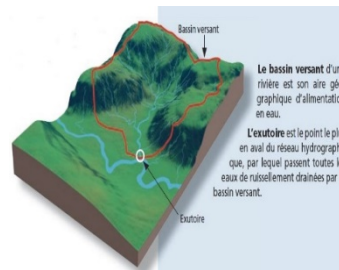


Fig (9) : illustration d'un Bassin versant

**4 – 2 – 2. La crue :** La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (débit) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. L'importance de l'inondation dépend de trois paramètres : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue. Ces paramètres sont conditionnés par les précipitations, l'état du bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur de la vallée, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines. (22)

### 4 – 2 – 3. L'étiage :

Le débit d'étiage est le débit minimum d'un cours d'eau, observé sur un temps donné en période de basses eaux. (23)

## 4 – 3. Le lit de la rivière :

### 4 – 3 – 1. Le lit mineur :

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

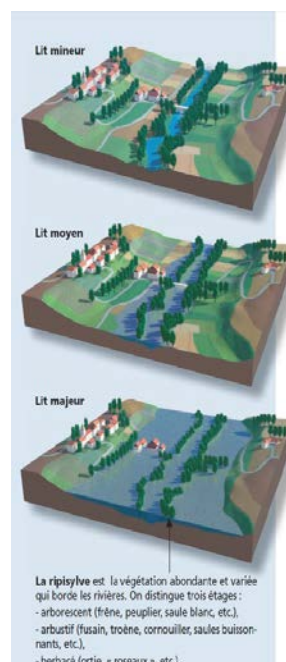
**4 – 3 – 2. Le lit moyen :** Sous certains climats, notamment méditerranéens, il peut être identifié un lit moyen. Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluviale ordinairement occupé par la (ripisylve), sur lequel s'écoulent les crues moyennes.

**4 – 3 – 3. Le lit majeur** Le lit majeur comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles.

On distingue deux types de zones :

- les zones d'écoulement, au voisinage du lit mineur ou des chenaux de crues, où le courant a une forte vitesse ;

Fig (10) : les lits de la rivière



La ripisylve est la végétation abondante et variée qui borde les rivières. On distingue trois étages :  
- arborecent (frêne, peuplier, saule blanc, etc.),  
- arbustif (fusain, troène, cornouiller, saules buissonnants, etc.),  
- herbacé (ortie, « roseaux », etc.).

- les zones d'expansion de crues ou de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval.

Le lit majeur fait partie intégrante de la rivière. En s'y implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même. (24)

## 5 - Le processus de formation des crues :

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

- **l'eau mobilisable**, constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- **le ruissellement**, qui correspond à la part de l'eau qui n'a pas pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.
- **le temps de concentration**, qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.
- **la propagation de l'onde de crue**, qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation. (25)

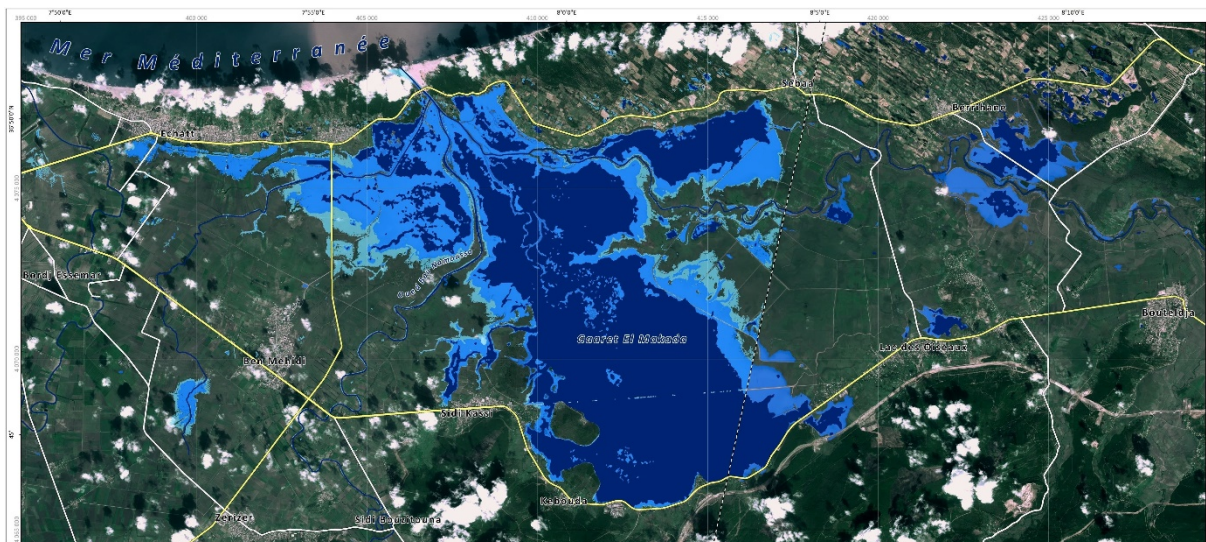


Fig (11) :Algérie - Wilaya d'El Taref, Inondation observer le 28 et 29 Février 2012

### 5 – 1. L'influence des facteurs naturels :

De nombreux paramètres influencent l'apparition d'une crue. Tout d'abord la quantité et surtout la répartition spatiale et temporelle des pluies, par rapport au bassin versant, sont déterminantes. Il

peut s'agir de pluies répétées et prolongées de régime océanique ou d'averses intenses de courte durée, qui touchent de petits bassins versants.

La nature et l'occupation du sol dictent l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes. L'absorption d'eau par le sol, l'infiltration dans le sous-sol ou le ruissellement influencent fortement le temps de concentration des eaux. Enfin, la topographie du lit, la pente et la forme du bassin versant jouent également un rôle. Ainsi, pour une même quantité de pluie, une crue apparaîtra ou non.

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

### 5 – 1 – 1. L'Aléa Inondation :

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour qualifier l'aléa inondation. (26)

### 5 – 1 – 2. La période de retour de crues :

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

La période de retour est l'inverse de la probabilité d'occurrence du phénomène.

Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années, parfois une seule), se répéter plusieurs fois.

Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale.

On distingue par ordre croissant :

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

Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q10) et la crue centennale (Q100).

L'aléa de référence servant de base à l'élaboration des documents réglementaires correspond à l'événement centennal ou au plus fort événement connu, s'il présente une fréquence supérieure à cent ans. (27)

### 5 – 1 – 3. La hauteur et la durée de submersion :

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. La structure porteuse de l'habitation peut être endommagée et les sols et murs gorgés d'eau.

Lorsque la durée de submersion est importante (supérieure à 24 h voire 48 h), des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent sale, contaminée par les égouts ou parfois le mazout échappé des cuves.

Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau. (28)

### 5 – 1 – 4. La vitesse du courant :

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. La dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur / vitesse.

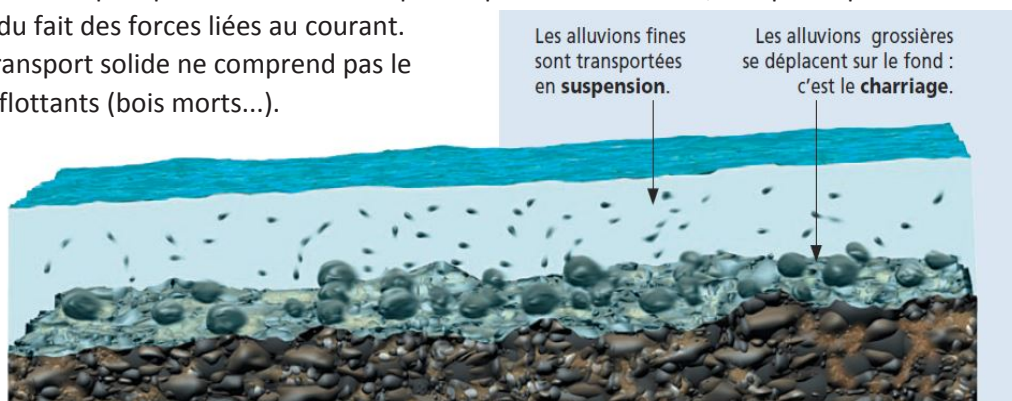
À titre d'exemple, à partir de 0,50 m / s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure. (29)

### 5 – 1 – 5. Le volume de matière transportée :

Ce volume est communément appelé « transport solide ».

Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau, et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant.

Le terme de transport solide ne comprend pas le transport des flottants (bois morts...).



Le transport solide

#### Fig (12) : Matière transportée

**Morphodynamique** : ensemble des paramètres morphologiques (tracé du cours d'eau, pente en long, etc.) et dynamiques (vitesse de montée des eaux, érosion, alluvionnement, etc.) d'une rivière.

**Pente en long** : pente longitudinale d'un cours d'eau.

Chacun des trois derniers paramètres a plus ou moins d'importance selon les caractéristiques Morphodynamiques de la rivière. Par exemple, l'aléa inondation d'une rivière, dont la pente en long est faible (inférieure à 0,1 %) sera surtout caractérisé par la hauteur et la durée de submersion.

L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevé et un fort transport solide. (30)

### 5 – 1 – 6. Hydrogramme de Crue :

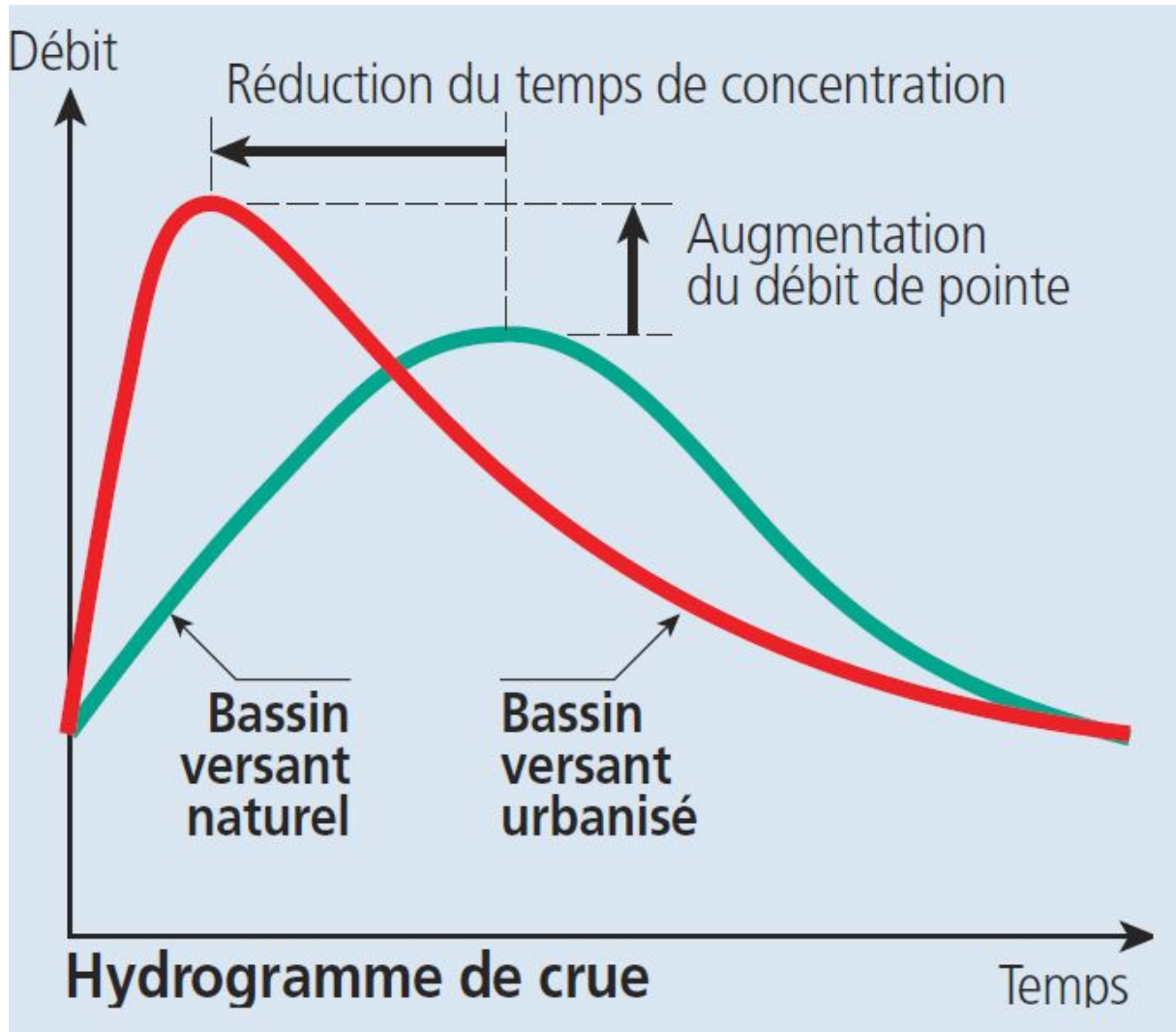


Fig (13) : Hydrogramme de crue

5 – 1 – 7. **L'imperméabilisation** : du bassin versant occasionne une réduction du temps de concentration et une augmentation du débit de pointe.

5 – 1 – 8. **Le débit de pointe** : ce débit est comme le débit maximal instantané, faisant référence à une période de retour donnée.

5 – 1 – 9. **Le laminage** : est le retardement et la diminution du volume des eaux à l'aval, grâce à un stockage temporaire naturel (zone d'expansion des crues) ou artificiel (barrage de rétention). Lorsque cela n'est pas possible, la végétalisation d'une partie des terrains (bandes enherbées par exemple) permet de freiner le ruissellement et de retenir une partie des matériaux emportés. (31)

## 5 – 2. L'influence des facteurs anthropiques :

Les facteurs anthropiques constituent des facteurs aggravants et ont un rôle fondamental dans la formation et l'augmentation des débits des cours d'eau.

### 5 – 2 -1. L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables :

Elles constituent la première cause d'aggravation du phénomène. En parallèle, l'augmentation du niveau de vie et le développement des réseaux d'infrastructures ont accru dans des proportions notables la valeur globale des biens et la fragilité des activités exposées (vulnérabilité). (32)

### 5 – 2 – 2. La diminution des champs d'expansion des crues :

Consécutives à l'urbanisation et parfois aggravées par l'édification de digues ou de remblais, elle a pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écêtement des crues, bénéfique aux secteurs habités en aval des cours d'eau. (33)

### 5 – 2 – 3. L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau :

Beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval. Ces aménagements (suppression de méandres, endiguement, etc.) peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération de crues en aval et l'altération du milieu naturel. (34)

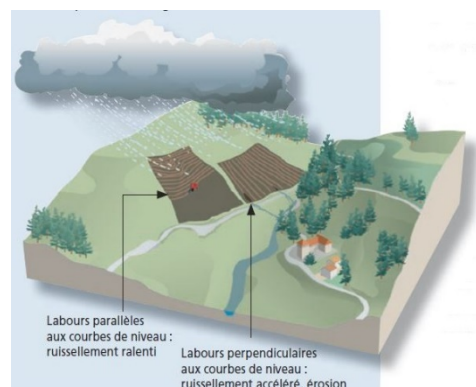
### 5 – 2 – 4. La défaillance des dispositifs de protection :

Le rôle des dispositifs de protection (digues, déversoirs) peut être limité. Leur mauvaise utilisation et leur manque d'entretien peuvent parfois exposer davantage la plaine alluviale que si elle n'était pas protégée. (35)

### 5 – 2 – 5. L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants :

Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêchant le laminage des crues et la pénétration des eaux, favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux.

Les pratiques agricoles : Le sens des cultures joue un rôle important dans le phénomène de ruissellement, non seulement du point de vue de la quantité d'eau ruisselée mais également de la quantité de matériaux emportés. L'idéal est de cultiver dans un sens parallèle aux lignes de niveau. (36)



**Fig (14) :** les labours

## 6 - Les atteintes aux hommes, aux biens et aux activités :

La vulnérabilité de la population est provoquée en particulier par sa localisation en zone inondable. Sa mise en danger survient surtout lorsque les délais d'alerte et d'évacuation sont trop courts ou inexistants, lors des crues rapides ou torrentielles.

Le danger se traduit par le risque d'être emporté ou noyé, ainsi que par l'isolement sur des îlots coupés de tout accès.

L'interruption des communications peut gêner, voire empêcher l'intervention des secours. Par ailleurs, on estime que les dommages indirects (perte d'activité, chômage technique, etc.) sont souvent plus importants que les dommages directs occasionnés aux biens mobiliers et immobiliers.

## 7 - Les atteintes à l'environnement :

Les dégâts au milieu naturel sont dus à l'érosion, aux déplacements du lit ordinaire, aux dépôts de matériaux, etc. Les phénomènes d'érosion, de charriage, de suspension de matériaux et d'alluvionnement participent à l'évolution du milieu naturel dans ces aspects positifs comme négatifs.

Pour les zones industrielles situées en zone inondable, un risque de pollution et d'accident technologique est à prendre en compte.

## 8 - Les événements historiques en Algérie :

Date	Localisation	Dégâts	Victimes
20 Octobre 1993	Chlef	D'importants dégâts matériels	22 décès et 14 blessés
10 et 11 Novembre 2001	Bab El Oued	D'importants dégâts matériels	733 décès et 30000 sans-abris
1er octobre 2008	Ghardaïa	600 maisons détruites	33 décès
1er octobre 2011	El Bayard	170 maisons et 02 ponts détruits	11 décès

TAB N° (1) : les événements historiques en Algérie (Boudjerda et al, 2005)

## 9 - Les techniques stratégiques d'adaptation au risque d'inondation pour réduire la vulnérabilité :

Six grands principes d'aménagement qui proposent des solutions techniques ou organisationnelles. Ils ont vocation à répondre aux grands objectifs de la prévention des inondations, définis notamment dans la stratégie de gestion des risques d'inondation : "augmenter la sécurité des populations exposées ; stabiliser à court terme et réduire, à moyen terme, le coût des dommages liés à l'inondation ; raccourcir fortement le délai de retour à la normale des territoires sinistrés.

### • Principe 1 : inclure un système de protection dans l'aménagement urbain.

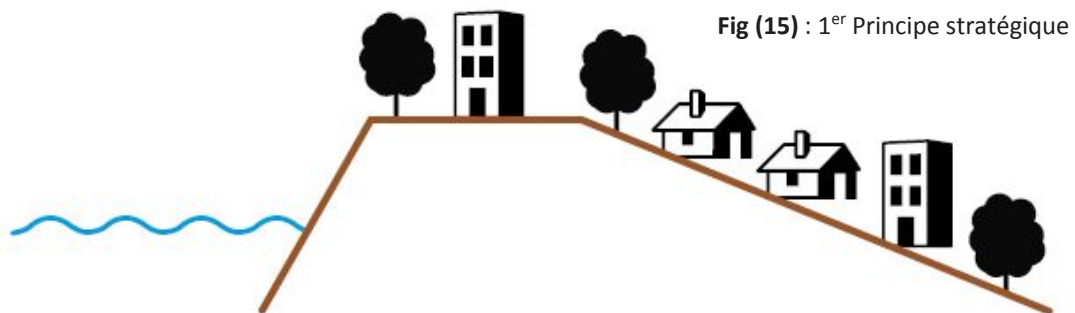


Fig (15) : 1<sup>er</sup> Principe stratégique

Il vise à présenter un certain nombre d'aménagements conciliant ouvrages de protection (digues) et densification de l'espace urbain à travers des dispositifs innovants tels que les super-digues par exemple. (37)

### • Principe 2 : donner ou redonner plus de place à l'eau.

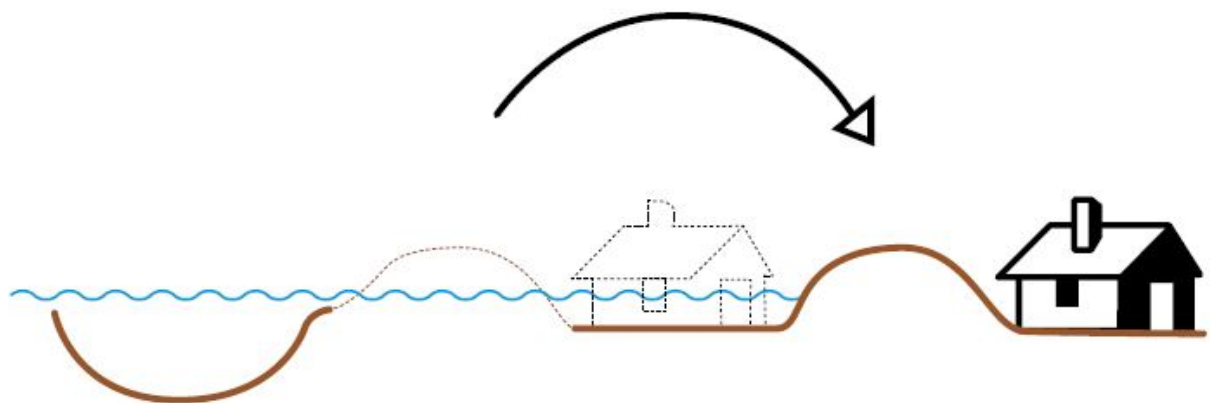


Fig (16) : 2<sup>eme</sup> Principe stratégique

Il s'attache réduire l'aléa inondation au sein des villes, ou du moins pas l'aggraver, en proposant un panel d'exemples donnant ou redonnant sa place à l'eau dans les centres urbains denses. (38)

- **Principe 3 : localiser les activités et les infrastructures urbaines.**

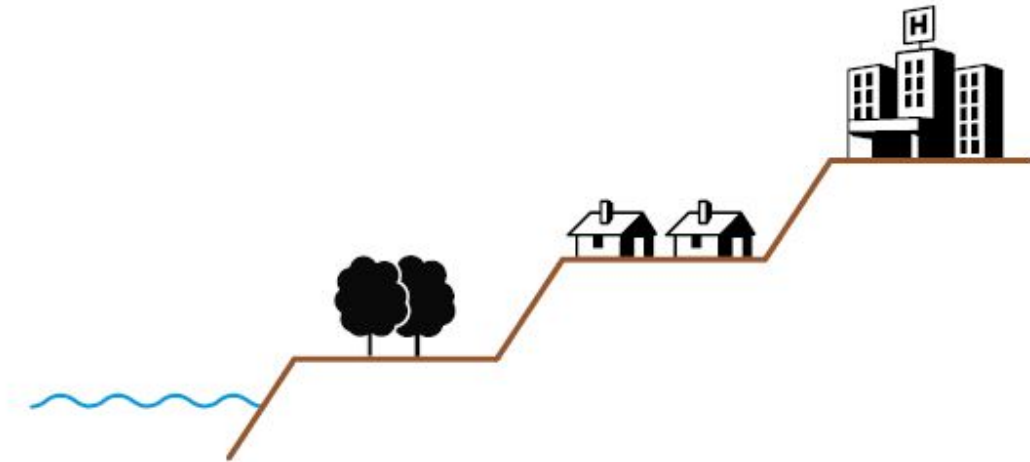


Fig (17) : 3eme Principe stratégique

Il propose de réfléchir à l’implantation d’activités et infrastructures faisant partie du système urbain, en tenant compte de leur caractère vulnérable par rapport au risque d’inondation. (39)

- **Principe 4 : concevoir des bâtiments adaptés à l’inondation.**



Fig (18) : 4eme Principe stratégique

Il consiste à imaginer des procédés constructifs permettant d’adapter un bâtiment (logement, bâtiment public, locaux d’entreprise, etc.), voire une infrastructure, à la présence du risque d’inondation. (40)

- **Principe 5 : assurer le maintien du fonctionnement des réseaux techniques.**

Fig (19) : 5eme Principe stratégique



Il considère la question des interdépendances au sein d'une ville. Pour fonctionner, une ville a des besoins qui se matérialisent par la présence d'un certain nombre de réseaux (besoin d'être alimentée en énergie, de permettre la circulation de la population qui y vit ou qui y travaille, etc.). (41)

• **Principe 6 : créer des espaces intelligents pour la gestion de crise et la reconstruction.**

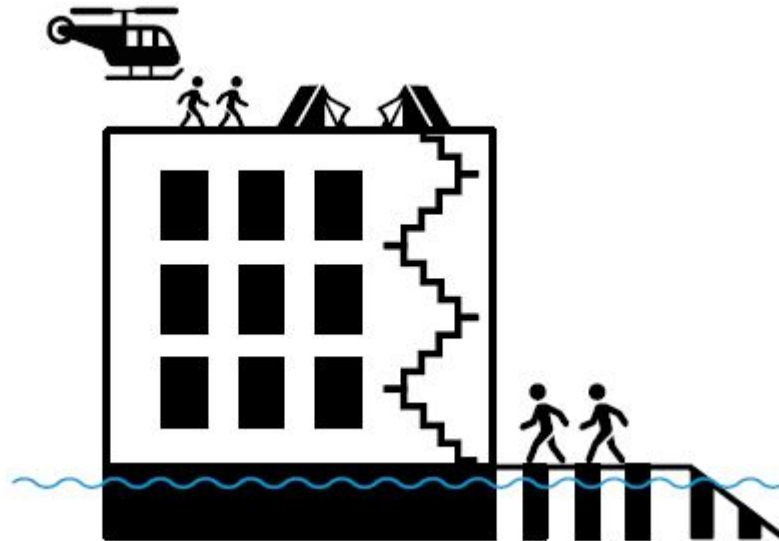


Fig (20) : 6eme Principe stratégique

Il s'appuie sur le concept de multifonctionnalité pour concevoir des lieux ayant un usage en période normale et pouvant basculer vers un autre usage en cas d'inondation. La particularité de ce principe est d'envisager ces multiples usages avant la conception du bâtiment ou de l'infrastructure afin d'adapter ces derniers à la présence du risque d'inondation. (42)

Dans leur mise en œuvre, ces principes peuvent présenter un certain nombre d'avantages ou d'inconvénients sur le plan technique, économique, social, politique, juridique et paysager. Ces derniers ne sont pas présentés de manière exhaustive, mais permettent d'apporter un éclairage sur la traduction concrète de ces principes au niveau opérationnel.

## 10 - Le Plan de Prévention des Risques naturels :

Le PPR est une servitude d'utilité publique associée à des sanctions pénales en cas de non-respect de ses prescriptions et à des conséquences en termes d'indemnisations pour catastrophe naturelle.

Le dossier du PPR contient une note de présentation du contexte et de la procédure qui a été menée, une ou plusieurs cartes de zonage réglementaire délimitant les zones réglementées, et un règlement correspondant à ce zonage.

Ce dossier est approuvé par un arrêté, au terme d'une procédure qui comprend l'arrêté de prescription sur la ou les communes concernées, la réalisation d'études pour recenser les phénomènes passés, qualifier l'aléa et définir les enjeux du territoire, en concertation avec les collectivités concernées, et enfin une phase de consultation obligatoire (conseils municipaux et enquête publique). (43)

## 10 – 1. Objet et champ d'application du PPR :

Le PPR constitue un des outils d'une politique plus globale de prévention, mise en place par le gouvernement. Cette politique qui vise notamment à sécuriser les populations et les biens doit aussi permettre un développement durable des territoires, en engageant les actions suivantes :

- Mieux connaître les phénomènes et leurs incidences ;
- Assurer, lorsque cela est possible, une surveillance des phénomènes naturels ;
- Sensibiliser et informer les populations sur les risques les concernant et sur les moyens de s'en protéger ;
- Prendre en compte les risques dans les décisions d'aménagement et les actes d'urbanisme ;
- Protéger et adapter les installations actuelles et futures ;
- Tirer les leçons des événements naturels dommageables lorsqu'ils se produisent.

On rappelle que le PPR peut porter sur les risques naturels prévisibles tels que les inondations, les mouvements de terrain, les avalanches, les incendies de forêts, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes ou les cyclones. Il peut être monorisque (PPR inondation par exemple) ou multirisques.

Il délimite les zones du territoire exposées aux risques naturels. Il prévoit également les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à mettre en œuvre par les propriétaires, les aménageurs et les collectivités locales ou les établissements publics. (44)

## 10 – 2. Comment est élaboré un PPR ?

L'élaboration du PPR débute en général par l'analyse historique des principaux phénomènes naturels ayant touché le territoire étudié. Après cette analyse, éventuellement complétée par des expertises sur les risques potentiels, on dispose d'une cartographie, dite carte des aléas, qui permet d'évaluer l'importance des phénomènes prévisibles. Cette carte, assortie d'une analyse des enjeux du territoire menée en concertation avec les différents partenaires locaux, constitue la base de la réflexion lors de l'élaboration du PPR. (45)

## 10 – 3. Contenu du PPR : (46)

Le PPR comprend au moins trois documents :

**\*Une note de présentation** : Elle indique le secteur géographique concerné, la nature des phénomènes naturels pris en compte. Elle rappelle les études, les recherches historiques, les étapes et la méthodologie d'élaboration des différentes cartographies. Elle présente les conséquences possibles compte tenu de l'état des connaissances.

**\*Les documents graphiques** : Ils délimitent les zones où la réglementation du PPR s'applique. On parle de "zones rouges" pour celles où les constructions nouvelles sont interdites et de "zones bleues" pour celles où celles-ci restent autorisées sous réserve de prescriptions particulières.

Pour une meilleure compréhension des contraintes du zonage réglementaire peuvent être joints trois documents cartographiques non réglementaires :

La carte informative des phénomènes naturels, la carte des aléas et la carte des enjeux.

**\*Le règlement :** Le règlement détermine différents types de règles applicables dans chacune des zones considérées. Il traite des projets nouveaux, des constructions et activités existantes, il peut fixer des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde, collectives et individuelles. Il peut conditionner les autorisations de construire à la réalisation préalable et à la validation (dans des conditions bien précises) de travaux de protection, à la mise en place d'une maîtrise d'ouvrage collective (publique ou privée ou mixte) et des conditions pérennes d'entretien des ouvrages. Il peut comporter des annexes qui sont généralement des fiches-conseils ou des exemples de réalisations de protection individuelle.

## **10 – 4. Effet du PPR : (47)**

**10 – 4 – 1. Opposabilité :** le PPR approuvé est une servitude d'utilité publique qui doit obligatoirement être annexée au document d'urbanisme (PDEAU ou POS) et qui s'impose à toute personne publique ou privée :

- désirant entreprendre des constructions ou installations nouvelles autorisées au titre du PPR
- déjà propriétaire ou exploitant des biens ou activités implantés antérieurement au PPR, est tenu de se conformer aux prescriptions.

Dans tous les cas, les dispositions du PPR doivent être respectées pour la délivrance des autorisations d'utilisation et d'occupation du sol (permis de construire, lotissement, déclaration de travaux, etc.).

### **10 – 4 – 2. Intégration du PPR dans le document d'urbanisme :**

Dans les communes dotées d'un document d'urbanisme, le PPR doit être annexé à ce document en tant que servitude d'utilité publique.

En l'absence de document d'urbanisme, les prescriptions du PPR prévalent sur les dispositions des règles générales d'urbanisme ayant un caractère supplétif. Dans la pratique, il est indispensable d'aller plus loin que la seule annexion en s'assurant de la cohérence entre les mesures du PPR et le document d'urbanisme. Dans tous les cas, les dispositions du PPR approuvé prévalent sur le POS.

Il n'est pas forcément nécessaire de "zoner" les risques du PPR sur le document graphique du POS. Il ne doit pas y avoir ambiguïté pour l'utilisateur ou le particulier qui consulte le document d'urbanisme : les documents graphiques doivent faire états de l'existence du PPR approuvé et renvoyer à celui-ci, ainsi que les pièces écrites (rapport de présentation, règlement).

### **10 - 4 – 3. Effet sur l'existant :**

Le PPR peut exiger la réalisation d'études particulières ou la mise en place de mesures de protection, de mise aux normes, sur les installations, ouvrages ou bâtiments existants, dans des délais imposés. Ces délais courent à compter de la date d'opposabilité du PPR. Le montant des travaux imposés ne peut toutefois dépasser 10% de la valeur de la construction, si elle a été réalisée conformément aux règles d'urbanisme.

### **10 – 4 – 4. Effets indirects**

L'arrêté de prescription d'un PPR impose aux autorités de signifier les informations relatives aux risques majeurs affectant le territoire communal, pour que puissent être respectées les modalités d'information des locataires et acquéreurs ;

- L'approbation du PPR commande au maire d'informer régulièrement la population, sur les risques majeurs touchant la commune ;

- Suivant l'approbation du PPR, la commune devra se doter d'un plan communal de sauvegarde qui intègre le dossier d'information communal sur les risques majeurs.

#### 10 – 4 – 5. Sanctions

À défaut de mise en conformité, les autorités pourront ordonner dans une certaine limite, la réalisation des mesures aux frais du propriétaire, de l'exploitant ou de l'utilisateur.

Les constructions ou aménagements enfreignant les dispositions du PPR sont soumises aux sanctions prévues, comme en Algérie par exemple dans les articles **69,70,71** et **72 de la Loi**

**04-20** du **13 Dhou El Kaada 1425** correspondant au **25 décembre 2004** relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Les infractions sont constatées par les fonctionnaires commissionnés à cet effet et qui devront remettre leurs observations au tribunal.

### 11 - Plans de prévention des risques inondation (PPRI) : <sup>(48)</sup>

Les plans de prévention des risques d'inondation ont pour objet principal de réglementer l'occupation et l'utilisation du sol dans les zones à risque. Elaborés en association avec les communes et en concertation avec la population, ils délimitent les zones exposées aux risques, et réglementent l'occupation et l'utilisation du sol dans ces zones, en fonction de l'aléa et des enjeux, et ce afin de ne pas augmenter le nombre de personnes et de biens exposés, de réduire la vulnérabilité de ceux qui sont déjà installés dans ces zones, et de ne pas aggraver les risques, ni d'en provoquer de nouveaux. Ils constituent des servitudes d'utilité publiques, et sont annexés, à ce titre, au plan d'urbanisme de chaque commune concernée.

Le coût élevé des inondations pour la société s'explique principalement par la croissance continue de l'exposition des hommes et de leurs biens au risque, à travers notamment le développement de l'urbanisation dans les zones inondables. C'est sur ce volet qu'il convient donc d'agir en priorité, en stoppant l'extension de l'implantation humaine dans les zones inondables.

L'occupation des zones inondables par l'homme s'est traduite également par une aggravation de l'intensité des débordements eux-mêmes, du fait de l'impact des activités humaines sur les écoulements : aggravation et accélération des ruissellements sur les pentes des bassins versants, concentration et accélération des écoulements par suppression des possibilités de débordements latéraux des cours d'eau endigués.

Outre leurs impacts sur la sécurité des hommes et de leurs biens, de telles pratiques ont eu des effets préjudiciables dans d'autres domaines : érosion accrue des sols cultivables, perte de capacités d'autoépuration des cours d'eau, diminution de la recharge des nappes d'eau souterraines, disparition d'écosystèmes et de paysages remarquables ; c'est tout à la fois un patrimoine et des fonctions utiles à la société qui ont été détruits.

## 11 – 1. Les objectifs des (PPRI) :

### 11 – 1 – 1. Interdire les implantations humaines dans les zones les plus dangereuses :

Interdire les implantations humaines dans les zones les plus dangereuses où, quels que soient les aménagements, la sécurité des personnes ne peut être garantie intégralement et les limiter dans les autres zones inondables.

Ce premier objectif a trait à la sécurité humaine. Il s'agit avant tout de préserver des vies qui pourraient être mises en danger dans les zones où l'intensité de l'aléa est la plus forte. Il peut s'agir de zones où existent des aménagements de protection mais la circulaire invite à en relativiser l'efficacité : on sera donc amené, même dans des zones dites « protégées » mais qui en cas de défaillance de la protection seraient dangereuses pour les vies humaines, à adopter la plus grande

rigueur. En ce qui concerne les autres zones inondables, les implantations humaines devront rester limitées, ce qui définit un principe général d'absence d'implantation dans ces secteurs.

### 11 – 1 – 2. Préserver les capacités d'écoulement et d'expansion des crues pour ne pas aggraver les risques pour les zones situées en amont et en aval :

La circulaire demande la préservation des champs d'expansion des crues, dans le but de ne pas aggraver les caractéristiques de l'aléa dans les autres zones. Cet objectif traduit deux idées importantes :

- D'une part, l'inondation doit être appréhendée dans sa dimension géographique, à l'échelle d'une vallée, les conséquences d'une action à un endroit donné pouvant être ressenties dans un autre secteur ;
- D'autre part, la nécessité de préserver ces capacités de stockage et d'écoulement impose que les zones inondables non urbanisées ou peu urbanisées fassent l'objet d'une préservation stricte destinée à éviter tout « grignotage » dont les effets cumulés seraient importants : de manière générale, toute surface pouvant retenir un volume d'eau devra être protégée, la généralisation d'une telle action sur l'ensemble d'un bassin devant être l'objectif recherché.

### 11 – 1 – 3. Sauvegarder l'équilibre des milieux dépendant des petites crues et la qualité des paysages :

Sauvegarder l'équilibre des milieux dépendant des petites crues et la qualité des paysages souvent remarquables du fait de la proximité de l'eau et du caractère encore naturel des vallées concernées. La gestion des zones inondables a également un but de protection d'un environnement dont l'utilité socioéconomique est trop largement méconnue :

- Espaces à la qualité de la vie, à usages récréatifs, touristiques ou esthétiques qui font l'objet d'une réelle demande sociale ;
- Elles remplissent « gratuitement » des fonctions de régulation de l'eau, d'épuration, de productivité biologique qui bénéficient à chacun.

Dans une optique de développement durable, il convient en conséquence d'arrêter l'artificialisation excessive de ces zones, de protéger ce patrimoine de qualité, mais aussi les infrastructures économiques naturelles dont la destruction résulte en des coûts importants pour la société. En permettant le contrôle, dans une large gamme, de l'usage des sols, et la prise de mesures appropriées au risque dans ces zones, le Plan de prévention des risques inondation constitue un outil essentiel dans la politique de l'État.

## 11 – 2. Les grands Principes et règles de construction applicables en zones d'inondable :

- Ne pas augmenter le risque, en interdisant toute nouvelle construction dans des zones les plus exposées au risque ;
- Laisser à la crue son espace naturel d'expansion, pour ne pas en aggraver les effets sur tout le linéaire du cours d'eau ;
- Pour les zones aménagées, réduire la vulnérabilité de l'existant et des constructions futures vis-à-vis des inondations. Ces principes se traduisent concrètement par la définition des objectifs d'aménagement suivants, détaillés pour chaque zone délimitée :

- préserver leurs capacités de stockage et d'expansion,
- ne pas implanter de nouvelles activités ou de nouveaux logements,
- réduire la vulnérabilité des enjeux existants,
- permettre la poursuite de l'activité agricole existante.

### Zone Rouge

- interdire les nouvelles constructions et ne pas créer de nouveaux logements,
- réduire la vulnérabilité des enjeux existants,
- permettre les transformations de l'existant qui améliorent la situation.

### Zone bleue

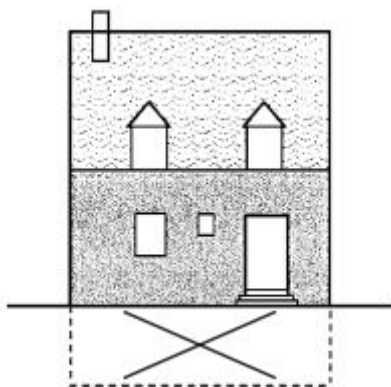
- permettre la poursuite de l'urbanisation de manière limitée et sécurisée,
- permettre les transformations de l'existant qui améliorent la situation,
- réduire la vulnérabilité des enjeux existants.

La mise en place du PPRI aboutira à la définition de règles en termes de constructibilité et de modification du bâti existant en cohérence avec ces grands objectifs.

## 11 – 3. Quelques exemples des règles de construction :

### 11 – 3 – 1. Les interdits :

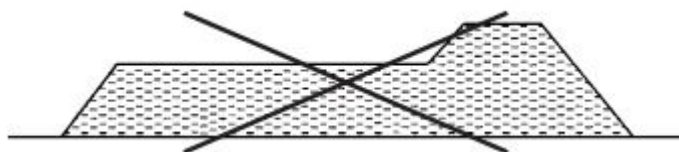
#### ❖ Les sous-sols



Les sous-sols constituent les parties les plus vulnérables des constructions puisqu'une simple remontée de la nappe peut présenter des dégâts extrêmement importants.

Fig (21) : exemple sur les sous-sols

#### ❖ Les Remblais



L'interdiction des remblais a pour objet de maintenir les capacités d'expansion et d'écoulement des crues.

Fig (22) : exemple sur les remblais

## 11 – 3 – 2. Les prescriptions :

### ❖ Relatives aux maisons individuelles :

- Obligation d'un 2ème niveau habitable en zones d'aléas moyen et fort
- 1er niveau habitable à au moins 50 cm au-dessus du terrain naturel.

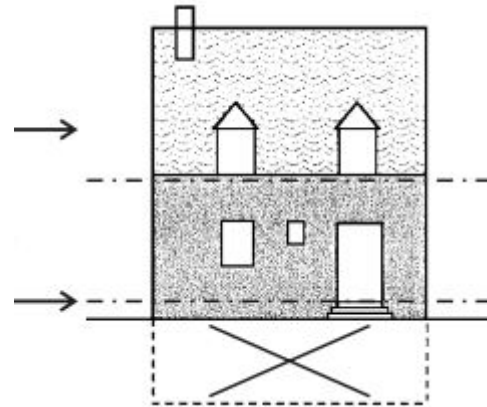


Fig (23) : exemple de prescriptions

## 12 - L'urbanisation et les Risques Majeurs en Algérie :

Dans le rapport sur "La ville algérienne ou le devenir urbain du pays", il était souligné dans sa partie introductive que "se saisir d'un tel dossier trente-six ans après l'indépendance, n'est-ce pas tenter d'intervenir sur un territoire déjà fortement aménagé et sur un tissu urbain qui a subi de nombreuses atteintes et transformations. Interrogation a fortiori plus significative puisque, plus de quatre ans après, la situation connaît dans ce domaine une complexification accrue. Il est, en effet, des villes qui ont atteint un seuil de saturation extrême et qui poursuivent encore leur extension par des excroissances construites souvent à la hâte, sans viabilités, qui enlaidissent l'environnement et le menacent à tous les points de vue. Ce gigantisme quasi-ingérable est le résultat d'une urbanisation rampante qui, non satisfaite de "grignoter" les zones à hautes potentialités agricoles, comme celles de la Mitidja, est allée investir les jardins, les terrasses d'immeubles, les flancs des collines, s'est emparée des lits des oueds et s'est même installée sur des gazoducs. Rien ne semble l'arrêter. Urbanisation - risques naturels - risques industriels, voilà un trinôme dont les trois termes sont fortement imbriqués, même si en apparence cette relation ne semble pas évidente. La présente auto-saisine se trouve donc inscrite dans une problématique d'aggravation des risques potentiels induits par une forme d'urbanisation qui a pris, pendant des décennies, beaucoup de libertés par rapport à une législation et une réglementation conçue initialement pour l'encadrer et la canaliser judicieusement.

Qu'ils soient naturels ou industriels, les risques s'appliquent à des phénomènes qui se manifestent généralement sous deux formes principales : - des événements brutaux, extrêmement violents qui se produisent en un temps très court, provoqués par des ruptures d'équilibres sismologiques géomorphologiques, hydrologiques ou hydro-géomorphologiques, climatologiques ou industriels. Ce qui s'était passé à Alger, en novembre 2001, appartient à cette catégorie d'événements ; - une dégradation progressive sur une longue période et dont le point d'aboutissement est comparable à une rupture brutale par ses dégâts finaux. Les processus d'érosion des bassins versants ou d'altération de la qualité des eaux de surface ou de l'air en sont des exemples. Ces deux types de processus peuvent se combiner, en un mouvement lent et continu à son début et accéléré brusquement en une discontinuité cataclysmique. Lorsque de tels événements se produisent dans

des zones habitées, dans des villes ou dans des sites stratégiques, ils se transforment en catastrophes humaines, économiques ou environnementales.

Ces aléas peuvent présenter une menace grave pour les zones habitées, gravissime si l'on tient compte des extensions urbaines incontrôlées. (49)

**TAB N° (2) :** Habitations en zones

Zones inondables

<b>Habitations construites en zones inondables</b>	
<b>Wilaya</b>	<b>Nombre de constructions</b>
Chlef	2248
Laghouat	3083
O. E. Bouaghi	1999
Batna	16261
Béjaia	500
Biskra	763
Bouira	1438
Tamanrasset	1159
Tébessa	17236
Tlemcen	375
Tiaret	13
Alger	14545+ quartiers Merdja et Baraki
Djelfa	784
Jijel	47( 05 zones à risques très élevés )
Sétif	1261
Saida	976+ 09 cités
Skikda	4009
S.B.Abbés	576 +04 cités en centre ville
Annaba	30 cités et quartiers
Guelma	360
Constantine	620
Médéa	3075
Mostaganem	1633
M'sila	1185
Oran	06 cités
Boumerdés	561
El Tarf	2370
Tissemsilt	1340
El Oued	766
Souk Ahras	La plupart des communes
Tipaza	2710
Mila	1663
Ain Defla	7772
Naama	4924
A Témouchent	14 zones jouxtant différents lits d'oueds
Relizane	350

Source : Protection Civile/Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales

## 13 - Qu'est-ce que la Géomatique ?

La géomatique est une discipline regroupant les pratiques, méthodes et technologies qui permettent de collecter, analyser et diffuser des données géographiques. L'objectif final de la géomatique est la représentation spatiale des données récoltées pour identifier, représenter et démontrer les résultats d'analyses statistiques. De ce fait, la géomatique apporte un nouvel axe d'analyse à vos données qui, jusqu'à présent, n'étaient analysées qu'en deux dimensions. (50)

### 13 – 1. Quelques domaines d'utilisation de la géomatique : (51)

**13 – 1 – 1. La prévention des risques naturels :** la géomatique est un outil d'étude des risques naturels (séismes, inondations, tsunamis...) Elle aide d'une part à développer des techniques et des méthodes d'analyse pour une meilleure gestion et compréhension des catastrophes naturelles et d'autre part à mettre en place des plans de prévention et de protection.

**13 – 1 – 2. Environnement et développement durable :** la réalisation de cartes, de plans, d'images numériques à partir des données géographiques et de leur traitement concourt à la protection de l'environnement et contribue au développement durable. La gestion spatiale des données permet de modéliser le territoire afin de trouver les meilleurs sites pour des infrastructures (parcs éoliens, antennes...). Elle permet aussi de gérer l'occupation des sols (forêts, végétations, espaces agricoles...), de mieux maîtriser l'expansion de l'urbanisation et ainsi de préserver les espèces et les écosystèmes.

**13 – 1 – 3. Aide à la prise de décision :** la rencontre des données géographiques, des technologies de l'information et d'un domaine métier applicatif font de la géomatique un outil incomparable d'aide à la décision (quelle stratégie pour développer un territoire ? quel plan d'action pour gérer une catastrophe ? ou implanter une structure commerciale pour garantir sa viabilité ?) l'outil géomatique s'adresse donc directement aux décideurs par l'approche intuitive qu'il propose et sa facilité d'emploi. La géomatique est un outil de gouvernance.

**13 – 1 – 4. Géolocalisation :** la géolocalisation est un outil essentiel permettant de localiser un objet en tout point de la planète, c'est-à-dire d'obtenir ses coordonnées dans un référentiel lié à la terre, elle permet aussi d'améliorer le fonctionnement des services urbains pour rendre la ville plus intelligente : meilleure prévision des tournées de ramassage des déchets, gestion de l'éclairage urbain, gestion des réseaux d'eau ou d'électricité, développement de nouveaux services de transports...

**13 – 1 – 5. Aménagement du territoire :** les outils géomatiques et tout particulièrement les systèmes d'information géographique (SIG) sont au cœur de l'aménagement du territoire. Ils sont utilisés pour des tâches telles que la numérisation, le stockage, la mise à jour et la consultation des documents d'urbanisme, mais aussi pour mieux prévoir le développement des territoires. En effet, ces systèmes permettent de croiser des informations diverses et complémentaires sur le territoire : occupation du sol, populations, réseaux, espaces naturels... Par cette analyse spatiale, il est possible de réaliser des études d'impacts (construction d'une route) ou de déterminer les sites les plus appropriés pour installer des services (ouverture d'une école par exemple).

## **13 – 2. Sciences et technologies de la géomatique :** (52)

**13 – 2 – 1. La photogrammétrie :** elle permet de construire la représentation 3D d'un objet à partir d'images. Elle est très utilisée pour l'établissement de cartes à partir de photos aériennes ou d'images spatiales, pour les projets de génie civil, d'aménagement ou d'architecture.

**13 – 2 – 2. La télédétection :** elle a pour but d'observer la terre en sélectionnant certaines longueurs d'ondes afin de faire apparaître des phénomènes indétectables par des prises de vues traditionnelles, cette spécialité comprend le traitement des images, le fonctionnement des satellites, les principes de la photo-interprétation etc.

**13 – 2 – 3. La topométrie :** est un ensemble de mesures en 3D de précision millimétrique, d'éléments du paysage. Les mesures effectuées sur le terrain servent à établir une carte, à modéliser le terrain ou bien à effectuer une métrologie extrêmement précise des déformations d'ouvrages d'art.

**13 – 2 – 4. La géodésie :** est l'étude de la forme et des dimensions de la terre. Les mesures spatiales et terrestres extrêmement fines permettent d'étudier le champ de pesanteur terrestre et de réaliser des mesures très précises de distance à l'échelle de la planète.

**13 – 2 – 5. Informatique spécialisée :** permet de concevoir puis de constituer un système d'information géographique grâce à la modélisation des données, à la compréhension de besoins et des habitudes métier et par l'écriture d'algorithmes et de programmes en environnement classique et internet.

**13 – 2 – 6. La cartographie et les systèmes d'information géographique (SIG) :** ce sont les outils qui associent des données hétérogènes, des bases de données, des traitements logiciels et des liaisons internet. Ils servent à analyser les innombrables informations géolocalisées actuellement disponibles et constituent des outils d'aide à la prise de décision.

## **14 - Conclusion :**

Cette partie de travail a été consacré aux théoriques, nous avons essayés de décortiquer les fondements et les concepts de bases nécessaire à la compréhension des notions générale dans notre recherche, nous avons aborder certain termes clés tel le risque, aléa, vulnérabilité, l'inondation, la crue, le PPRI...etc.

Liste des sources et des références :

- (1) : *introduction, urbanisation en Afrique et ses perspectives /www.fao.org*
- (2) : Article sur *Exposetesidees.blogspot.net*
- (3) : *UNISDR for disaster risk reduction terminology*
- (4) : *Etude de l'érosion ravinant à Kinshasa par télédétection et SIG, Fils Makanzu Imwangana université de liège.*
- (5) et (6) : *UNISDR for disaster risk reduction terminology*
- (7) : *le risque, Jean François Gleyze, IGN 2002*
- (8) : *Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction, Roxana L. Ciurean*
- (9), (10) et (11) : <http://www.georisques.gouv.fr/articles/definition-generale-du-risque-majeur>
- (12), (13), (14) et (15) : *Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction, Roxana L. Ciurean*
- (16) ..... (36) : *Les inondations – dossier d'information édité par le ministère de l'écologie et du développement durable, La France.*
- (37), (38), (39), (40), (41) et (42) : *Rapport : comment saisir les opérations de renouvellement urbain pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables face au risque d'inondation ? 2015*
- (43), (44), (45), (46) et (47) : *Plan de prévention des risques naturels (ppr), guide méthodologique – ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement – La France.*
- (48) : *Plan de prévention des risques naturels (ppr), guide méthodologique – ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement – La France.*
- (49) : *Rapport de CNES, l'urbanisation et les risque naturels et industriels en Algérie : inquiétudes actuelles et future 22eme session*
- (50) : <https://www.esrifrance.fr/geomatique.aspx>
- (51) et (52) : *découvrez le monde de la géomatique - ENSG*

# *Deuxième Chapitre Analyse des composants du Milieu Physique*

- 1-Présentation de la zone d'étude**
- 2-Présentation du cadre physique du sous-bassin hydrographique du Ksob**
- 3- Caractérisation géométrique et morphométrique du sous-bassin hydrographique du Ksob**
- 4- Conclusion**

## Introduction du Deuxième Chapitre :

L'étude de milieu physique a pour finalité d'identifier et de caractériser les principaux facteurs qui conditionnent et déterminent les potentialités et les contraintes naturelles de territoire de bassin versant.

### 1 - Présentation de la zone d'étude :

#### 1 – 1. Localisation de la zone d'étude :

La ville de M'sila est située au Sud-Est d'Alger, à 256Km. Elle se situe au Nord-Est de la wilaya. La commune de M'sila s'étend sur une superficie de 252 Km<sup>2</sup>. Elle est limitée :

Au Nord par la commune d'El Euch (BBA). A l'Est par la commune Mtarfa. A l'Ouest par la commune d'Oueled Mansour. Au Sud par la commune d'Ouele d'Madhi et au Sud-Est par la commune d'Elsouamaa

**La longitude :** 4°32'30" Est **La latitude :** 35°42'20" Nord

Dans la plaine hodnéenne qui s'intègre dans le cadre géographique du bassin versant N° 05 du Hodna, elle est limitée :

- Au Nord par les monts du Hodna, et au Sud et Sud-Ouest par les premiers chaînons de l'Atlas saharien. - A l'Est, par la rencontre des deux chaînes (Monts du Bellezma) aux coordonnées géométriques 4°45'E et 5°45'E.



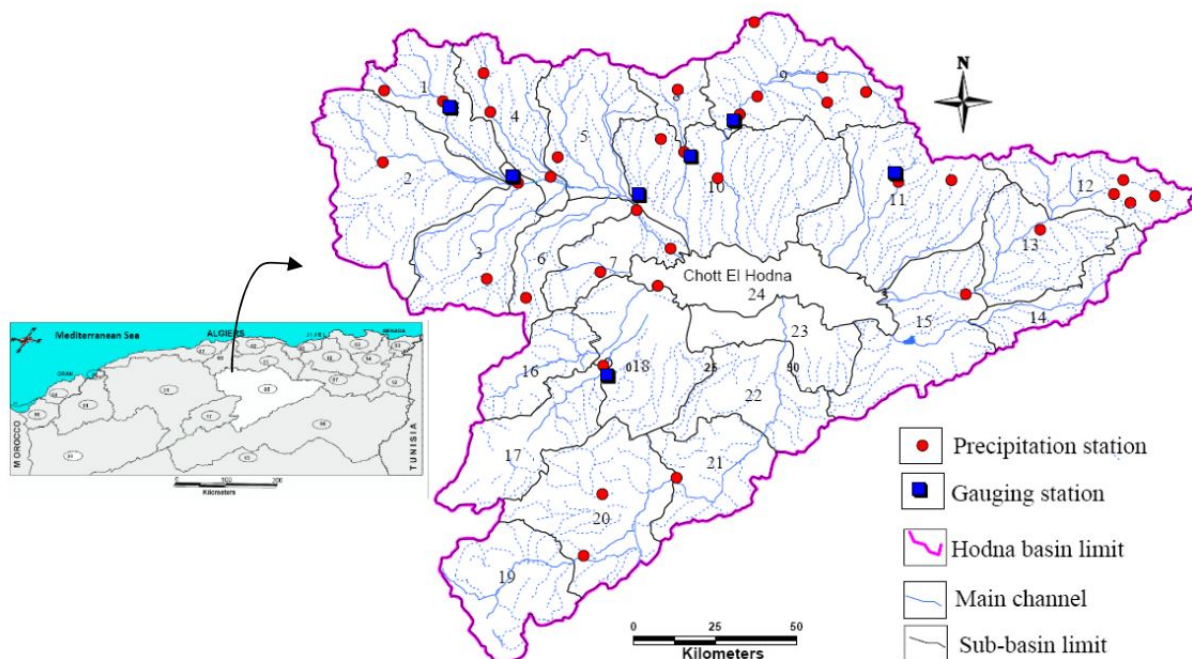
Carte N° (1) : Localisation géographique de la ville de m'sila

## 1 – 2. Aperçu générale sur le bassin versant du Hodna :

Le bassin du Hodna avec une zone de drainage de 26 000 km<sup>2</sup> est le cinquième bassin de l'Algérie. C'est un bassin intérieur, situé à 150 km au sud de la côte méditerranéenne (Golf de Bejaïa). L'altitude des sommets du Hodna diminue d'est en ouest. Ils oscillent entre 1900 et 1000 m, tandis que dans le sud, seuls quelques sommets dans l'Atlas saharien atteignent 1200 m.

La situation de ce bassin entre deux ensembles de montagnes au nord et au sud, l'organise comme un bassin endoréique autour d'un bol presque plat à 400 m d'altitude. Au centre de cette région, le lac de sel sec appelé "Chott El Hodna" (1150 km<sup>2</sup>), cette zone reçoit les rendements en eau et en

Carte N° (2) : du bassin versant Hodna et des sous-bassins



Selon l'agence algérienne des ressources en eau (ANRH), le bassin versant du Hodna peut être divisé en 23 sous-bassins, le 24<sup>ème</sup> central est Chott El Hodna, cependant ces sous-bassins peuvent être regroupés en **08 sous-bassins hydrographiques**, ayant le même talweg principal ou les mêmes sorties.

TAB N° (3) : sous-bassins selon l'ANRH et les sous-bassins hydrographiques et leur superficie

Sous-Bassin d'après l'ANRH		Sous-Bassin Hydrographique du Hodna	
Nom	Superficie en Km <sup>2</sup>	Nom	Superficie en Km <sup>2</sup>
1 El ham	791.6	<b>El ham</b>	<b>6129.6</b>
2 Sbissebe	1847		
3 Guernini	1050		
4 Djenene	842.3		
5 Torga	1035		
6 El karse	563.7		
7 El leham	629.7	<b>El lahm</b>	<b>629.7</b>
8 Lougman	336.9	<b>Lougman</b>	<b>336.9</b>
9 K'sob	1439	<b>K'sob</b>	<b>3605</b>
10 M'sila	2166		
11 Soubella	1828	<b>Soubella</b>	<b>1828</b>
12 Barika amont	886.2	<b>Barika</b>	<b>3783</b>
13 Barika aval	989.6		
14 Barriche	518.2		
15 Bithem Barika	1389		
16 Maiter amont	651.9	<b>Bousâada</b>	<b>2912.9</b>
17 Boussaâda	1008		
18 Maiter aval	1253		
19 Ain Rich	1090	<b>M'cif</b>	<b>5235.2</b>
20 Chair amont	1551		
21 Chair aval	857.4		
22 M'cif amont	959.7		
23 M'cif aval	777.1		
24 Chott El Hodna	1150		

## 2 - Présentation du cadre physique du sous-bassin hydrographique du Ksob :

Le sous-bassin hydrographique du Ksob est situé dans la partie nord du bassin du Hodna avec une superficie de 3605Km<sup>2</sup>.il est limité :

Au Nord et au Nord-Ouest par la chaîne montagneuse des Bibans.

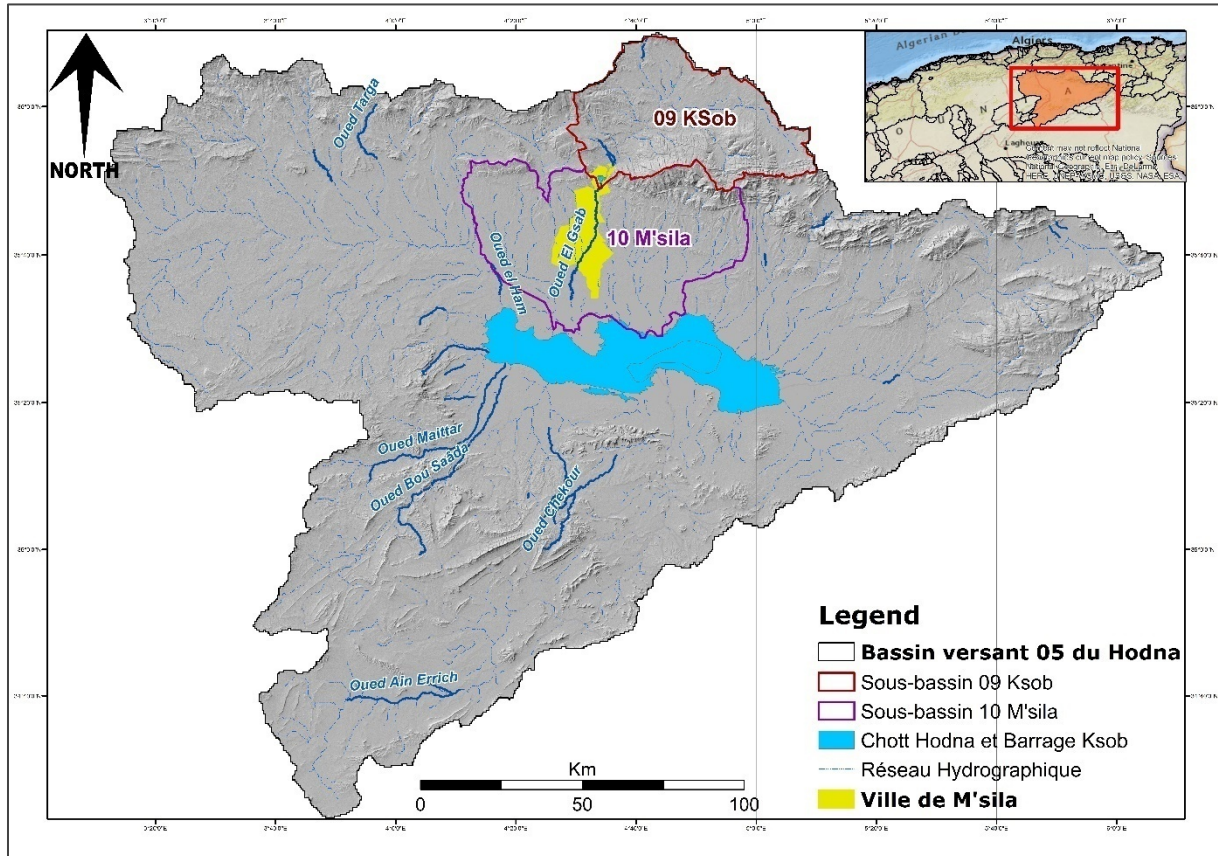
A l'Est par les hautes plaines de Sétif.

Au sud par "chott el Hodna".

Il se situe dans la zone limitée par les longitudes (3°90'-5°17' Est) et les latitudes (35°50'-36°05' Nord). Répartie selon l'ANRH en deux Sous-bassin 09 du Ksob (1439Km<sup>2</sup>) et 10 de M'sila (2166Km<sup>2</sup>)

dont le Talweg principale est Oued Ksob il se distingue par sa longueur d'environ (200Km) formé de deux branches qui prennent naissance sur le versant Nord des monts de Maadid allant de M'djez jusqu'à traverser la ville de M'sila. C'est également le seul Oued sur lequel a été construit un barrage-réservoir (Barrage du Ksob) dans ce versant.

Carte N° (3) : Localisation des sous-bassins faisant l'objet d'étude



## 2 – 1. Aperçu général sur la géologie du Ksob :

La géologie des terrains influence non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine mais également sur le ruissellement des surfaces. Dans ce dernier cas, l'étude géologique d'un bassin versant dans le cadre d'un projet hydrologique a surtout pour objet de déterminer la perméabilité des formations lithologiques. Celle-ci intervient sur la vitesse de montée des crues, sur leur volume, ainsi que sur l'aggravation du phénomène d'inondation. Les caractères géologiques principaux à considérer sont la lithologie et la structure tectonique :

## 2 – 2. Description litho stratigraphique du bassin versant :

Du point de vue lithologique voir Figure (24). Le sous bassin hydrographique du Ksob est constitué principalement de terrains d'âge du crétacé, du miocène ainsi que de l'éocène et du paléocène.

**Le Crétacé** : il affleure largement dans la région et on note la présence d'un Crétacé inférieur, moyen et supérieur.

**Le Crétacé inférieur et moyen** :

Ils sont essentiellement carbonatés terrigènes mais on note le développement de formations gréseuses avec d'importantes variations de faciès. Ils n'affleurent que sur les flancs des anticlinaux au Nord Monts du Hodna.

**Le Crétacé supérieur :**

Les formations du Crétacé supérieur correspondent à un milieu néritique, tous les étages sont représentés et l'épaisseur des formations est important au nord du mont du Maadid.

Ces terrains occupent approximativement 17% du sous-bassin dans la partie nord et particulièrement dans les monts du Hodna, on rencontre des calcaires durs de l'Albien contenant une riche faune à ammonites ; ainsi que des marnes du campanien grisâtes ou blanchâtres avec de nombreuses intercalations de marno-calcaire et de calcaires marneux.

**Le Paléocène :** Qui est formé de calcaires argileux, de lumachelles, de marnes à gypses et de soufre noir on le trouve au centre près des formation de Miocène ainsi qu'au nord et à l'est de Ain Taghrout.

**L'Eocène :** Qui est constitué de calcaire gris avec des intercalations de marnes grises, de calcaire à silex et de lumachelles on le trouve à l'est de Bordj Bou Arreridj et à Sidi Aïssa.

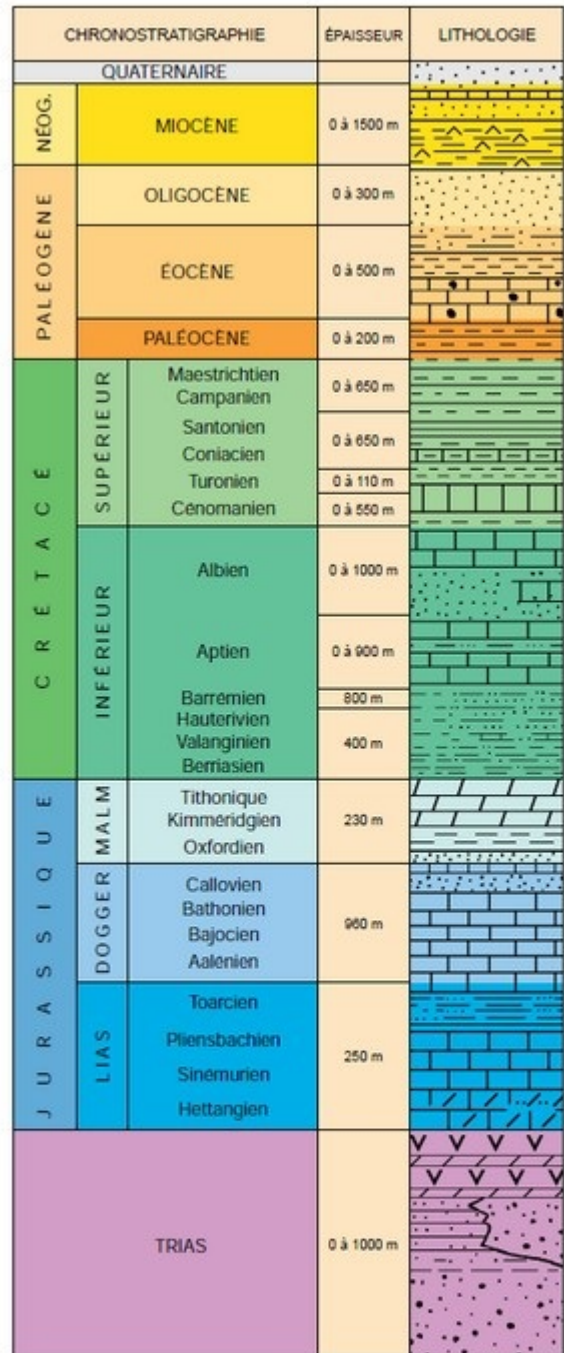
**Le Miocène :**

Ce faciès occupe toute la partie centre de sous-bassin on la retrouve également au Nord (Kef El Mellah). Ses terrains sont constitués essentiellement de calcaires et de Grès, Grès souvent glauconieux ou gris, à ce grès sont associés des lits plus ou moins épais de marnes gréseuses, Ces terrains occupent approximativement 13% du sous-bassin.

**Le Quaternaire :** on rencontre ce type de terrains dans la dépression de Medjana, dans les cuvettes de Ras-El-Oued et Bordj Ghdir ainsi que dans la plaine hodnéen. Ces terrains sont constitués de cailloutis, de sables calcaires et parfois de vases sur les bords des Oueds et particulièrement sur l'Oued Ksob et l'Oued El-Amri. Les derniers dépôts se composent de graviers et de sables à éléments locaux. Ces terrains s'étendent sur une grande surface, occupent ainsi 29% du sous-bassin.

**2 – 3. Structure tectonique :**

**Les failles :** Les failles sont principalement orientées Nord-Ouest et Sud-Est et les grands accidents Tectoniques sont orientées Est-Ouest. Les terrains crétacés surtout sont découpés par de nombreuses failles ayant toutes le caractère de faille normale, ces



**Fig (24) :** stratigraphie du Hodna

Stratigraphie synthétique du Hodna et du Prétellien.  
Summarised stratigraphy of Hodna and Pretellian areas.

failles se sont formées en deux phases successives :

La première qui est pré Miocène, appartiennent les failles Ouest-Est observées dans les monts de Maadid. Les nombreuses failles de direction Nord-Ouest, Sud-Est, datent d'un stade antérieur. A un certain point (environ de Medjez), ces dernières failles, curieusement très rapprochées, sont accompagnées par d'autres de direction plutôt Est-Ouest ; **HATTAB A. et DELALADJA H. (2007).**

**Les plis :**

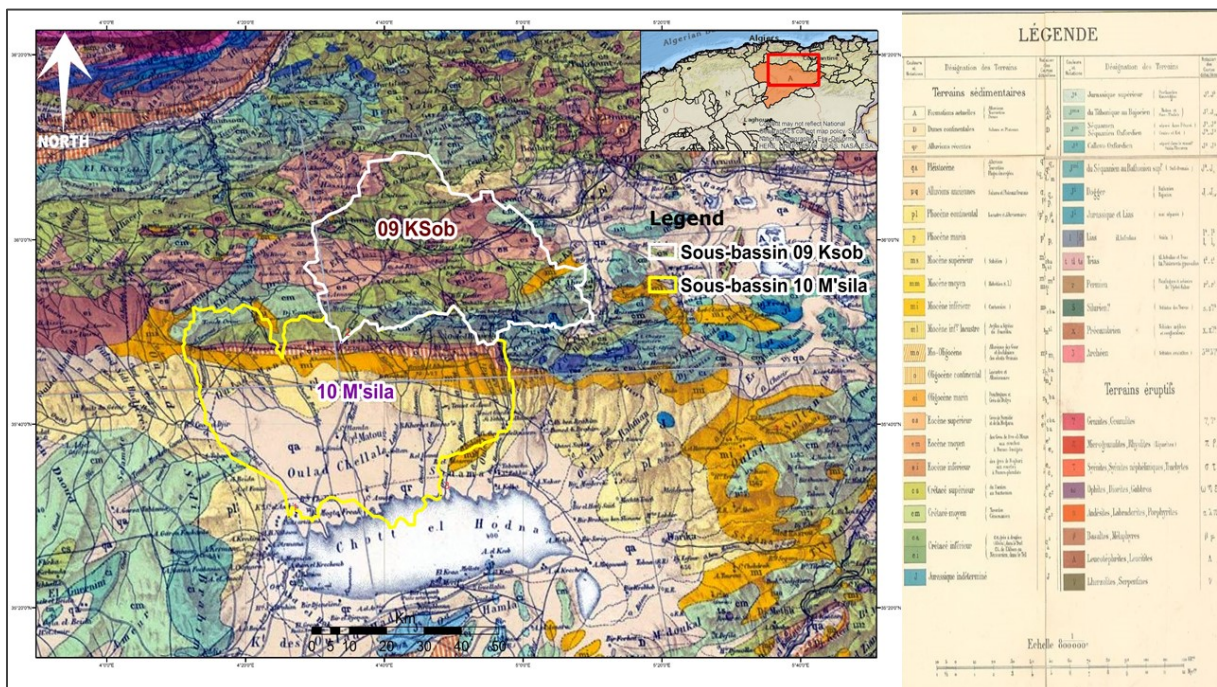
On distingue seulement deux importantes unités structurales :

La première comprend les anticlinaux du Maadid et de Medjez-Dréat. Elle fait partie de la rangée d'anticlinaux du Nord du Chott El Honda.

**Fig (23) :** Stratigraphie synthétique du

La seconde est formée dans le Nord, principalement le Nord-Ouest, des plateaux Miocènes, qui forment un faible bombement au-dessus de l'anticlinal de Dréat. Dans le Sud du Dj. Maadid les couches crétaciques et paléogènes se montrent dans un vaste anticlinal dissymétrique. Les pendages sur le flanc Sud varient de la verticalité au léger déversement tandis qu'ils sont plus faibles sur le revers Nord. Cet anticlinal se termine à l'Est de l'Oued Ksob. Vers l'Ouest il est relayé par l'anticlinal de Dréat, plus faiblement bombé, commençant dans les environs de Medjez. **HATTAB A. et DELALADJA H. (2007).**

**Carte N° (4) :** carte géologique des sous-bassins retenue pour l'étude



**2 – 4. Les caractéristiques lithologiques et la perméabilité des sols du sous-bassin :**

**Les caractéristiques lithologiques :**

Les caractéristiques hydrologiques sont dans une large mesure influencée par l'imperméabilité des roches et les sols qui ont dérivé d'absorber l'eau et de la retenir de manière temporaire. D'une manière générale de l'étude géologique, nous ressortons les différentes formations lithologiques.

Perméabilité des soles des bassins versants En général, dans le sous bassin de notre étude on constat trois grands ensembles :



- A. Les formations imperméables :** Constituées des marnes, marno-calcaires et sols argileux de telles assises rencontrer dans la formation marneuse miocène, ainsi que sous forme de divers recouvrements quaternaire (sols forestiers). Sur les zones de cette nature, l'infiltration doit être inférieur à 10% des précipitations, s'élève à 23% et 12% pour les sols à texture moyenne et lourde or ces derniers, plus hétérogènes que les terrains considérés et plus perméables qu'eux. Ainsi ces assises sont pratiquement imperméables, cependant de par leur nature argileuse, elles peuvent emmagasiner par imbibition une importante quantité d'eau.
- B. Les formations à perméabilité moyenne :** Ces formations sont formées de calcaires du cénomanien supérieur et les formations dolomitiques, ainsi que les marnes du miocène. Il s'agit des calcaires bio détritiques et su lithographiques du crétacé, ou des calcaires d'algues du miocène, ou encore de la dolomie grenue, ces roches sont très compactes ; la formation dolomitique retient cependant de rares poches de minéralisation ferrugineuse plus au moins caverneuse, seules susceptibles d'accroître localement sa perméabilité.
- C. Les formations à forte perméabilité :** Les conglomérates et les brèches du miocène marin, dont les éléments généralement très grossiers sont soudés entre eux par un ciment calcaire bio détritiques fin, laissant subsister autour d'eux des rives importantes. Les grés calcaireux très vacuolaires, qui correspondent aux marno-calcaires miocène et les divers recouvrements quaternaires, très peu consolidés formés de débris calcaires ou dolomitiques à taille variable, parfois arrondis, de limon sableux et caillouteux verts.

## 2 – 5. Le couvert végétal et le sol :

D'une manière générale la couverture végétale conditionne et influence la rapidité du ruissellement superficiel, le taux d'évaporation et la capacité de rétention du bassin versant. L'intérêt de cette couverture végétale permet un amortissement notable des crues et leur étalement dans le temps. Nous ne prétendons pas à faire une étude de la végétation, ce n'est pas le but de notre recherche, mais nous essayons de donner quelques éléments descriptifs sur les principaux types de la couverture végétale et surtout sur l'état de dégradation de cette couverture.

**2 – 5 – 1. Le rôle du couvert végétal :** La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluvial, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration ; cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande quand le couvert végétal est plus dense. Enfin, elle donne de l'ombre, ce qui conserve l'humidité et l'activité biologique nécessaire à l'équilibre du sol, l'infiltration en profondeur est facilitée par les fissurations préparées au sein du sol les eaux qui ruissellent rencontrent des obstacles, qui les obligent à ralentir leurs vitesses.

**2 – 5 – 2. Classification de la végétation :** Plusieurs classifications plus ou moins complexes ont été proposées, mais la classification des types de couverture par ordre de densité de J, Tricart est plus adaptée à montrer l'impact du couvert végétal sur les conditions d'écoulement à notre contexte. Nous reprendrons les trois grandes catégories de type de couverture végétale distinguées :

-  **Les surfaces bien protégées :** Ce sont les surfaces qui bénéficient de couverture végétale plus ou moins dense, permanente et plus spécialement les forêts, ces dernières protègent contre l'érosion et la concentration rapide des eaux.
-  **Les surfaces incomplètement protégées :** Ce sont les surfaces partiellement nues en permanence et les surfaces saisonnièrement protégées, dont les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives et des crues inondantes. Il s'agit généralement des terres de culture destinées soit pour la céréaliculture, qui occupe densément le sol pendant une période de l'année et de l'arboriculture qui laisse le sol

nu en permanence entre les arbres. Ainsi la pratique de la jachère nue est dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection.

- ✚ **Les surfaces mal protégées ou nues** : Elles englobent les terrains dénudés, les terrains de parcours taillis et broussailles à faible densité de recouvrement, où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisées, surtout dans les terrains dénudés imperméables et sur les terrains de parcours fortement pâturés.

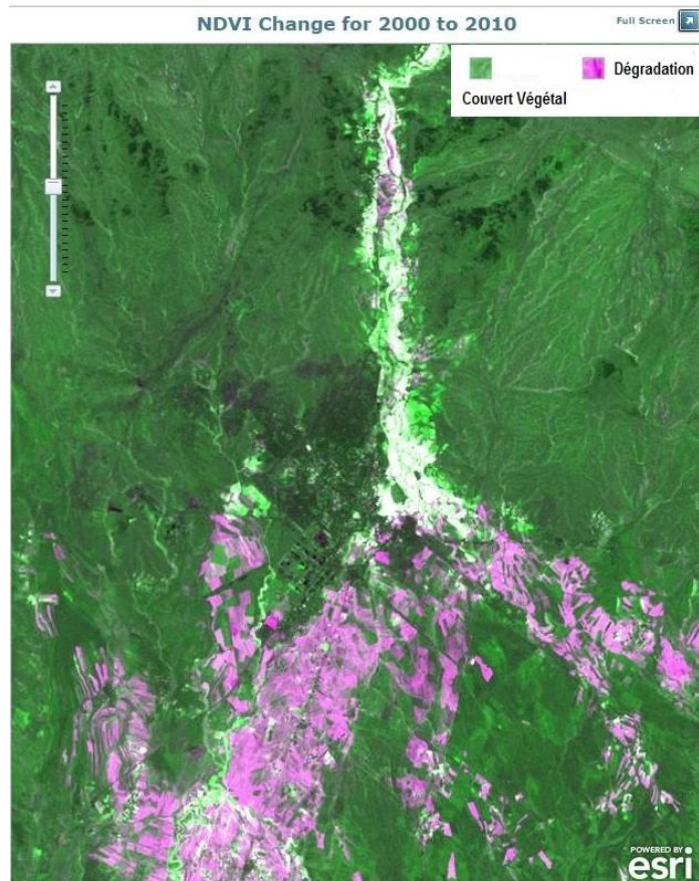
Cette image satellitaire représente l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN) de notre sous-bassin hydrographique qui quantifie la végétation en mesurant la différence entre le proche infrarouge (que la végétation reflète fortement) et la lumière rouge (que la végétation absorbe). Ainsi nous pourrions avoir une idée sur la couverture végétale par l'interprétation de ces couleurs étant soit des zones urbaines ou bien des forêts de conifères.

### 2 – 5 – 3. Impact de la végétation sur l'écoulement :

Du fait que les terres destinées aux cultures sont généralement découvertes en saison froide saison où les précipitations sont les plus fréquentes et les plus abondantes, dont l'intensité est généralement élevée, le ruissellement n'est freiné par aucun obstacle végétal.

D'où une grande surface de terrains nus et mal protégés couvre notre zone d'étude à l'aval d'oued Ksob vers la ville de M'sila. La discontinuité ou l'absence totale de la couverture végétale favorise l'écoulement superficiel donc la remontée des crues, sous l'effet de la forte intensité de pluie. La présence du couvert végétal est profitable à l'équilibre hydrologique du bassin alors que sa discontinuité, ou son absence totale constitue un facteur favorable à l'irrégularité des débits et à la genèse de fortes crues, surtout sur les terrains à fortes pentes et là où les sols sont très sensibles au ruissellement direct. Néanmoins dans la partie amont de notre sous-bassin hydrographique présente une couverture végétale plus importante avec la réalisation de plusieurs programmes de reboisement sur les reliefs du Maadid qui entre dans le cadre de la défense et la restauration des sols ou dans la protection du périmètre du barrage Ksob. Avec une proportion de 50% de terre agricole et de approximativement 20 % de surfaces mal protégées de cette partie amont.

Carte (5) : image satellitaire de l'indice végétal normalisé



### 3 - Les caractéristiques géométriques et morpho métriques du Sous-Bassin hydrographique du Ksob

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval, Selon la nature des terrains nous devons utiliser des caractéristiques morphométriques dans le but de condenser en un certain nombre de paramètres chiffrés, la fonction  $h = f(x, y)$  à l'intérieur du bassin versant ( $h$  altitude,  $x$  et  $y$  coordonnées d'un point du bassin versant).

Dans notre étude nous allons définir les caractéristiques du sous-bassin hydrographique répartie en deux sous-bassin Ksob (09) et M'sila (10) selon l'ANRH séparément.

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

#### 3 – 1. Les caractéristiques de géométriques :

##### 3 – 1 – 1. La surface et le périmètre :

La surface du bassin versant peut-être mesurée par des techniques de digitalisation et limitation.

La surface du sous-bassin Ksob (09) est de  $A=1445.70 \text{ km}^2$ .

Le périmètre du sous-bassin Ksob (09) est de  $P=201.87 \text{ km}$ .

La surface du sous-bassin M'sila (10) est de  $A=2181.77 \text{ km}^2$ .


Le périmètre du sous-bassin M'sila (10) est de  $P=247.11 \text{ km}$ .

##### 3 – 1 – 2. Indice de forme ou indice de compacité Gravelius :

L'indice de compacité de Gravelius (1914)  $K_c$  est défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

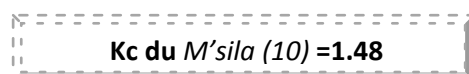
$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Cet indice est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieure à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.



**$K_c$  du Ksob (09) =1.48**

Le cas du sous-bassin (09) présente une forme allongée, cette forme induits de faibles débits de pointe de crue.



**$K_c$  du M'sila (10) =1.48**

Le cas du sous-bassin (10) présente une forme allongée, cette forme induits de faibles débits de pointe de crue.

##### 3 – 1 – 3. Le rectangle équivalent de Gravelius :

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

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

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

Soit L et l la longueur et la largeur du rectangle, et P et A le périmètre et l'aire du bassin versant.  
On a :

Donc L = 83.66Km et l = 17.25Km pour le sous-bassin du Ksob (09)

Et L = 102.24Km et l = 21.37Km pour le Sous-bassin de M'sila (10)

### 3 – 2. Le relief :

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

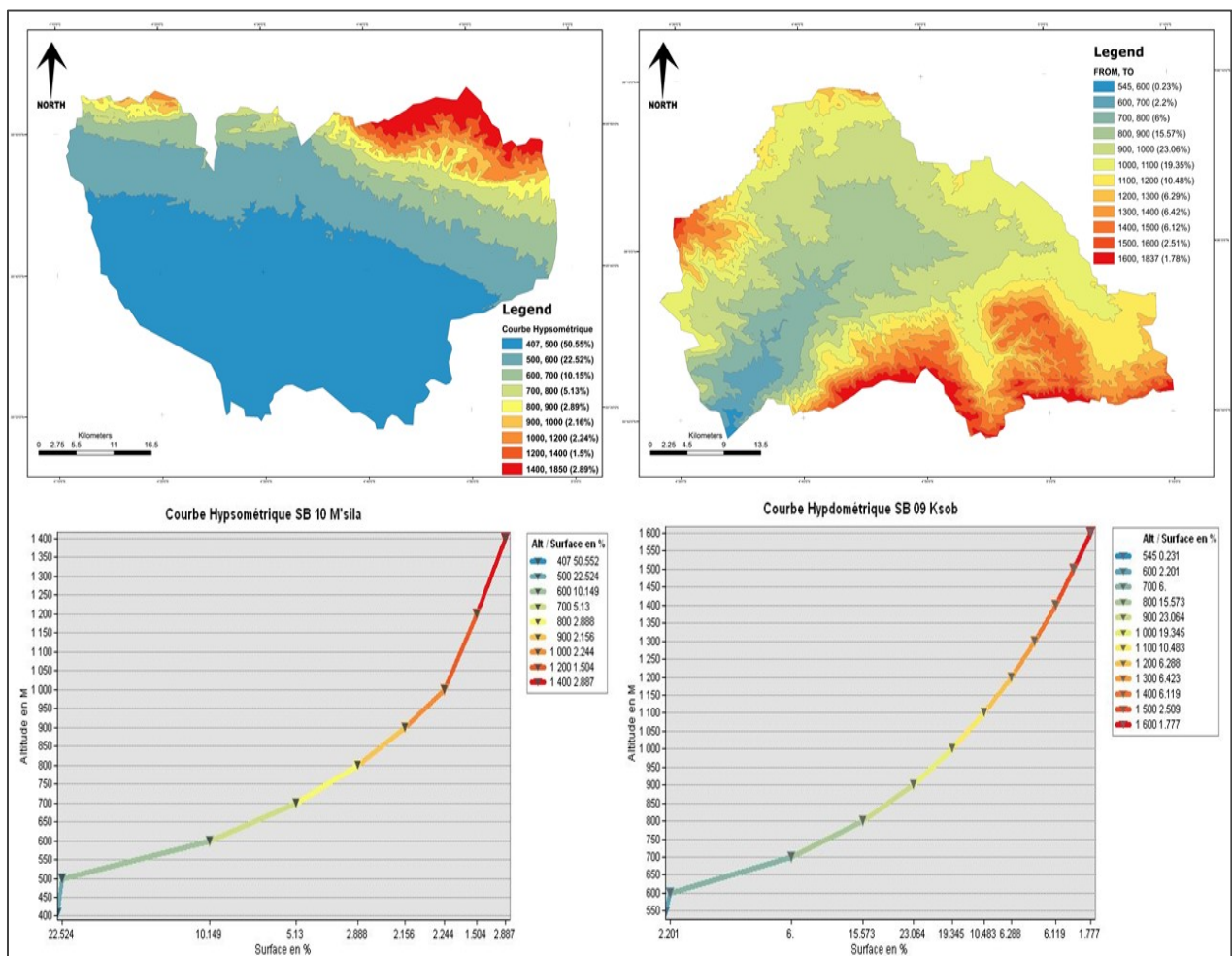
#### 3 – 2 – 1. La courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin.

Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

Elle porte en abscisse le pourcentage de surface cumulés du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée.

Carte (6) et Courbe Hypsométrique des deux Sous-Bassin



Carte (6) : Courbe Hypsométrique et la surface cumulée en %

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

La courbe hypsométrique du sous-bassin versant (09) du Ksob est présentée sur le graphique De forme légèrement concave, elle indique que le bassin est en état de maturité. La courbe hypsométrique du sous-bassin versant (10) de M'sila est présentée sur le graphique De forme concave, elle indique que le bassin est vieux, plaine douce près d'un cours d'eau ou l'altitude varie très peu malgré une superficie importante.

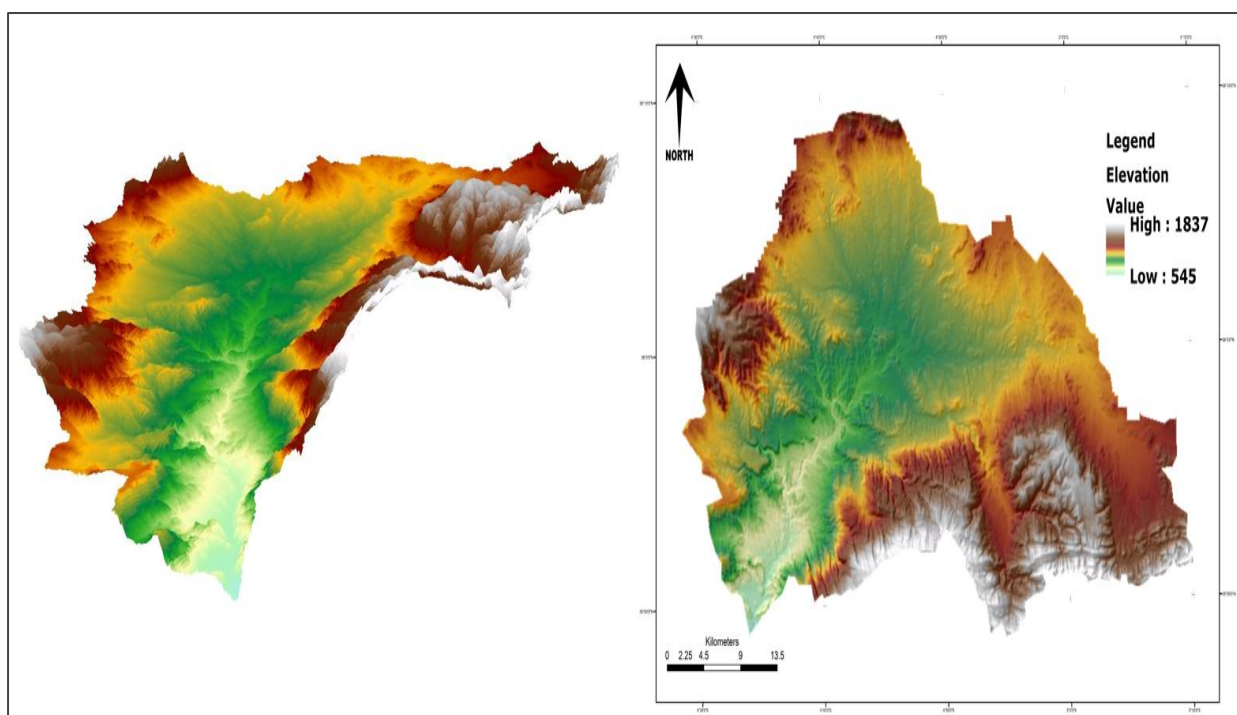
### 3 – 2 – 2. Les altitudes caractéristiques :

#### Les altitudes maximales et minimales :

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

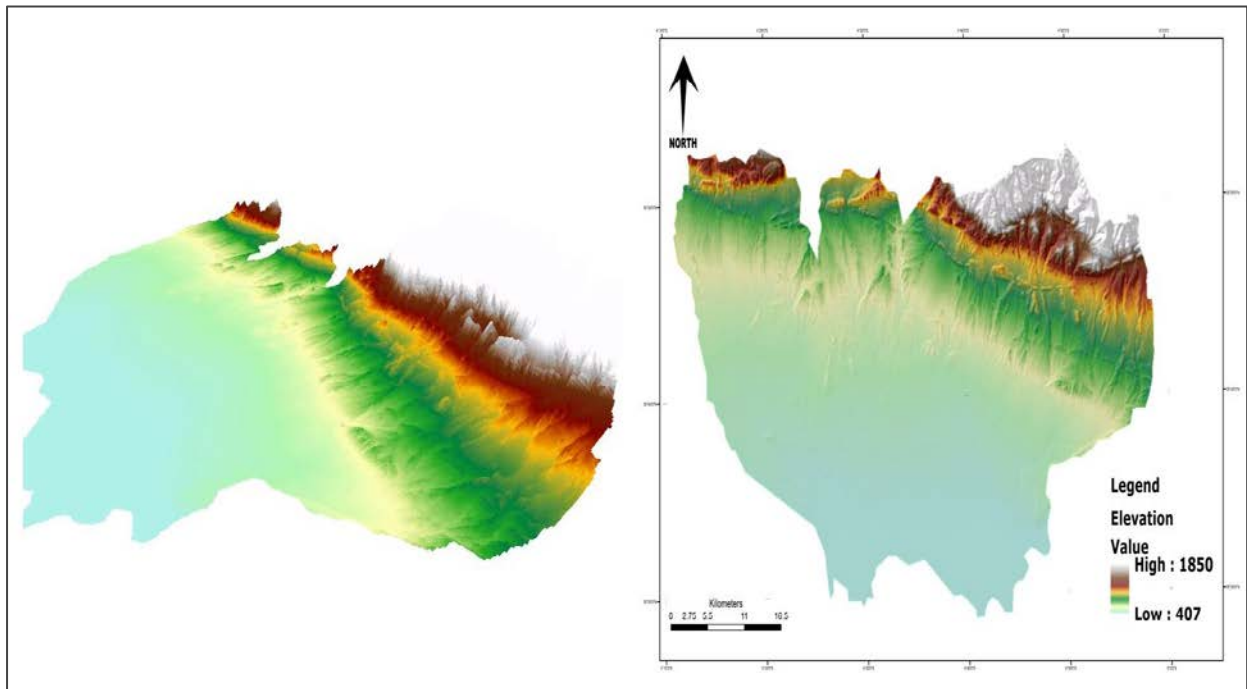
L'altitude maximale du Sous-bassin du Ksob (09) = **1837 m**

L'altitude minimale du Sous-bassin du Ksob (09) = **545 m**



Carte (7) d'Élévation + Génération 3D du MNT du SB 09 Ksob

L'altitude maximale du Sous-bassin de M'sila (10) = **1850 m**  
 L'altitude minimale du Sous-bassin de M'sila (10) = **407 m**



**Carte (8) d'Élévation + Génération 3D du MNT du SB 10 M'sila**

#### **L'altitude moyenne :**

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

Avec :

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i \cdot h_i}{A}$$

$H_{moy}$  : altitude moyenne du bassin [m] ;

$A_i$  : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>] ;

$h_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

$A$  : superficie totale du bassin versant [km<sup>2</sup>].

Donc :

**$H_{moy}$  du sous-bassin 09 Ksob = 890m**

**$H_{moy}$  du sous-bassin 10 M'sila = 834m**

#### **L'altitude médiane :**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne, dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

L'altitude médiane dans les sous-bassins 09 Ksob et 10 M'sila est respectivement **849 m** et **540 m**

### 3 – 2 – 3. L'indice global de pente :

Sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de A. On déduit les altitudes H5% et H 95% entre lesquelles s'inscrit 90% de l'aire du bassin et la dénivelée  $D = H5 - H 95$

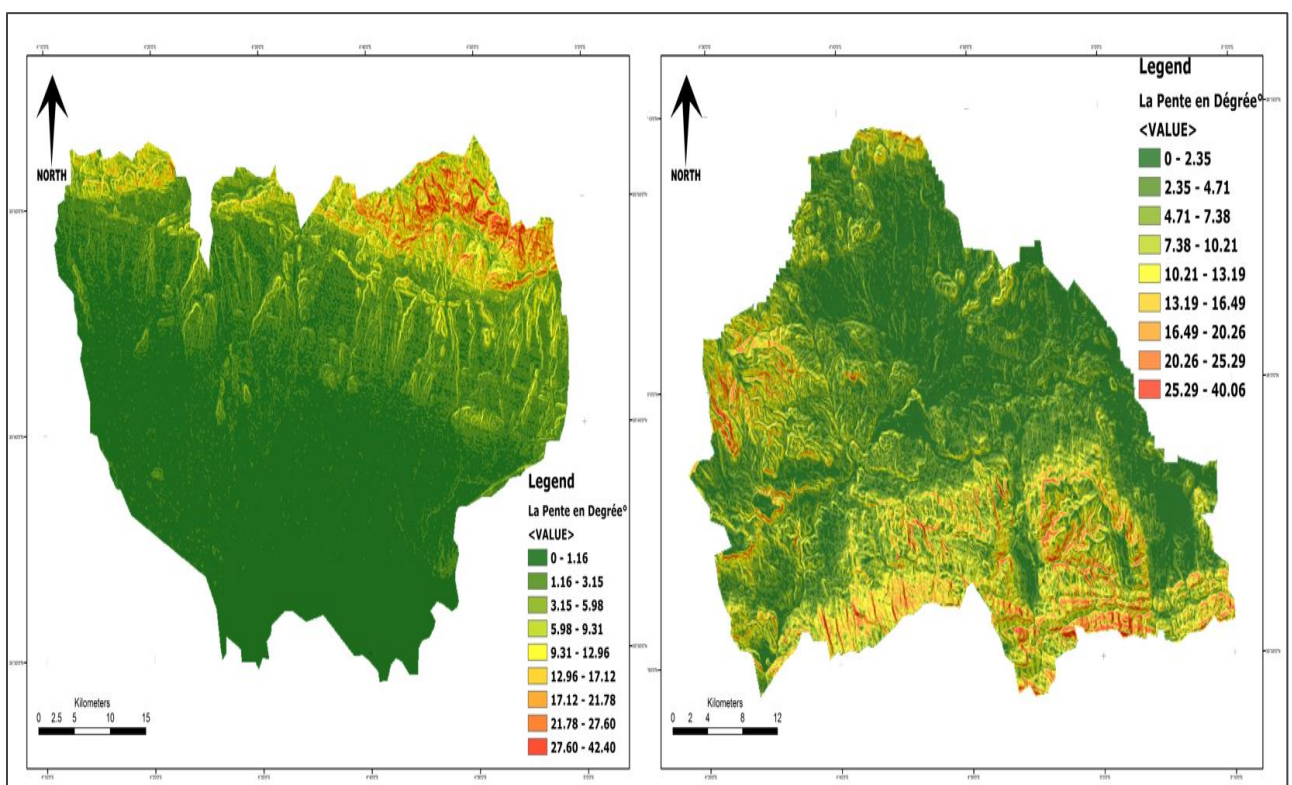
L'indice global est égal à :

$$I_G = \frac{D}{L}$$

Alors :

**Ig du sous-bassin 09 Ksob = 9.74**

**Ig du sous-bassin 10 M'sila = 5.21**



**Carte (9) :** représentation des pentes en Degrée

### 3 – 2 – 4. La pente moyenne d'un cours d'eau

La pente moyenne d'un cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

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

Où :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H_i}{L}$$

$P_{moy}$  : pente moyenne du cours d'eau [m/km].

$\Delta H$  : dénivellation maximale de la rivière [m]

$L$  : longueur du cours d'eau principal [km].

$$P_{moy} = (833-427) / 82.49 = 4.92 \text{ m/km}$$

### Dénivelé spécifique (Ds) :

Elle sert à la classification du bassin versant, calculée par la formule suivante :  $Ds = IG * \text{racine A}$

TAB N° (4) : Classification du relief selon LORSTOM

Classe	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
<b>Ds</b>	10	10 - 25	25 - 50	50 - 100	<b>100 - 250</b>	<b>250 - 500</b>	500+
<b>Type de Relief</b>	Relier très faible	Relief faible	Relief assez faible	Relief modéré	<b>Relief assez fort</b>	<b>Relief fort</b>	Relief très fort

**Ds du sous-bassin 09 Ksob =370.33** donc ce sous-bassin présente un **relief fort**

**Ds du sous-bassin 10 M'sila =243.35** donc ce sous-bassin présente un **relief assez fort** dans la partie nord-est et presque plat dans la plaine hodnéen.

### Vitesse d'écoulement de l'eau

Elle est donnée par l'expression suivante :  $Ve = Lp / Tc$

Avec :

$Tc$  : temps de concentration

$Lp$  : longueur du cours d'eau principale

Donc  **$Ve$  du Sous-bassin 09 Ksob = 2.75m/s.**

**$Ve$  Sous-bassin 10 M'sila = 2.8m/s**

## 3 – 3. Paramètres morphométrie :

### 3 – 3 – 1. Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux qui sont :

\*- **La géologie** : par sa grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence sur la forme du réseau hydrographique.

\*- **Le climat** : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.

\*- **La pente du terrain** : détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones de pente plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

\*- **La présence humaine** : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages,

l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Afin de caractériser le réseau hydrographique, il est souvent utile de reporter son tracé en plan sur une carte à une échelle adéquate. L'utilisation de l'imagerie spatiale est utile à cette identification. Divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique.

### **3 – 4. La topologie : structure du réseau et ordre des cours d'eau :**

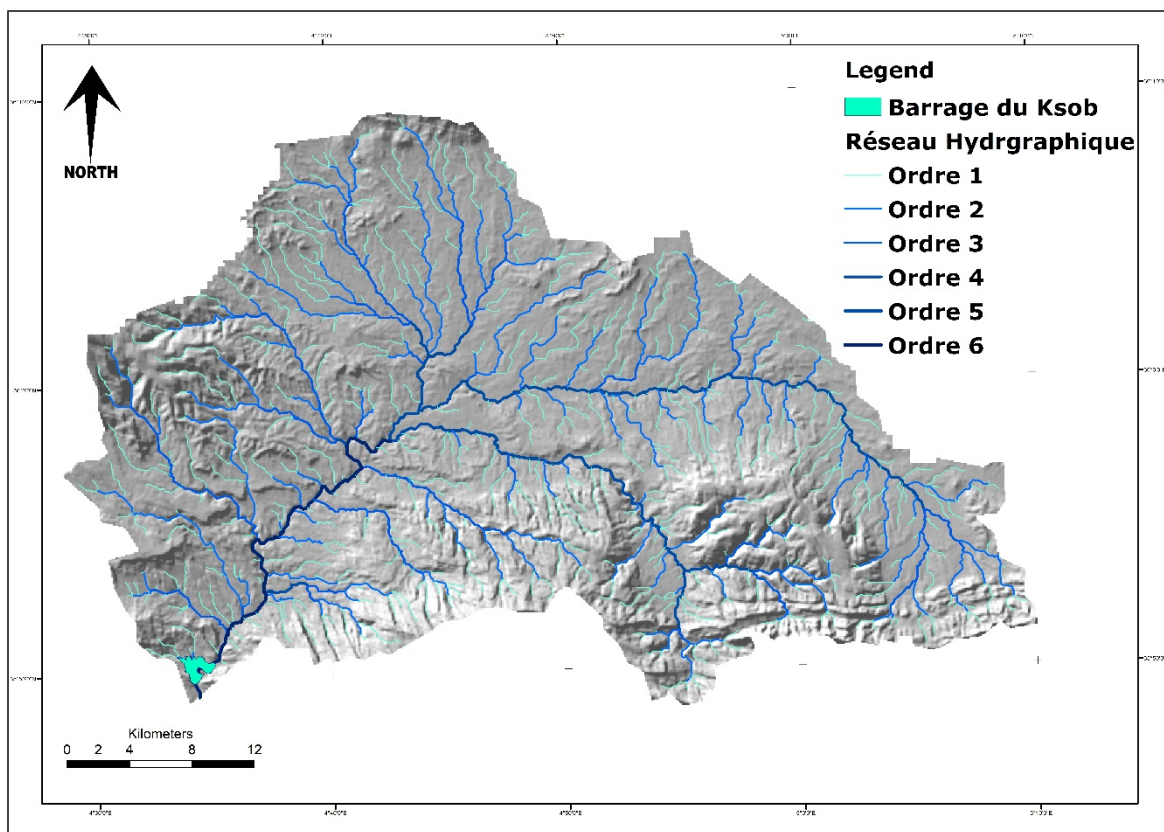
La topologie s'avère utile dans la description du réseau hydrographique notamment en proposant une classification de ceux-ci.

Cette classification est facilitée par un système de numérotation des tronçons de cours d'eau (rivière principale et affluente), la codification des cours d'eau est également utilisée pour le traitement

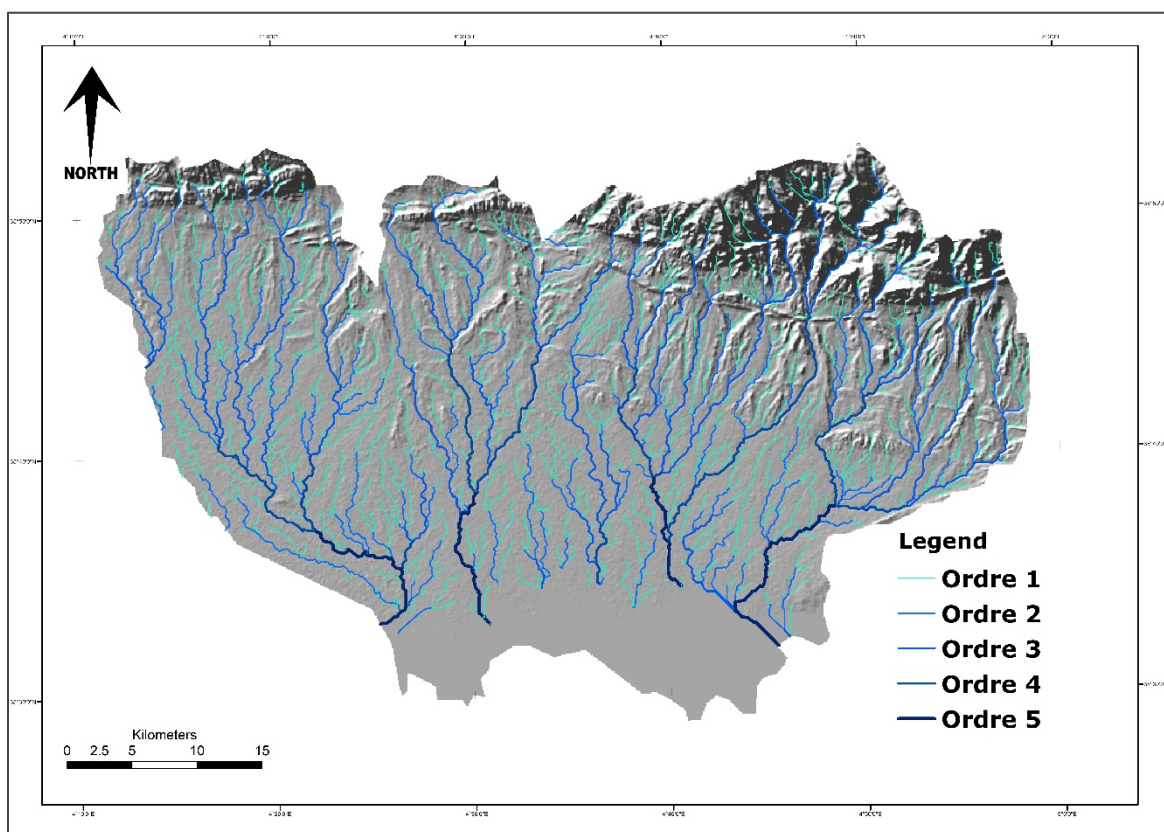
Il existe plusieurs types de classifications des tronçons des cours d'eau, dont la classification de Strahler (1957) qui est la plus utilisée.

Cette classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin de l'amont vers l'aval. Elle se base sur les règles suivantes :

- Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre un.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté d'un.



Carte (10) : Réseaux hydrographique du SB 09 Ksob

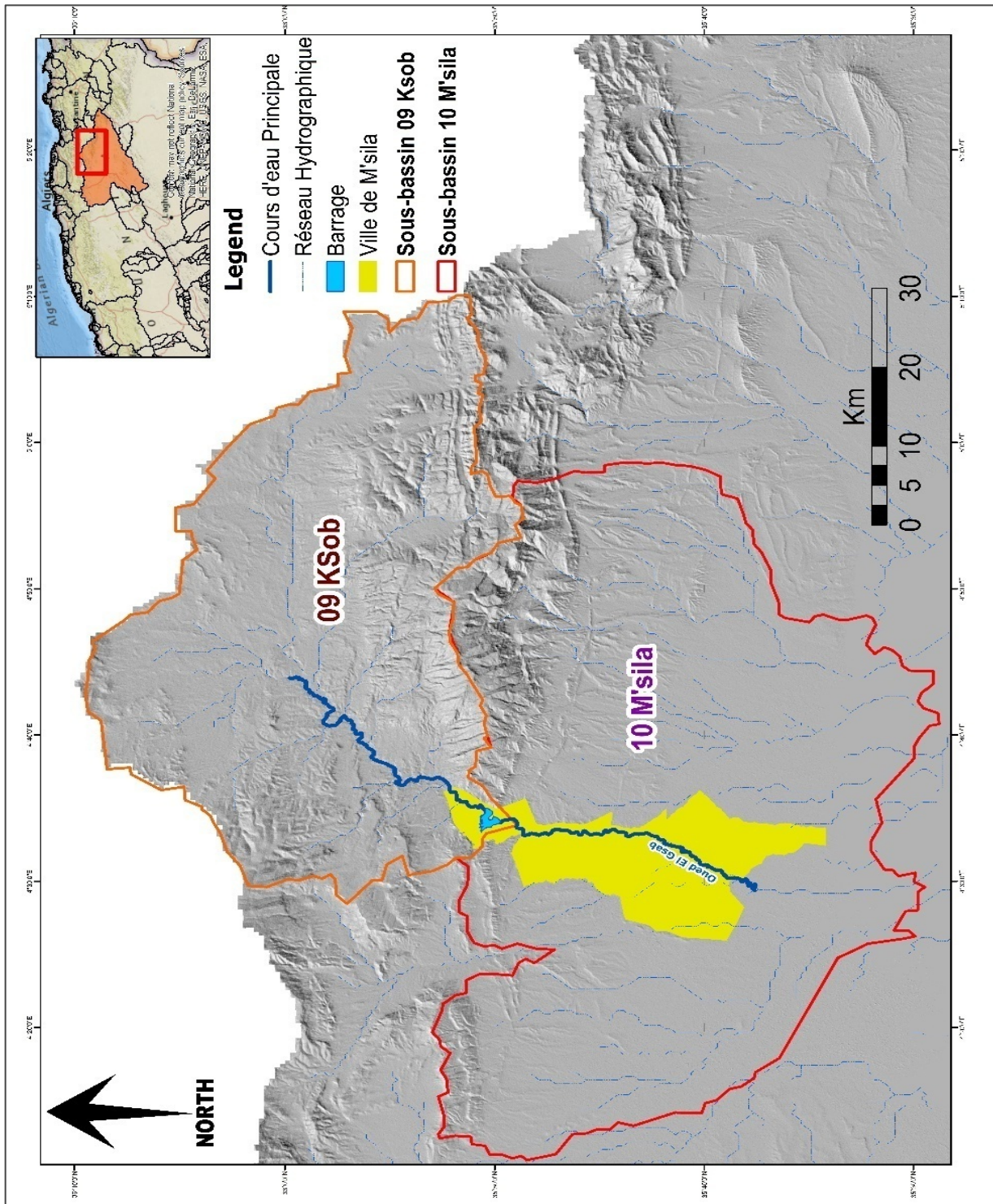


Carte (11) : Réseaux hydrographique du SB 10 Ksob

### 3 – 4 – 1. La longueur caractéristique :

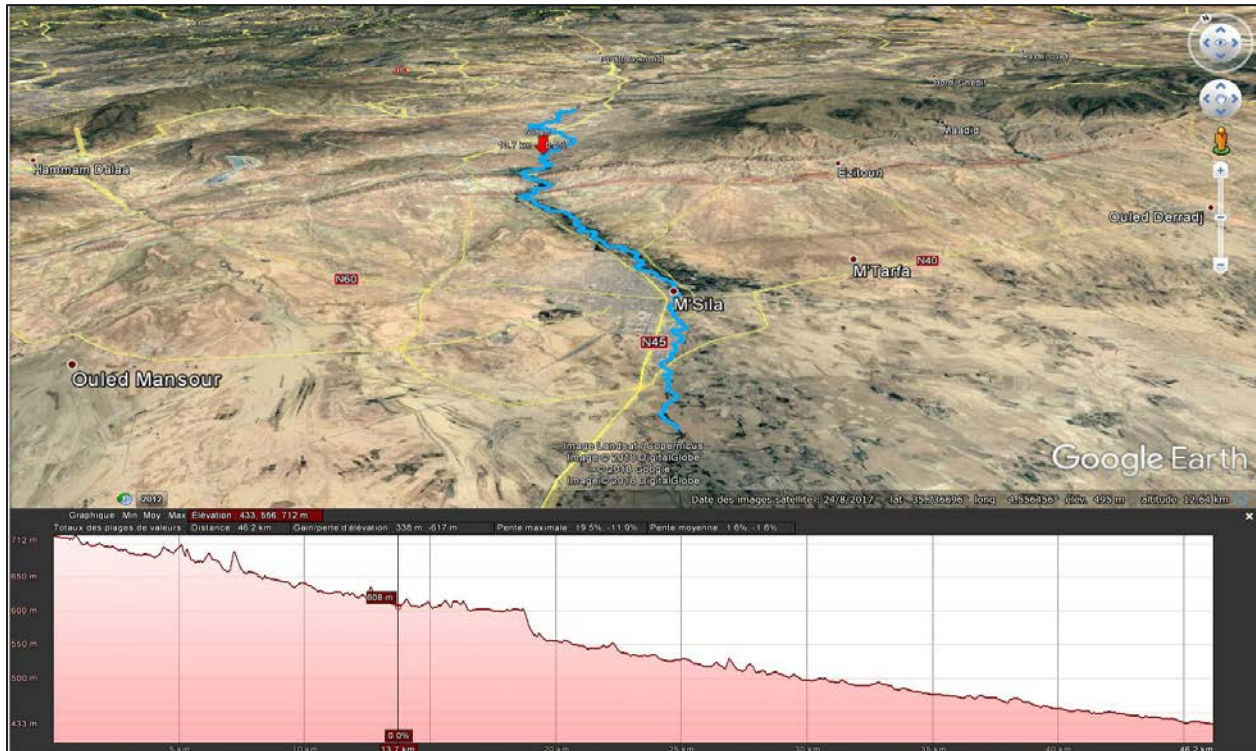
Un bassin versant se caractérise principalement par la longueur du cours d'eau principal (L) est la distance curviligne depuis la ligne de partage des eaux jusqu'à l'exutoire, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface.

(L) du Ksob = 82.49 km (calculer sur ArcMap).



Carte (12) : Cours d'eau principale dans nos Sous-bassins

Son profil longitudinal est schématisé sur l'image ci-dessous



Carte (13) : Profil du cours d'eau principale

### 3 – 4 – 2. La densité de drainage

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

Avec :

$D_d$  : densité de drainage [ $\text{km}/\text{km}^2$ ] ;

$L_j$  : longueur des cours d'eau [ $\text{km}$ ] ;

$A$  : surface du bassin versant [ $\text{km}^2$ ].

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

Donc la  $D_d$  du Sous-bassin 09 Ksob = 0.93 et  $D_d$  Sous-bassin 10 M'sila = 1.07.

Ceci traduit que ces bassins présentent dans leurs ensemble une formation géologique perméable, dont et l'écoulement est plutôt limité et centralisé ainsi que l'infiltration est augmentée.

### 3 – 4 – 3. La densité hydrographique :

La densité hydrographique représente le nombre des cours d'eau par unité de surface.

Où :

$F$  : densité hydrographique [ $\text{km}^{-2}$ ].

$N_j$  : nombre des cours d'eau.

$A$  : superficie du bassin [ $\text{km}^2$ ]

$$F = \frac{\sum N_j}{A}$$

Donc  $F$  du Sous-bassin 09 Ksob = 1.09 et  $F$  Sous-bassin 10 M'sila = 0.98, une faible densité de drainage et hydrographique, donc les bassins d'étude présentent une région à substratum perméable, et à relief peu accidenté.

### 3 – 4 – 4. Le rapport de confluence ;

Sur la base de la classification des cours d'eau, Horton (1932) et Schumm (1956) ont établi différentes lois :

$$\begin{aligned} RC &= N_u / N_{u+1} \\ RL &= L_u / L_{u-1} \end{aligned}$$

Avec :

RC : rapport de confluence des cours d'eau ("bifurcation ratio") ;

RL : rapport des longueurs des cours d'eau ;

$u$  : ordre d'un cours d'eau  $u$  varie entre 1 et  $w$  ( $w$  est l'ordre du cours d'eau principal, classification selon Strahler) ;

$N_u$  : nombre des cours d'eau d'ordre  $u$  ;  $N_{u+1}$  : nombre des cours d'eau d'ordre suivant ;

$L_u$  : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre  $u$  ;  $L_{u+1}$  longueur moyenne des cours d'eau *suivant*

Donc pour le Sous-Bassin 09 Ksob RC = 2.17 et RL = 1.90

Pour le Sous-Bassin 10 M'sila RC = 1.93 et RL = 1.96

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

### 3 – 4 – 5. La fréquence des cours d'eau :

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

Donc **F du Sous-bassin 09 Ksob = 0.55** et **F Sous-bassin 10 M'sila = 0.49**.

D'après ces valeurs on remarque que les sous-bassins présentent une fréquence plus au moins faible, ce qui traduit que le réseau hydrographique présente une hiérarchisation moyenne.

**3 – 4 – 6. Le temps de concentration** : des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

$$T_c = (4 \sqrt{S} + 1,5L_p) / 0,8 \sqrt{H_{moy} - H_{min}}$$

Avec :

**S** : Surface du Bassin

**L<sub>p</sub>** : longueur du cours d'eau principale

**H<sub>moy</sub>** : élévation moyenne du bassin.

**H<sub>min</sub>** élévation de l'exutoire le point le plus bas du bassin

Donc **T<sub>c</sub> du Sous-bassin 09 Ksob = 14.18 h.**

**T<sub>c</sub> Sous-bassin 10 M'sila = 15.15 h.**

Nous récapitulons les caractéristiques géométrique et morphométriques du bassin-versant de Ksob dans le suivant :

TAB N° (5) : Récapitulatif des paramètres géométrique et morphométrique

Caractéristiques Morphométriques et Hydrographiques	Résultat du SB 09Ksob	Observation	Résultat du SB 10M'sila	Observation
<b>Surface</b>	<b>1445.7</b>		<b>2181.77</b>	
<b>Périmètre</b>	<b>201.87</b>		<b>247.11</b>	
<b>Indice de compacité de Gravelius</b>	<b>1.4866</b>	<b>Forme allongée</b>	<b>1.4816</b>	<b>Forme allongée</b>
<b>L'altitude maximale</b>	<b>1837</b>		<b>1850</b>	
<b>L'altitude minimale</b>	<b>545</b>		<b>407</b>	
<b>L'altitude moyenne</b>	<b>890</b>		<b>834</b>	
<b>La dénivelée spécifique</b>	<b>370.33</b>	<b>Relief fort</b>	<b>243.35</b>	<b>Relief assez fort</b>
<b>Longueur du rectangle</b>	<b>83.66Km</b>		<b>102.24Km</b>	

<b>équivalent</b>				
<b>Largeur du rectangle équivalent</b>	<b>17.25Km</b>		<b>21.37Km</b>	
<b>Indice globale de pente</b>	<b>9.74</b>		<b>5.21</b>	
<b>Pente moyenne d'un cours d'eau principal</b>	<b>4.92m/Km (le cours d'eau principale passe par les deux SB donc la longueur est de 82.49Km=</b>			
<b>Densité de drainage Dd</b>	<b>0.93</b>	<b>Moins dense</b>	<b>1.07</b>	<b>Moins dense</b>
<b>La densité hydrographique : F</b>	<b>1.09</b>		<b>0.98</b>	
<b>Rapport de confluence des cours d'eau</b>	<b>2.17</b>		<b>1.93</b>	
<b>Rapport des longueurs des cours d'eau</b>	<b>1.90</b>		<b>1.96</b>	
<b>La fréquence des cours d'eau</b>	<b>0.55</b>		<b>0.49</b>	
<b>Temps de concentration</b>	<b>14.18h</b>		<b>15.15h</b>	
<b>Vitesse de l'écoulement de l'eau : Ve</b>	<b>2.75m/s</b>		<b>2.8m/s</b>	

#### 4 - Conclusion :

Les sous-bassins étudiés couvrent une superficie de 1445,7 Km<sup>2</sup> et 2181,77 Km<sup>2</sup> ; ils ont une forme allongée ( $K_c=1.4866$  et  $K_c=1.4816$ ), indiquant une compacité moyenne et un temps de concentration plus au moins lent des cours d'eau vers l'exutoire ( $T_c=14.18h$  et  $T_c=15.15h$ ), avec une pente moyenne de 4.92m/Km, densité de drainage de 0.93 et 1.07 et une densité hydrographique de l'ordre de 1.09 et 0.98 ainsi qu'un rapport de confluence de 2.17 et 1.93 et un rapport de longueurs de 1.90 et 1.96. Une fréquence des cours d'eaux de 0.55 et 0.49 ainsi qu'un temps de concentration de 14.18h et 15.15h respectivement avec une vitesse d'écoulement de 2.75m/s et 2.8m/s.

# *Troisième chapitre étude climatique et hydro climatique*

**1-Introduction**

**2-Etude du régime thermique**

**3-Synthèse climatique**

**4-Pluviométrie et série d'observations**

**5-Etude de crue**

## 1 – Introduction du Troisième Chapitre

De plus que les facteurs morphologiques et lithologiques précédemment étudiés vient s'ajouter les conditions du climat qui jouent un rôle essentiel dans les comportements hydrologiques des cours d'eaux (Roche 1963).

Afin d'expliquer de manière quantitative les différentes variables hydrologiques nous aurons besoin des variables spatio-temporelles des facteurs climatiques et pour cela ce chapitre sera dédié à l'étude du climat du sous-bassin hydrographique du Ksob.

## 2 - Etude de régime thermique :

La température est un facteur très important, qui conditionne les phénomènes et les paramètres du bilan hydrologique en particulier. L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elles qui nous permettent d'évaluer les déficits d'écoulement des bassins versants.

Pour cela nous disposons des données d'une seule station climatique, la station de B.B.A., située en milieu du bassin, avec une série homogène pour une période de 29 ans (1980- 2009), La figure (24), montre la variation des températures moyennes mensuelles interannuelles maximales, moyennes et minimales.

TAB. N° (7) : Les moyennes mensuelles interannuelles Des températures [1981-2009]

Mois													
T en C°	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
Max	10.4	12.0	15.3	18.4	24.1	30.4	34.4	33.7	27.8	22.1	15.2	11.0	21.23
Min	1.7	2.3	4.6	6.6	11.4	16.4	20.1	19.3	15.4	11.3	6.2	2.9	9.85
Moy	6.05	7.15	9.95	12.5	17.75	23.4	27.25	26.5	21.6	16.7	10.7	6.95	15.54

Source O.N.M [BORDJ BOU ARRERIDJ]

La saison chaude s'étend du mois de Mai jusqu'au mois de septembre avec une température Max en juillet et Min celle de janvier ce qui divise l'année en deux saisons thermiques.

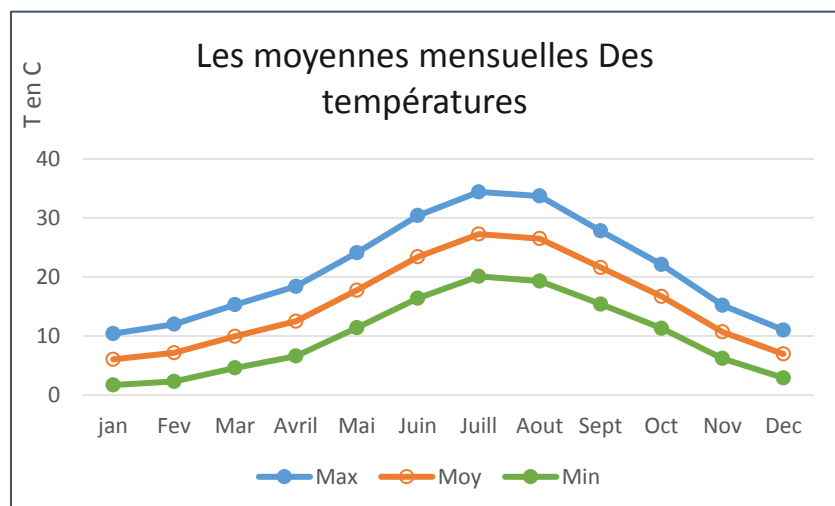


Fig. (25) : Les moyennes mensuelles Des température station BBA (ONM)

**2 – 1. Le Vent et le Sirocco :** les Vents du Nord-Ouest sont les plus dominant surtout pendant l’hiver ils sont généralement chargés de pluies et avec le Sirocco (vent Sud-ouest) qui prends le relais pendant la saison estivale et qui est définis étant le vent sec et chaud provoquant une hausse de température et la chute de l’humidité de l’atmosphère.

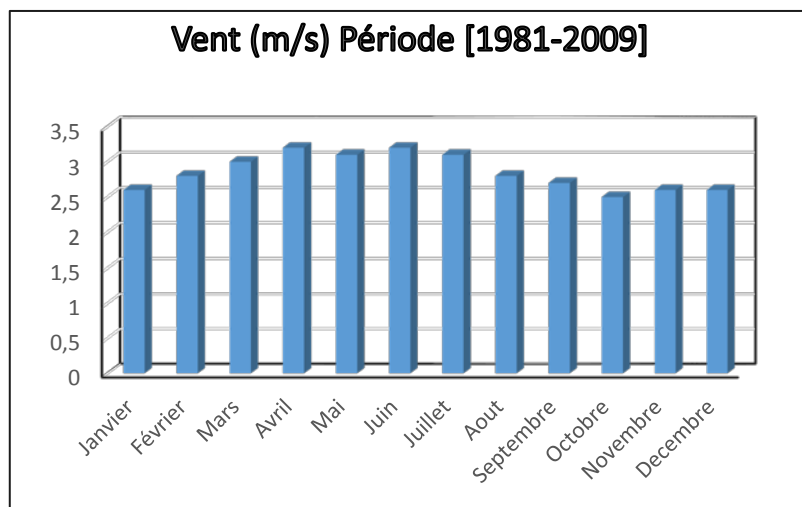
TAB N° (8) : Les vitesses moyennes mensuelles interannuelles des vents [1981 – 2009]

Mois													
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
Vents (m/s)	2.6	2.8	3.0	3.2	3.1	3.2	3.1	2.8	2.7	2.5	2.6	2.6	2.85

Source O.N.M [BORDJ BOU ARRERIDJ]

Fig. (26) : Histogramme de la Vitesse des Vents de la station B.B.A (O.N.M).

D’après l’observation de cet histogramme nous pouvons constater que les vitesses du vent sont plus élevées dans la période estival allant du mois de mars jusqu’au mois d’aout qui caractérise le sirocco dans cette période de l’année et un peu moins fort quant à la période hivernale caractériser par les vents nord-ouest



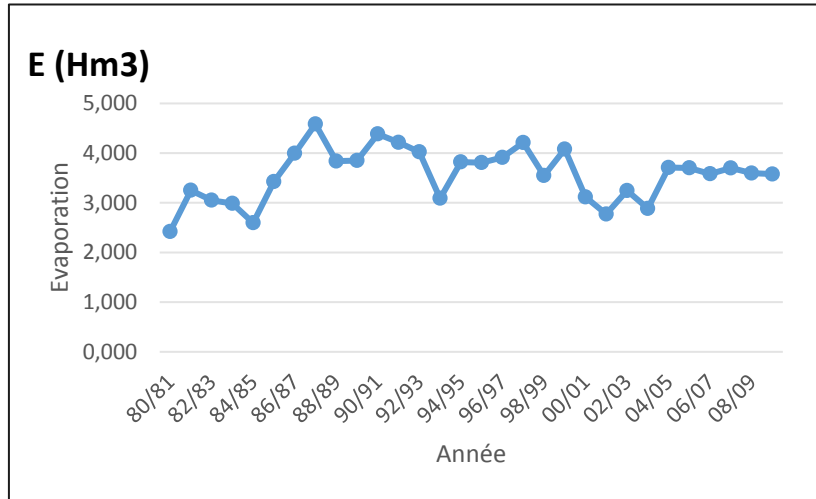
**2 – 2. Évaporation :** Disposant des mesures d’évaporation bac Colorado (évapomètre) de la station de Barrage Ksob avec une évaporation moyenne interannuelle calculée sur la base de ces mesures de 3.5657 Hm3 Sa répartition annuelle est comme suit :

TAB. N° (9) : évaporation annuelle observé par la station située dans le barrage Ksob.

Année	E (Hm3)	Année	E (Hm3)	Année	E (Hm3)
80/81	2,420	90/91	4,384	00/01	3,115
81/82	3,251	91/92	4,216	01/02	2,772
82/83	3,051	92/93	4,023	02/03	3,245
83/84	2,987	93/94	3,090	03/04	2,885
84/85	2,597	94/95	3,821	04/05	3,709
85/86	3,426	95/96	3,808	05/06	3,701
86/87	3,994	96/97	3,912	06/07	3,582
87/88	4,584	97/98	4,210	07/08	3,699
88/89	3,838	98/99	3,546	08/09	3,597
89/90	3,850	99/00	4,080	09/10	3,578

Fig. (27) Variation de l'évaporation annuelle

L'augmentation des températures ainsi que la répartition des précipitations et sous l'influence d'autres paramètres entraîne une augmentation de l'évaporation durant les mois observés sur cet histogramme.



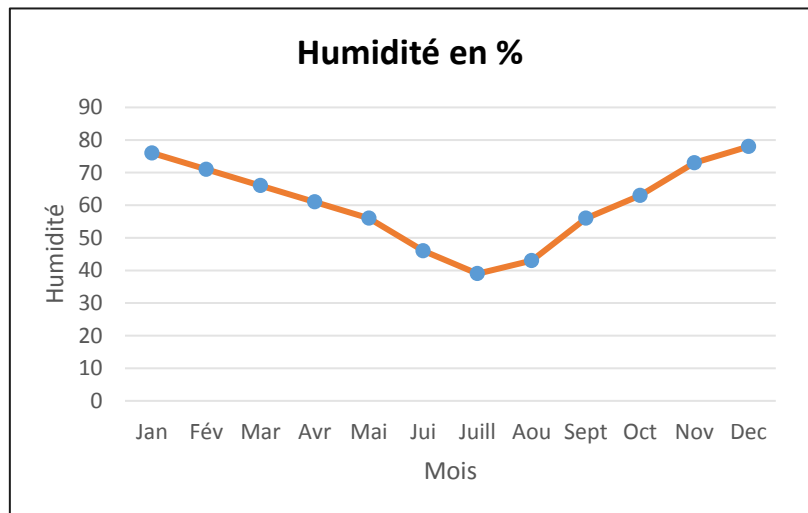
**2 – 3. Humidité relative :** c'est le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa) à la pression de la vapeur saturante (Pr) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et de pression.

TAB. N° (10) Les moyennes mensuelles interannuelles De l'humidité [1981-2009]. Source O.N.M [BORDJ BOU ARRERIDJ]

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
<b>Humidité (%)</b>	76	71	66	61	56	46	39	43	56	63	73	78	60.66

Fig. (28) : Les moyennes mensuelles interannuelles De l'humidité [1981-2009], B.B.A

L'humidité relative moyenne atteint son maximum en décembre (78%), par contre elle est faible en juillet avec (39%)



### 3 - Synthèse Climatique :

#### 3 – 1. Diagramme Ombro-thermique :

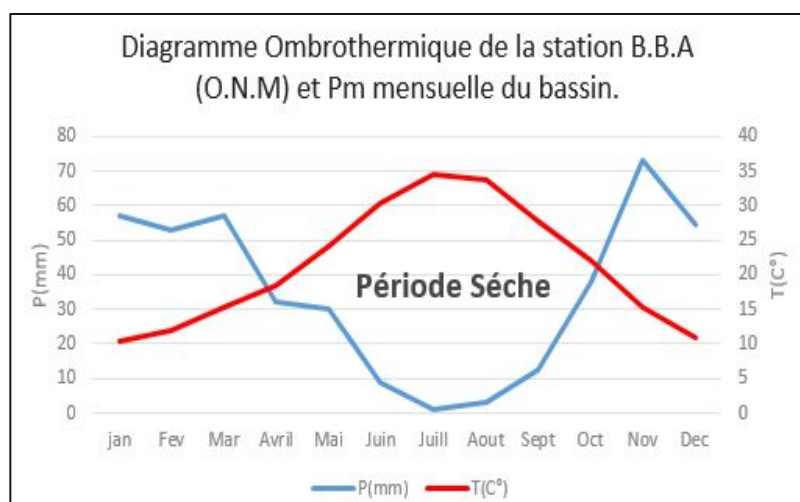
Nous permettons de préciser quelles sont les périodes sèches et humide ainsi qu'estimer le climat d'une région à l'aide des température et précipitations pour une période donnée. Sans oublier que l'échelle est  $P = 2T$

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
<b>Pmoy mm</b>	30.06	25.7	31.8	16	14	4	0.2	4	7	18	37	26

TAB. N° (11) Les moyennes mensuelles interannuelles des pluies [1981-2009]. Source O.N.M [BORDJ BOU ARRERIDJ]

Fig. (29) : Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOUL.

La période sèche s'étale à partir de fin avril et dure jusqu'à la fin du mois d'octobre soit une durée de 6 mois tandis que la période humide s'étend du début du mois de novembre jusqu'à début du mois d'avril ce qui nous fait une période de 6 mois presque aussi.



#### 3 – 2. Climagramme d'Emberger :

$$Q = 3.43 [(p/M-m)] \text{ d'où}$$

Q = Quotient pluviothermique d'EMBERGERM

M : Moyennes des températures maximales du mois le plus chaud

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid

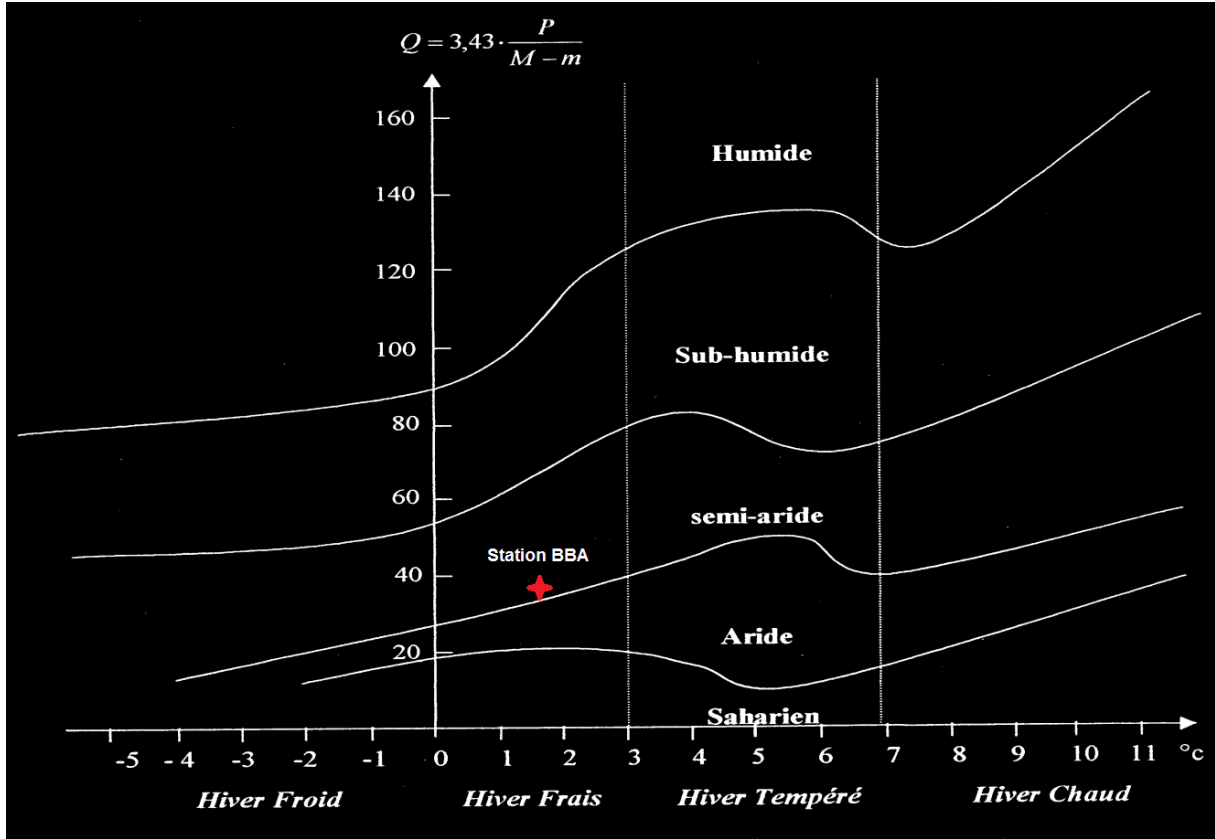
M-m : Amplitude thermique extrême moyenne

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

TAB N° (12) : Tableau des résultats de la Station BBA

Station	P Moy	M	m	Q	Etage Bioclimatique
BBA	352.3	34.4	1.7	36.95	Semi-aride à Hiver frais

Fig. N° (30) : L'étage bioclimatique de la station de BBA selon le Climagramme d'Emberger.



Donc l'étage bioclimatique de la station de BBA : climat semi-aride a hiver frais.

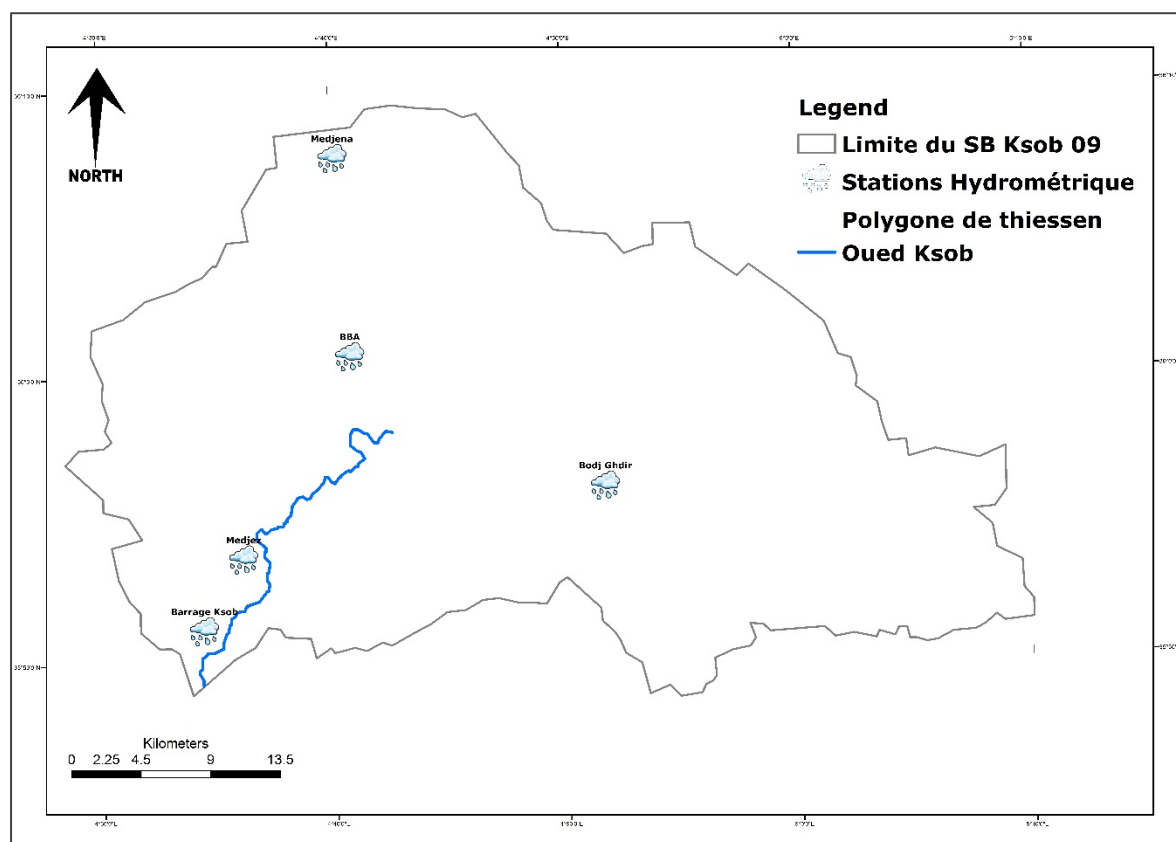
## 4 - La pluviométrie et les séries d'observation :

Pour notre bassin versant ; cinq stations pluviométriques ont été retenues, situées à l'intérieur du bassin, Ces stations sont réparties d'une manière homogène, dans la partie inférieure du sous-bassin 09 Ksob où le caractère montagneux est moyen dominant. Le tableau N° (01) ci-dessous présente les caractéristiques des stations pluviométriques utilisées dans cette étude.

TAB. N° (13) : Coordonnées des stations pluvio-hydrométriques et leurs codes.

Station	Code ANRH	Coordonnées Lambert [Km]		Altitude [m]
		X	Y	
Barrage Ksob	05 10 05	668.70	282.65	600
Medjez	05 09 01	673.35	289.65	636
Bordj Ghdir	05 09 04	698.40	292.20	1054
Medjana	05 09 06	677.75	316.20	1042
Bordj Bou Arreridj	05 09 05	677.37	302.62	922

Source : Données de l'ANRH et ANBT



Carte N° (14) : la localisation des stations Hydrométriques à travers le sous-bassin

## 4 – 1. Teste des données :

### 4 – 1 – 1. Homogénéité des observations :

Plusieurs causes peuvent être derrière la non homogénéité des observations, tel que

- ✚ Appareil de mesure devient de plus en plus défectueux (en raison du manque d'entretien et/ou d'inspection).
- ✚ Changement d'observateur.
- ✚ Changement de type d'appareil.
- ✚ Changement de méthode de dépouillement.
- ✚ Modification de l'environnement voisinant la station.
- ✚ Déplacement de la station.
- ✚ Changement climatique.

### 4 – 1 – 2. L'objectif de l'Homogénéisation :

En procède à l'homogénéisation des données afin de :

- ✚ Corriger ou d'écarter les valeurs incorrectes.
- ✚ Calculer des moyennes sur la période la plus long possible (dans notre cas 30 Ans) à partir des moyennes partielles obtenues avec des nombres d'années.

Le principe de cette méthode consiste à vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées à deux stations. L'une considérer comme une station de référence soi-disant correcte et l'autre la station à contrôler. D'une manière simple, rapide et réalisable.

### 4 – 1 – 3. Comblement des lacunes :

L'analyse des séries d'observations pluviométriques révèle que les stations disponibles présentent des lacunes à l'échelle annuelle (d'une à plusieurs années), ces lacunes sont dues soit à l'absence de l'observation soit à une défaillance du pluviomètre.

La restitution des données manquantes a été établie à l'aide de la méthode de corrélation linéaire qui consiste à estimer une valeur manquante d'une série pluviométrique lacunaire à partir des observations d'une autre série homogène (station de base).

L'équation de régression liant la station à homogénéiser à la station de référence est la suivante :

$$Y = aX + b$$

Avec :

Y : valeur estimée de la série à homogénéiser.

a : pente de la droite (coefficient angulaire de la droite de régression linéaire).

b : coordonnée à l'origine (constante).

X : valeur connue de la série homogène.

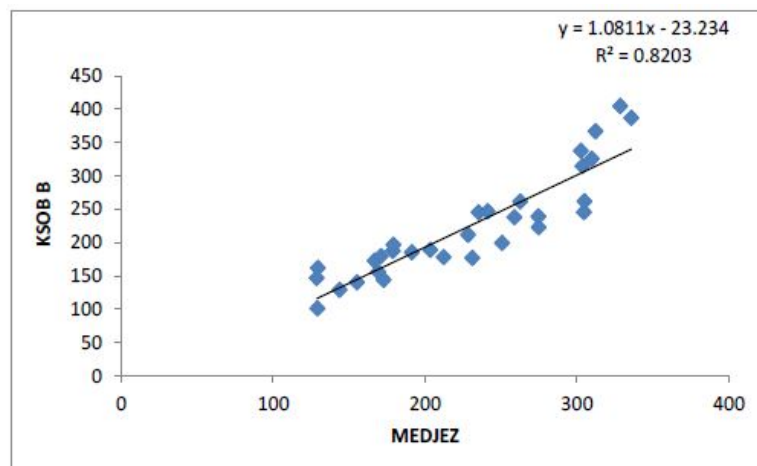
Donc :

$$Y = 1.0811X - 23.234$$

et le coefficient de détermination  $R^2 = 0.820$

$R = 0.905$  : Alors on constate que c'est une bonne corrélation

Fig N° (31) : Corrélation simple à l'échelle annuelle en la station du barrage Ksob et celle du Medjez



## 4 – 2. Analyse des précipitations sur l'ensemble de bassin :

Plusieurs méthodes sont proposées pour le calcul de la pluie moyenne annuelle et interannuelle précipitée sur le bassin versant :

- ✚ Moyenne arithmétique.
- ✚ La méthode de Thiessen.

### 4 – 2 – 1. La moyenne arithmétique :

Il s'agit d'une simple moyenne arithmétique des précipitations moyennes annuelles des stations pluviométriques relevées au même temps, aux différentes stations du bassin ou dans son voisinage pour une période déterminée.

Elle est déterminée par la relation :

$$P_m = \bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

$P_m$  : pluie moyenne annuelle ou interannuelle (mm).

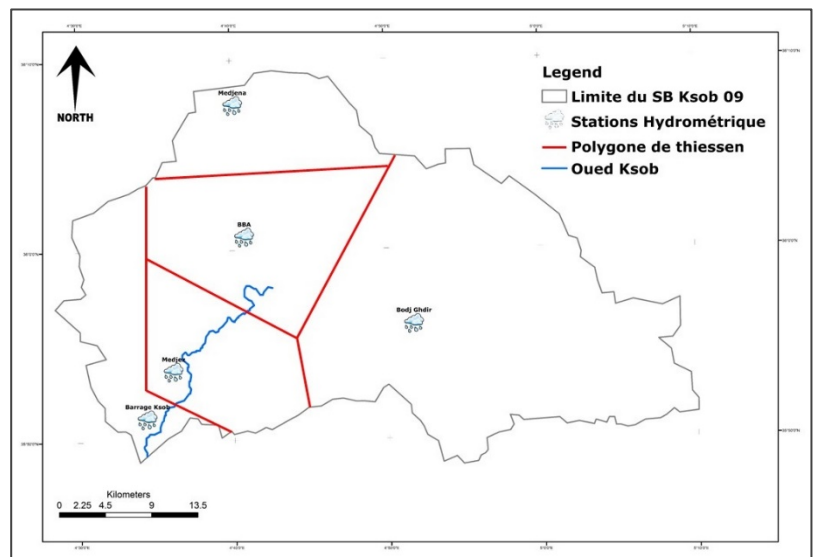
$P_i$  : pluie moyenne annuelle ou interannuelle de chaque station (mm).

$n$  : nombre de station d'observation ;  $n = 5$

Donc :  **$P_m = 336.02 \text{ mm}$**

### 4 – 2 – 2. Méthode de Thiessen :

C'est l'une des méthodes les plus rapides et les plus utilisées, elle consiste à tracer les médiatrices des triangles formés par les différents pluviographes ou pluviomètres. Les surfaces d'influence de ces derniers sont mesurées à l'aide du planimètre (en utilisant le logiciel ArcGIS10.3).



Carte N° (15) : Carte des Polygone de Thiessen

Pour notre bassin la pluviométrie moyenne est donnée par :

$$P_m = \bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot S_i}{S}$$

$P_m$  : pluie moyenne annuelle ou interannuelle du bassin [mm] ;

$P_i$  : pluie moyenne annuelle de la station [mm] ;

$S_i$  : surface élémentaire d'égale précipitation [km<sup>2</sup>] ;

$S$  : surface globale du bassin [Km<sup>2</sup>].

Les résultats sont répartis dans le tableau suivant :

TAB. N° (14) : Application de la méthode de Thiessen au calcul de la pluie moyenne

Station	Pi (mm)	Si (Km <sup>2</sup> )	Pi*Si
Barrage Ksob	220.54	137.6	30346.3
Medjez	236.9	164.3	38922.7
BBA	352.3	306.2	107874.3
Bordj Ghdir	421.7	668.1	281737.8
Medjana	448.7	169.5	76054.6
	<b>Total</b>	<b>1445.7</b>	<b>534935.7</b>
	$\Sigma (Pi*Si) /S$	<b>370</b>	

P moy obtenue par cette méthode est égale à 370 mm

TAB. N° (15) : Comparaison des pluies représentatives du Ksob calculées par différentes méthodes

Le Bassin Versant Ksob	La méthode	
	Moyenne Arithmétique	Méthode de Thiessen
	<b>336.02mm</b>	<b>370mm</b>

On peut alors déduire que presque la moitié du bassin versant possède une pluviométrie moyenne entre 330 et 370 mm en rapport avec la topographie qui diminue en générale du nord-est vers le sud-ouest et qui passe d'amont en aval de l'Oued du Ksob.

#### 4 – 2 – 3. Répartition pluviométrique interannuelle pour la station de Barrage Ksob :

Pour mieux saisir et préciser la variation pluviométrique annuelle, on s'est basé sur le coefficient de variation ; ce paramètre est très efficace pour mesurer le degré de dispersion relative des valeurs particulières autour de la moyenne globale.

Et afin de faire ces calculs nous avons eu besoin de faire appel à Hyfran Plus et nous avons eu les résultats suivants pour les observations de la station du Barrage Ksob :

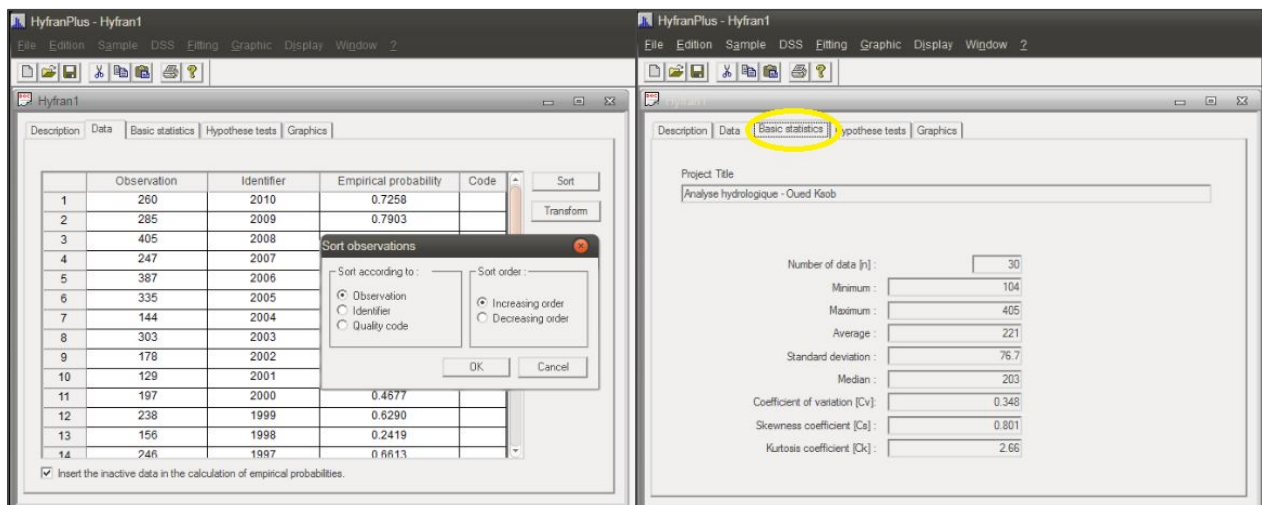


Fig N° (32) : Corrélation simple à l'échelle annuelle

Fig (33) : Observations sur papier de probabilité Normale

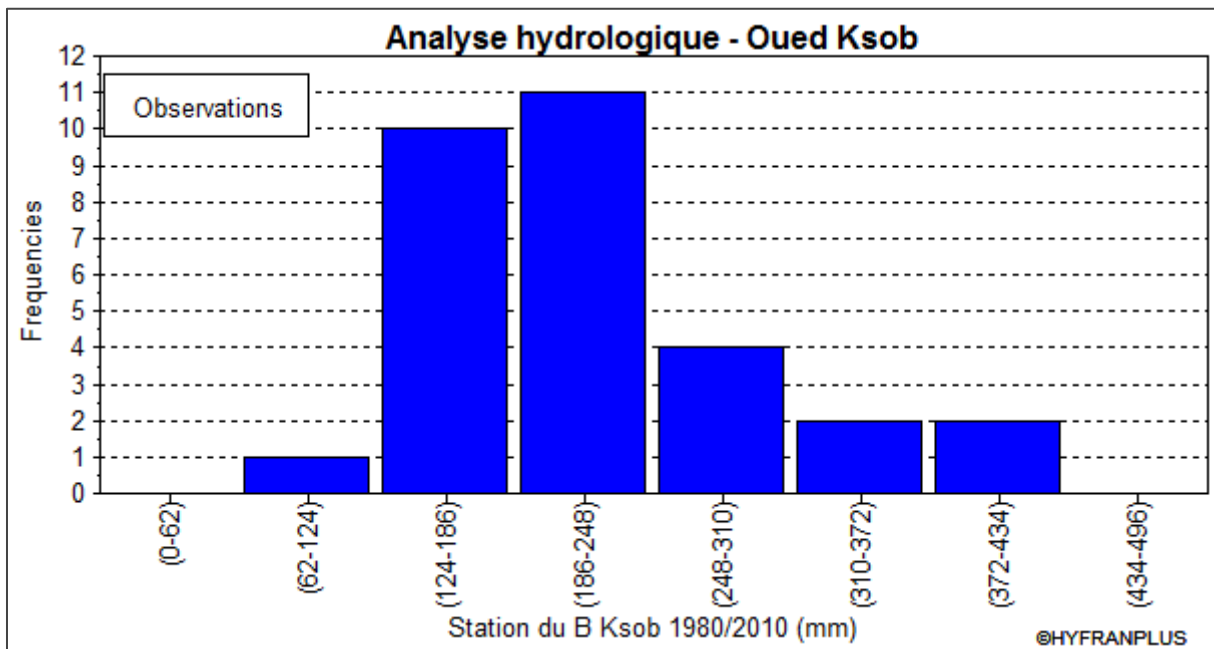
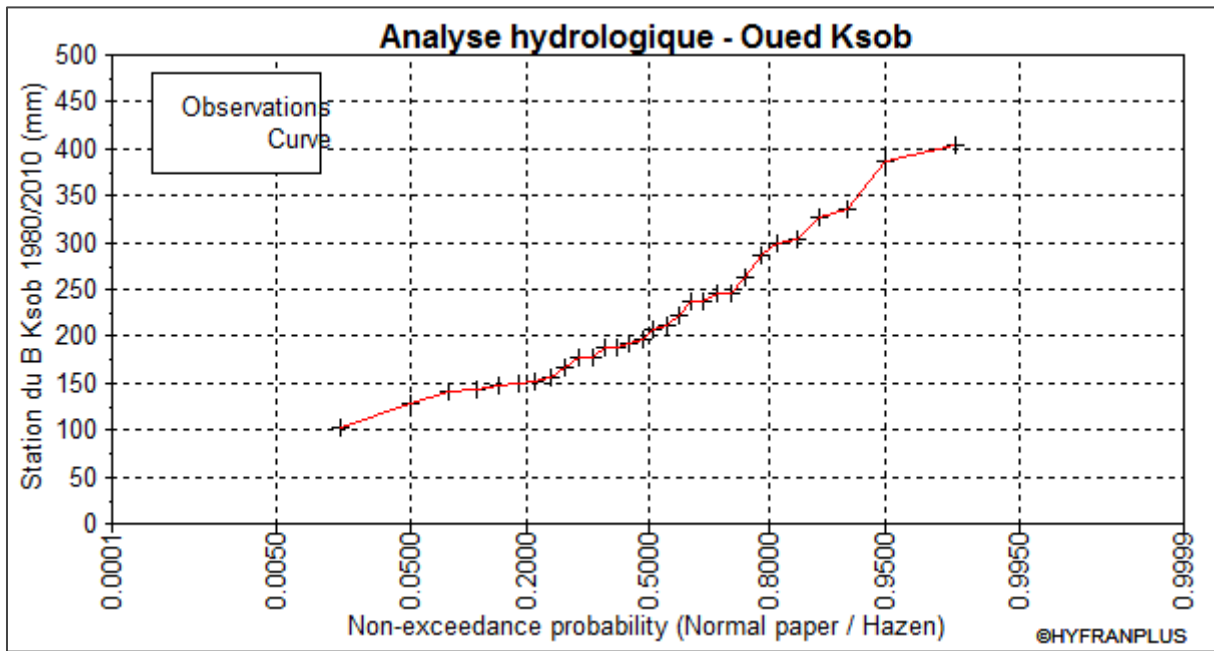


Fig (34) : Histogramme des observations classées par valeur [Nombre de classes =  $5 \cdot \log(n)$ ] Où n est la taille de l'échantillon

Ainsi que la courbe chronologique des données annuelles

Cette figure représente les pluies moyennes interannuelles max et min de notre station qui a une hauteurs pluviométriques moyennes interannuelles comprise entre 180mm et 230 mm

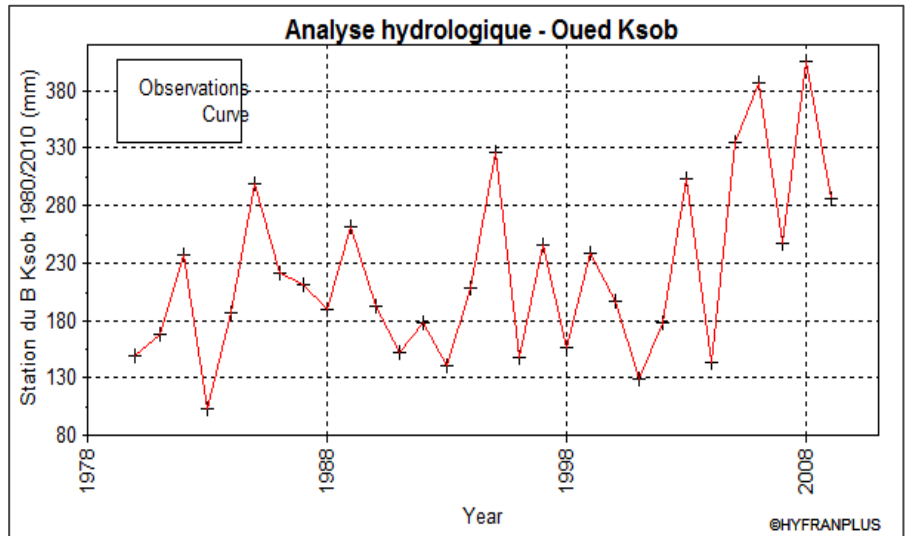


Fig (35) : Variation annuelle des précipitations

#### 4 – 2 – 4. Ajustement des précipitations annuelles à une loi de probabilité :

La caractérisation du régime de précipitation annuelles de notre station pour la période (1980 –2010) par le biais d'une loi d'ajustement de la distribution des pluies annuelles dans le but d'aboutir à une estimation des paramètres d'ajustement et calculer des variables réduites.

Pmax	Pmin	Pmoy	Ecart Type	Cv
405 mm	<b>104 mm</b>	<b>221 mm</b>	<b>76.7</b>	<b>0.348</b>

TAB. N° (16) : Tableau récapitulatif des résultats loi normale

#### 4 – 2 – 5. La loi Normale : Toujours avec HyfranPlus on obtient :

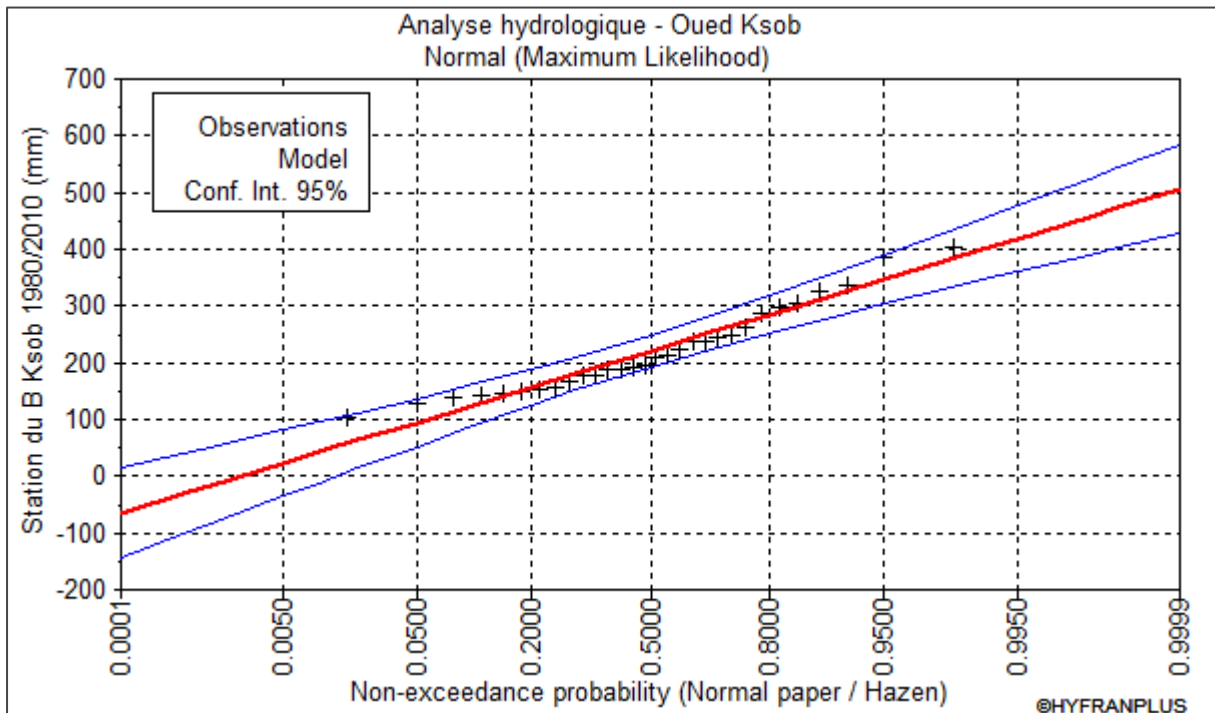


Fig (36) : Répartition statistique des pluies annuelles selon la loi NORMALE avec Hyfranplus

Ainsi que le test d'adéquation de Chi-deux  $X^2$  suivant :

Nombre de Classe	Degré de Liberté	$X^2$ calculé	$X^2$ Théorique
7	4	5.47	9.488

TAB. N° (17) : Tableau récapitulatif des résultats de Chi-deux loi normale

Le Chi-deux  $X^2$  calculé <  $X^2$  Théorique. On constate que la loi est adéquate.

Résultats de l'ajustement : la détermination des Période de Retour (T) ans.

Période de Retour (T) ans	Probabilité au non-dépassement (q) = f(x)	Pluie annuelle de fréquence f mm	L'écart-type	Intervalle de confiance
10000.0	0.9999	506	40.0	428 - 584
2000.0	0.9995	473	36.0	403 - 544
1000.0	0.9990	458	34.1	391 - 525
200.0	0.9950	418	29.5	361 - 476
100.0	0.9900	399	27.3	346 - 453
50.0	0.9800	378	25.0	329 - 427
20.0	0.9500	347	21.7	304 - 389
10.0	0.9000	319	19.0	282 - 356
5.0	0.8000	285	16.4	253 - 317
3.0	0.6667	254	14.7	225 - 282
2.0	0.5000	221	14.0	193 - 248

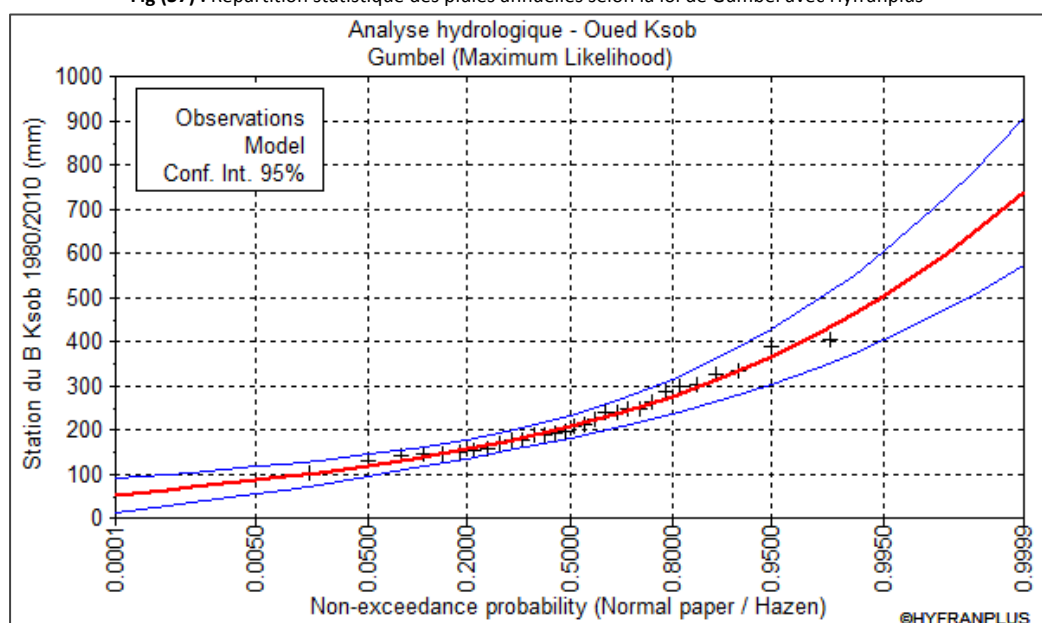
TAB. N° (18) : Tableau récapitulatif des résultats de l'ajustement loi normale

4 – 2 – 6. La loi de Gumbel : Toujours avec HyfranPlus on obtient :

Pmax	Pmin	Pmoy	Ecart Type	Cv
405 mm	104 mm	221 mm	76.7	0.35

TAB. N° (19) : Tableau récapitulatif des résultats loi Gumbel

Fig (37) : Répartition statistique des pluies annuelles selon la loi de Gumbel avec Hyfranplus



Ainsi que le test d'adéquation de Chi-deux  $X^2$  suivant :

Nombre de Classe	Degré de Liberté	$X^2$
7	4	2.67

TAB. N° (20) : Tableau récapitulatif des résultats de Chi-deux loi Gumbel

Résultats de l'ajustement :

Période de Retour (T) ans	Probabilité au non-dépassement (q) = f(x)	Pluie annuelle de fréquence f mm	L'écart-type	Intervalle de confiance
10000.0	0.9999	739	85.1	572 - 906
2000.0	0.9995	642	71.1	503 - 782
1000.0	0.9990	600	65.1	473 - 728
200.0	0.9950	504	51.2	403 - 604
100.0	0.9900	462	45.2	373 - 550
50.0	0.9800	420	39.3	343 - 497
20.0	0.9500	364	31.5	302 - 426
10.0	0.9000	321	25.7	270 - 371
5.0	0.8000	275	19.9	236 - 314
3.0	0.6667	240	15.8	209 - 271
2.0	0.5000	207	12.8	182 - 232

TAB. N° (21) : Tableau récapitulatif des résultats de l'ajustement loi Gumbel

## 5 - Etude des crues :

La circulation des débits exceptionnels dans les bassins versants se traduisent en crues, elles sont influencées par de nombreux paramètres 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 qui passe d'un débit nul à des débits de crues exceptionnels, exacerber par la grande irrégularité des Oued surtout en Algérie.

**5 – 1. Intensités de courtes durées :** Pour une période donnée la quantité de pluie tombée dans un temps donné 't' est donnée par la formule de K. BODY (1981) et adopté par l'ANRH :

**P** : pluies de courte durée (t) et de fréquence (f) (en mm).

**P<sub>j max f</sub>** : pluie journalière maximale de fréquence f (en mm).

**b** : exposant climatique de la station pluviométrique.

$$P = P_{j \max f} \left( \frac{t}{24} \right)^b$$

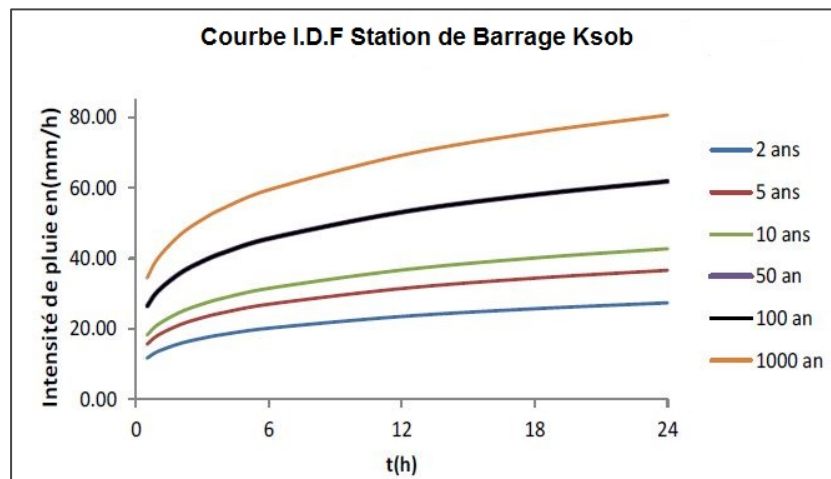
$$b = 1 + \{ [\ln (P_{j \max f} / 24) - \ln (25)] / [\ln (24) - \ln (0.5)] \} \Rightarrow b = 0.22$$

**t = T<sub>c</sub>** : temps de concentration durée en heure (Bennis, 2004).

Temps de Retour		2	5	10	50	100	1000
T(h)	f	0.5	0.8	0.9	0.98	0.99	0.999
0.5		11.69	15.63	18.23	23.97	26.40	34.41
1		13.61	18.20	21.24	27.92	30.74	40.08
2		15.86	21.20	24.74	32.52	35.81	46.68
3		17.33	23.18	27.04	35.55	39.15	51.04
4		18.47	24.69	28.81	37.87	41.71	54.37
6		20.19	26.99	31.50	41.40	45.60	59.44
12		23.52	31.44	36.69	48.23	53.11	69.23
18		25.71	34.37	40.11	52.73	58.07	75.69
24		27.39	36.62	42.73	56.17	61.86	80.64

TAB. N° (22) : Pluie de courte durée de la station du Barrage Ksob.

Fig (38) : Courbe intensité-durée-fréquence de la station Barrage Ksob.



**5 – 2. Différentes méthodes d'évaluation des crues :** la disponibilité des données influence en grande partie les différentes techniques de calcul de crues et pour cela une procédure unit n'a pas pu voir le jour encore, à partir des données disponibles nous allons faire une estimation des débits de pointes des crues à partir des formules empiriques suivantes :

#### 5 – 2 – 1. Formule de Mallet -Gauthier :

**Q<sub>max</sub>** : Intensité de la crue en m<sup>3</sup>/s

**K** : 2.5 ; Caractéristique climatique et topographique (k=2.5 à 3.5).

**A** : 25, pour le régime hydrologique méditerranéen.

**P<sub>0</sub>** : Pluie annuelle en mètre.

**S** : Surface du bassin.

**L** : Longueur du thalweg principal.

**T** : Temps de retour en années.

$$Q_{\max} = 2.k.\log(1 + A * P_0) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

### 5 – 2 – 2. Formule de Giandotti :

**Q<sub>max</sub>** : Débit max (m3/s)

**C** : coefficient topographique (0,13)

**S** : surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

**L** : longueur du talweg principale (km)

**P<sub>tc</sub>** : Pluie durant le temps de concentration T<sub>c</sub> (mm).

$$Q_{\max} = C * \left( \frac{166 * S * P_{Tc} \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}{(4 * \sqrt{S}) + 1.5 * L} \right)$$

**H** = H moy – H min.

### 5 – 2 – 3. Formule de Turazza :

**Q<sub>max</sub> = C. Ptc. S / 3.6 TC**

Q<sub>max</sub> = Débit max (m3/s)

C : Coefficient de ruissellement

P<sub>tc</sub> : Pluies de courte durée (mm)

S : Surface de bassin versant

T<sub>c</sub> : temps de concentration

### 5 – 2 – 4. Formule de SOKOLOVSKY :

**Q<sub>max</sub> = 0.28. Ptc. C. S. F / T<sub>m</sub>**

Q<sub>max</sub> = Débit max (m3/s)

P<sub>tc</sub> : Pluies de courte durée (mm)

C : Coefficient de ruissellement S : Surface de bassin versant

F : Coefficient de la formule de l'hydrogramme ; F = 0.75

T<sub>m</sub> : Temps de montée de la crue ; T<sub>m</sub> = T<sub>c</sub>.

TAB. N° (23) : récapitulatif des résultats de débit de crue.

Bassin du Ksob	Période	Formule				Moyenne
	de Retour	Mallet -Gauthier	Giandotti	Turazza	SOKOLOVSKY	
	10	764.22	711.31	571.11	368.57	603.80
	20	983.31	819.79	690.83	463.09	739.25
	50	1213.68	928.13	840.66	561.18	885.91
	100	1362.30	1019.82	958.48	646.59	996.79

Vue les résultats, on a une bonne concordance avec les observations, les valeurs adoptées sont celle de Sokolovski car elle est la plus utilisée en Algérie.

**5 – 3. Hydrogramme de crue :** La formule des crues (temps de montée et de décrue) est déterminée à l'aide de la méthode de **SOKOLOVSKY**, qui considère qu'il assimile l'Hydrogramme de crue a deux équations paraboliques l'une pour le temps de montée :

\*- Pour la montée :

$$Q_m = (Q_{\max}) \times \left( \frac{t}{t_m} \right)^n$$

\*- Pour la décrue :

$$Q_m = (Q_{\max}) \times \left( \frac{t_d - t}{t} \right)^m$$

Q<sub>m</sub> : débit instantané au moment (t)

Q<sub>max</sub> : débit maximum de fréquence donnée

t : est le temps de concentration

**tm et td** : sont respectivement temps de montée et de décrue.  
**m et n** : puissances des équations m=2 pour la montée, n= 3 pour la décrue.  
**td =  $\gamma \cdot tm$**  d'où  $\gamma$  : Coefficient de forme de l'Hydrogramme des crues.

TAB. N° (24) : Coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue  $\gamma$ .

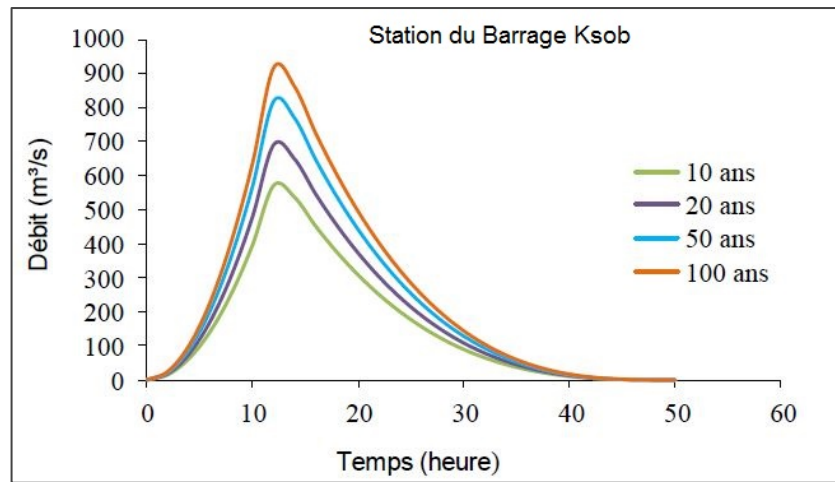
Condition	$\gamma$
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2 à 2,5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3 à 4
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4 à 7

D'après les caractéristiques du bassin versant on prend  $\gamma = 4$

TAB. N° (25) : Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour

T(h)	Année			
	10	20	50	100
0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	15,84	19,16	22,71	25,44
4	63,37	76,64	90,84	101,75
6	142,58	172,44	204,38	228,94
8	253,48	306,55	363,34	407,01
10	396,06	478,99	567,72	635,95
12	570,33	689,74	817,52	915,76
14	535,11	647,15	767,03	859,21
16	449,98	544,20	645,01	722,53
18	374,40	452,79	536,67	601,17
20	307,80	372,24	441,20	494,22
22	249,60	301,86	357,78	400,77
24	199,24	240,96	285,60	319,92
26	156,16	188,86	223,84	250,74
28	119,78	144,86	171,70	192,33
30	89,55	108,30	128,36	143,78
32	64,88	78,47	93,00	104,18
34	45,22	54,69	64,82	72,61
36	30,00	36,28	43,00	48,16
38	18,64	22,54	26,72	29,93
40	10,59	12,81	15,18	17,00
42	5,27	6,37	7,56	8,46
44	2,12	2,56	3,04	3,41
46	0,57	0,69	0,82	0,92
48	0,05	0,06	0,07	0,08
50	0,00	0,00	0,00	0,00

Fig (39) : Hydrogramme de crues des différentes périodes de retour.



## 6 - Conclusion :

Les caractéristiques climatiques des bassins versants sont étroitement liées à sa position géographique et son relief ; on relève de fortes variabilités spatiales et surtout temporelles des paramètres hydro climatiques, des températures et l'influence de l'évapotranspiration. La combinaison de ces conditions est déterminante dans le comportement hydrologique des diverses unités du bassin. Nous constatons que la période sèche dure cinq mois : Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre pendant ces mois les températures mensuelles sont bien supérieures à la moyenne annuelle tandis que les mois qui restent présente la saison froide et humide, la température maximale est enregistré au mois de Juillet d'une moyenne de 17.25 c° et la température minimale est de 1.7c° au mois de Janvier une telle répartition des période humides et secs à de lourdes conséquences sur l'hydrologie et l'hydrogéologie du bassin versant car durant les mois froids d'importants phénomènes se manifestent tels les baisses brusque de température qui peut engendrer des pluies génératrice de crues qui affectent directement l'écoulement fluviale, et loin de la période froide pendant la période chaude cette dernière ne reste pas sans répercussion vue le déficit pluviométrique et l'évapotranspiration le versant sera fragilisé asséché et dénudé comme résultat des longues période d'étiage et de tarissement qui dure dans notre cas jusqu'au mois de septembre.



# *Quatrième chapitre*

## *Cartographie et élaboration du PPRi*

- 1- Introduction**
- 2- Aléa et niveau de risque**
- 3- Cartographie de l'aléa sur le périmètre d'étude**
- 4- Modélisation hydraulique**
- 5- Cartographie des enjeux**
- 6- La prise en compte du risque, du zonage réglementaire et du règlement**
- 7- Cartographie du risque**
- 8- Cartographie du zonage réglementaire**
- 9- Intervention**
- 10- Conclusion générale**

## 1 – Introduction du Quatrième Chapitre

La nécessité de faire évoluer la politique globale de prévention et de gestion des inondations vers une plus grande prise en compte des risques dans l'aménagement du territoire au travers de PPRi est liée aux trois constatations suivantes :

- ✚ Un réseau hydrographique dense et complexe.
- ✚ L'aggravation des inondations et l'augmentation de la vulnérabilité.
- ✚ Des catastrophes récurrentes et un coût élevé des inondations pour la Société.

**Le contexte juridique :** La prise en compte par les pouvoirs publics des risques naturels prévisibles est une obligation. Elle découle de différents textes établis dans **la Loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004** relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, de plus quelques articles dans **la loi n° 05-12 du 28 jourmada ethania 1426 correspondant au 4 aout 2005 relative à l'eau** qui concerne les inondations dans le cadre du PPRi qu'ont essayé d'élaborer motionnés comme tel : **Chapitre 5 : de la prévention des risque d'inondation.**

- ✚ **Art. 53.** — " Pour assurer la protection des personnes et des biens implantés en aval des retenues d'eau superficielle et à proximité des oueds, et en conformité avec les dispositions législatives en vigueur en la matière, des dispositifs fixés par voie réglementaire, peuvent, le cas échéant, prévoir des instruments de prévision des crues et des mesures d'alerte et d'intervention.
- ✚ **Art. 54.** — Sur les digues de protection contre les inondations, il est interdit de labourer, de planter des arbres, de faire circuler des animaux ou de déployer toute activité pouvant détériorer la structure des ouvrages.

## 2 - Aléa et niveau de risque :

La notion d'aléa inondation regroupe un certain nombre de caractéristiques qui vont engendrer un risque éventuel (en fonction des enjeux présents ou non) et des préjudices plus ou moins marqués :

- ✚ La hauteur atteinte par les eaux est la première variable de l'aléa, elle conditionne l'étendue des zones touchées.
- ✚ La vitesse de l'eau constitue le deuxième facteur majeur de l'aléa, elle induit des détériorations supplémentaires (portes arrachées, cultures ravinées, etc.), des dangers pour les sinistrés.
- ✚ Enfin, la durée de submersion joue également un rôle important, on considère généralement que l'essentiel des dommages est atteint au bout de 2 jours, reste ensuite les questions de relogement temporaire des sinistrés, de réapprovisionnement, etc.

Les cartographies « classiques » des zones inondables permettent ainsi de localiser les phénomènes liés aux crues sur les territoires communaux. Par contre, ces documents ne quantifient pas la menace que font peser les écoulements sur ces terrains. En effet, la notion de danger sera différente selon que le terrain se situe sous 10 centimètres ou 2 mètres d'eau, avec des vitesses d'écoulement très faibles ou de plusieurs mètres par seconde.

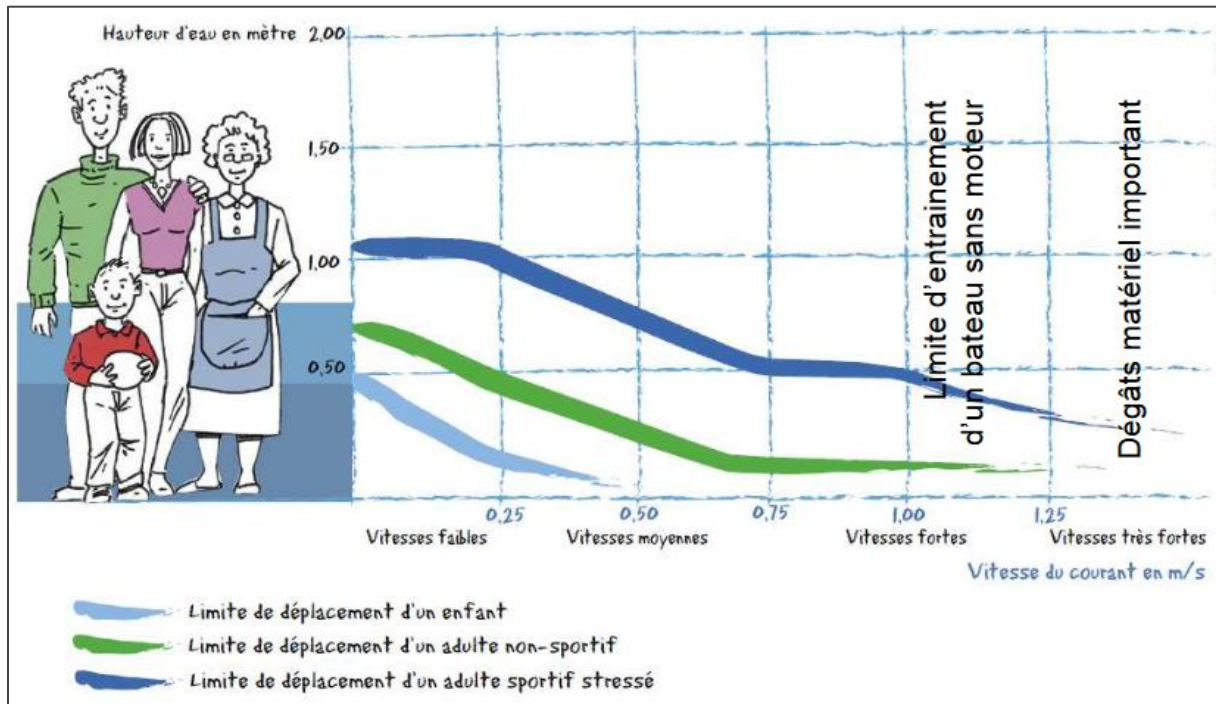
C'est pour cela que la notion de classe d'aléa a été introduite. Des niveaux d'aléas sont distingués en fonction des intensités associées aux paramètres physiques de la crue de référence (**hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, durée de submersion**).

Les grilles de classement utilisées pour notre PPRi sont présentées dans la section suivante.

**2 – 1. Quel risque pour les populations :** Le graphique ci-dessous reprend les conclusions d'une étude relative aux déplacements des personnes dans l'eau. Ce document met en évidence les

problèmes de protection des personnes en cas de crue. Le risque pour les personnes est fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse du courant : une faible hauteur d'eau (quelques dizaines de centimètres) peut suffire à entraîner un adulte en bonne condition physique et a fortiori les personnes moins résistantes. Les décès restent malheureusement fréquents, une part importante d'entre eux résultant de la négligence des conditions de sécurité (personnes s'engageant en voiture sur une route inondée,

Fig N° (39) : Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement (Source : guides du CEPR : Le maire face au risque d'inondation).



On s'aperçoit que :

- ✚ Pour un enfant, au-delà de 0,25 (0,25m pour la hauteur et 0,25 m/s pour la vitesse), il lui est quasiment impossible de rester debout.
- ✚ Pour un adulte non sportif, ces valeurs sont portées à 0,50 (0,50 m pour la hauteur et 0,50 m/s pour la vitesse).
- ✚ Pour un adulte sportif (stressé), il lui est difficile de rester debout au-delà de vitesses fortes (vitesse supérieure à 1,25 m/s)

### 3 - Cartographie de l'aléa sur le périmètre d'étude :

La cartographie de l'aléa sur le périmètre d'étude s'appuie sur les études complémentaires effectuées dans les chapitres précédents.

#### 3 – 1. Périmètre de l'étude et phénomènes traités :

Le périmètre d'étude du phénomène est celui du débordement latéral de L'oued du Ksob Allant du Bassin versant du Ksob N° 09 jusqu'au Bassin versant de M'sila N° 10 pour une longueur de 82 Km en passant par la ville de M'sila en plein centre urbain ancien parcourant des zones urbanisées, agricoles, d'activités industrielles et commerciale dont les secteurs les plus touchés et le plus

vulnérables sont ceux des quartiers populaires « Cité d'el Kouche » et « Cité d'el Argoub » qui présentent des habitats précaires dans la zone tampon près du Oued Ksob dans son lit Majeur, le périmètre d'étude qui nous intéresse et sur qui s'articule notre étude présente le tronçon de ce Oued au sein même de la ville de M'sila.

### 3 – 2. Détermination de la crue et de l'aléa de référence :

La première étape technique de réalisation d'un PPRi consiste à déterminer la crue qui va permettre de cartographier l'aléa, c'est à dire les zones inondées. Il est fondamental de se souvenir que la période de retour d'un événement correspond à une durée moyenne, c'est-à-dire à une durée statistique ou théorique sans jamais et en aucun cas faire référence à un quelconque cycle.

**TAB N° (26) :** Probabilité de voir une crue de fréquence donnée atteinte ou dépassée au moins une fois sur une période donnée (Source : guide méthodologique des PPR inondation)

	Sur 1 an	Sur 30 ans (continus)	Sur 100 ans (continus)
<b>Crue décennale (Fréquente)</b>	<b>10% ou</b> <b>1 «Chance» sur 10</b>	<b>96% ou presque</b> <b>surement 1 fois</b>	<b>99.997% soit</b> <b>surement 1 fois</b>
<b>Crue Centennale (Rare)</b>	<b>10% ou 1</b> <b>«Chance» sur 10</b>	<b>26% ou</b> <b>1 «Chance» sur 4</b>	<b>63% ou</b> <b>2 «Chance» sur 3</b>
<b>Crue millénaire (Exceptionnelle)</b>	<b>10% ou</b> <b>1 «Chance» sur 10</b>	<b>3% ou 1 «Chance»</b> <b>sur 33</b>	<b>10% ou 1</b> <b>«Chance» sur 10</b>

Pour notre PPRi la crue centennale théorique a été retenue. Celle-ci, appelée Q100, est considérée comme un événement rare qui a une probabilité de se produire de l'ordre de 1 % chaque année.

### 3 – 3. Historique des crues dans la ville de M'sila :

Les plus fortes crues connues depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle sont illustré dans le tableau suivant :

**TAB N° (27) :** Historique des crues dans la ville de M'sila.

La date	Localisation	Pertes	Précipitations (mm) et durée	Phénomènes
<b>10 Mai 1982</b>	El kouche et El Argoub	2 Morts, 6 Maison démolis et 30 SDF	60mm pendant 4 heures	Débordement de l'oued Ksob
<b>20 Octobre 1982</b>	El kouche et El Argoub	9 Maison démolis et 51 SDF	31mm pendant 11 heures	Débordement de l'oued Ksob
<b>29 Octobre 1982</b>	El kouche et El Argoub	7 Maison démolis et 41 SDF	22.3mm pendant 8heures	Débordement de l'oued Ksob
<b>11 Octobre 1991</b>	Centre-ville de M'sila	/	25.2mm pendant 10 heures	Inondation de plaine
<b>23 Septembre 1994</b>	El kouche et El Argoub	1 Mort, 251 Maison démolis et 810 SDF	110mm pendant 9heures	Débordement de l'oued Ksob
<b>13 et 14 Septembre 2006</b>	Jnan el Wali et ses environs	17 Familles sinistrées et plusieurs		Débordement de l'oued Ksob

		entreprises public endommagées		
<b>23 Septembre 2007</b>	El kouche et El Argoub	20 Morts	/	Débordement de l'oued Ksob
<b>12 Octobre 2007</b>	Cité Mouliha	20 Milliards de centimes de dégâts		Urbanisation sur plaine inondable

Source : Direction de la protection civile de la commune de M'sila

L'aléa de débordement d'Oued Ksob par des crues est fréquent et constituent autant de rappels de la violence des évènements hydrologiques et de la vulnérabilité des biens et des activités humaines, d'où l'intérêt que nous portons pour l'étude de ce tronçon que les quartiers les plus touchés d'après l'historique en fait partie.

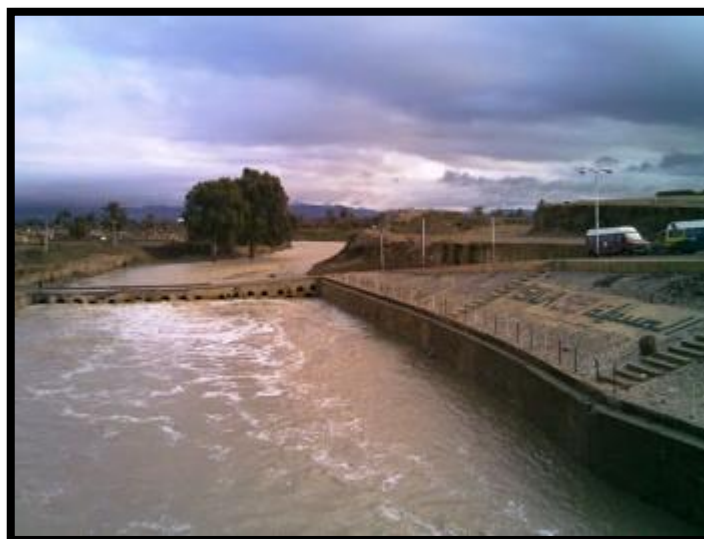


Fig N° (40) : Oued Ksob vue du pont Rahba près de la Cité d'el Kouche, source : le web

### **3 – 4. Crue centennale d'Oued Ksob :**

Notre PPRi se base sur la crue centennale théorique issue d'analyse et d'étude précédemment établis dont le débit instantané Maxima  $Q_{100} = 915.76 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **3 – 5. Dynamique des crues D'Oued Ksob :**

L'ordre de grandeur de la durée de la crue centennale d'Oued Ksob est d'environ 50 heures avec une montée de la crue de 12 heures. (Depuis l'hydrogramme de crue dans le chapitre précédent)

### **3 – 6. Crue d'Oued Ksob et le Barrage du Ksob :**

L'existence du barrage exploiter majoritairement dans l'irrigation en amont d'Oued Ksob peut modifier le régime naturel des crues, car ces ouvrages optent pour la rétention de volume grandiose d'eau et la restitution ultérieure contrôlée, avec des débits beaucoup plus faibles étalés dans le temps. Cela concerne les petites crues et les crues moyennes (fréquence approximativement décennale) et en ce qui concerne les fortes crues surtout les crues exceptionnelles (fréquence approximativement centennale), la gestion est telle que les ouvrages de dérivation de débit sont manœuvrés de façon à être "transparent", c'est à dire à n'avoir aucune influence sur les débits de crues importantes. Sans oublier que ce barrage est à un stade d'envasement avancé selon quelques études. En conclusion, on admettra que les hypothèses de débits à retenir pour la fréquence

d'occurrence centennale correspondent à l'évaluation du régime naturel, sans influence des retenues et dérivations artificielles pour l'exploitation hydraulique d'oued Ksob.

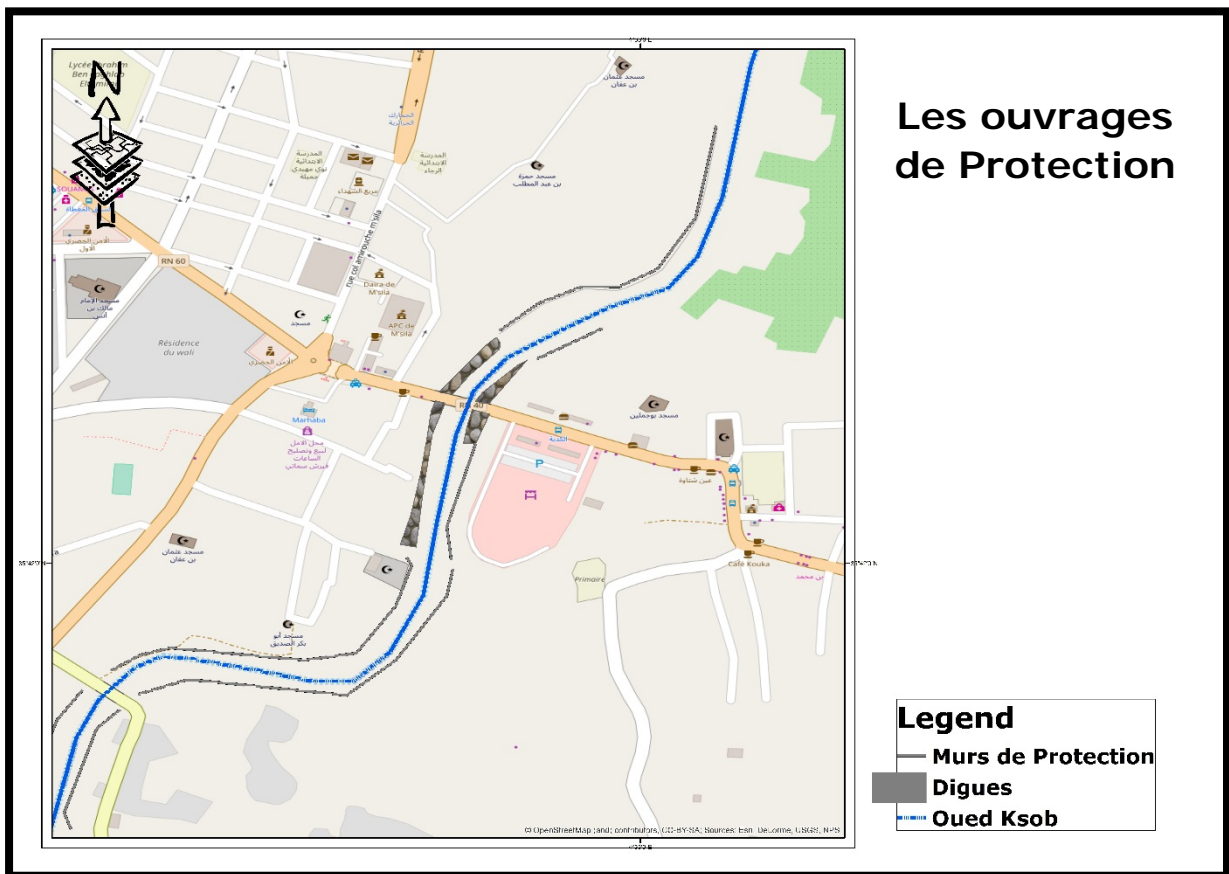
Il est aussi convenable de mentionner l'aspect le plus important de cette exploitation au sens défavorable à l'équilibre d'Oued Ksob :

- ✚ Du point de vue de la prise de conscience des risques hydrauliques par les citoyens, cette diminution du régime des crues courantes a également un effet psychologique, difficile à quantifier, mais certain qui démotive les populations concernées vis-à-vis des aménagements de protection et des mesures réglementaires, et qui accroît l'effet de surprise – donc le risque – lorsque survient la crue exceptionnelle à laquelle plus personne n'est habitué.

### 3 – 7. Etat des lieux des digues existantes sur notre tronçon :

La digue est un ouvrage qui se trouve en élévation par rapport au niveau du terrain naturel et qui crée temporairement entre deux parties d'une même zone inondable une différence de "charge hydraulique". L'ouvrage est donc soumis à des forces contre lesquelles il doit être correctement dimensionné pour résister. Les digues sont des ouvrages qui protègent un territoire, jusqu'à un niveau d'eau connu.

Carte N° (16) : Représente une illustration des digues présente dans notre périmètre d'étude.



Pour évaluer l'efficacité de ces ouvrages de protection nous avons effectué une simulation 3D à l'aide du logiciel "Infrawork 360" avec l'extension "2DFlow" d'un débordement d'une crue d'un Débit de  $900 \text{ m}^3/\text{s}$  très proche de celui retenue dans notre étude désignant notre crue centennale qui est de  $915 \text{ m}^3/\text{s}$  et nous l'avons analysé en testant le mur de protection prêt de la Cité d'el Kouche, l'une

des zone urbaines la plus touché par cet aléa avec les dimensions réelles de cette ouvrage ainsi que la topologie du terrain et du cours d'eau , seule les soit disant habitations ont été conçu en 3D à titre d'exemple pour l'appui de notre modèle de simulation, les résultats illustrant cet ouvrage ainsi que sa fiabilité sont affiché dans les figure 41 et 42

Après une bonne réflexion sur les résultats, apparemment cet ouvrage n'a pas joué le rôle impératif de protection comme on peut le voir la Cité d'el Kouche complètement est sous l'eau donc on peut conclure que cet ouvrage et tant d'autre présent sur le tronçon étudié ne prennent pas en considération tout le périmètre de débordement qui faudra stopper et donne seulement une fausse sensation de sécurité aux citoyens.

Fig N° (41) : Modélisation de l'ouvrage avec Infracwork 360

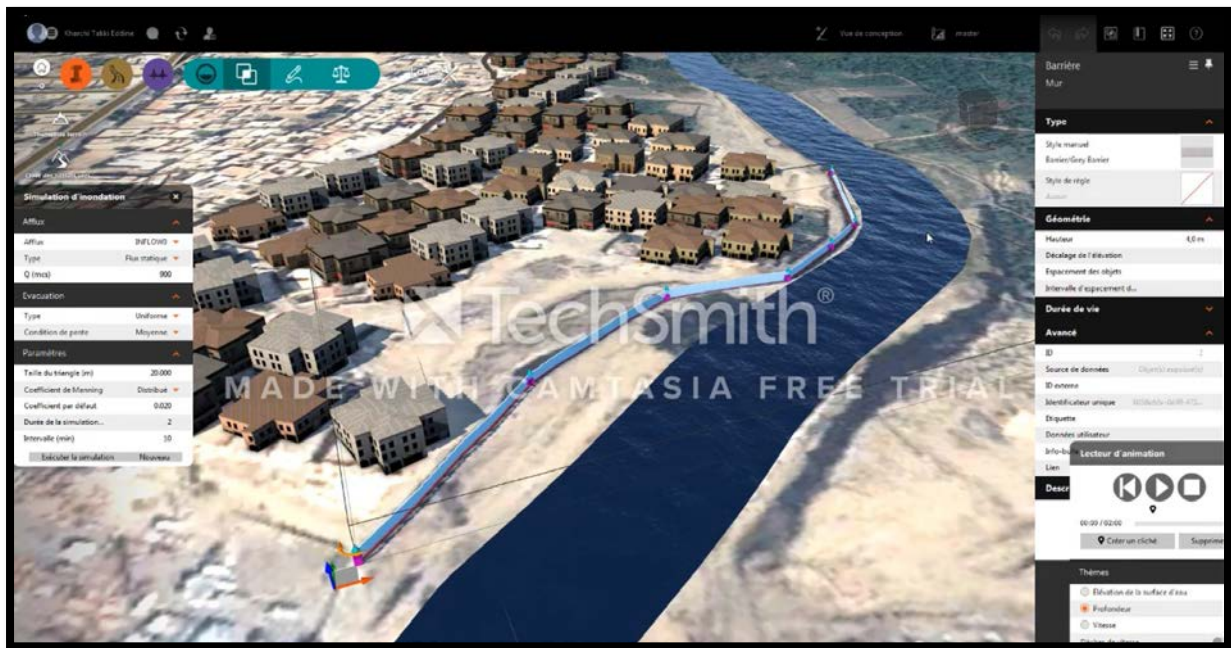
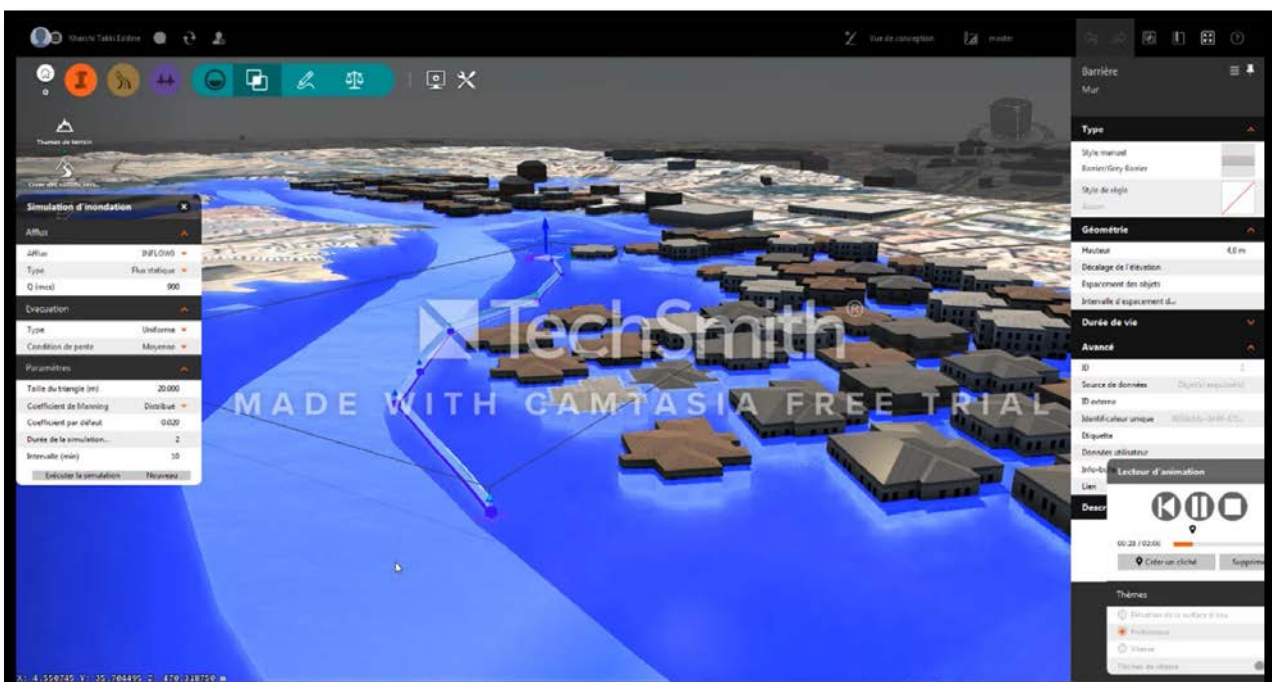


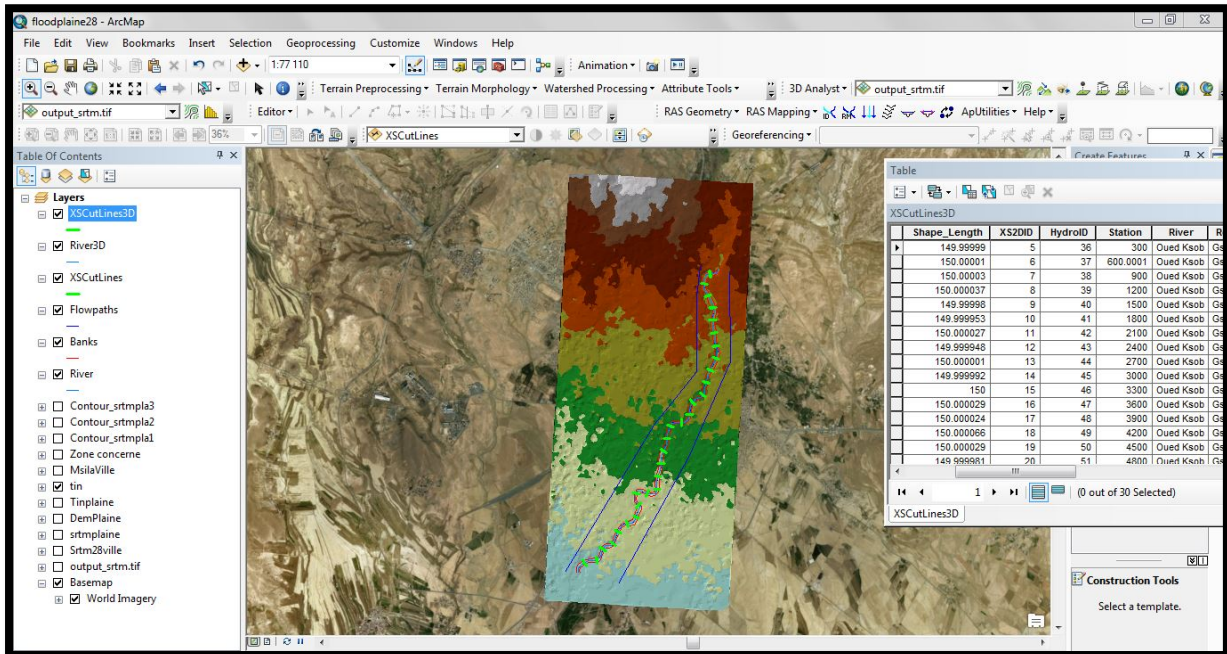
Fig N° (42) : Simulation de l'inondation de Débit 900M3/s avec 2Dflow sur Infracwork 360



## 4 - Modélisation hydraulique :

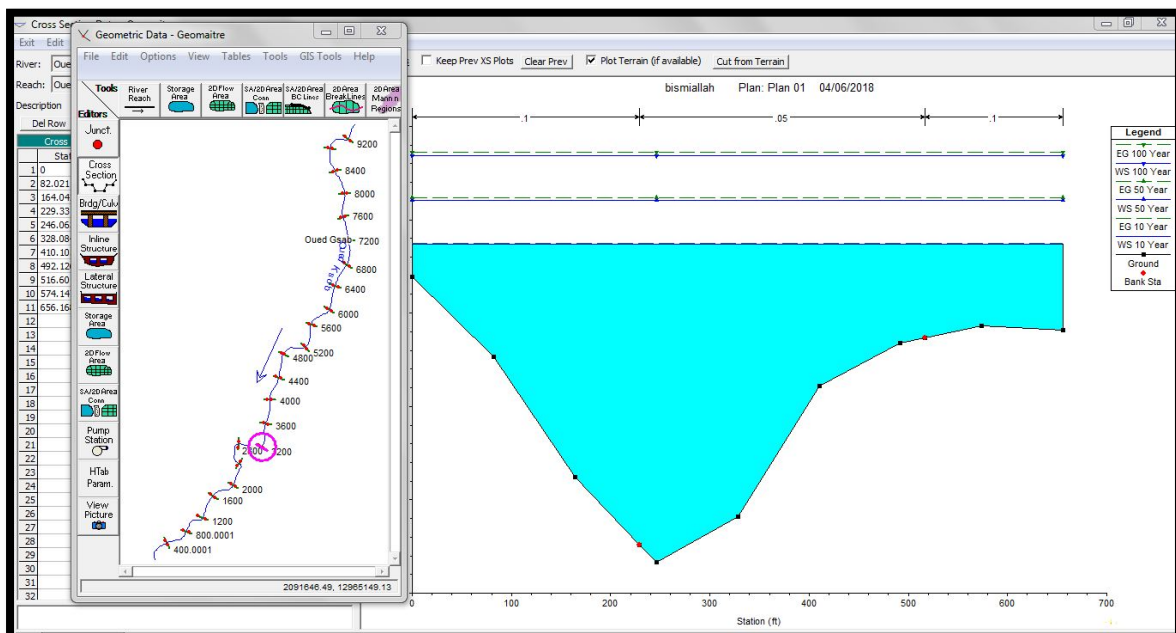
Une modélisation hydraulique du lit du tronçon étudié à l'aide du modèle HEC-RAS a été réalisée par en s'appuyant sur les éléments de topographie récents et détaillés effectuée par l'extension d'ArcMap 10.3 "HecGeoRas" comme illustrer dans l'image suivante :

Fig N° (43) : image illustrant la préparation de données géométrique du tronçon pour HEC-RAS



Qui a permis ensuite de déterminer les niveaux d'eau pour les différentes crues de notre étude (Q100, Q50, Q10) afin de cartographier les zone inondables grâce à l'analyse des conditions d'écoulement des crues D'oued Ksob, dont les débits pris en compte résultent de l'analyse hydrologique, et dont les variations du lit testées résultent de l'analyse morphologique, qui a été conduite et exploitée au moyen du logiciels HEC-RAS comme le montre l'image suivante :

Fig N° (44) : image illustrant HEC-RAS au moment de calcul et cartographie des zones inondable



## 4 – 1. Qualification et représentation des aléas considérés :

Le risque d'inondation pris en compte dans le présent PPRi celui lié au scénario de débordements de D'oued Ksob sur le tronçon allant du pont qui mène vers Nouara jusqu'à la zone industrielle limitrophe du lit moyen de notre Oued.

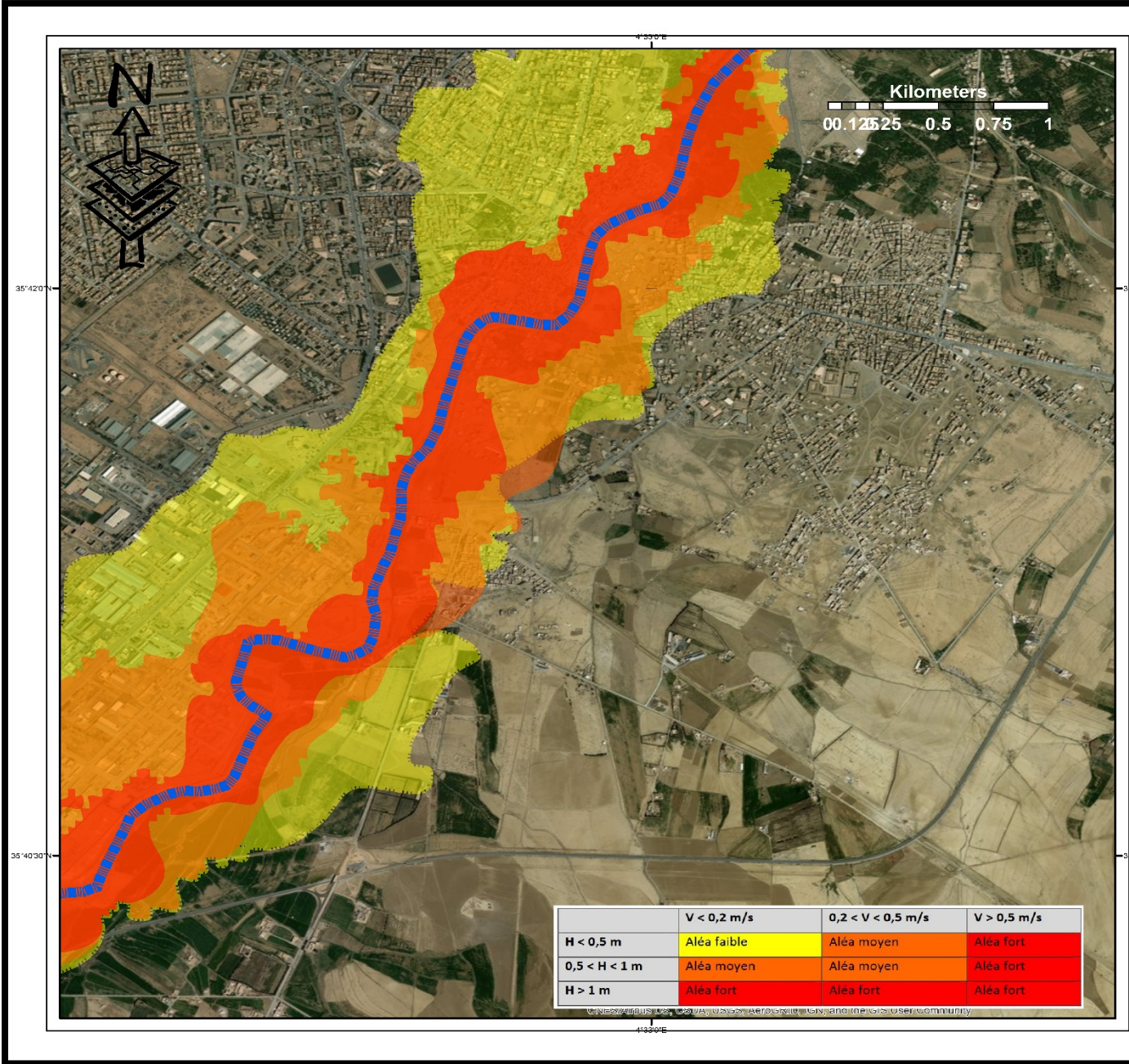
**4 – 1 – 1. Risque de débordement d'Oued Ksob (Q100)** : L'intensité de l'aléa inondation de notre tronçon pour la crue de référence, compte tenu des hypothèses d'engravement, a été caractérisée avec les paramètres suivants issus de la modélisation hydraulique :

- ✚ Le débit,
- ✚ La hauteur d'eau,
- ✚ La vitesse d'écoulement.

Le croisement des classes de hauteurs de submersion et des vitesses d'écoulement issues de la modélisation hydraulique permet d'obtenir la cartographie de l'aléa/ inondation par débordement d'Oued Ksob, déterminée selon les critères de la grille caractérisant l'aléa inondation suivant :

Fig N° (41) : Grille de caractérisation de l'aléa inondation (source : le Web)

	<b>V &lt; 0,2 m/s</b>	<b>0,2 &lt; V &lt; 0,5 m/s</b>	<b>V &gt; 0,5 m/s</b>
<b>H &lt; 0,5 m</b>	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
<b>0,5 &lt; H &lt; 1 m</b>	Aléa moyen	Aléa moyen	Aléa fort
<b>H &gt; 1 m</b>	Aléa fort	Aléa fort	Aléa fort



**Carte N° (17) :  
Carte de L'Aléa  
Inondation**

**Legend**

-  **Oued Ksob**
-  **Aléa Fort**
-  **Aléa Moyen**
-  **Aléa Faible**

	V < 0,2 m/s	0,2 < V < 0,5 m/s	V > 0,5 m/s
H < 0,5 m	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
0,5 < H < 1 m	Aléa moyen	Aléa moyen	Aléa fort
H > 1 m	Aléa fort	Aléa fort	Aléa fort

## 5 - Cartographie des Enjeux :

Les enjeux correspondent aux modes d'occupation et d'utilisation du sol susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Il s'agit des personnes, des conditions d'occupations du sol (ouvrages, constructions, aménagements, etc.), des activités exercées, tant agricoles, industrielles ou commerciales et de l'environnement.

Leur identification et leur qualification sont des étapes indispensables de la démarche qui permettent d'assurer la cohérence entre les objectifs de la prévention des risques et les dispositions qui seront retenues. Cette appréciation des enjeux permet d'évaluer l'emplacement des populations, de recenser les établissements recevant du public dite "ERP" (hôpitaux, écoles, maisons de retraite, etc.), les équipements sensibles (centraux téléphoniques, centres de secours, etc.). La définition des enjeux se fait sans tenir compte de la nature du phénomène naturel ou de l'amplitude des aléas.

### 5 – 1. Liste des enjeux :

#### 5 – 1 – 1. Les espaces urbanisés :

Le caractère urbanisé d'un secteur se définit en fonction de l'occupation du sol actuelle (la réalité physique).

#### 5 – 1 – 2. Les autres enjeux liés à la sécurité publique :

- ✚ L'importance des populations exposées.
- ✚ Les établissements publics.
- ✚ Les établissements industriels et commerciaux.
- ✚ Les équipements publics.
- ✚ Les voies de circulation.
- ✚ Les projets d'aménagement.

#### 5 – 1 – 3. Les champs d'expansion des crues :

Ce sont des secteurs peu ou non urbanisés à dominante naturelle. Ils sont à préserver afin de permettre l'écoulement et le stockage d'un volume d'eau important de la crue.

Les zones d'expansion potentielle des inondations situées derrière les digues seront également conservées.

Suivant ces principes à l'intérieur de l'enveloppe du périmètre de prescription du PPRI, les enjeux correspondant aux différents types d'occupation du sol suivants ont été cartographiés :

- ✚ Les zones urbanisées correspondant à de l'habitat dense.
- ✚ Les zones agricoles et naturelles.
- ✚ Les zones d'activité Commerciale ou industrielle.

### 5 – 2. Les enjeux sur le périmètre d'étude :

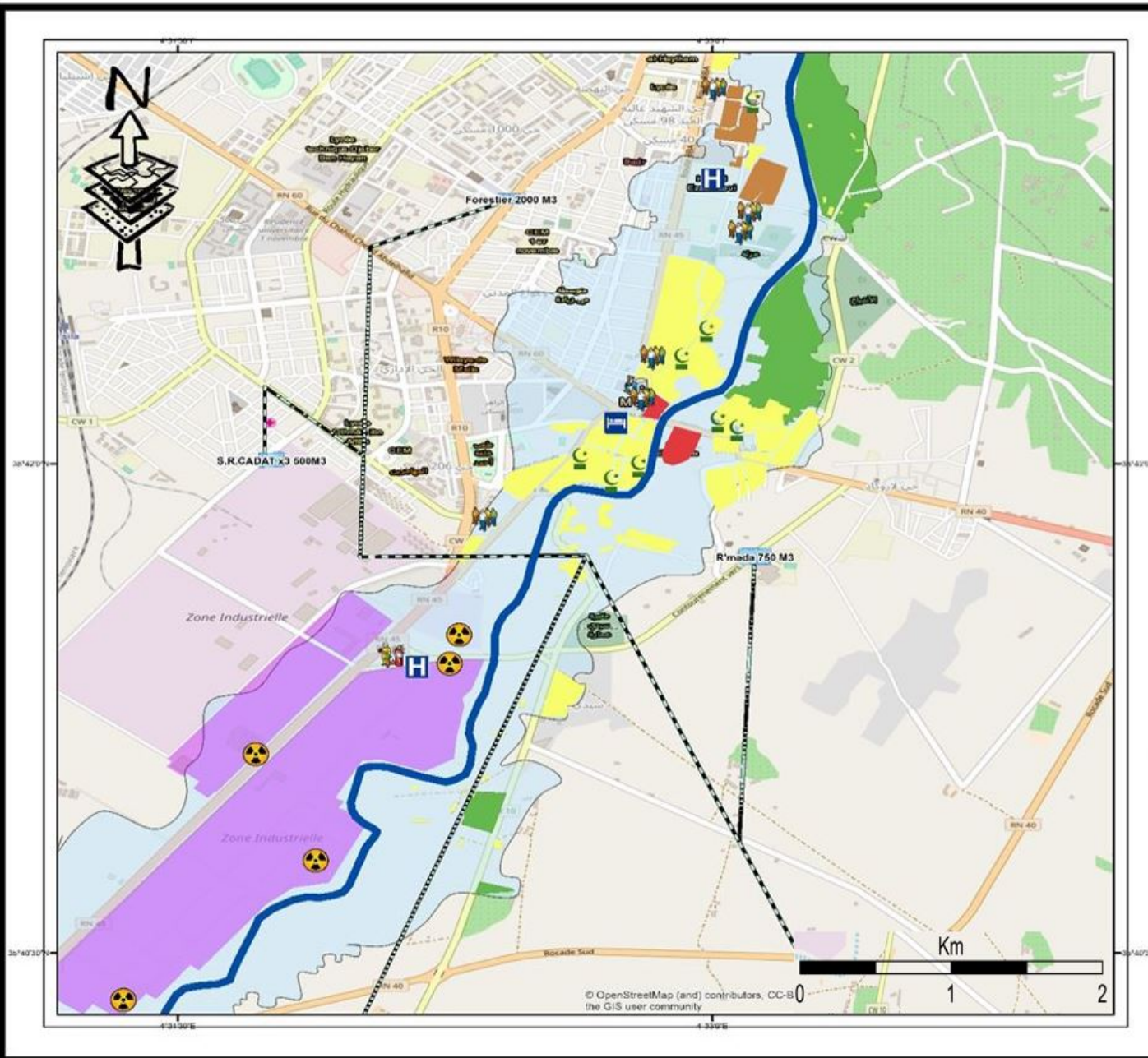
La cartographie des enjeux est annexée au PPRI (documents cartographiques facilitant la compréhension du dossier).

La cartographie des enjeux permet de présenter les grandes caractéristiques de l'occupation du sol des communes. Cette cartographie n'a pas pour objectif de définir un POS ou un PDEAU à l'échelle de la commune.

## Carte N (18) : Carte des Enjeux

### Legend

-  Limite de la zone inondable
-  Cours d'eau Principale
-  Hotel
-  Mosqué
-  ERP
-  Police
-  Hopitale et Clinique
-  Stockage de Produits Dangereux
-  Caserne de pompiers
-  Reseaux Principale AEP
-  Zone commerciale
-  Habitat Collectif
-  Habitat Individuel
-  Terrain Agricole
-  Zone industrielle



## 6 - La prise en compte du risque : zonage réglementaire et règlement :

Le risque se définit comme le résultat du croisement de l'aléa, c'est à dire la présence de l'eau avec les enjeux, c'est à dire la présence de l'homme ou de son intervention qui se concrétise généralement par l'implantation de constructions, d'équipements et d'activités dans le lit majeur du cours d'eau. Ces implantations ont trois conséquences :

- ✚ Elles créent le risque en exposant des personnes et des biens aux inondations.
- ✚ Elles aggravent l'aléa et le risque en modifiant les conditions d'écoulement du cours d'eau.
- ✚ Elles subissent des dégâts et représentent des coûts importants pour la société.

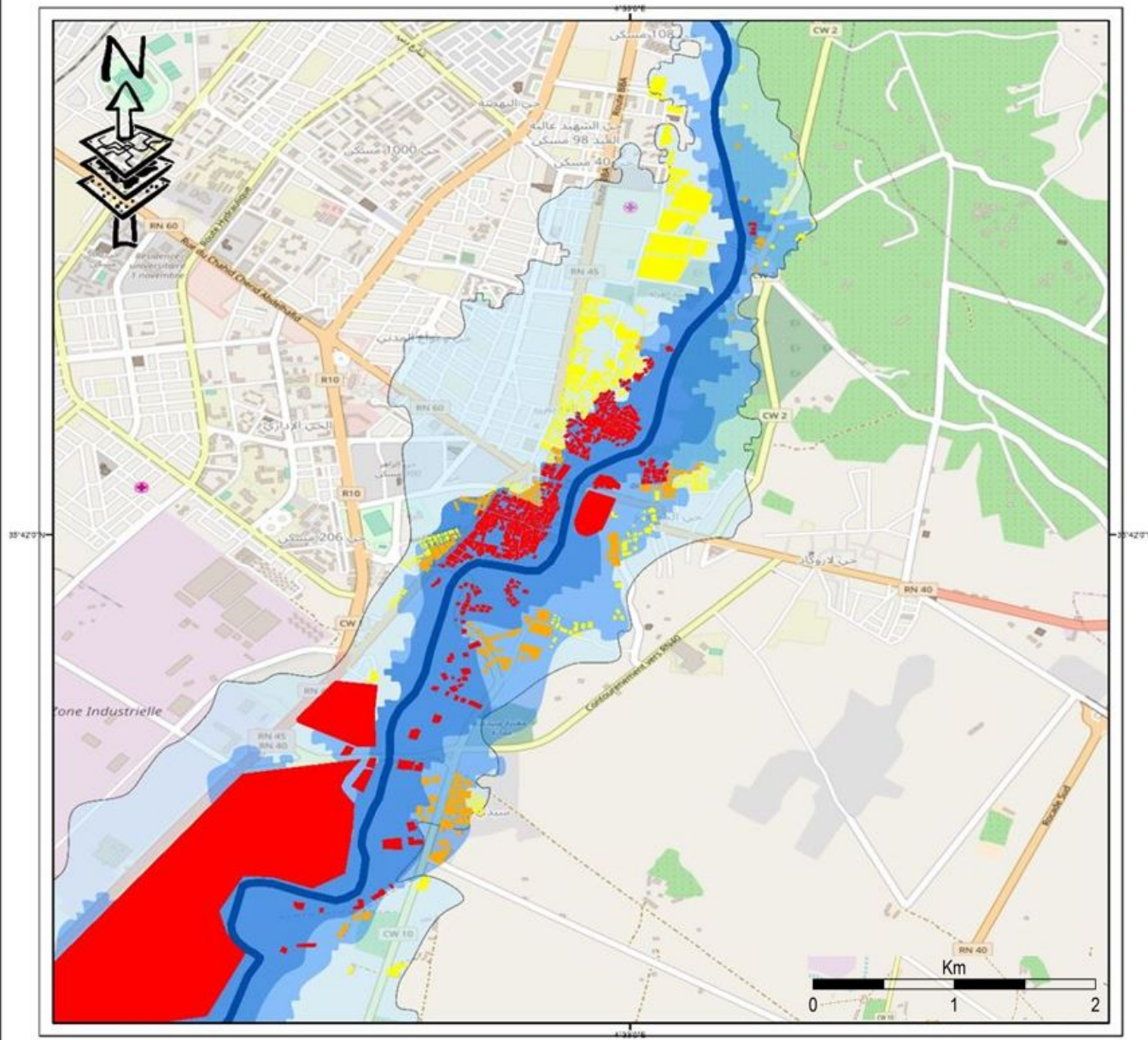
L'idée de risque peut se résumer de la manière suivante :

**ALEA x ENJEUX x VULNERABILITE = RISQUE** : il n'y a donc pas de « risque » sans enjeu vulnérable.

### 6 – 1. Les facteurs aggravant le risque

L'occupation du sol, Sans réglementation sur l'occupation du sol, une augmentation du nombre de constructions (habitations principales et secondaires) dans le champ d'inondation pourrait être possible et aggraver la vulnérabilité et le risque : en effet, le danger est que la présence d'habitations appelle toujours plus de nouvelles constructions.

**Carte N° (19) :**  
**Carte de Vulnérabilité**



## 7 - La cartographie de Risque :

### 7 – 1. Le risque dans notre Zone d'étude :

#### 7 – 1 – 1. Grands principes du zonage et du règlement :

Le zonage et le règlement ont pour double objectif de :

- **Préserver les vies humaines et réduire les dommages aux biens**
  - ✚ Ne pas créer de nouveaux enjeux dans les zones inondables les plus exposées (interdire toute nouvelle implantation humaine dans les zones dangereuses : aléas forts et arrière des digues).
  - ✚ Autoriser, sous condition, de nouvelles implantations humaines dans les zones inondables les moins exposées.
  - ✚ Réduire la vulnérabilité des personnes déjà installées (c'est-à-dire réduire les conséquences prévisibles d'une inondation pour les personnes et les biens).
  
- **Préserver les capacités d'écoulement et zones d'expansion des crues**
  - ✚ Interdire toute nouvelle implantation humaine dans les zones inondables non urbanisées.

#### 7 – 1 – 2. La définition du zonage réglementaire :

Le zonage réglementaire transcrit les études techniques (carte des aléas, étude des enjeux et de leur vulnérabilité) en termes d'interdictions, de prescriptions et de recommandations. Il définit sur le territoire des communes.

#### **A -Zones rouges (R) et rouges foncées (Rd) :**

Dites inconstructibles certains aménagements peuvent toutefois y être autorisés, assortis d'une prise en compte du risque, mais la vocation de ces zones est globalement le maintien du bâti à l'existant.

#### **B -Zones bleues (B) :**

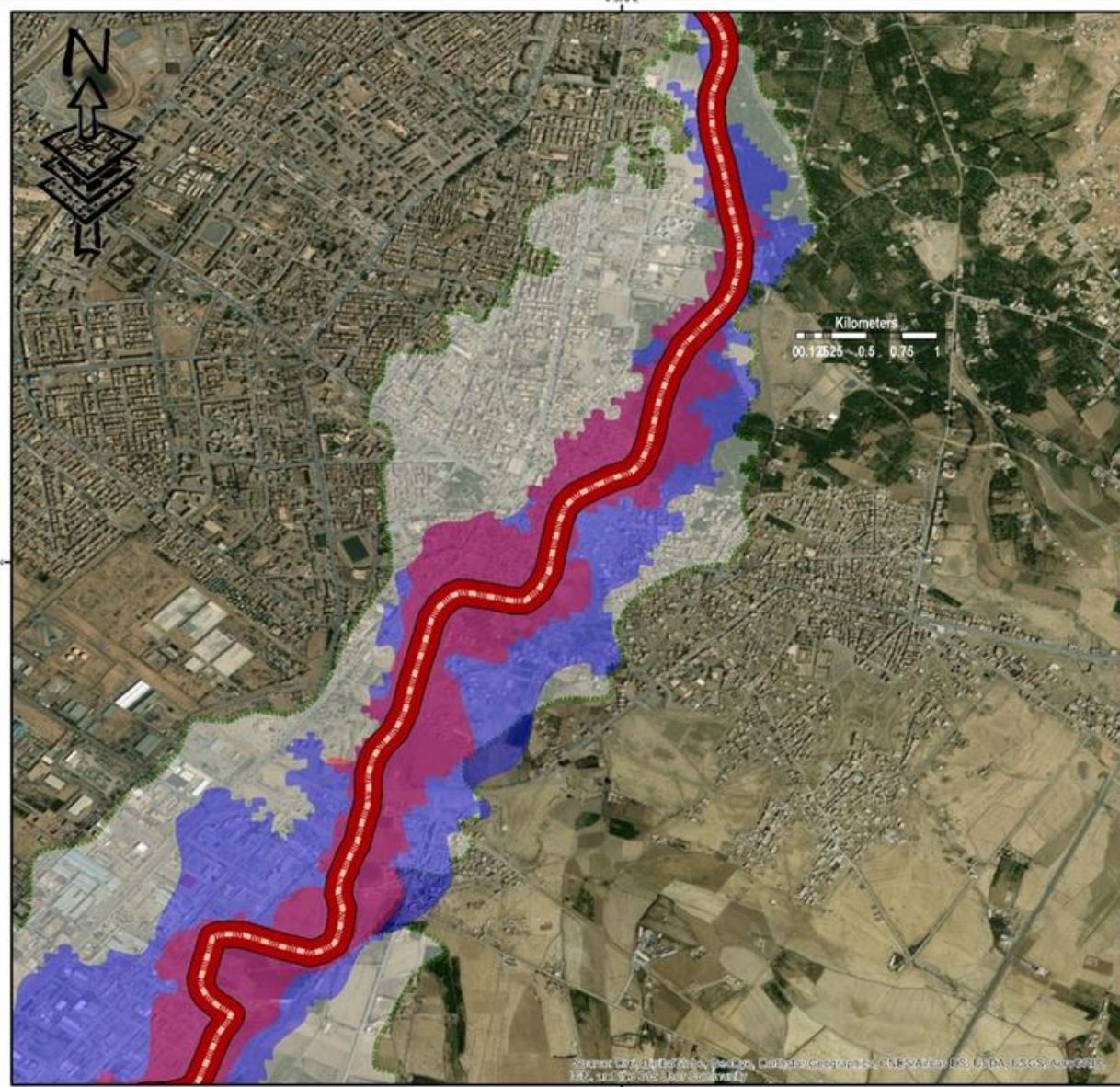
Dites constructibles sous conditions, la vocation de ces zones est de permettre la réalisation de la plupart des constructions nouvelles sous réserve d'une prise en compte appropriée du risque visant à limiter l'aggravation de la vulnérabilité et des aléas.

#### **C -Zones vertes (E) :**

Dites constructibles avec recommandations, la vocation de ces zones est de permettre la réalisation de toutes les constructions nouvelles avec des recommandations.

## 8 - La cartographie du zonage réglementaire

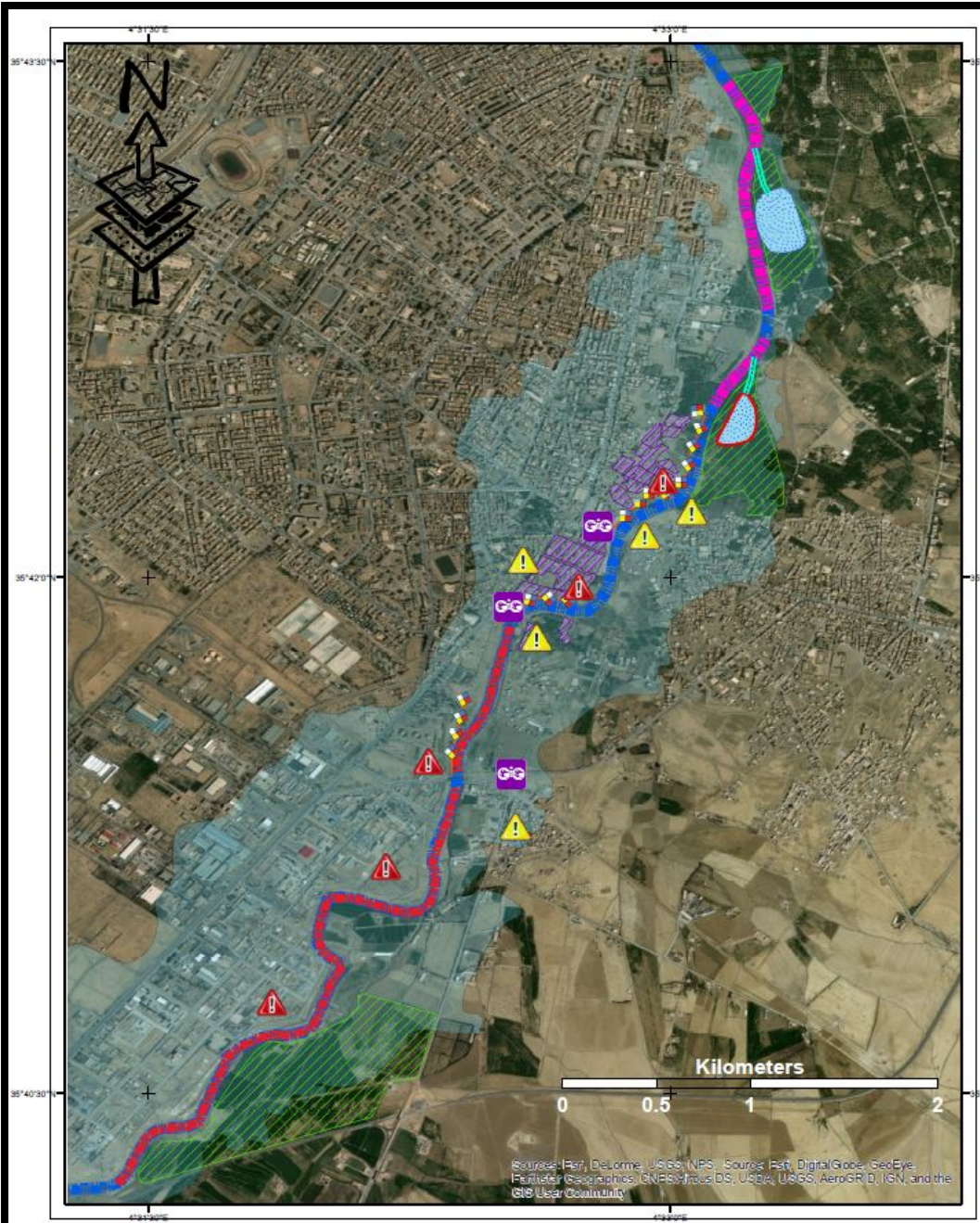
## Carte N° (20) : Zonage Réglementaire (PPRI).
















### Legend

- Hydrographie : Lit Actif
- Rd: Bande de sécurité de 50M
- Zone Rouge (R)
- Zone bleu (B)
- Zone verte (E)

# Carte N°(21) : Interventions Propoés



## Legend

-  Zone inondable
-  Cours d'eau sans intervention
-  Dignes Proposées
-  Elargissement sécuritaire
-  Canaux d'amenée
-  Approfondissement
-  Habitations a délocaliser
-  Zone naturelle d'expansion de crue a préserver
- Retenue Collinaire proposées**
-  Retenue Collinaire 4 Hectar
-  Retenue Collinaire Tampon 3.5 Hectar
- En cas d'intervention d'urgence**
-  Interventions d'urgence Prioritaire 1
-  Interventions d'urgence Prioritaire 2
-  Endroit à surveiller

Sources: Esri, DeLorme, USGS, NPS, Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNRS/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

## 9 - Conclusion générale :

Plusieurs facteurs contribuent et exacerbent le risque d'inondation soit naturels ou anthropiques le but de notre recherche était la réduction de la vulnérabilité à ce risque et la prévention par le biais de zonage et règlements sous forme de document cartographique qui est le PPRi.

Les deux sous-bassin Ksob (09) et M'sila (10) sont situés dans le grand bassin versant du Hodna. Ils couvrent une superficie de 1445.70 Km<sup>2</sup> et 2181.77 Km<sup>2</sup> sous une forme allongée ( $K_c=1.48$  avec un temps de concentration plus au moins lent  $T_c = 15.15$  et  $14.18$  heures. Le bassin est caractérisé par un réseau hydrographique moins dense dont de la densité de drainage  $D_d$  est égale à 0.93 et 1.07 Km/Km<sup>2</sup>. Avec une Vitesse de l'écoulement de l'eau :  $V_e= 2.75$  et 2.80m/s par ordre.

L'étude hydro climatologique permet d'attribuer à la région un climat **Semi-aride** se caractérise par des averses courtes et intenses, avec un Hiver frais, dont la période sèche s'étale de mois d'Avril jusqu'à Octobre tant dit que la période humide dure 5 mois de Novembre à Mars. Les pluies sont irrégulières, elles varient entre 360-370 mm de l'ensemble du bassin avec une température moyenne annuelle 15.54°C.

**Analyse statistique des pluies annuelles** des stations disponibles par les lois de probabilités (la loi normale et la loi **de Gumbel**) permis de détecter les différentes périodes de récurrence des pluies qui causes des inondations.

La comparaison entre les crues estimé et observé à partir des données enregistrées au niveau des stations hydrométriques dans les deux sous bassin versant étudié, on a adopté les résultats de Sokolovski car elle est la plus utilisée en Algérie.

A travers ce travail, nous avons essayé d'abord d'expliquer la notion du risque d'inondation en montrant qu'il est un concept binomial ; combinant l'aléa (le phénomène physique) et la vulnérabilité qui est les conséquences dommageables de cet aléa sur les enjeux.

Nous nous sommes efforcés tout d'abord de caractériser les principaux facteurs physico-géographiques agissant sur l'écoulement, phase primordiale pour la connaissance d'un système hydrologique. Cette étude a été menée afin d'établir la carte à risque d'inondation et élaborer un PPRi dans la ville de M'sila pour permettre en premier lieu la protection des populations car l'inventaire des inondations révèle qu'il n'existe pas de régions prémunies contre ce risque et que ces événements sont imprévisibles dans le temps et dans l'espace.

La complexité et la diversité des données relatives à l'environnement ont favorisé l'application de la géomatique et son adaptation aux ordinateurs personnels a fortement contribué à diversifier l'utilisation des données spatiales. L'application présentée permet de voir clairement la puissance de cet outil dans l'identification des zones à risque d'inondation.

A cet effet la méthodologie consiste, à élaborer des couches d'informations capables de décrire d'une manière plus poussée l'ensemble des paramètres qui agissent directement sur le milieu. Le résultat de la modélisation des différentes données se traduit sur des cartes thématiques qui représentent les différentes couches d'informations. Les cartes obtenues, après qu'elles sont analysées ont servis à déterminer les critères nécessaires pour la détermination des zones présentant un risque d'inondation et ainsi réglementer l'occupation du sol et réduire le risque et la vulnérabilité.

De ce fait nous constatons d'après cette étude que :

- Les mesures et l'évaluations de l'évolution spatiaux temporelle de l'aléa inondation peut vraiment contribuer à comprendre ce phénomène et offre une possibilité d'aide à la décision et à la gestion préventive.

- Le Zonage réglementaire proposée par le PPRi et avec la présence d'un cadre juridique rigoureux, peut participer à une bonne gestion et réduction de la vulnérabilité aux inondations avec des sanctions stricte l'appui.

## 10 - Références bibliographiques :

1. *Pauline Bremond. Caractérisation et évaluation économique de la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations. Economies et finances. Université Montpellier I, 2011. Français.*
2. *A systemic approach to evaluate the flood vulnerability for an urban study case in southern Italy – Raffael Albano. School of engineering – university of Basilica Potenza, Italy.*
3. *Cartographie dynamique du risque d'inondation en milieu urbain – Rapport de recherche R1428. Institut national de recherche scientifique – Québec, Canada.*
4. *Belagoun Fares 2012. Etude et modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi-aride, Magister hydraulique - Université Kasdi Merbah Ourgla.*
5. *Rapport sur les inondations en Algérie – Direction générale de la protection Civile, direction de prévention, sous-direction des risque majeur, bureau des risques naturels.*
6. *Aissa madaoui Oussama et Rabie 2016. Protection des villes contre les inondations cas du centre d'ain fezza – Tlemcen. Master hydraulique – Université Abou bekr belkaid.*
7. *Larous Belloulou 2008. Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain, cas de la ville de Annaba – Doctorat d'état en hydrologie, Université Badji mokhtar, Annaba.*
8. *Tahar Samira 2013. Impact des inondations sur l'espace urbain, Cas sidi bel abbas – Magister géographie et aménagement du territoire, Université d'Oran.*
9. *People with vulnerabilities in disaters 2013. Ronnie Faggoter, Australian government, Departement for communities and social inclusion.*
10. *understanding vulnerability to understand disasters, Ilan Kelman.*
11. *Zeroual Sarah 2015. Etude de la sensibilisation du sous-bassin versant du Ksob à l'érosion hydrique par une approche quantitative – Master hydraulique, Université Mohamed boudiaf, M'sila.*
12. *Oulhaci Dalila 2015. Ruissellement interannuelle en Algérie septentrionale – doctorat aménagement et construction hydraulique, Université Kasdi Merbah, Ourgla.*
13. *Runoff modeling in northern Algeria using a disttrulented physically based model integrating remote sensing data – Stefab Beltz, University of Kurisuhe, Germany.*
14. *Rezak Salima 2014. Hydrologie algérienne : Synthèse des apports de crue sur SIG – Doctorat hydraulique, Université d'Oran.*
15. *Boudoukha A.Rahmane 20 Aout 1955. Caractérisation stratégique de la qualité de eaux souterraines de la région nord du bassin du Hodna – université de Skikda.*
16. *Cartographie du risque d'inondation en milieu urbain adaptée à la gestion de crise – Marion Tanguy 2012, Institut national de la recherche scientifique, Québec, Canda.*
17. *Floodplain Mapping & hydraulic analysis with HEC-GeoRAS and ArcGIS – Sarah Meyer 2007.*

18. Amroune A. Ouhab 2008. *Hydrologie et qualité de eaux souterraines de la plaine de M'sila – Magister hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna.*
19. Kebiche M 1986. *Le bassin versant du Hodna : ressources en eau et potentialité d'aménagement – Thèse Doctorat 3e Cycle, Université de Nancy 2.*
20. *Les règles de construction applicables en zones inondables – PPRi de la vallée de la Loire approuvé de (1999 à 2003), direction départementale des territoires du Loiret.*
21. Céline Ronté 2003. *Etude et analyse critique des méthodes d'évaluation des risques naturels par l'exploitation des SIG – 2cole polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.*
22. *Comparatif des méthodes de cartographie des risques de dommage dans le bassin de la Meuse – commission international de la Meuse 07/12/2007.*
23. Pierre Ozer 2008. *Introduction aux risque naturels – Université de liège.*
24. Ashraf M. Dewan. *Floods in a Megacity: geospatial techniques in assessing hazards, risk and vulnerability – Edition Springer, Springer geography.*
25. Saut Aritua Hasiholan Sagala 2006. *Analysis of flood physical vulnerability in residential areas – case study : Naga city, the Philippines.*
26. Audrey Aviotti 2011. *Contribution à la caractérisation de la vulnérabilité de l'habitat individuel face à l'inondation – thèse doctorat, école national supérieure des mines de Paris.*
27. *La vulnérabilité d'établissement recevant du public et des entreprises face aux inondations : une méthode d'analyse appliqué dans le bassin de l'Orbe (Hérault) – Cyndie Chauviteau et Freddy Vinet.*
28. *Introduction à la gestion des catastrophes – Université virtuel des petits états du Commonwealth (VUSSC), gestion des catastrophes version 1.0.*
29. *Des journées techniques : risques naturels, inondation préversion et protection – 15 et 16 décembre 2004 à Batna, Organisé par le CRSTRA.*
30. Nasri A. Kader 2015. *Etude hydro chimique du système hydrogéologique du bassin du Hodna – Magister hydrogéologique et environnement, Université de Mascara.*
31. *introduction, urbanisation en Afrique et ses perspectives /www.fao.org*
32. *Article sur Exposesidees.blogspot.net*
33. *UNISDR for disaster risk reduction terminology*
34. *Etude de l'érosion ravinant à Kinshasa par télédétection et SIG, Fils Makanzu Imwangana université de liège.*
35. *UNISDR for disaster risk reduction terminology*
36. *le risque, Jean François Gleyze, IGN 2002*
37. *Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction, Roxana L. Ciurean*
38. <http://www.georisques.gouv.fr/articles/definition-generale-du-risque-majeur>

39. *Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction*, Roxana L. Ciurean

40. *Les inondations – dossier d'information édité par le ministère de l'écologie et du développement durable, La France.*

41. *Rapport : comment saisir les opérations de renouvellement urbain pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables face au risque d'inondation ? 2015*

42. *Plan de prévention des risques naturels (ppr), guide méthodologique – ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement – La France.*

43. *Plan de prévention des risques naturels (ppr), guide méthodologique – ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement – La France.*

44. *Rapport de CNES, l'urbanisation et les risques naturels et industriels en Algérie : inquiétudes actuelles et future 22eme session*

45. <https://www.esrifrance.fr/geomatique.aspx>

46. *découvrez le monde de la géomatique - ENSG*