

**Ministère de l'enseignement supérieure  
Et de la recherche scientifique  
Université Mohamed Boudiaf - M'sila**



**Faculté de technologie  
Département d'Hydraulique**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme  
De MASTER**

**FILIERE : Hydraulique  
Option : Ouvrages Hydrauliques et Aménagement**

**THEME**

**Etude de la sensibilité du sous bassin versant de  
Ksob a l'érosion hydrique par une approche  
quantitative**

**Dirigé par :  
Dr. Hasbaia Mahmoud**

**Présenté par :  
Zeroual Sara**

**Promotion : 2015/2016.**

# **Remerciements**

*Tout d'abord, tout louange à dieu qui m'a fourni le courage, la capacité et la patience pour réaliser ce modeste travail avec toutes ses difficultés et ses obstacles.*

*Je voudrais remercier spécialement mon promoteur, Monsieur **Hsabaia Mahmoud**, Maître de conférence classe » A « à l'université de Msila, pour m'avoir accordé sa confiance pour mener à bien ce projet et pour l'encadrement de ce travail et sa disponibilité ainsi que ses conseils ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Un merci particulier à Messieurs **BELKHEIR Messaoud**, **MEZALI Farouk**, et **MOKHTARI Alhaj** pour leurs qualité de collaboration, notamment dans la finalisation des cartes.*

*Je remercie Monsieur **HETTAB Ali**, Ingénieur au niveau la société contrôle technique de la constuction hydraulique de Msila (CTH) pour m'avoir accueilli au sein de la société pour mon stage de fin d'études. Pendant 1 mois, j'ai beaucoup appris grâce à l'ensemble de ses collaborateurs qui, par leur professionnalisme, ont largement contribué au bon déroulement de ce stage.*

*Mon respect s'adresse aux membres de jury. Qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.*

*Un remerciement aux étudiants qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire et spécialement **ABDELKBIR Amina***



# dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect.

- A mes parents pour les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard
- A mes frères.
- A toute ma famille
- A mes amis sans exception

# TABLE DES MATIERES

Résumé.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur le bassin versant du Hodna</b>	
I.1 Situation géographique.....	02
I.1.1 Relief.....	03
I.1.2 Géologie. ....	04
a- Le trais. ....	04
b- Le jurassique et le carbonate.....	04
c- Le crétacé.....	04
d- Le Paléocène.....	04
I.1.3 Réseau hydrographique.....	05
I.1.4 Climat.....	06
a-Pluviométrie.....	06
b-Température.....	06
c- Vent.....	07
d- Humidité.....	07
I.1.5 Couvert végétal.....	08
Conclusion.....	08
<b>Chapitre II : Description du bassin versant de Ksob</b>	
II .1 Généralité sur le Bassin v de ksob.....	09
II.1.1 Localisation et situation de la zone d'étude.....	09
II.1.2 Géologie du bassin versant Ksob.....	11
II.1.3 Lithologie de bassin versant du Ksob.....	12
a- Le Maestrichtien (crétacé) ....	12
b- Le Cartenien (Miocène) ....	13
c- Alluvions du quaternaire.....	13
II.1.4 Importance de la porosité et ses nuances.....	15
a- Les terrains à forte capacité aquifère ....	15
b- Les terrains à faible capacité aquifère.....	15
II.1.6 Répartition des types de couverture végétale dans le bassin versant de Ksb.....	19
II.1.7 Climat dans le sous bassin de Ksob.....	20
Conclusion.....	20
<b>Chapitre III Caractéristiques morphométriques du bassin-versant de Ksob</b>	
Introduction.....	22
III.1 Caractéristiques de la disposition dans le plan.....	22
III.1.1 Surface. ....	22
III.1.2 Longueur. ....	22
III.1.2.1 Périmètre.....	22
III.1.2.2 Longueur du bassin versant.....	22
III.1.2.3 Longueur du talweg principal.....	22

III.1.2.4 Largeur du bassin-versant.....	23
III.1.3 Indice de compacité de Gravelius.....	23
III.2 Caractéristiques des altitudes (hypsométrie) .....	23
III.2.1 Altitudes maximales et minimales.....	23
III.2.2 Courbe hypsométrique .....	24
III.2.3 Dénivelée simple.....	26
III.2.4 Rectangle équivalent .....	27
III.3 Indice de pentes. ....	28
III.3.1 Pente moyenne.....	29
III.3.2 Indice de pente globale $I_g$ .....	30
III.3.3 Indice de pente de Roche.....	30
III.3.4 Dénivelée spécifique.....	31
III.4 Caractéristiques du réseau hydrographique.....	32
III.4.1 Réseau hydrographique du bassin-versant du Ksob.....	32
III.4.2 Profil longitudinal d'un cours d'eau principal.....	33
III.4.3 Degré de développement du réseau hydrographique.....	34
a- Densité de drainage.....	34
b- La densité hydrographique.....	35
III.4.4 Rapports de confluence et de longueur.....	36
a- Le coefficient d'élancement.....	37
b- Coefficient de torrencialité.....	37
c- Temps de concentration. ....	38
Formule de CALIFORNIA.....	38
Formule de GOPTCHENKO.....	38
Formule de SOGREAH .....	38
La formule algérienne de l'A.N.B .....	38
III.4.5 Vitesse d'écoulement de l'eau.....	39
Conclusion.....	40
<b>Chapitre IV : Etude climatologique du bassin versant du ksob</b>	
Introduction.....	42
IV.1 Réseau pluviométrique et les séries d'observation.....	42
IV.2 Critique et Homogénéisation des données pluviométriques.....	43
IV.2.1 Comblement des lacunes.....	43
IV.3 Variations spatiales et temporelles des pluies.....	49
IV.3.1 Évaluation de la pluie moyenne annuelle précipitée sur le bassin.....	49
a- La moyenne arithmétique.....	49
b- Méthode synthétique.....	50
c- Méthode de Theissen.....	51
IV.3.2 Répartition pluviométrique interannuelle.....	53
IV.4 Distribution statistique des pluies.....	56
IV.4.1 Distribution annuelles.....	57
IV.4.2 Distribution journalière maximale.....	63
IV.5 Température.....	70
IV.6 Autres facteurs climatiques.....	71

IV.6.1 Les vents et le sirocco.....	71
IV.6.2 Humidité relative.....	71
IV.6.3 Évaporation.....	72
IV.7 Régime climatique du bassin versant du Ksob.....	73
Conclusion.....	74

## **Chapitre V : Généralité sur l'érosion hydrique**

Introduction .....	75
V.1 Définitions .....	75
V.1.1 Erosion éolienne.....	75
V.1.2 Erosion hydrique.....	76
V.2 Effets néfastes de l'érosion .....	76
V.2.1 Dans leur zone de production.....	76
V.2.2 En d'hors des zones de production.....	77
V.3 Procédures de l'érosion.....	80
V.3.1 Ablation (altération) .....	80
V.3.2 Altération physique .....	80
V.3.3 L'altération chimique décompose la roche en modifiant lentement la nature des minéraux .....	82
V.4 Le transport .....	83
V.4.1 Définition du transport des sédiments.....	83
V.4.2 Modes de transport de sédiments.....	83
a- Glissements en masse en l'absence de fluides .....	83
b- Ecoulements gravitaires.....	83
V.4.3 Ecoulements de fluides.....	85
a) La mécanique des fluides.....	85
b) Modes de transport des sédiments.....	86
V.4.4 Les effets du transport.....	87
V.5 Mécanismes d'érosion hydrique .....	87
V.5.1 Erosion par rejaillissement.....	89
V.5.2 Erosion en nappe.....	90
V.5.3 Erosion en rigoles.....	91
V.5.4 Erosion en ravines.....	92
V.5.5 Principaux facteurs d'érosion.....	98
a) Agressivité des pluies.....	99
b) Vulnérabilité des roches et érodibilité des sols.....	99
c) Topographie.....	100
d) Occupation du sol.....	101
V.6 Conséquence de l'érosion hydrique.....	102
V.6.1 L'envasement des barrages.....	102
V.6.2 Dégradation du bilan hydrique .....	103
V.6.3 Appauvrissement du sol.....	103
V.6.4 Autres conséquences.....	103

Conclusion .....

## **Chapitre VI : Cartographie des paramètres de l'érosion à l'aide d'un SIG**

Introduction .....	105
VI.1 Application de l'Equation universelle de perte en sol 'USLE' .....	105
VI.1.1 Indice d'agressivité des pluies (facteur R) .....	106

VI.1.2 Pente et longueur de pente (facteur LS) .....	108
VI.1.3 Occupation des sols (C).....	110
VI.1.4 Indice d'érodibilité des sols (facteur K) .....	112
VI.1.5 Pratiques anti-érosives, facteur P.....	113
VI.2 Resultats et discussion.....	113
Conclusion.....	115
<b>Chapitre VII : Moyens de lutte contre l'érosion</b>	
Introduction.....	116
VII.1 Conséquences de l'érosion hydrique en Algérie sont dramatiques.....	116
VII.2 Lutte contre l'érosion hydrique .....	116
VII.3 Stratégies traditionnelles de lutte anti-érosive .....	117
VII.4 Stratégies modernes d'équipement hydraulique.....	118
VII.5 Les mesures de lutte contre le ruissellement et l'érosion des sols.....	119
VII.5.1 Création d'obstacles au ruissellement.....	120
VII.5.2 Terrasses soutenues par des murs en pierres sèches.....	121
VII.6 Protection des pentes contre l'érosion.....	122
VII.7 Moyens de luttés utilisées en Algérie.....	122
CONCLUSION GENERALE.....	123
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau II.01</b>	Répartition des terrains selon leurs degrés de perméabilité dans le bassin de Ksob.....	15
<b>Tableau II.02</b>	Caractéristiques des matériaux du bassin versant.....	16
<b>Tableau II.03</b>	Degré de perméabilité.....	16
<b>Tableau II.04</b>	Répartition des types de couverture végétale dans le bassin du Ksob.....	20
<b>Tableau III.01</b>	Répartition des surfaces partielles par rapport aux altitudes pour le bassin du Ksob.....	25
<b>Tableau III.02</b>	Détermination de l'altitude moyenne du bassin-versant du Ksob.....	26
<b>Tableau III.03</b>	Répartition des surfaces partielles dans rectangle équivalent du Ksob.....	28
<b>Tableau III.04</b>	Deuxième classification d'après Office de la recherche scientifique et technique outre-mer 'O.R.S.T.O.M'.....	31
<b>Tableau III.05</b>	Densité hydrographique du BV de Ksob.....	35
<b>Tableau III.06</b>	Rapport de confluence pour le BV de Ksob.....	36
<b>Tableau III.07</b>	Rapport de longueur dans le bassin versant de Ksob.....	37
<b>Tableau III.08</b>	Temps de concentration estimé par déférant formules.....	39
<b>Tableau III.09</b>	Caractéristiques morphométriques du bassin-versant de Ksob.....	40
<b>Tableau IV.01</b>	Stations pluviométriques et hydrométriques du bassin versant du Ksob.....	42
<b>Tableau IV.02</b>	Corrélations entre les stations du BV de Ksob.....	45
<b>Tableau IV.03</b>	Corrélation simple des pluies journalières maximales du BV de Ksob.....	47
<b>Tableau IV.04</b>	Calcul de la pluie moyenne interannuelle du BV de Ksob (Méthode de moyenne arithmétique).....	50
<b>Tableau IV.05</b>	Pluies moyennes et altitudes des stations pluviométriques du BV de Ksob.....	50
<b>Tableau IV.06</b>	Méthode de Theissen pour calculer la pluie moyenne interannuelle du BV.....	52
<b>Tableau IV.07</b>	Comparaison des pluies représentatives du Ksob calculées par différentes méthodes.....	53
<b>Tableau IV.08</b>	Moyenne, écart type et coefficient de variation des la séries pluviométriques dans le BV de Ksob (1977-2006).....	54
<b>Tableau IV.09</b>	Écart à la moyenne des précipitations annuelles extrêmes (1977/2006).....	56
<b>Tableau IV.10</b>	Ajustement de la pluie annuelle de la station de Mdjez à la loi de Gauss.. .....	58
<b>Tableau IV.10</b>	Ajustement de la pluie annuelle de la station de Mdjez à la loi de Gauss (suite et fin).....	59
<b>Tableau IV.11</b>	Intervalle de confiance pour les différentes stations du bassin (test de $x^2$ ).....	61
<b>Tableau IV.12</b>	Précipitations annuelles fréquentielles en (mm).....	62

<b>Tableau IV.13</b>	Fréquence théorique des pluies moyennes annuelles et extrêmes pour les différentes stations du BV de l'Oued Ksob.....	62
<b>Tableau IV.14</b>	Pluie maximale journalière fréquentielle, pour les cinq stations pluviométriques (1943-2012).....	65
<b>Tableau IV.15</b>	Valeurs de l'exposant climatique pour les cinq stations pluviométriques du bassin de l'Oued Ksob.....	66
<b>Tableau IV.16</b>	Pluie de courte durée pour les cinq stations pluviométriques du bassin versant de Ksob.....	66
<b>Tableau IV.16</b>	Pluie de courte durée pour les cinq stations pluviométriques du bassin versant de Ksob (suite et fin).....	67
<b>Tableau IV.17</b>	Moyennes mensuelles interannuelles des températures [1981-2009].....	70
<b>Tableau IV.18</b>	Vitesses des vents moyennes mensuelles interannuelles [1981-2009](station de BBA).....	71
<b>Tableau IV.19</b>	Moyennes mensuelles interannuelles De l'humidité [1981-2009] (station de BBA).....	72
<b>Tableau IV.20</b>	Evaporation annuelle observée au niveau de la station du barrage Ksob.....	72
<b>Tableau V.01</b>	Dégradation spécifique du sol ( $E_s$ ) dans le Maghreb .....	77
<b>Tableau V.02</b>	Ordre de grandeur de l'érosion hydrique dans des bassins en Algérie.....	79
<b>Tableau IV.01</b>	Précipitations moyennes mensuelles (mm), annuelles (mm) et la valeur du facteur R moyen pour la période 1977-2006.....	107
<b>Tableau IV.02</b>	Les valeurs du facteur C par type d'occupation du sol.....	111
<b>Tableau IV.03</b>	Lignes directrices pour évaluer les classes de risque d'érosion du sol.....	114
<b>Tableau IV.04</b>	Répartition des pertes de sol dans le bassin de l'Oued de Ksob.....	115

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.01</b>	Situation du BV du Hodna.....	03
<b>Figure I.02</b>	Relief du bassin versant du Hodna.....	04
<b>Figure I.03</b>	La carte géologie du bassin versant Hodna.....	05
<b>Figure I.04</b>	Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna.....	06
<b>Figure II.01</b>	Situation de bassin versant de Ksob.....	10
<b>Figure II.02</b>	Carte géologique du bassin de Ksob.....	11
<b>Figure II.03</b>	Lithologie du bassin versant de l'Oued Ksob.....	14
<b>Figure II.04</b>	Couverture végétale dans Ksob.....	19
<b>Figure III.01</b>	Carte topographique du bassin-versant de Ksob.....	24
<b>Figure III.02</b>	Courbe hypsométrique et digramme de fréquence.....	25
<b>Figure III.03</b>	Rectangle équivalent du bassin-versant de Ksob.....	28
<b>Figure III.04</b>	Pentes dans le bassin-versant du Ksob.Blissag et charabi (2011).....	29
<b>Figure III.05</b>	Carte du réseau hydrographique du bassin-versant de Ksob.....	33
<b>Figure IV.01</b>	Equipements hydro pluviométriques du bassin versant de l'oued Ksob.....	43
<b>Figure IV.02</b>	Régression à l'échelle annuelle des pluies .....	46
<b>Figure IV.03</b>	Régression à l'échelle annuelle des pluies (suite et fin).....	47
<b>Figure IV.04</b>	Régression des pluies Journalière maximale du BV de Ksob.....	48
<b>Figure IV.05</b>	Régression des pluies Journalière maximale du BV de Ksob (suite et fin).....	49
<b>Figure IV.06</b>	Méthode synthétique pour calculer la pluie du bassin.....	51
<b>Figure IV.07</b>	Découpage de la surface du B.V de l'Oued Ksob selon la méthode de Theissen.....	52
<b>Figure IV.08</b>	Variation des précipitations annuelles de différentes stations (1977/2006).....	56
<b>Figure IV.07</b>	Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss (Station de Mdjez).....	59
<b>Figure IV.08</b>	Ajustement des pluies journalières maximales des stations du bassin à la loi Gumbel (1943/2012).....	64
<b>Figure IV.09</b>	Courbe intensité-durée-fréquence des stations pluviométriques du bassin versant de l'Oued Ksob .....	69
<b>Figure IV.10</b>	Moyennes mensuelles interannuelles des températures [1981-2009], station de B.B.A (O.N.M).....	70
<b>Figure IV.11</b>	Les vitesses des vents moyennes mensuelles interannuelles [1981-2009], station B.B.A (O.N.M).....	71
<b>Figure IV.12</b>	Moyennes mensuelles interannuelles de l'humidité [1981-2009], B.B.A	

	(O.N.M) .....	72
<b>Figure IV.13</b>	Variation de l'évaporation annuelle dans la station barrage Ksob.....	73
<b>Figure IV.14</b>	Diagramme ombrothermique de la station B.B.A (O.N.M).....	74
<b>Figure V.01</b>	Ecoulement (grain flow) de sable au flanc d'une dune.....	84
<b>Figure V.02</b>	naissance d'une turbidité .....	85
<b>Figure V.03</b>	Modes de transport des particules dans un courant.....	87
<b>Figure V.04</b>	Distribution des formes d'érosion sur un versant.....	88
<b>Figure V.05</b>	Effet de rejaillissement ou effet « splash » .....	90
<b>Figure V.06</b>	Accumulation de sol et de débris de culture à l'extrémité basse de ce champ est un indice d'érosion en nappe.....	90
<b>Figure V.07</b>	Tracé distinct formé par les eaux de ruissellement est un signe d'érosion en rigoles ayant emporté le sol.....	92
<b>Figure V.08</b>	Processus de ravinement en relation avec leur typologie .....	94
<b>Figure V.09</b>	Différentes formes d'érosion en masse .....	96
<b>Figure V.10</b>	Glissement rotationnel en coups de cuillère .....	97
<b>Figure V.11</b>	Erosion des berges résulte du sapement et de l'affouillement des berges des cours d'eau naturels et des canaux de drainage.....	98
<b>Figure V.12</b>	Dépôts de vase dans le barrage Sur la rive gauche (photo à gauche) et dépôts de vase à l'entrée de l'Oued Bougous au barrage (photo à droite).....	103
<b>Figure V.13</b>	Destruction des ouvrages (pont du quartier commando Mejdoub wilaya de Saida en 2013.....	104
<b>Figure VI.01</b>	Organigramme de la cartographie de l'érosion par le modèle USLE .....	106
<b>Figure VI.02</b>	Carte du facteur R.....	108
<b>Figure VI.03</b>	Modèle numérique du terrain (MNT) du bassin de l'Oued Ksob.....	109
<b>Figure VI.04</b>	Carte du facteur LS.....	110
<b>Figure VI.05</b>	Indice de couverture végétale et de pratiques culturales du bassin versant du K'sob (Facteur C).....	111
<b>Figure VI.06</b>	Carte de distribution des classes d'érodibilité (K) dans le bassin versant de l'Oued k'sob.....	113
<b>Figure VI.07</b>	Répartition des pertes de sol dans le bassin de l'Oued de Ksob.....	114
<b>Figure VII.1</b>	Une vue de versants aménagés par des terrasses soutenues par a-des talus et par b- des murs en pierre.....	115
<b>Figure VII.2</b>	Vue sur des billons.....	118
<b>Figure VII.3</b>	DRS en pente sur bassin versant.....	119
<b>Figure VII.4</b>	Végétalisation de badlands par Eucalyptus et pin d'Alep sur banquettes au Maroc.....	120
<b>Figure VII.5</b>	Rideaux d'arbres.....	120
<b>Figure VII.6</b>	Schéma descriptif d'une terrasse irriguée.....	121

<b>Figure VII .7</b>	Aménagement en terrasse associé à un système d'irrigation.....	121
<b>Figure VII .8</b>	Cultures parallèles aux courbes de niveau.....	122

*Chapitre II*

*Description du bassin versant de  
l'oued ksob*

L'érosion, est phénomène très complexe et lié à des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables, elle affecte beaucoup les terres arables et la capacité d'emmagasinement des barrages. En Algérie, l'érosion hydrique est très sévère, elle est favorisée par des conditions topographiques, physiques, géomorphologiques et climatiques plus défavorables. La perte de capacité des barrages à cause de l'envasement continu (32 millions de m<sup>3</sup>/an de sédiments) est considérée comme un problème crucial dans la limitation de la disponibilité de l'eau à l'échelle nationale. D'ici à la fin du siècle, selon les différents types de projections et types de modèles utilisés, on estime des baisses des totaux pluviométriques annuels de l'ordre de 15% à 30% (Christensen et al 2007). La construction de nouveau barrages et la récupération de la capacité perdue par envasement des barrages existants en utilisant des techniques de dragage, de succion ou de chasse des sédiments, représente une solution parfois indispensable, mais toujours chère et parfois temporaire puisqu'elle ne s'attaque pas à la véritable source du problème. L'érosion des bassins-versants en amont des barrages, sous toutes ses formes est à l'origine de l'envasement des barrages. Elle englobe non seulement le détachement ou l'ablation des particules de sol, mais aussi leur déplacement d'un point à un autre du bassin versant. Les conséquences de l'érosion ne se limitent pas à l'envasement des barrages. L'érosion contribue aussi à la perte de la couche arable, la plus fertile du sol, diminuant sa productivité et dégradant la qualité des eaux de surface. L'objectif de cette étude est de quantifier et d'évaluer la nature et l'ampleur du degré d'érosion dans toute la surface du bassin versant de l'Oued Ksob en utilisant l'équation universelle de perte en sol 'USLE' (Universal Soil Loss Equation). Cette équation est largement utilisée dans les différentes régions du monde. C'est une fonction multiplicative des cinq facteurs principaux qui contrôlent l'érosion hydrique : agressivité climatique, érodibilité des sols, inclinaison et longueur de pente, occupation des sols et l'effet des pratiques anti-érosives.

Tous ces facteurs vont être cartographiés sur toute la surface du bassin versant de l'oued Ksob en utilisant un système d'information géographique SIG. Ces cartes seront élaborées en tenant compte des données physiques et climatiques du bassin. La superposition des cartes des différents facteurs permet d'avoir la carte de perte en sol sur toute la surface du bassin ce qui va permettre à l'identification des zones les plus productrices de sédiments.

Pour atteindre l'objectif de notre étude, nous commençons par une première partie consacrée à : un aperçu général sur la zone d'étude suivie par une étude morphométrique et climatique détaillée du BV de l'oued Ksob. La deuxième partie est consacrée à l'étude bibliographique sur l'érosion hydrique dans les zones semi-arides généralement, et en Algérie particulièrement. La troisième partie présente la cartographie des différents facteurs de l'érosion à l'aide d'un SIG et l'élaboration de la carte de sensibilité quantitative à l'érosion du bassin de l'oued Ksob en se basant sur le modèle USLE. La dernière section sera réservée à la présentation des moyens de lutte contre l'érosion utilisés dans le monde et en Algérie.

*Chapitre I*

*Généralités sur le bassin versant du  
hodna*

## Chapitre I : Généralités sur le bassin versant du Hodna

### Introduction

Le chapitre est consacré à une description générale du bassin versant étudié afin de déterminer les caractéristiques géographiques, physiographiques et géologiques, bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques des cours d'eau.

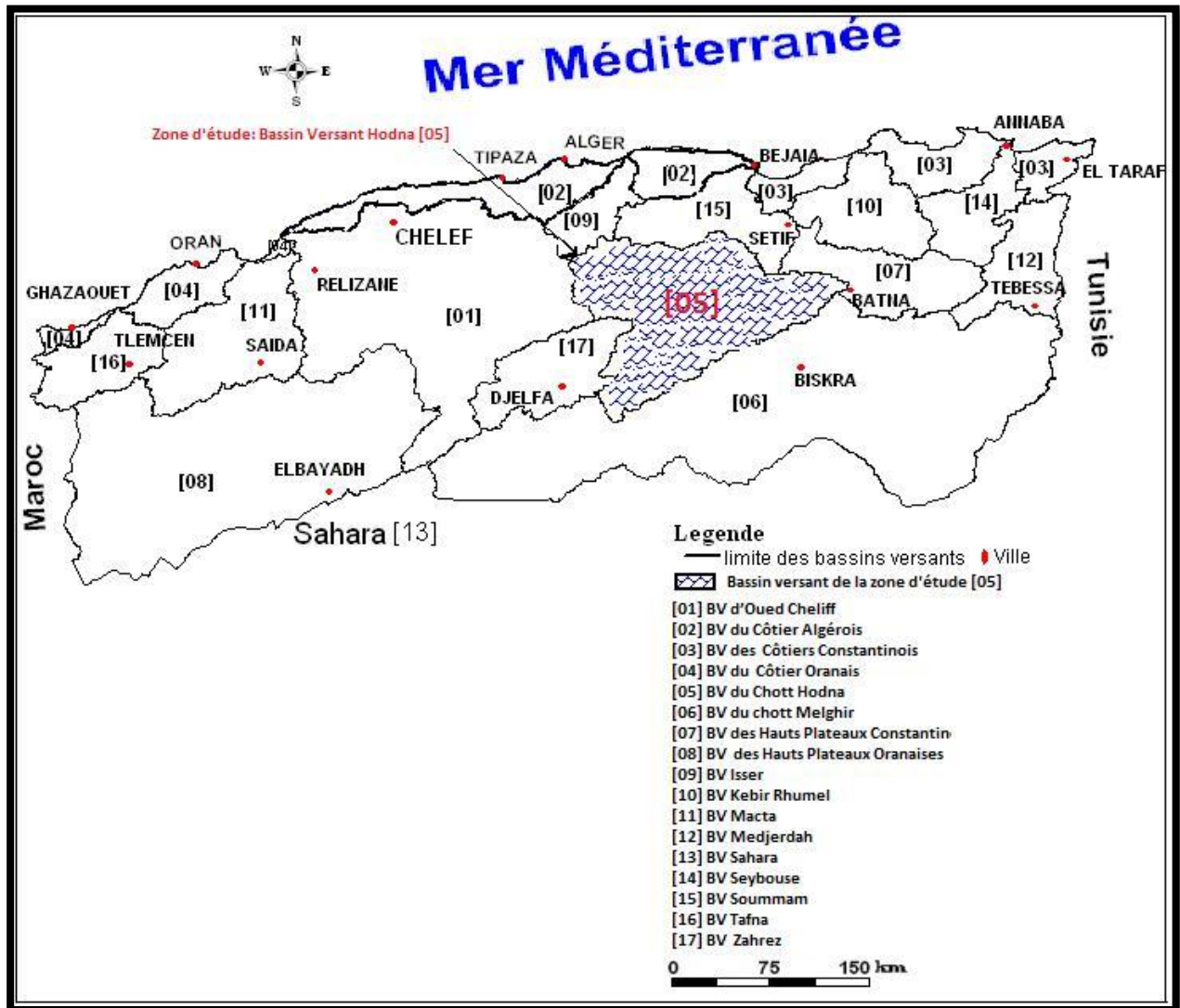
### I.1 La situation géographique

Le bassin versant du Hodna est le 5<sup>ème</sup> grand bassin Algérien, il est situé au centre de l'Algérie à 150 km à vol d'oiseau au sud de la côte méditerranéenne (Golf de Bejaia) (Figure I.1). Avec une superficie de 26000 km<sup>2</sup> il touche les 7 wilayas, à savoir : la wilaya de M'sila, Batna, BBA, Djelfa et Médéa, Bouira et Sétif.

Il est limité au nord par les montages de Bibans et le plateau Sétifien, à l'Ouest par les hautes plaines algéroises, tandis qu'au sud et à l'Est, il est limité par l'Atlas saharien. Le relief du bassin est caractérisé par des séries de montagnes au nord et au sud autour d'une dépression naturelle dite Chott El Hodna presque plate d'une altitude de 400 m et d'une superficie de 1150 km<sup>2</sup> (Kebiche, 1993).

L'altitude des sommets des monts du Hodna diminuant de l'Est à l'Ouest avec une altitude qui oscille entre 1900 et 1000 m, tandis qu'au Sud quelques sommets seulement dans l'atlas Saharien atteignent 1200 m.

Selon l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), le bassin du Hodna peut être divisé en 24 sous bassins.

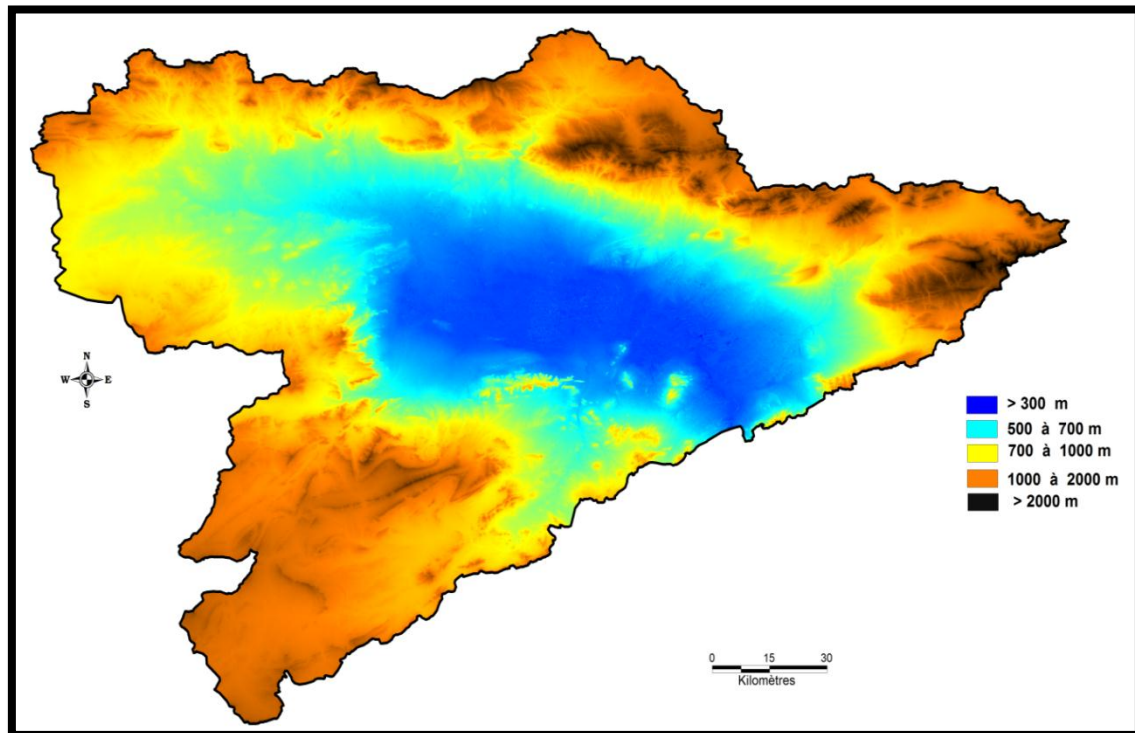


**Figure I.1** La situation du bassin versant du Hodna

**I.1.1 Relief**

Le relief est l'ensemble des irrégularités du sol qui se mesurent par rapport au niveau de la mer. Ces reliefs forment une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Le bassin du Hodna est divisé en quatre unités géomorphologique :

La région montagneuse, la plaine du Hodna, le Chott Sebkhah et la région du R'mel. D'une altitude variable de 1400 à 1800 m qui relie l'atlasien à l'atlas saharien, le Chott Sebkhah occupe une superficie 100 km<sup>2</sup>. S'étire de Boussaada à M'doukal, la région du R'mel présente un paysage de dunes et de steppes sableuse.



**Figure I.2** Le relief du bassin versant du Hodna

### I.1.2 Géologie

La géologie du Hodna est assez complexe en raison de la position de la cuvette au contact des atlas tellien et Saharien.

Le substratum géologique, outre son importance dans le façonnement du relief, joue un rôle essentiel dans la distribution des sols comme matériaux originaux des sols (roche mer).

Le bâti géologique du Hodna comporte des formations d'âge secondaire, tertiaire et quaternaire.

La description lithologique du Hodna est obtenue essentiellement des travaux de Savorin (1920) et d'Emberger (1964) où on distingue :

**a- Le trias :** dans les régions qui entourent la dépression du Hodna où les affleurements triasique sont assez nombreux mais n'apparaît qu'en certains points du bassin ; ils sont présentés principalement par des argiles, marnes et minéraux de néoformation, des lambeaux calcaire-dolomique, ainsi que des roches volcaniques.

**b- Le jurassique et le carbonate :** occupants des surfaces réduites du bassin.

**c- Le crétacé :** le crétacé inférieur présente une alternance de faciès marno-gréseux et argilo-gréseux de fortes épaisseurs.

**d- Le Paléocène:** il présente en deux types de formation :

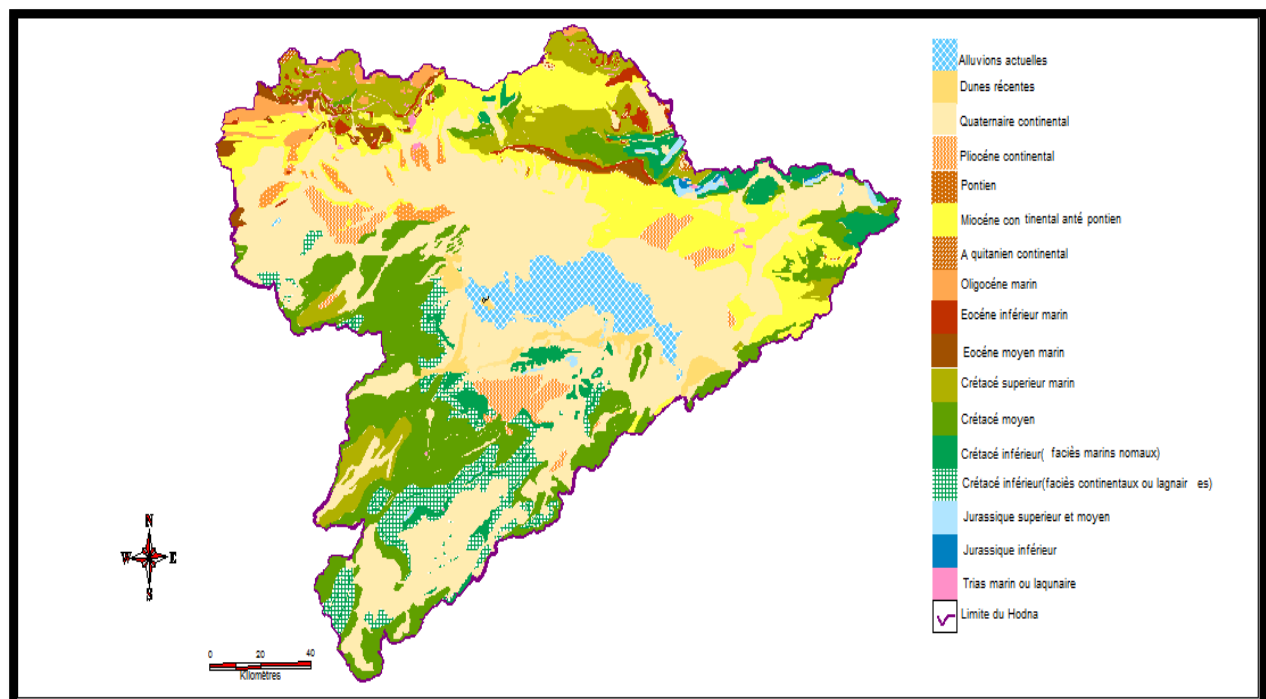
**-Formation autochtones** : représentées par l'éocène de faciès marnes et gypses à passées jaunâtre due à l'alternance de la pyrite.

**-Formations allochtones** : qui sont les terrains argilo-marne-gypseux d'âge éocène et oligocène emballées de façon anarchique au miocène.

**e- Le néogène** : il occupe une grande superficie du Hodna d'âge miocène inférieur et moyenne (marnes gris) et pliocène (plaine de M'sila).

**f- Le quaternaire** : c'est l'âge pendant lequel ont été formés les chotts salés des hauts plateaux et de Sahara. Le quaternaire ancien est présenté par des dalles calcaires conglomératique surmontant localement des argiles sableuse roses.

La structure tectonique actuelle des monts du Hodna c'est formée au cours de diverses phases tectonique du système alpin de l'aire anticlinale de Meharga (sud de chott), avec orientation Est-West (épandages dépassant rarement 30°).



**Figure I.3** La carte géologie du bassin versant du Hodna( **Adoui, 2013**)

### I.1.3 Réseau hydrographique

D'après ROCHE (1963) : le réseau hydrographique est l'ensemble des canaux de drainage naturels ou s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par des nappes souterraines soit sous forme de source, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau.

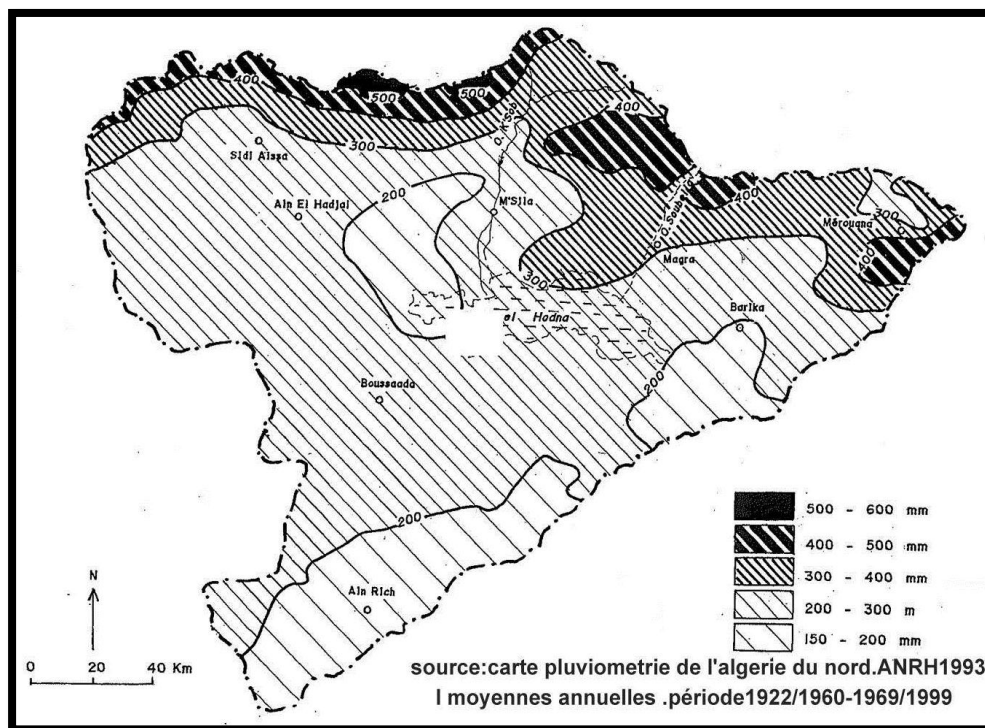
Le régime hydrologique du bassin du Hodna est lié au régime pluviométrique caractérisé par de fortes irrégularités. La pérennité des écoulements de surface (oueds) est très relative.

Oued El Ham à l'ouest, Oued Ksob au Nord, Oued Barika à l'Est et Oued M'sif au Sud sont des oueds pérennes ont des crues secondaires et fortes, les eaux se déversant dans le chotte du Hodna sont estimées à  $150 \text{ hm}^3$  par an pour une année moyennement pluvieuse.

### I.1.4 Climat

C'est l'ensemble des conditions météorologiques d'une région, caractérisé par plusieurs paramètres climatiques qui sont les éléments déterminants de l'écoulement : la pluviométrie, la température, le vent et l'humidité.

**a-Pluviométrie** : est le facteur générateur de l'écoulement, son analyse nécessite tout d'abord la connaissance de l'état du réseau de mesure et de collecte de données



**Figure I.4** Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna (05).

**b-Température** : C'est une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. Il est lié essentiellement à l'altitude et les conditions locales. Dans le bassin de Hodna les températures maximales moyennes suivent en général une répartition géographique : en plaine entre  $24^{\circ}\text{C}$  et  $27^{\circ}\text{C}$ , dans les hauts plateaux et dans les zones d'altitude entre  $19^{\circ}\text{C}$  et  $21^{\circ}\text{C}$ . Les températures minimales moyennes varient entre  $9^{\circ}\text{C}$  et  $12^{\circ}\text{C}$  et entre  $6^{\circ}\text{C}$  et  $9^{\circ}\text{C}$  en plaine et en altitude respectivement.

Le gradient thermique annuelle en fonction de l'altitude est de 0,75°C pour une augmentation de 100 m d'altitude, comparé au gradient moyen admis en Algérie qui est de 0,55°C/100m (**Bouthelja, 2005**).

**c- Le vent :** C'est un facteur favorisant l'évaporation, il transporte les couches d'air saturées qui sont près des surfaces de l'eau ou des sols pour être remplacées par des couches d'air plus au moins sec.

Les vents dominant sont ceux de l'ouest et du nord-ouest, ils sont fréquent pendant la période hivernale, et relayés par les vents du sud (sirocco) pendant la saison estivale (juin, juillet, août) avec un nombre de jours variant entre 25 et 34 par ans (**Bouthelja, 2005**).

D'après les données des deux stations climatiques de l'Office Nationale de Météorologie, à Ghezel (M'sila) et à Bordj Bou Arreridj, c'est dans la période allant d'avril à août que les moyennes mensuelles sont les plus élevées, avec des valeurs supérieures à 4,5 m/s à M'sila et 3 m/s à BBA. Les écarts entre les vitesses moyennes mensuelles, en plus de la moyenne annuelle (4.32 et 2.95 m/s) à M'sila sont plus importants qu'à BBA (**Grine, 2009**).

**d- Humidité :** L'humidité de l'air joue un rôle dans l'évaporation. Plus l'air n'est moins humide, il est apte à absorber de l'humidité supplémentaire. Le bassin du Hodna est caractérisé par un climat méditerranéen semi-aride. Une pluviométrie d'automne, d'hiver et de printemps avec une fréquence d'averses printanières qui engendrent des crues violentes quelquefois accompagnées de grêle. Une sécheresse d'été marquée avec une irrégularité des précipitations dans l'espace et dans le temps Bouteldja(2005).

La pluviométrie moyenne annuelle est de 400 mm au Nord et de 200 mm au Sud.

Les températures maximales moyennes oscillent entre 24°C et 27°C en plaine, 19°C et 21°C dans les hauts plateaux et dans les zones d'altitude.

Les températures minimales moyennes varient entre 9°C et 12°C en plaine, 6°C et 9°C dans les zones d'altitude.

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

L'évaporation moyenne annuelle mesurée à la station M'Sila (bac classe A américain) après sa correction pour l'évaporation sur de grande surface libre est de 2120 mm(**Hedjazi2009**).

### I.1.5 Couvert végétal

Le couvert végétal influe beaucoup sur les quantités d'eau disponibles pour l'écoulement de surface. En effet, l'évapotranspiration par les végétaux est très importante, elle varie selon la nature des végétaux (forêts, cultures, prairies).

La répartition du couvert végétal et la part de chaque type de couvert dans chaque sous bassin versant dépend des caractéristiques physico-géographiques de chaque bassin, des caractéristiques climatiques qui en déroulent et de l'influence de l'action anthropique.

Pour le bassin du Hodna on distingue:

- Des superficies forestières dominantes Djebels Messaad (33 814ha), Medjedel (16 321ha), Slim (14 916ha), Maadhid (6 448ha), Hammam El Dalaa (16 819ha), Boussaâda (3 739ha) à base de Pin d'Alep et Genévrier de Phénicie.
- Des superficies agricoles dans la plaine de M'sila qui propice aux cultures maraîchères (15 125ha), aux céréales (741 945ha) et les arbres fruitiers (14 170ha) (**Bourenane, 2008**).

### Conclusion

Le bassin versant du Hodna est le 5<sup>ème</sup> grand bassin Algérien, il est situé au centre de l'Algérie avec une superficie de 25830 Km<sup>2</sup>. Il est divisé entre 23 sous bassins. Son relief est caractérisé par des séries de montagnes au Nord et au Sud en organisant le bassin autour d'une cuvette fermée d'une altitude de 400 m. Au centre de cette cuvette on trouve le chott avec une superficie de 1150 km<sup>2</sup>.

Le réseau hydrographique du Hodna est irrégulier lié à son régime pluviométrique, ses oueds les plus principaux sont : El Ham, K'sob, Barika, Soubella, Lougmane Selmane et Berhoum ».

Une grande complexité dans la structure géologique et lithologique du bassin du Hodna en raison de la situation de ça cuvette au contact des Atlas tellien et Saharien.

La couverture végétale est pauvre, en exception de quelques régions limitées, les zones d'irrigation au niveau de la plaine de M'sila et au niveau des monts de Messaad, Maadhid, Hourane. Les précipitations moyennes annuelles du bassin sont comprises entre 200 mm et 400 mm, et un volume d'ETP important.

*Chapitre II*

*Description du bassin versant de  
l'oued ksob*

## **Chapitre II : Description du bassin versant de l'oued Ksob**

### **Introduction**

Après avoir défini le contexte géographique et géomorphologique du grand bassin de Hodna, nous définirons dans ce chapitre le contexte du sous bassin-versant Ksob.

### **II.1 Généralité sur le Bassin versant de l'oued ksob**

#### **II.1.1 Localisation et situation de la zone d'étude**

Le bassin versant de l'oued Ksob est l'un des sous bassin du grand bassin du Hodna situé dans sa partie Nord, il est limité au Nord et au Nord-Ouest par la chaîne montagneuse des Bibans ; au Sud et au Sud-Ouest par les monts du Hodna et à l'Est par les hautes plaines de Sétif (**Figure II.1**).

Il se situe dans une zone entre les longitudes ( $4^{\circ}30'$ - $5^{\circ}17'$  Est) et les latitudes ( $35^{\circ}45'$ - $36^{\circ}9'$  Nord). Le bassin versant de l'oued Ksob est constitué de deux ensembles physiques distincts, il s'agit des bordures montagneuses, entre lesquelles s'étend une vaste plaine, appelée hautes plaines de Bordj-Bou-Argeridj.

Les bordures sont formées au sud par les monts de Hodna d'orientation Est-Ouest dont les altitudes sont relativement élevées (Dj. Maadid 1819 m, Dj. el Mzaita 1545 m et Dj. Kender 1640 m) avec un point culminant de l'ordre 1875 m à Dj. Chelendj ; cette bordure est découpée en deux compartiments par de l'oued Ksob et au nord par la chaîne de Bibane (Dj. Moutène) d'orientation SW-NE. Les bordures montagneuses se caractérisent par une structure complexe et charriée ; très écaillée, formées dans des formations secondaires très variées ; comme les calcaires, les grès les schistes, les marnes, les marno-calcaires, les dolomies, et les formations triasiques.

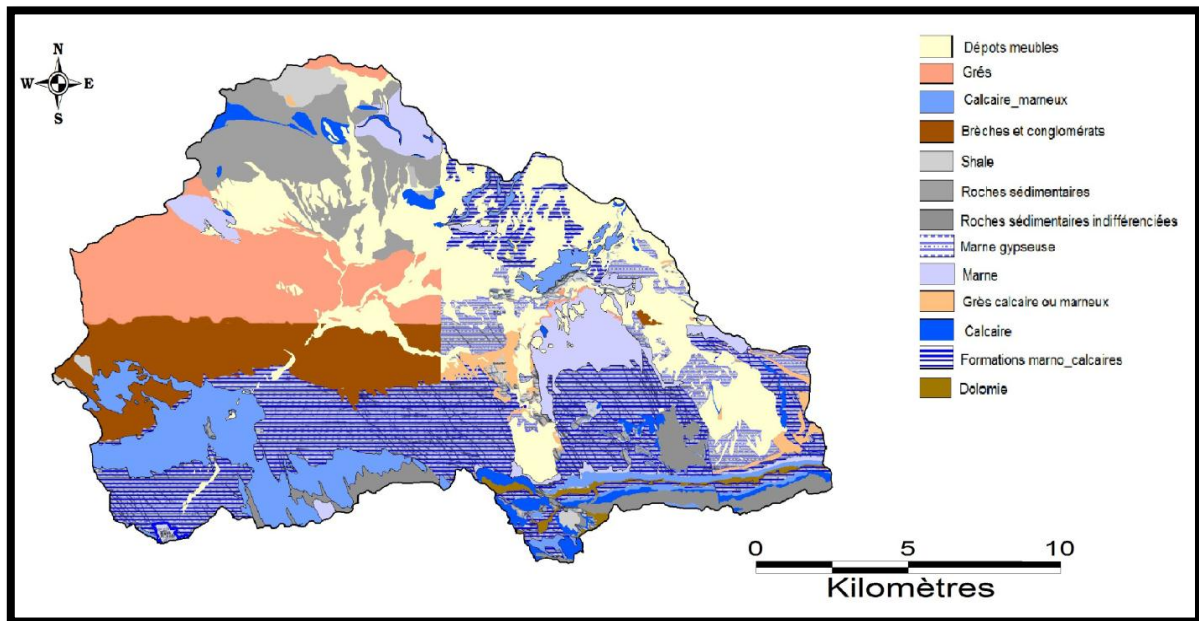
Sur le plan bioclimatique, ces bordures s'inscrivent dans un domaine semi-aride, avec une pluviométrie moyenne annuelle 320 mm ; matérialisée surtout par un couvert végétal dégradé. La plaine, est d'une altitude voisine de 950 m en moyenne, avec une pente très faible ne dépassant pas 1%. Elle est aménagée dans des formations essentiellement quaternaires.



Figure II.1 Situation de bassin versant de Ksob

### II.1.2 Géologie du bassin versant de l'oued Ksob

Dans son ensemble, le Djebel Maadid peut être considéré comme un vaste anticlinal à cœur aptien et dont les flancs sont constitués par les séries de plus en plus récentes du Crétacé moyen et supérieur. La sédimentation de tous les étages du Crétacé représentés au Maadid est continue ; la première discordance apparaît après le Sénonien dont les couches terminales ont été érodées par un Éocène transgressif. La formation de poudingues dès Lutétien précède l'émersion généralisée du massif du Maadid ou le Nummulitique supérieur est entièrement continental. La mer ne reviendra qu'au Burdigalien, qui est transgressif et légèrement discordant sur les terrains éocènes. Les couches géologiques constituant les auréoles externes du massif proprement dit se superposent du Sud au Nord en de puissantes assises dont les plus anciennes arrivent aux arêtes culminantes. Ces assises, coupées de vive force par la vallée de l'Oued Ksob, donnent une succession de seuils rocheux, séparant des terrains plus tendres, argiles ou marnes.



**Figure II.2** Carte géologique du bassin de Ksob

### **a-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 tous les caractères de faille normale, ces failles 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 direction plutôt Est-Ouest (Hattab et Delaladjah 2007).

#### **-Les plis**

On distingue seulement deux importantes unités structurales : La première comprend les anticlinaux du Maadid et de Medjez-Dréât. Elle fait partie de la rangée d'anticlinaux du Nord du Chott El Honda. 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 Dréât. Dans le Suddu 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 Dréât, plus faiblement bombé, commençant dans les environs de Medjez. Les couches les plus inférieures appartiennent au Cénomaniens, visible sous le Kef el Assel, dans le Nord-Ouest. À l'Ouest de Medjez seul le flanc Sud de cet anticlinal se montre au-dessous du Burdigalien transgressif, (Hattab & Delaladja, 2007)

### **II.1.3 Lithologie de bassin versant de l'oued Ksob**

Du point de vue lithologique (voir figure II.03), le bassin de l'Oued Ksob est constitué principalement de terrains d'Age du crétacé et du miocène.

**a- Le Maestrichtien (crétacé) :** Ce faciès affleure en large bande dans le Sud du bassin de Ksob, puis large mont sur le flanc Nord du Djebel Maadid, on le retrouve aussi au Nord du bassin au sud-ouest de Medjana.

Le Maestrichtien (y compris la partie calcaire du Danien) comprend presque partout trois subdivisions :

**-La partie inférieure** est constituée en une série de calcaire et de grès.

**-La partie moyenne** est particulièrement marneuse avec intercalations de calcaires- grès compacts.

**-La partie supérieure** présente en grande partie le même faciès que la partie inférieure, vers le sommet, on rencontre fréquemment des calcaires ocreux ou faunes à niveau glauconieux pétris de fragments d'huitres.

Ces terrains occupent approximativement 25% du bassin versant toujours au Sud du bassin du bassin 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 marne-calcaire et de calcaires marneux.

#### **b- Le Cartenien (Miocène)**

Ce faciès occupe toute la partie Sud-Ouest et centre de bassin (Djebel Zeggeur, Djebel Mansourah et OuledKhelouf) on la retrouve également au Nord du bassin (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 30% du bassin versant.

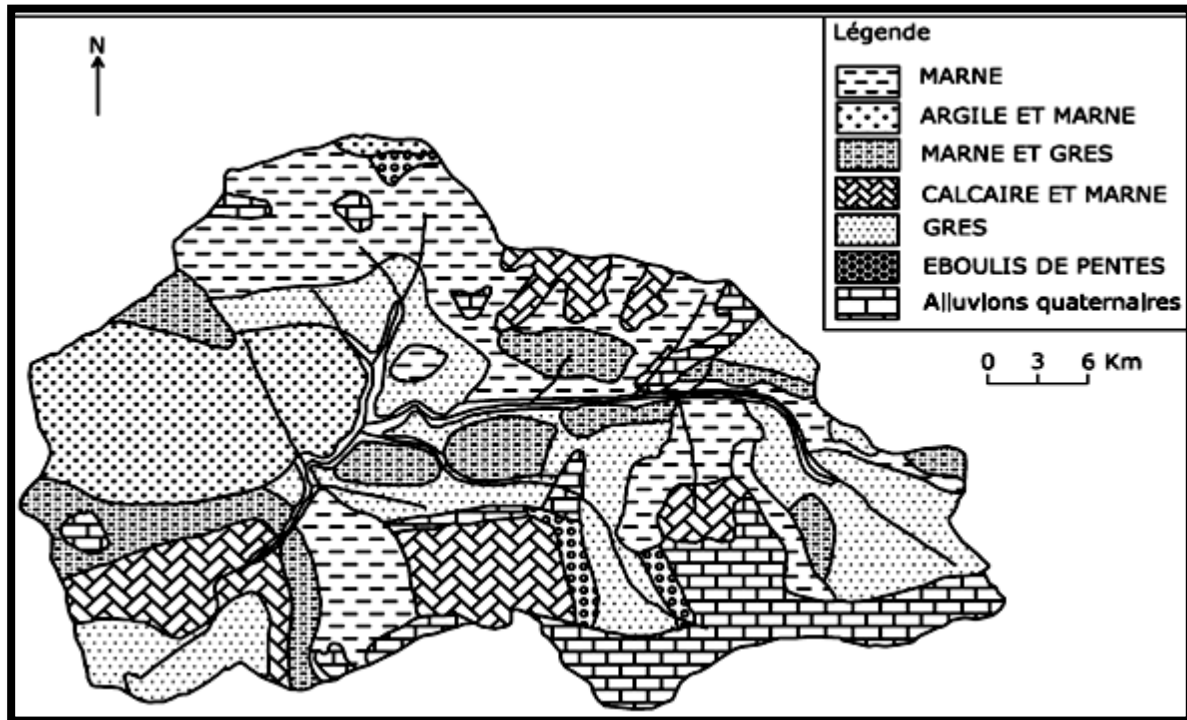
#### **c- Alluvions du quaternaire**

On rencontre ce type de terrains dans la dépression de Medjana, dans les cuvettes de Ras-El-Oued et Bordj Ghdir. 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 grandes surfaces, occupent ainsi 35% du bassin versant.

- On doit noter que toute la partie sud du bassin de Ksob (50 % de la superficie) est affectée par la fracturation ou caratification.

- La partie nord du bassin est constituée principalement de roches calcaires, de grés et d'alluvions du quaternaire (Labri, 1986).

Les formations lithologiques Figure (03), sont aussi très variées mais avec une prédominance des formations calcaires. Les séries exclusivement calcaires de l'Aptien inférieur constituent un ensemble homogène qui s'étend au Sud sur les monts du Honda et le Djebel Mzaita ; on note cependant quelques affleurements au Nord et au Nord-Est.



**Figure II.3** Lithologie du bassin versant de l'Oued Ksob

Les formations à alternance de calcaire et de marne apparaissent en plusieurs unités de taille variable, cependant elles trouvent leur plus grande extension au Nord, sur le plateau de Mzaita et les monts de Maadid. Le calcaire marneux affleure largement au Sud du bassin notamment sur le Djebel Maadid, sur le plateau de Lestah à l'Ouest et Mzaita à l'Est.

Les formations gréseuses occupent 1/3 du bassin versant, la série exclusivement gréseuse occupe une surface très réduite se limitant à un affleurement au sud du Djbel Morissane. Les séries à alternance de grès et d'argile, de grès et de marne s'étendent sur des surfaces relativement importantes, la première occupe le Nord-Est du bassin en un ensemble continu ; elle présente à sa base une assise argileuse surmontée de grès grossier alternant avec des argiles noires. La seconde affleure en plusieurs endroits discontinus notamment au Sud-Ouest (Guiraud, 1973).

### II.1.4 Importance de la porosité et ses nuances

Nous distinguerons :

#### a- Les terrains à forte capacité aquifère

Ils regroupent d'une part Figure (04), les roches meubles à perméabilité : sable, gravier, limon, alluvions diverses, etc. ou l'eau se trouve incluse dans la masse des roches en occupant tous les vides interstitiels. La différence qui existe entre toutes ces roches ne peut qu'être dans le volume du vide ou la porosité. Et d'autre part, les roches compactes à perméabilité importante, ce sont tous les terrains rocheux fissurés tels que les calcaires, les grès, les quartzites, les conglomérats, etc. ces fissurations peuvent être larges ou étroites, plus ou moins nombreuses suivant le type de matériaux, l'essentiel est que l'eau peut circuler à l'intérieur de ces matériaux.

#### b- Les terrains à faible capacité aquifère

Ce sont toutes les roches meubles ou compactes qui représentent une faible porosité et que l'eau ne traverse que difficilement. Les terrains constitués de marnes, d'argile ou de série à dominance argileuse, marneuse et schisteuse, etc., sont les terrains concernés car ils ne peuvent servir de réservoir aquifère.

La classification des formations lithologiques et le planimétrage de leurs surfaces, (**tableau II.01**) nous permet d'évaluer la proportion et l'importance des deux classes dans le bassin versant. Cependant, certaines réserves doivent être émises quant à la limite entre les deux classes qui est subjective, et quant aux caractéristiques aquifères des séries alternées, qui dépendent beaucoup plus des conditions locales de ces formations locales de ces formations (extension, puissance, pendage, etc.).

**Tableau II.1** Répartition des terrains selon leurs degrés de perméabilité dans le bassin de Ksob

Classement	Terrains à forte capacité Aquifère		Terrains à faible capacité Aquifère	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
B. versant				
Ksob	873.74	60	582.49	40

**Source** : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (F.A.O, 1971)

À l'échelle globale, on relève la prédominance de terrains à forte capacité aquifère, constitués essentiellement de formations alluvionnaires qui déterminent la présence de nappes

phréatiques plus ou moins importantes, et des séries calcaires et gréseuses déterminant des aquifères importants.

Dans le bassin de l'Oued Ksob, la proportion des terrains à forte capacité aquifère est relativement importante ; il s'agit aussi bien des terrains alluvionnaires, que des grès et des formations calcaires. Ceci implique la présence de plusieurs nappes superficielles à extension et de profondeur faible ne convenant d'ailleurs qu'à la petite hydraulique. Les nappes profondes sont liées aux grands complexes calcaires dont la structure est encore mal connue. Il est probable que les nappes phréatiques qui existent dans le bassin versant alimente l'écoulement des talwegs principaux qui sont permanents tout au long de l'année hydrologique

**c - Caractéristiques des matériaux du bassin versant :** les caractéristiques des matériaux dans un bassin versant sont résumées dans le tableau suivant.

**Tableau II.2** Caractéristiques des matériaux du bassin versant.

<b>Formations</b>	<b>Résistance à matériaux</b>	<b>Perméabilité</b>
Marne	Non résistant	Perméabilité faible
Calcaire et marne	Résistant	Semi-perméable
Grès	Très résistant	Semi-perméable
Argile et grès	Très résistant	imperméable
Marne et grès	Résistant	perméable
Eboulis et pentes	Résistance moyenne	Perméable
Alluvions quaternaires	Résistance moyenne	Perméable

On peut considérer le bassin de l'Oued Ksob comme un bassin perméable dont le paramètre caractéristique de la perméabilité du bassin est  $K = 75$  (tableau II.3).

**Tableau II.3** Degré de perméabilité

<b>K</b>	<b>DEGRÉ DE PERMÉABILITÉ</b>
8.5	Élevée
<b>75</b>	<b>Moyenne</b>
350	Moyenne faible
1400	Faible
3200	Imperméabilité

### **II.1.5 Type de couverture végétale**

La couverture végétale d'un bassin versant est un facteur important de l'écoulement et de l'érosion hydrique ; son action complexe et contradictoire s'exerce aussi bien sur les paramètres climatiques notamment l'évaporation, que sur les bilans hydriques des sols. En effet, par les organes aériens, la végétation intercepte une partie des précipitations qui est évaporée au niveau du feuillage avant de parvenir au sol. Les végétaux jouent un rôle mécanique très important dans les zones de forte activité en freinant le ruissellement lors des averses, ce qui diminue la vitesse de concentration des eaux dans les oueds et par conséquent, ils atténuent la violence des crues et leur agressivité sur le sol. Mais l'efficacité de ces impacts de la couverture végétale dépend du type de végétation, et plus particulièrement de sa densité et de son degré de recouvrement du sol. Or, si la répartition spatiale de cette couverture végétale est plus ou moins aisée à délimiter, l'aspect quantitatif est encore insuffisant. L'importance de ses effets hydrologiques n'a pas réellement été appréciée car aucune mesure ni étude, n'a été menée dans ce sens dans la région.

#### **a- Classification de la végétation**

L'approche hydrologique de la végétation est différente de l'approche botanique qui étudie les caractéristiques propres de chaque espèce végétale et des associations végétales. Nous prendrons en considération dans cette étude, l'unité d'étude hydrologique qui est le bassin versant et sa localisation géographique. L'approche dans ce cas ne peut être que macroscopique en rapport avec des surfaces étendues sur lesquelles pousse un grand nombre de variétés.

L'évaluation annuelle de ces paramètres climatiques (pluviométrie et température) permet de distinguer une période chaude et sèche et une période relativement fraîche et humide.

Plusieurs classifications plus ou moins complexes ont été proposées, mais la classification des types de couverture végétale par ordre de densité et est plus apte à montrer l'impact du couvert végétal sur les conditions d'écoulement, et s'adapte bien à notre contexte (Bouteldja, 2005)

Elle a déjà été appliquée au bassin du Kébir Rhumel, (Mebarki,1982) dont nous reprendrons la distinction en trois grandes catégories de type de couverture végétale.

**-Les surfaces bien protégées**

Ce sont les surfaces qui bénéficient d'une couverture végétale plus ou moins dense et permanente et plus spécialement les forêts. Ces dernières, malgré la diversité des peuplements ont un impact hydrologique favorable du point de vue pédologique d'abord : perméabilité, profondeur, et forte capacité de rétention des sols n'autorisant pas le ruissellement superficiel, mais seulement un écoulement hypodermique moins rapide. Sur les reliefs, la couverture végétale protège contre l'érosion hydrique et la concentration rapide des eaux. De ce fait, la Forêt a un rôle pondérateur sur l'écoulement, mais à condition qu'elle soit bien développée.

**-Les surfaces partiellement protégées**

Ce sont les surfaces partiellement nues en permanence, et les surfaces saisonnièrement protégées. Il s'agit généralement des terres de culture destinées soit à la céréaliculture qui protège le sol une période seulement de l'année, soit à l'arboriculture qui recouvre mal le sol du fait de l'espacement des arbres. La pratique de la jachère nue qui est malheureusement encore courante est très dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection. Ces surfaces ont un rôle hydrologique important et différencié selon le type de spéculation, selon le stade végétatif, selon l'état du sol au moment des pluies et selon les pratiques culturales. Sur les parties nues du bassin versant, notamment en saison de préparation du sol, les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives et des crues inondations.

**- Les surfaces mal protégées ou nues**

Elles englobent les terrains dénudés, les terrains de parcours, arbustes, taillis et broussailles à faible densité de recouvrement. Sur les terrains dénudés, la circulation de l'eau dépend directement du caractère des formations lithologiques : infiltration dans le cas des formations perméables, et ruissellement dans le cas formations imperméables. Cette phase est très courte puisque les processus s'estompent dès la fin de l'averse et le terrain retrouve son état initial.

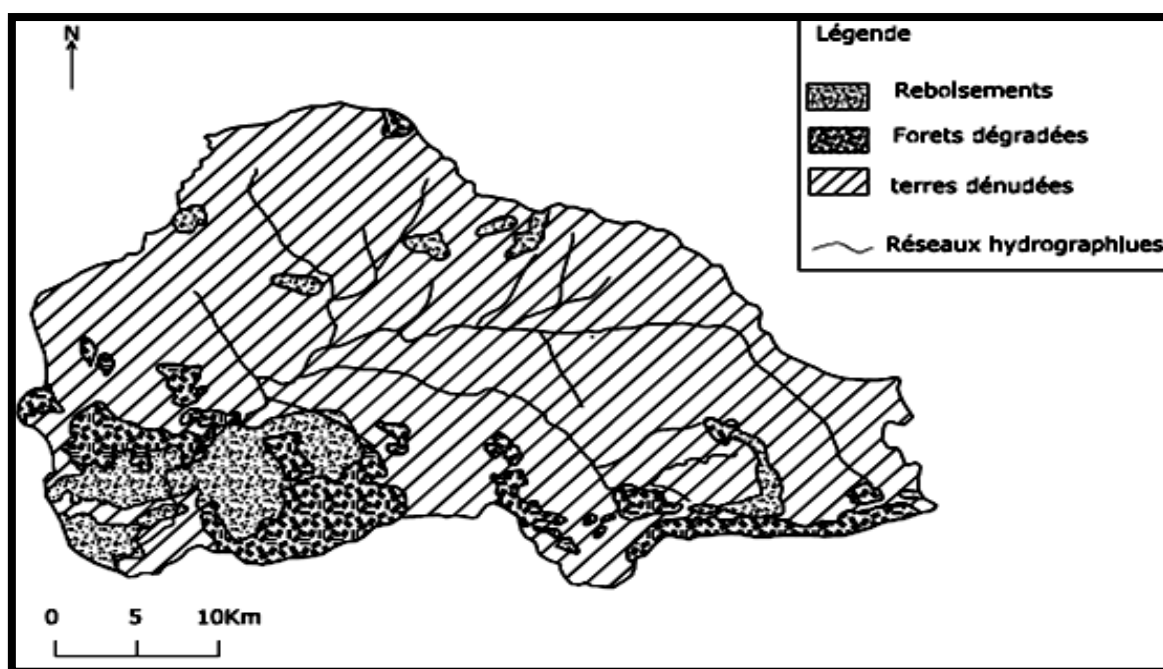
**-Les terrains de parcours bien traités**

Sur les terrains de parcours bien traités, l'humus et la végétation protègent la surface du sol contre l'énergie des gouttes de pluie et facilitent l'infiltration. Mais si la steppe est fortement pâturée (surcharge pastorale) il en résulte une dégradation de la couverture herbacée, un tassement du sol, un faible taux d'infiltration et un accroissement du ruissellement superficiel qui

engendrent par conséquent une érosion hydrique intense et un régime d'écoulement très irrégulier

### II.1.6 Répartition des types de couverture végétale dans le bassin versant de Ksob

La répartition du couvert végétal et la part de chaque type de couvert dans le bassin versant dépend des caractéristiques climatiques qui en découlent. Le bassin versant d'oued Ksob (Figure II.4), présente une couverture végétale forestière plus importante : respectivement 25% de la surface totale du bassin. Cette prédominance s'explique par la présence de reliefs montagneux importants (Djebel Maadid), qui s'accaparent une proportion importante de la surface de bassin versant, et par la réalisation de plusieurs programmes de reboisement sur ces reliefs dans cadre, soit de la défense et de la restauration des sols, soit de la protection du périmètre du barrage de l'oued Ksob.



**Figure II.4** Couverture végétale dans bassin versant de l'oued Ksob

Les terres de culture représentent respectivement 55%, et s'étendent essentiellement sur les plaines de Ras el Oued, Bordj Ghdid, Bordj Bouarerdj, s'adonnant à la céréaliculture avec jachère. Les surfaces mal protégées ou nues ne représentent que 20%, car les terrains de parcours sont très limités et les conditions pédoclimatiques (pente et épaisseur des sols, précipitations et températures) sont encore favorables aux pratiques de la céréaliculture traditionnelle.

**Tableau II.4** Répartition des types de couverture végétale dans le bassin de l'oued Ksob

Bassin versant	surfaces bien protégées		Surfaces incomplètement protégées		Surfaces mal protégées ou nues	
	Sup. (Km <sup>2</sup> )	%	Sup. (Km <sup>2</sup> )	%	Sup. (Km <sup>2</sup> )	%
Oued Ksob	Forets maquis	%	arboriculture, Alfa,	%	arbc, Alfa	%
			céréaliculture		céréaliculture	
	364.23		25		801	

### II.1.7 Climat dans le sous bassin de Ksob

Les paramètres climatiques d'un bassin versant sont les éléments les plus déterminants de l'écoulement, les précipitations sont le facteur principal qui influence directement l'écoulement, pour notre bassin versant de l'oued Ksob, la pluviométrie moyenne interannuelle est de l'ordre 320 mm. Pour la pluie journalière maximale interannuelle, elle est de l'ordre de 36.3 mm.

La température est un facteur très important, qui conditionne les phénomènes et les paramètres du bilan hydrologique en particulier.

La saison chaude s'étend de Mai à Octobre, avec un maximum en juillet, qui atteint la valeur 34.7°C.

Alors que la saison froide correspond à Novembre et Avril avec un minimum en Janvier de 1.7°C, la diminution du Nord vers le Sud des températures pour le bassin versant de l'oued Ksob est liée essentiellement à l'altitude mais aussi à cause de l'effet de la continentalité dans la région des hautes plaines ( Blissag et Charabi,2011).

### Conclusion

Le bassin versant de l'oued Ksob est un sous-bassin du Hodna, il est situé dans sa partie Nord. Le Ksob est constitué de deux ensembles physiques distincts, il s'agit des bordures montagneuses, entre les quelles s'étende une vaste plaine, appelée hautes plaines de Bordj Bou Arreridj. Il se caractérise par une structure complexe et charriée ; très écalée et très varié dans des formations secondaires; comme les calcaires, les grés les schistes, les marnes, les marno-calcaires, les dolomies et les formations triasiques.

Le bassin est caractérisé par une couverture végétale forestière plus importante et un gradient de température en diminution Nord vers le Sud en liaison à l'altitude. Avec une précipitation moyenne interannuelle de l'ordre de 320 mm

*Chapitre III*

*Caractéristiques morphométriques du  
bassin versant de l'oued ksob*

## **Chapitre III : Caractéristiques morphométriques du bassin-versant de l'oued Ksob**

### **Introduction**

La réponse hydrologique peut être le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs. La pente favorise le ruissèlement et le déclenchement des phénomènes érosif. L'hypsométrie joue un rôle très important dans l'érosion, lorsque l'altitude augmente la pluie s'élève d'une façon générale en fonction de l'exposition, ce qui donne à notre bassin une pluviosité et un écoulement importants. Ainsi la forme du bassin aide à la réponse rapide de l'écoulement. Dans ce chapitre ces caractéristiques seront déterminées dans le bassin-versant de Ksob.

### **III.1 Caractéristiques de la disposition dans le plan**

#### **III.1.1 Surface**

La surface du bassin-versant est la caractéristique la plus importante, elle s'obtient par planimétrage sur une carte topographique après que l'on y ait tracé les limites topographiques. Dans notre cas, la surface du bassin-versant de l'oued Ksob a été mesurée grâce au logiciel Mapinfo8.0, Elle est de l'ordre :  $A=1491 \text{ Km}^2$ .

#### **III.1.2 Longueur**

On utilise différentes caractéristiques de longueur ; Parmi ces dernières on cite :

##### **III.1.2.1 Périmètre**

Le périmètre du bassin-versant est la longueur de la ligne de partage des eaux. Le périmètre peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par des logiciels de dessin cités précédemment.

Dans notre étude, le périmètre du B.V de l'oued Ksob mesuré par Mapinfo8.0 est de  $P= 184.7 \text{ Km}$ .

##### **III.1.2.2 Longueur du bassin versant**

C'est la ligne droite qui relie l'exutoire et le point le plus éloigné situé à l'amont du bassin. Pour le Bassin de l'oued de Ksob elle est :  $L_{BV} = 54.79 \text{ Km}$ .

### III.1.2.3 Longueur du talweg principal

On admet qu'il faut poursuivre le thalweg indiqué sur les cartes topographiques, vers l'amont jusqu'à la limite du bassin. De même, si la partie avale présente des méandres, on curvimètre généralement tous les méandres.

La longueur du talweg principal du B.V Ksob en utilisant Mapinfo8.0 est de **L=66.24 Km**.

### III.1.2.4 Largeur du bassin-versant

Elle se définit comme la plus grande largeur (l) perpendiculaire à la plus grande longueur (L). Elle peut être également calculée par la relation suivante :

$$l = \frac{S}{L_{BV}} \dots \dots \dots (III.01)$$

S : superficie du bassin-versant en Km<sup>2</sup>.

L<sub>BV</sub> : longueur du bassin-versant en Km.

Pour le B.V de l'oued de Ksob, elle est égale : **l=27.21 km**.

### III.1.3 Indice de compacité de Gravelius

L'indice de compacité (K<sub>G</sub>) renseigne sur la forme du bassin-versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et surtout, sur l'allure de l'Hydrogramme à l'exutoire du bassin. Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle ayant la même surface du bassin.

Il s'exprime comme suit :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{A} \cdot \pi} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (III.02)$$

Avec :

K<sub>G</sub>: Indice de compacité de Gravelius

P : Périmètre du bassin-versant en km.

A: Superficie du bassin-versant en km<sup>2</sup>.

\* Lorsque K<sub>G</sub> est proche de 1 le bassin-versant est de forme quasiment circulaire

\* Lorsque le K<sub>G</sub> supérieur à 1 bassin-versant est de forme allongée.

Un bassin-versant circulaire est mieux drainé qu'un bassin allongé.

Le coefficient de Gravelius du B.V de l'oued Ksob est : **K<sub>G</sub>=1,34**.

Alors la forme du bassin-versant de l'oued Ksob est bassin allongé.

### III.2 Caractéristiques des altitudes (hypsométrie)

#### III.2.1 Altitudes maximales et minimales

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques.

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin :  $Z_{MAX}=1885 \text{ m}$

L'altitude minimale considère le point plus bas :  $Z_{MIN}=500 \text{ m}$

#### III.2.2 Courbe hypsométrique

L'étude statistique permet de tracer la 'courbe hypsométrique'. Cette courbe donne la surface du bassin-versant (en  $\text{km}^2$  ou en % de la surface totale) où les altitudes sont supérieures à une côte donnée 'h'. Cette courbe est établie en planimétrant pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante.

Pour déterminer les altitudes et les courbes de niveau, les surfaces entre chaque deux courbe de niveaux successives du bassin-versant ont été mesurées par digitalisation en utilisant le logiciel MapInfo.8.0. Les résultats des surfaces partielles du bassin-versant de l'oued Ksob sont présentés dans la figure III.1 et le tableau III.1.

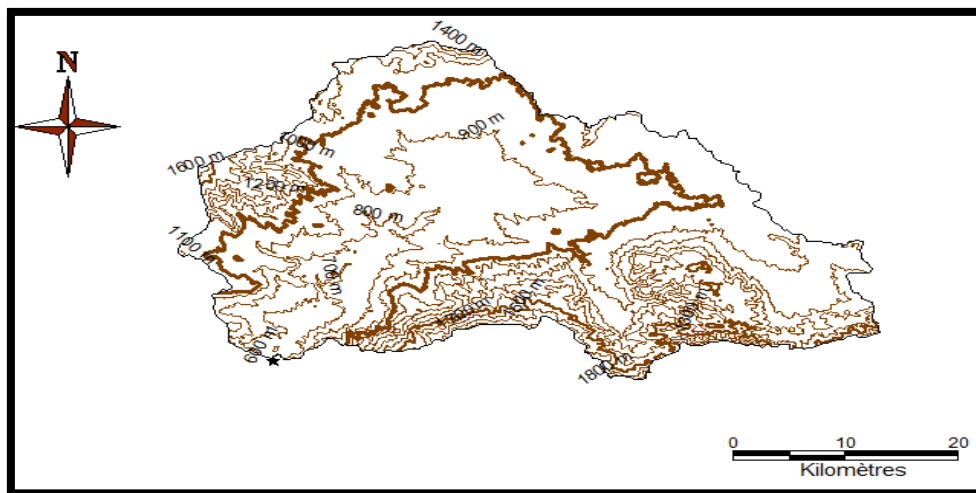
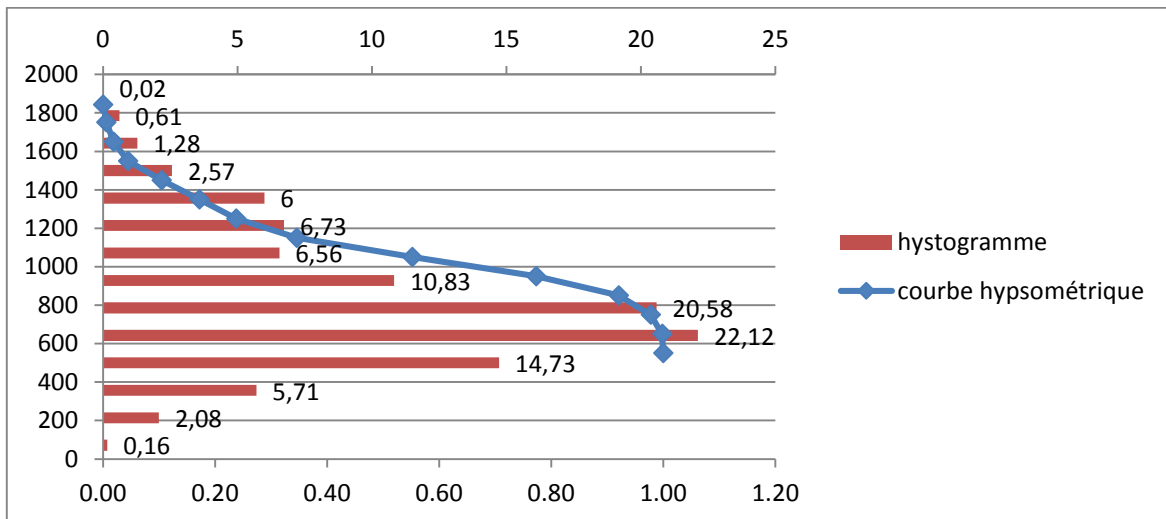


Figure III.1 Carte topographique du bassin-versant de Ksob.

**Tableau III.1** Répartition des surfaces partielles par rapport aux altitudes pour le bassin de l'oued de Ksob

Altitude 'm'	Born supérieur en 'm'	Surfaces partielle		Surfaces cumulée	
		en km <sup>2</sup>	en %	en km <sup>2</sup>	en %
1885-1800	1885	0.2501	0.02	0.2501	0.02
1800-1700	1800	9.0719	0.61	9.322	0.63
1700-1600	1700	19.1576	1.28	28.4796	1.91
1600-1500	1600	38.3481	2.57	66.8277	4.48
1500-1400	1500	89.4787	6.0	156.3064	10.48
1400-1300	1400	100.409	6.73	256.7154	17.22
1300-1200	1300	97.8539	6.56	354.5693	23.78
1200-1100	1200	161.521	10.83	516.0903	34.61
1100-1000	1100	306.844	20.58	822.9343	55.19
1000-900	1000	329.812	22.12	1152.7463	77.31
900-800	900	219.698	14.73	1372.4443	92.05
800-700	800	85.0982	5.71	1457.5425	97.76
700-600	700	31.0488	2.08	1488.5913	99.84
600-500	600	2.4087	0.16	1491	100



**Figure III.2** Courbe hypsométrique et digramme de fréquence

A partir de cette courbe, on détermine :

- ✓ l'altitude à 95% de la surface  $Z_{95\%}=820$  m
- ✓ l'altitude médiane  $Z_{50\%} = 1060$  m
- ✓ l'altitude à 5% de la surface  $Z_{5\%} = 1540$ m.

L'altitude moyenne est définie aussi par la formule suivante :

$$H_{moy} = \sum \frac{S_i \cdot H_i}{S_{BV}} \dots \dots \dots (III.03)$$

D'où :

A : surface totale du bassin-versant ;

A<sub>i</sub> : surface partielle ;

H<sub>i</sub>: L'altitude moyenne entre deux courbes de niveau.

**Tableau III.2** Détermination de l'altitude moyenne du bassin-versant de l'oued de Ksob

Altitude (m)	H moy (m)	Si (Km2)	(SI*Hmoy)/S
1885-1800	1842,5	0,2501	0,3091
1800-1700	1750	9,0719	10,6478
1700-1600	1650	19,1576	21,2006
1600-1500	1550	38,3481	39,8656
1500-1400	1450	89,4787	87,0182
1400-1300	1350	100,409	90,9136
1300-1200	1250	97,8539	82,0371
1200-1100	1150	161,521	124,5802
1100-1000	1050	306,844	216,0873
1000-900	950	329,812	210,1418
900-800	850	219,698	125,2470
800-700	750	85,0982	42,8059
700-600	650	31,0488	13,5357
600-500	550	2,4087	0,8885
Somme		1491	1065
		H moy	1065

On prend: H<sub>moy</sub>=1065

### III.2.3 Dénivelée simple

On définit la « dénivelée D » comme étant la différence de cote entre Z<sub>5%</sub> et Z<sub>95%</sub> ;

Celles-ci sont lues sur la courbe hypsométrique.

$$D = Z_{5\%} - Z_{95\%} \dots \dots \dots (III.04)$$

Pour le bassin-versant de l'oued de Ksob on trouve : D = **720m** ;

**III.2.4 Rectangle équivalent**

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux côtés du rectangle équivalent. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.

Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes:

✓ **Démonstration (Roche, 1963)**

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots(III.05)$$

Dans ce cas pour le bassin de l'oued de Ksob : **k=1.34**

$$2(L + l) = P = \frac{K\sqrt{A}}{0.28}$$

$$L.l = A$$

D'où 
$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right]$$

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right]$$

On aura:

**La longueur :**

$$L_{rec} = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right] \dots\dots\dots(III.06)$$

Pour le bassin de l'oued de Ksob, la longueur du rectangle équivalent est égale: **L<sub>rec</sub>=71.5 km**

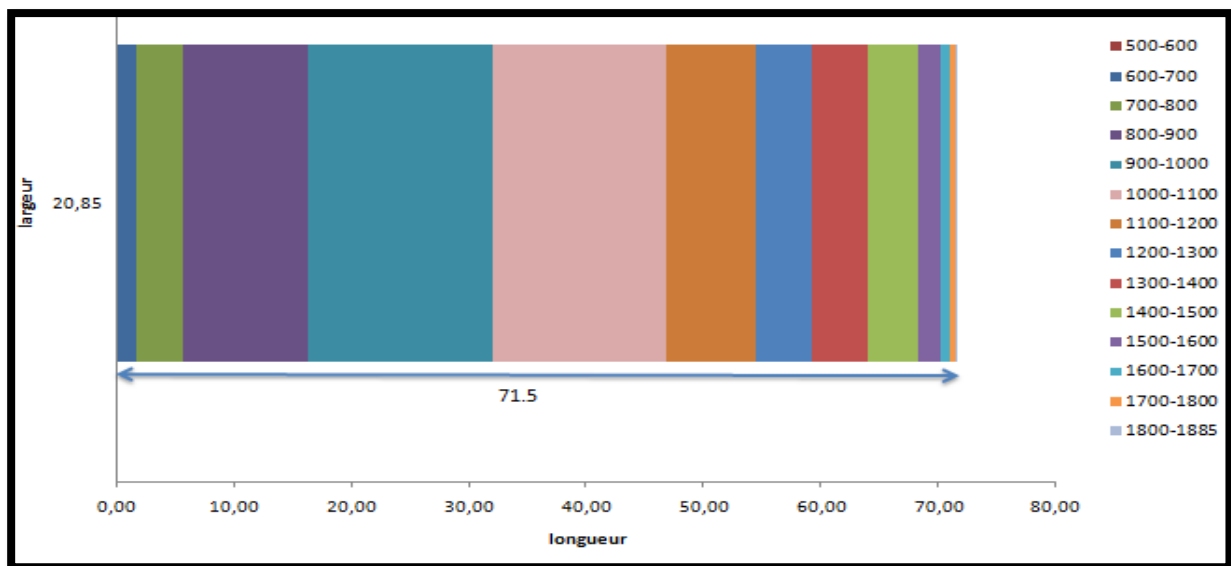
**La largeur :**

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right] \dots\dots\dots(III.07)$$

La largeur du rectangle équivalent du Bassin Ksob est égale :  $l=20.85\text{Km}$  ;

**Tableau III.3** Répartition des surfaces partielles dans rectangle équivalent de l’oued de Ksob

Surface partielle ( $A_i$ ) en $\text{km}^2$	Longueur partielle $L_i$ en km	Larguer ‘l’ en km
0.25	0.012	20.85
9.07	0.435	
19.16	0.919	
38.35	1.839	
89.48	4.291	
100.41	4.815	
97.85	4.692	
161.52	7.745	
306.84	14.714	
329.81	15.815	
219.7	10.535	
85.10	4.081	
31.05	1.489	
2.41	0.116	



**Figure III.3** Rectangle équivalent du bassin-versant de Ksob.

### III.3 Indice de pentes

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d’un bassin-versant et de comparer les bassins versant entre eux. La carte des pentes est l’instrument qui permet de visualiser les nuances topographiques à l’intérieur de l’espace étudié; elle peut être établie à partir des cartes topographiques d’échelle  $> 1/100000$ .

Dans le bassin de l’oued de Ksob, on distingue les pentes seuils suivantes :

- ✓ Plus de 17% : versants érodés, absence de sol.
- ✓ 8 - 17% : bas de versant, quelques dépôts, sol mince cultivé.
- ✓ moins 8% : plaine et terrasse alluviales, dépôts alluviaux et colluviaux.

La carte de la pente (Figure III.4) montre une forte proportion de terrains dont la pente est variable de 5 à 20%, ce qui marque le caractère peu montagneux de ce bassin.

Tribart(1962), a divisé l'écoulement suivant la pente en trois catégories:

- ✓ Écoulement faible : pente <3 %.
- ✓ Écoulement fort : pente à limite de 10 %.
- ✓ Écoulement trèsfort: pente > 10 %.

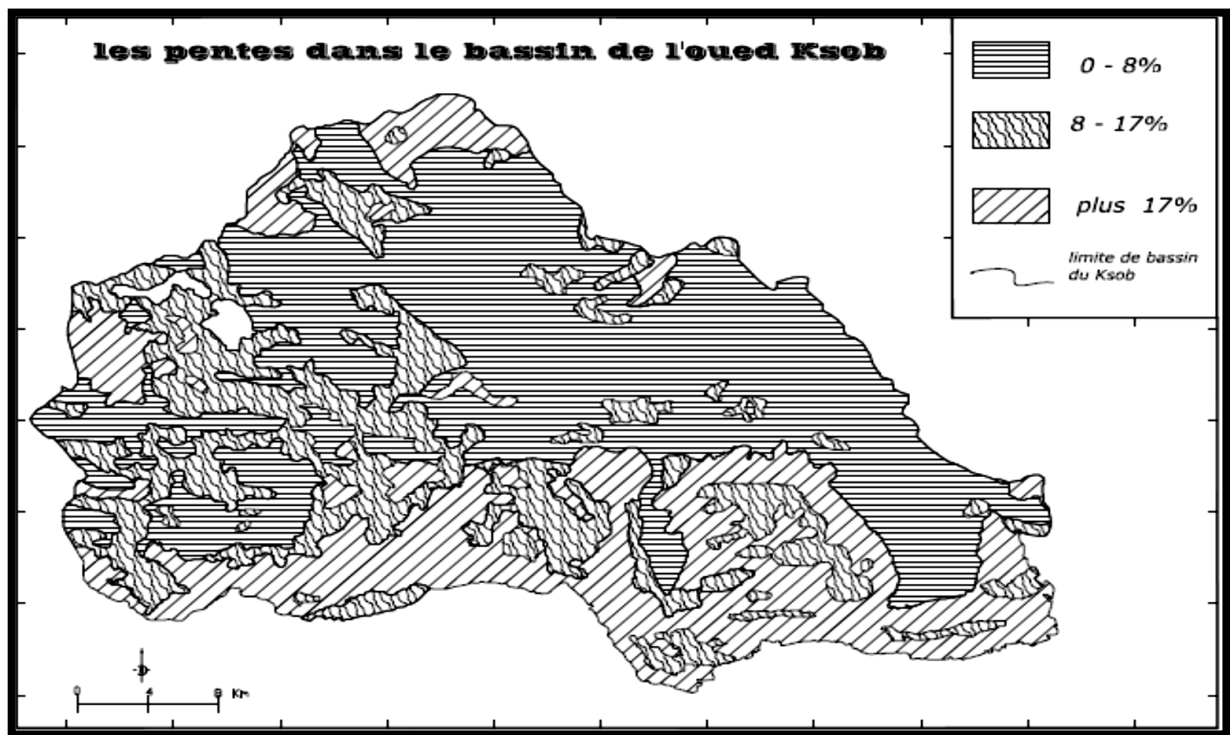


Figure III.4 Pentés dans le bassin-versant de l'oued de Ksob.(Blissag et charabi 2011)

### III.3.1 Pente moyenne

C'est une caractéristique importante des bassins versants qui renseigne sur la topographie du bassin. La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Elles influent sur l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant.

En effet, plus la pente est forte, plus la durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents et le cours principal est faible, par conséquent, le bassin réagira d'une façon

rapide aux averses. Les pentes fortes à très fortes peuvent produire des écoulements de nature torrentielle qui sont à l'origine des crues dévastatrices.

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

$$i_m = \frac{D.L}{A} \dots \dots \dots (III.08)$$

Avec :

$i_m$  : Pente moyenne du bassin-versant en [m /Km]

$L$ : longueur totale des courbes de niveau en [km]

$L=2871$  km

$D$ : équidistance entre deux courbes consécutives en [m]

$D= 1000-900=100$  m

$A$  : Surface totale en [km<sup>2</sup>]

$A=1491$ km<sup>2</sup>

La pente moyenne du bassin-versant de l'oued de Ksobest :  $i_m = \frac{100 \cdot 10^{-3} \cdot 2871}{1491}$ , ***im 19.25%***

### III.3.2 Indice de pente globale $I_g$

$$I_g = D/L = (H5\% - H95\%) / L$$

$H5\%$  et  $H95\%$  sont les altitudes correspondantes à 5% et à 95% de la surface du bassin-versant ; respectivement

$H5\% = 1540$ m

$H95\% = 820$ m

$L_r$ : longueur du rectangle équivalent

$$I_g = 1.08 \%$$

### III.3.3 Indice de pente de Roche

Roche a proposé un indice de pente très facile à calculer, il est donné par la formule suivante:

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L_{rec}}} \sum_{i=1}^n \left( x_i \sqrt{\frac{d}{x_i}} \right) \dots \dots \dots (III.09)$$

$I_p$  : indice de pente [%] ;

$L_{rec}$  : Longueur de rectangle équivalent [m]

$X_i$  : distance qui sépare deux courbes sur le rectangle (facteur de pondération), en [m]

$d$  : distance entre deux courbes de niveau successives (peut être variable) en [m]

$d/X_i$  : pente moyenne d'un élément [%]

$$\sum x_i \sqrt{\frac{d}{x_i}} = 269.37 \text{ m ;}$$

Pour le B.V de l'oued de Ksob l'indice de pente est :  $I_p=31.85 \%$  ;

### III.3.4 Dénivelée spécifique

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

$$D_s = I_g \sqrt{A} = \frac{D}{L} \sqrt{L \cdot l} = D \sqrt{\frac{l}{L}} \dots \dots \dots (III.10)$$

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ( $D = Z_{5\%} - Z_{95\%}$ ) et de la forme du bassin ( $l/L$ ).

Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M, indépendante des surfaces des bassins :

**Tableau III.4** Deuxième classification d'après Office de la recherche scientifique et technique outre-mer 'O.R.S.T.O.M'

R 1	Relief très faible	$D_s < 10 \text{ m}$
R 2	Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25 \text{ m}$
R 3	Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$
R 4	Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$
R 5	Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$
R 6	Relief fort	$250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$
R 7	Relief très fort	$500 \text{ m} < D_s$

Pour le B.V de l'oued Ksob la dénivelée spécifique est :  $D_s=461.46 \text{ m}$ . D'après la classification de l'O.R.S.T.M, notre bassin-versant présente un **relief fort (R6)**, car :  $250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$

### III.4 Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. La définition d'un cours d'eau est difficile à donner avec précision, en particulier pour les cours d'eau temporaires. Selon le support cartographique utilisé, on étudie le réseau avec plus ou moins de détails : en photographie aérienne, on pourra déceler des thalwegs de très faibles extensions, par contre, on ne verra que les cours d'eau pérennes et importants sur une carte au 1/100000.

Le réseau du bassin de l'Oued Ksob est formé de deux affluents qui prennent leur source sur le versant nord des monts du Hodna :

- ✓ Oued Bieta dont les sources se situent entre 1200 m et 1400 m sur le flanc septentrional de l'anticlinal des oueds Tebben.
- ✓ Oued El Amriqui se forme à l'altitude de 1700m sur le versant nord du Djebel Sidi Sahab.

Ces deux affluents collectent toutes les eaux qui ruissellent sur la partie orientale du bassin. Après la confluence, L'oued Ksob coule dans la direction sud-ouest et contourne le djebel Maadid. Il reçoit plusieurs affluents dont oued Lechbour, issu des monts de Medjana, et oued Ziatine qui descend des contreforts du djebel Mansourah au sud-ouest du bassin.

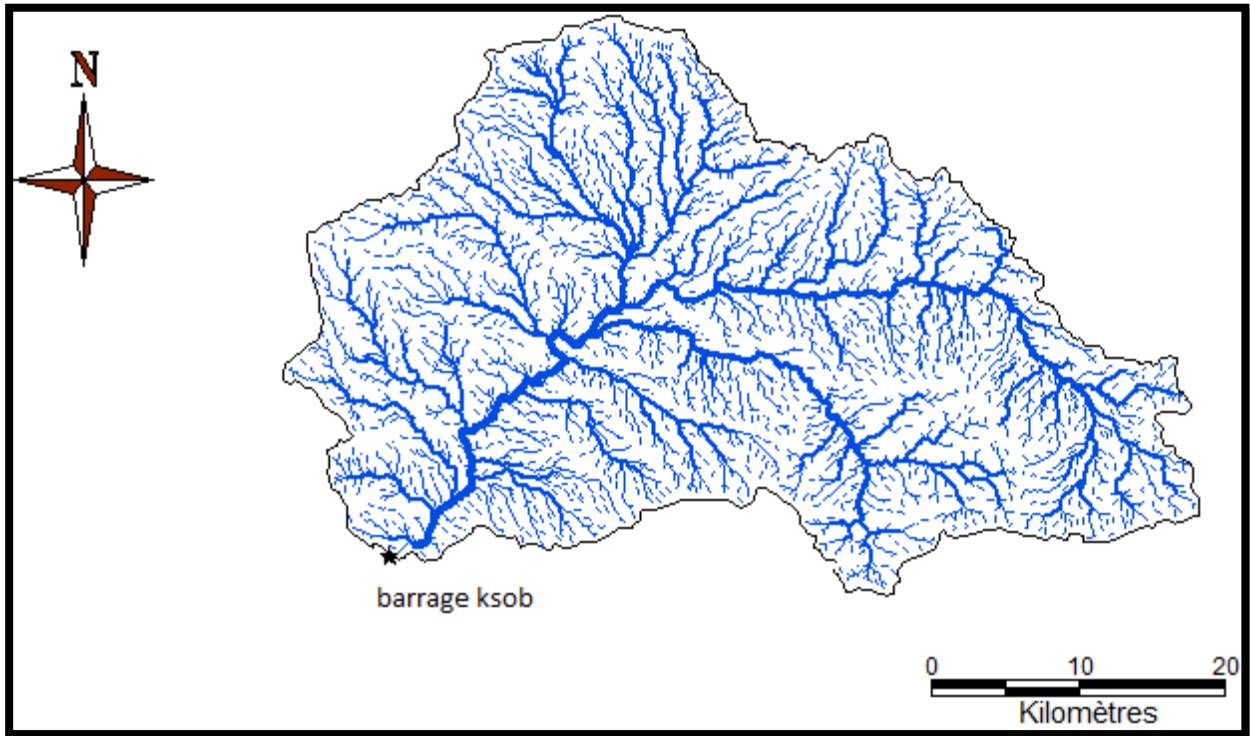
Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

#### III.4.1 Réseau hydrographique du bassin-versant de l'oued Ksob

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro en fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau. Parmi plusieurs classifications, nous adopterons celle de Strahler:

- ✓ Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1,
- ✓ Au confluent de deux cours d'eau de même ordre  $n$ , le cours d'eau résultant est d'ordre  $n+1$ ,
- ✓ Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par:

$n + n = n + 1$  et  $n + m = \max (n,m)$ . a l'aide du Logiciel **Global Mapper** on a trouvé que le bassin-versant de l'oued de Ksob est de l'ordre 6



**Figure III.5** Carte du réseau hydrographique du bassin-versant de Ksob

### III.4.2 Profil longitudinal d'un cours d'eau principal

Ce profil est établi en portant en abscisses les longueurs développées du lit de la rivière à partir d'un point de référence (exutoire) et en ordonnées les cotes de l'eau dans le cours d'eau principal et de ces affluents (parfois, on donne la cote du font). Ce relevé se fait, soit par nivellement sur le terrain, soit plus sommairement à partir des cartes topographiques.

Le profil en long d'un cours d'eau est un graphique représentant les différentes élévations du fond du cours d'eau en fonction de la distance à l'exutoire.

Les profils en long permettent d'estimer la pente moyenne du cours d'eau qui sert surtout à évaluer les temps de concentration d'un bassin versant, ce dernier étant lié à la vitesse de propagation des particules fines ; elle-même proportionnelle à  $\sqrt{I}$ .

On calcule généralement la pente moyenne  $I$  d'un cours d'eau par la formule suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = \frac{1}{L_{cp}} \sum_{j=1}^n \frac{l_j}{\sqrt{l_j}} \dots\dots\dots(III.11)$$

$I$  : pente moyenne du cours d'eau principal

$L_{cp}$  : longueur totale du cours d'eau principal

$l_j$  : longueur d'un tronçon  $j$  du cours d'eau principal

$i_j$  : différence d'altitude du tronçon j

Pour notre cas, on mesure la longueur totale et des tronçons par des techniques digitalisations « Mapinfo8.0 »; la pente moyenne du cours d'eau principal du B.V de Ksob est égale :  $I=0.25\%$

**Indice de pente brute**

$$I = \left( \frac{H_{Maxcp} - H_{MIN}}{L_{CP}} \right)$$

$H_{maxcp}$  : Altitude maximale du cours d'eau principal (m NGA)

$H_{min}$  : Altitude minimale du bassin-versant (m NGA).

AN: $H_{maxcp} = 1850m$

$H_{min} = 500m$

$$I = \left( \frac{1850 - 500}{66.24} \right) = 20.38 \text{ ‰}$$

**III.4.3 Degré de développement du réseau hydrographique**

**a-Densité de drainage**

La densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle se définit pour un bassin-versant donné, de superficie A, comme étant le rapport de la longueur totale des cours d'eau d'ordre quelconque sur la superficie totale A du bassin versant. La densité de drainage est exprimée en km/km<sup>2</sup> ou en km<sup>-1</sup>.

Soit :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \dots\dots\dots(III.12)$$

Avec :

$L_i$  : Longueur totale des cours d'eau en km ;

A : Superficie du bassin-versant en km<sup>2</sup> ;

La longueur totale des cours d'eau du B.V de l'oued de Ksob est de :  $\sum L_i = 2336.99 \text{ Km}$  ;

Et leur surface A = 1491Km<sup>2</sup> ;

Donc :  **$Dd = 1.57 \text{ Km}^{-1}$** .

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie), des caractéristiques topographiques du bassin-versant dans une certaine mesure et des conditions climatologiques et atmosphériques. En effet, les secteurs situés en zones de roches perméables ont en général des densités de drainage faibles, alors que les secteurs de roches imperméables ont des densités plus élevées.

Selon Schumm, la valeur inverse de la densité de drainage,  $C = 1 / D_a$  s’appelle «**constante de stabilité du cours d’eau**». Physiquement, elle représente la surface du bassin nécessaire pour maintenir des conditions hydrologiques stables dans une vecteur hydrographique unitaire section du réseau). Ce paramètre est lié à la dynamique du bassin versant, à la stabilité du réseau hydrographique et au type de ruissellement de surface. Pour notre cas est : **C= 0.64 Km**.

**b-La densité hydrographique**

La densité hydrographique représente le nombre de thalwegs d’écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \dots\dots\dots(III.13)$$

Ou :

F : densité hydrographique [Km<sup>-2</sup>] ;

N<sub>i</sub> : nombre de cours d’eau ;

A : superficie du bassin [Km<sup>2</sup>] ;

La fréquence des thalwegs d’ordre 1 : F<sub>1</sub>, est le rapport du nombre total de thalwegs d’ordre 1 à la surface du bassin-versant :  $F_1 = \frac{N_1}{A}$  [Km<sup>-2</sup>].

**Tableau III.5** Densité hydrographique du BV de Ksob

Ordre	Nombre d’ordre N <sub>i</sub>	Surface du B.V	Densité hydrographique F en (Km <sup>-2</sup> )
1	1624	1491	1.089
2	388		0.260
3	88		0.059
4	20		0.013
5	3		0.002
6	1		0.001
Total	2124		<b>1.425</b>

**III.4.4 Rapports de confluence et de longueur**

Sur la base de la classification des cours d'eau, Horton (1932) et Schumm (1956) ont établi différentes lois. Ces « lois » empiriques relient le nombre, la longueur moyenne et l'ordre des cours d'eau :

✓ Loi des nombres :  $R_c = \frac{N_i}{N_{i+1}}$

✓ Loi des longueurs :  $R_L = \frac{L_i}{L_{i+1}}$

$R_c$  : rapport de confluence des cours d'eau ;

$R_L$  : rapport des longueurs des cours d'eau ;

$i$  : ordre d'un cours d'eau  $i$  qui varie entre 1 et  $n$  ( $n$  est l'ordre du cours d'eau principal classification selon Strahler)

$N_i$  : nombre du cours d'eau d'ordre  $i$

$N_{i+1}$  : nombre du cours d'eau suivant

$L_i$  : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre  $i$

$L_{i+1}$  : longueur moyenne de cours d'eau d'ordre  $i+1$

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  $R_c$  varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence. Pour un bassin homogène,  $R_c$  et  $R_L$  sont sensiblement constants (Laborde, 2000).

**Tableau III.6** Rapport de confluence dans le bassin versant de Ksob

Ordre	Nombre $N_i$	Rapport de confluence	
		$R_{ci}$	$R_c$
1	1624	$R_{c1}$	$\frac{\sum R_{ci}}{nR_{ci}} = 4.53$
2	388	4.19	
3	88	4.41	
4	20	4.40	
5	3	6.67	
6	1	3	

**Tableau III.7** Rapport de longueur dans le bassin versant de Ksob

Ordre	Langueur $L_i$ en (Km)	Rapport de langueur	
		$R_{Li}$	$R_L$
1	1181	1.925	$\frac{\sum R_{Li}}{nR_{Li}} = 2.17$
2	613.4	1.88	
3	326.5	3.02	
4	108	1.37	
5	78.61	2.67	
6	29.48		
<b>Total</b>	2336.99		

**a- Coefficient d'élanement**

$$C_E = \frac{2\sqrt{A/\pi}}{L_{max}} \dots\dots\dots(III.14)$$

Où :

$L_{max}$  : longueur maximale du bassin versant. Elle s'obtient en prolongeant le cours d'eau principal au point le plus éloigné possible du bassin-versant et on mesure la langueur de l'exutoire jusqu'à ce point,  $L_{max} = 72.89$  Km.

A : surface du bassin-versant

$C_E$  : c'est un coefficient variable : pour un bassin-versant plat  $C_E=1$

Et  $C_E= 0.6$  pour un bassin à relief accentué

Pour le bassin de l'oued de Ksob :  $C_E = 0.6$

Alors le bassin-versant de **Ksob est à relief accentué.**

**b- Coefficient de torrentialité**

Ce coefficient donne une idée sur la densité des drains d'ordre 1. Donc il prend en considération la densité de drainage et la densité des talwegs élémentaires (ordre1). Le coefficient de torrentialité peut être déterminé par la formule suivante :

$$C_t = F_i \times D_a \dots\dots\dots(III.15)$$

$F_i=1.089$

Pour le bassin de Ksob,  $C_t = 1.089 \times 1.57 = 1.71 \text{ Km}^{-1}$ .

**c- Temps de concentration (touiabia,2003)**

Le temps de concentration est défini comme étant la durée que met une goutte d'eau tombée à un point élevé du bassin versant, pour atteindre l'exutoire, il est exprimé par plusieurs formules :

• **Formule de CALIFORNIA**

$$T_c = \left( \frac{0.87 L_{CP}^3}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0.386} \dots\dots\dots(III.16)$$

Avec :

$H_{max}$ : Altitude maximale du bassin-versant (m).

$H_{min}$ : Altitude minimale du bassin-versant (m)

$L_{cp}$ : Longueur du cours d'eau principal (km).

• **Formule de GOPTCHENKO :**

$$T_c = \left( \frac{L_{CP}}{1.19 S^{0.14} I^{0.33}} \right) \dots\dots\dots(III.17)$$

Avec :

I: Indice de pente brute (‰).

S: Surface du bassin-versant (km<sup>2</sup>).

$L_{CP}$ : Longueur du cours d'eau principal (km).

• **Formule de SOGREAH**

$$T_c = 3 \left( \frac{S \cdot L_{CP}}{(10 \cdot P_{moy})^{3/2}} \right)^{1/4} \dots\dots\dots(III.18)$$

Avec :

S: Surface du bassin-versant (km<sup>2</sup>).

$P_{moy}$ : Pente moyenne de cours d'eau (%).

$L_{cp}$ : Longueur du cours d'eau principal (km).

• **La formule algérienne de l'A.N.B.T**

$$T_c = 0,0337\sqrt{A} + 0,134546L_{cp} - \frac{92,2481}{(H_{moy} - H_{min})^{1/2}} \dots\dots\dots(III.19)$$

$L_{cp}$ : longueur du cours d'eau principal (km) et A: La superficie du bassin-versant (Km<sup>2</sup>).

**Tableau III.8** Temps de concentration estimé par déférant formules.

Formules	Tc
Formule Algérienne de l'A.N.B	6.31
Formule de CALIFORNIA	7.22
Formule de GOPTCHENKO	7.4
Formule de SOGREAH	6.70
Formule de medinguer	8.81

En adoptant la moyenne des valeurs, le BV de Ksob a un temps de concentration de **Tc=7.29 Heures**

Donc : La détermination du temps de concentration nous permettra de mieux connaître la réponse hydrologique du bassin; le temps de concentration des eaux est non seulement fonction de la surface, mais aussi d'autres paramètres tels que la lithologie, la pluviométrie et le relief. D'après les résultats obtenus, le bassin de l'oued Ksob présente un temps de concentration de l'ordre de 7.29 H

#### III.4.5 Vitesse d'écoulement de l'eau

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_e = \frac{L}{T_c} \dots \dots \dots (III.20)$$

Avec :

$V_e$  : Vitesse d'écoulement de l'eau [m /s].

L : longueur de talwegs principale en [m] ou bien la longueur des cours d'eau principale.

$T_c$  : temps de concentration en [s].

Donc : La vitesse d'écoulement du bassin de Ksobest égale :  **$V_e = 2.52 \text{ m/s}$**  Nous récapitulons les caractéristiques morphométriques du bassin-versant de Ksob dans le tableau suivant :

**Tableau III.9** Caractéristiques morphométriques du bassin-versant de Ksob.

Caractéristiques morphométriques et hydrographiques	Résultat	Unité	Observation
Surface	1491	Km <sup>2</sup>	-----
Périmètre	184.7	Km	-----
Longueur du bassin-versant : "L <sub>BV</sub>	54.79	Km	-----
Longueur du talweg principal : " L <sub>CP</sub>	66.24	Km	-----
Longueur maximale L <sub>max</sub>	92.89	Km	-----
Largeur du bassin versant	27.21	Km	-----
Indice de compacité de Gravelius	1.34	m	forme allongée
L'altitude maximale	1885	m	-----
L'altitude minimale	500	m	-----
l'altitude à 95%	820	m	-----
l'altitude à 50%	1060	m	-----
l'altitude à 5%	1540	m	-----
L'altitude moyenne	1065	m	-----
La dénivelée simple D	720	m	-----
Longueur du rectangle équivalent	71.5	Km	-----
Largeur du rectangle équivalent	20.85	Km	-----
Pente moyenne	19.25	%	-----
Indice de pente de Roche	31.85	%	-----
Dénivelée spécifique D <sub>s</sub>	461.46	___	Relief fort
pente moyenne d'un cours d'eau principal	0.25	%	-----
Densité de drainage D <sub>d</sub>	1.57	Km <sup>-1</sup>	Moins dense
La densité hydrographique : F	1.425	Km <sup>-2</sup>	-----
rapport de confluence des cours d'eau	4.53	___	-----
rapport des longueurs des cours d'eau	2.17	___	-----
Le coefficient d'élancement : CE	0.6	___	Relief accentuée
Coefficient de torrentialité : Ct	1.71	Km <sup>-1</sup>	-----
Temps de concentration	7.29	heure	-----
Vitesse de l'écoulement de l'eau : V <sub>e</sub>	2.52	m/s	-----

### Conclusion

Le bassin-versant de l'oued Ksob occupe une superficie de 1491 Km<sup>2</sup> dans le Hodna; il a une forme allongée et ovale ( $K_G=1.34$ ), indiquant une compacité moyenne avec un temps de concentration plus au moins lent  $T_c = 7.29$  hr. L'étude hypsométrique montre une prédominance de la tranche d'altitude qui correspond aux hautes plaines de B.B.Arreridj et du piedmont, des montagnes, cette tranche est marquée par une érosion modérée.

Avec une dénivelée spécifique ( $D_s = 461.46$  m) le bassin a un relief fort caractérisé par une densité de drainage ( $D_d = 1.57\text{km}^{-1}$ ) et un coefficient de torrentialité ( $C_t = 1.71$ ).

*Chapitre IV*

*Etude climatologique du bassin  
versant de l'oued ksob*

## Chapitre IV : Etude climatologique du bassin versant de l'oued Ksob

### Introduction

Après avoir défini le contexte géographique et géomorphologique, nous abordons le domaine de l'acquisition des données pluviométriques et de leur traitement statistiques. Dans le sous bassin versant de Ksob, les données sont discontinues, rendant les analyses statistiques délicates.

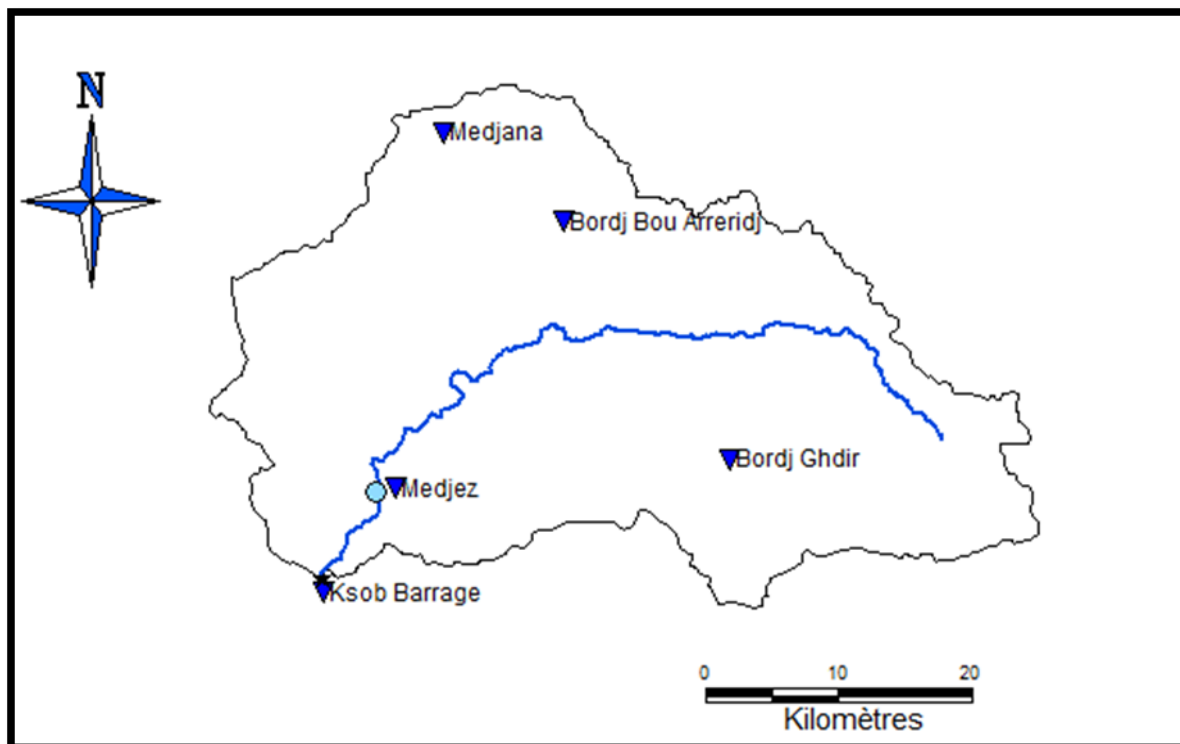
### IV.1 Réseau pluviométrique et les séries d'observation

Pour notre bassin versant de l'Oued Ksob; cinq stations pluviométriques ont été retenues, quatre stations situées à l'intérieur du bassin, en plus d'une station située à l'exutoire. Ces stations sont réparties d'une manière homogène, particulièrement dans la partie supérieure du bassin où le caractère montagneux est dominant et plus arrosé.

**Tableau IV.1** Stations pluviométriques et hydrométriques du bassin versant de l'oued Ksob.

Station	Code ANRH	Cordonnées		Altitudes[m]	Période d'observation
Station hydrométrique		Lambert [Km] X	Y		
Medjez	05 09 01	673.35	289.65	636	---
<b>Stations pluviométriques</b>					
Medjez	05 09 01	673.35	289.65	636	1974-2012
Ksob Barrage	05 10 05	668.70	282.65	600	1943-2012
Bordj Ghdir	05 09 04	698.40	292.20	1054	1943-2012
Medjana	05 09 06	677.75	316.20	1042	1929-2012
Bordj Bou Arreridj	05 09 05	677.37	302.62	922	1913-2012

Source : Données de l'ANRH [Alger], ANRH [M'sila].



**Figure IV.1** Equipements hydro pluviométriques du bassin versant de l'oued Ksob

## IV.2 Critique et Homogénéisation des données pluviométriques

Avant d'exploiter les données des pluies fournies par les services gestionnaires, il est plus prudent de tester leur qualité et combler les lacunes d'observation.

### IV.2.1 Comblement des lacunes

L'analyse des séries d'observations pluviométriques révèle que les stations disponibles présentent des lacunes à l'échelle annuelle (de un 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 :

$$Y = aX + b \dots\dots\dots(IV.01)$$

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.

Les lacunes d'observation ont été comblées année par année et cela pour toutes les stations qui présentent des lacunes sur toutes les années. On a estimé parallèlement les totaux annuels, dans le même cas pour les pluies journalières maximales.

Le coefficient de corrélation peut être un indice utile de fiabilité pour une telle extrapolation de données. Il est donné par :

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \dots\dots\dots(IV.02)$$

Avec :  $S_{xy}$  est la covariance de x et y.

Le jugement de la corrélation en hydrologie est exprimé comme suit : (Adoui, 2013)

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

On résume dans le (Tableau IV.2) les résultats de corrélation entre les stations.

**Tableau IV.2** Corrélations entre les stations du BV de Ksob

Stations	Corrélation	Coefficient de corrélation	Observation
BBA-Bordj ghdir	$Y = 0.59x + 121.1$	$r = 0.69$	bonne corrélation directe
Borj ghdir-BBA	$Y = 0.799x + 101.7$	$r = 0.69$	bonne corrélation directe
Medjana-BBA	$Y = 1.307x - 67.95$	$r = 0.73$	bonne corrélation directe
Bordj ghdir-ksob barrage	$Y = 0.942x + 180.8$	$r = 0.62$	bonne corrélation directe
Ksob barrage-borj ghdir	$Y = 0.407x + 57.5$	$r = 0.7$	bonne corrélation directe
Medjez-Borj ghdir	$Y = 0.503x + 42.27$	$r = 0.8$	Très bonne corrélation direct
Borj ghdir-Mdjez	$Y = 0.503x + 42.27$	$r = 0.78$	Bonne corrélation direct
medjana- Ksob barrage	$Y = 0.32x + 330.87$	$r = 0.11$	mauvaise corrélation directe
ksob-B.B.A	$Y = 0.38x + 80.75$	$r = 0.56$	Corrélation directe insuffisante
Mdjez-medjana	$Y = 0.15x + 186.16$	$r = 0.4$	mauvaise corrélation directe

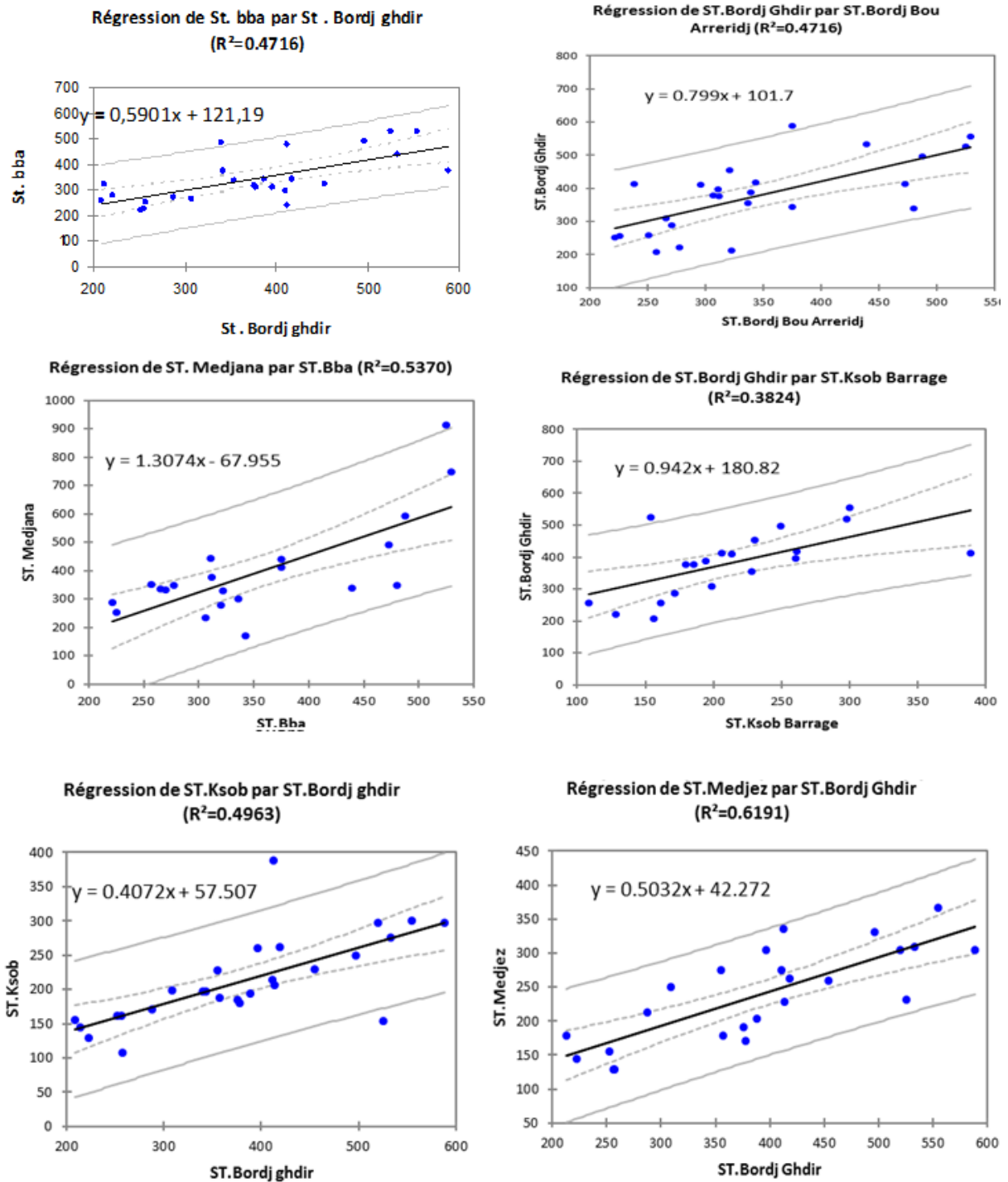
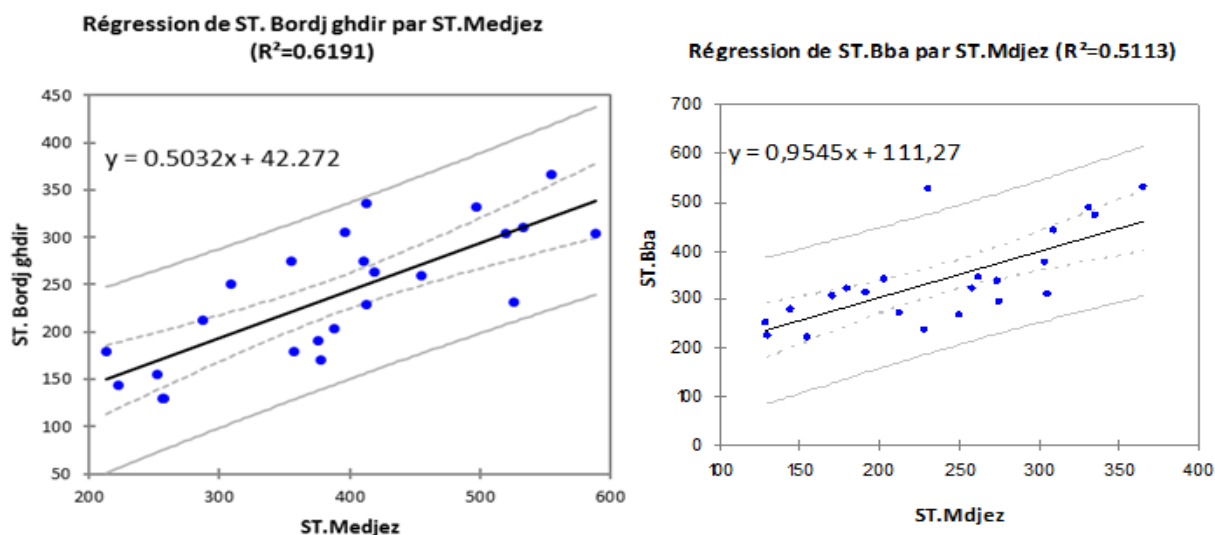


Figure IV.2 Régression à l'échelle annuelle des pluies



**Figure IV.3** Régression à l'échelle annuelle des pluies (suite et fin)

Le comblement des lacunes des pluies maximales journalières s'effectue de la même manière, (Tableau IV.3), et (Figure IV.3).

**Tableau IV.3** Corrélation simple des pluies journalières maximales du BV de l'oued Ksob

Stations	Corrélation	Coefficient de corrélation	Observation
Medjana -Bordj Ghdir	$y = 0.6156x + 12.441$	$r = 0.56$	Corrélation directe insuffisante
Medjana -Medjez	$y = 0.7008x + 9.4824$	$r = 0.58$	Corrélation directe insuffisante
Medjana -B.B.A050905	$y = 0.562x + 13.935$	$r = 0.67$	Bonne corrélation directe
Bordj ghdir-Medjez	$y = 0.4242x + 16.035$	$r = 0.68$	Bonne corrélation directe
Bordj ghdir-Ksob B	$y = 0.5055x + 21.207$	$r = 0.52$	Corrélation directe insuffisante
B ghdir-B.B.A 050905	$y = 0.5647x + 10.827$	$r = 0.64$	Bonne corrélation directe
Medjez-Ksob B	$y = 0.5523x + 9.2371$	$r = 0.63$	Bonne corrélation directe
Medjez-B.B.A 050905	$y = 0.3736x + 17.504$	$r = 0.65$	Bonne corrélation directe
Ksob B-B.B.A 050905	$y = 0.5768x + 15.912$	$r = 0.41$	Mauvaise corrélation directe

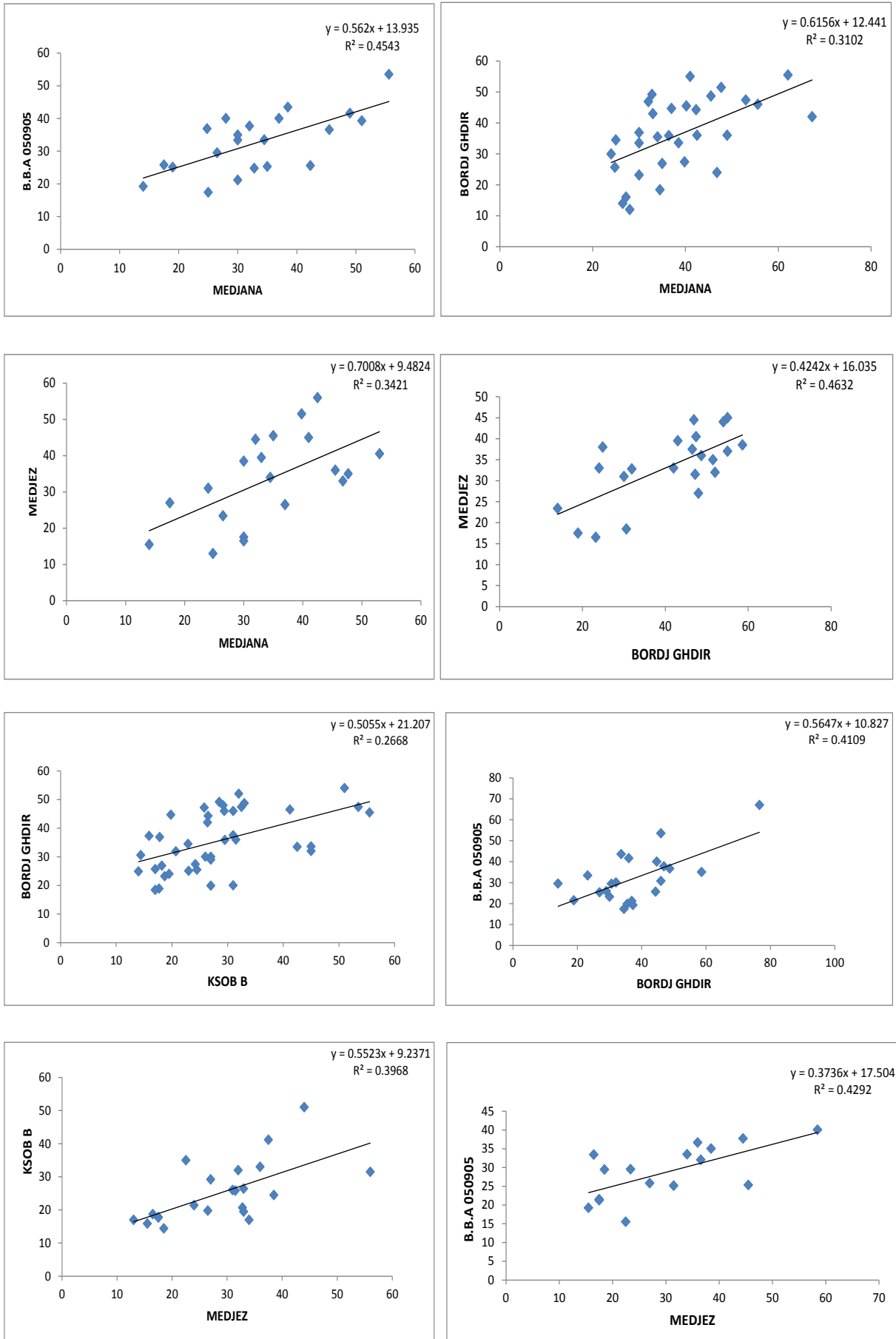


Figure IV.4 Régression des pluies Journalière maximale du BV de Ksob

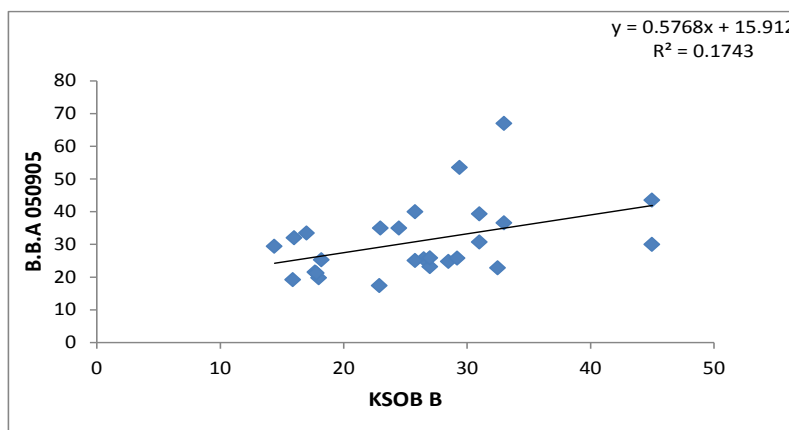


Figure IV.5 Régression des pluies Journalière maximale du BV de Ksob (suite et fin)

### IV.3 Variations spatiales et temporelles des pluies

#### IV.3.1 Évaluation de la pluie moyenne annuelle précipitée sur le bassin

Comme dans toute étude pluviométrique, nous sommes référés à une période d’observation de la station Ksob barrage qui s’étale du premier septembre 1977 au 31 Août 2006 (29ans).

Plusieurs méthodes sont proposées pour le calcul de la pluie moyenne annuelle et interannuelle précipitée sur le bassin versant, dans notre étude, on a choisi d’utiliser:

##### a- 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 :

$$P_m = \bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \dots\dots\dots(IV.03)$$

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

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

$n$  : nombre de station d’observation ;  $n = 05$ .

**Tableau IV.4** Calcul de la pluie moyenne interannuelle du BV de l'oued Ksob (Méthode de moyenne arithmétique).

Station	B.B.A	Medjena	Bordj ghdir	Medjez	Ksob B
Pi (mm)	342.44	427.5	377.54	232.27	211.23
Nombre d'année d'observation (ans)	56	65	54	38	69

La méthode de moyenne arithmétique a donné une pluie moyenne interannuelle dans le bassin versant de l'oued Ksob est  $P_m=318.20$  mm.

#### b- Méthode synthétique :

C'est une méthode qui permet de prendre en considération les altitudes des stations dans le calcul de la pluie représentative du bassin.

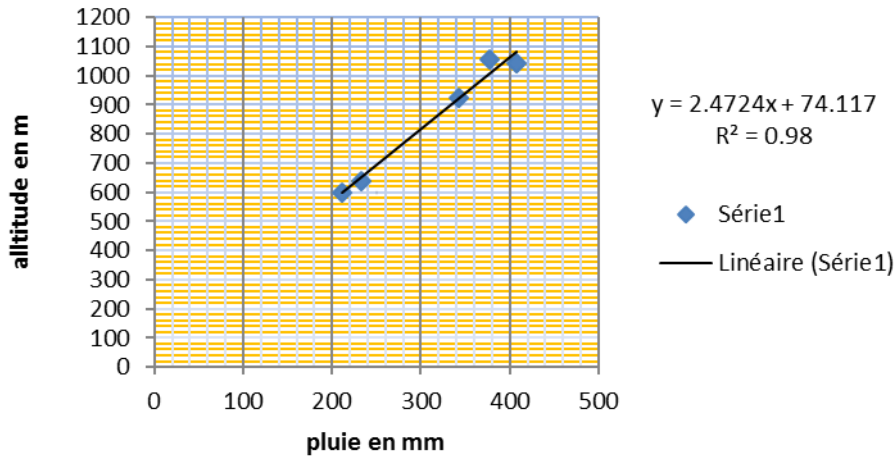
Dans notre cas, les couples (pluie P, altitude H) sont :

**Tableau IV.5** Pluies moyennes et altitudes des stations pluviométriques du BV de Ksob

Station	B.B.A	Medjena	Bordj ghdir	Medjez	Ksob Barrage
Pi (mm)	342.44	427.5	377.54	232.27	211.23
H (m)	922	1042	1054	636	600

On trace le graphe de la pluie en fonction d'altitude  $P=f(H)$  et on relie les points sous forme d'une courbe qui les ajuste mieux. On constate que les points des stations s'ajustent à une droite.

Ensuite on trace l'horizontale qui passe par l'altitude moyenne du bassin ( $H_{moy}=850.8m$ ) au point de son intersection avec la droite. La projection de cette dernière sur l'axe des pluies représente la pluie moyenne recherchée qui est égale à  $P_m = 318.20mm$ , voir (Figure IV.4).



**Figure IV.6** Méthode synthétique pour calculer la pluie du bassin

### c- Méthode de Thiessen

La méthode de Thiessen est la plus couramment utilisée, parce que son application est aisée et qu'elle donne en général de bons résultats. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement).

Cette méthode 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 Mapinfo 8.0). Pour notre bassin, la pluviométrie moyenne est donnée par :

$$P_m = \bar{P} = \sum_{i=1}^n \frac{p_i * S_i}{S} \dots\dots\dots (IV.04)$$

$P_m$  : 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>] ;

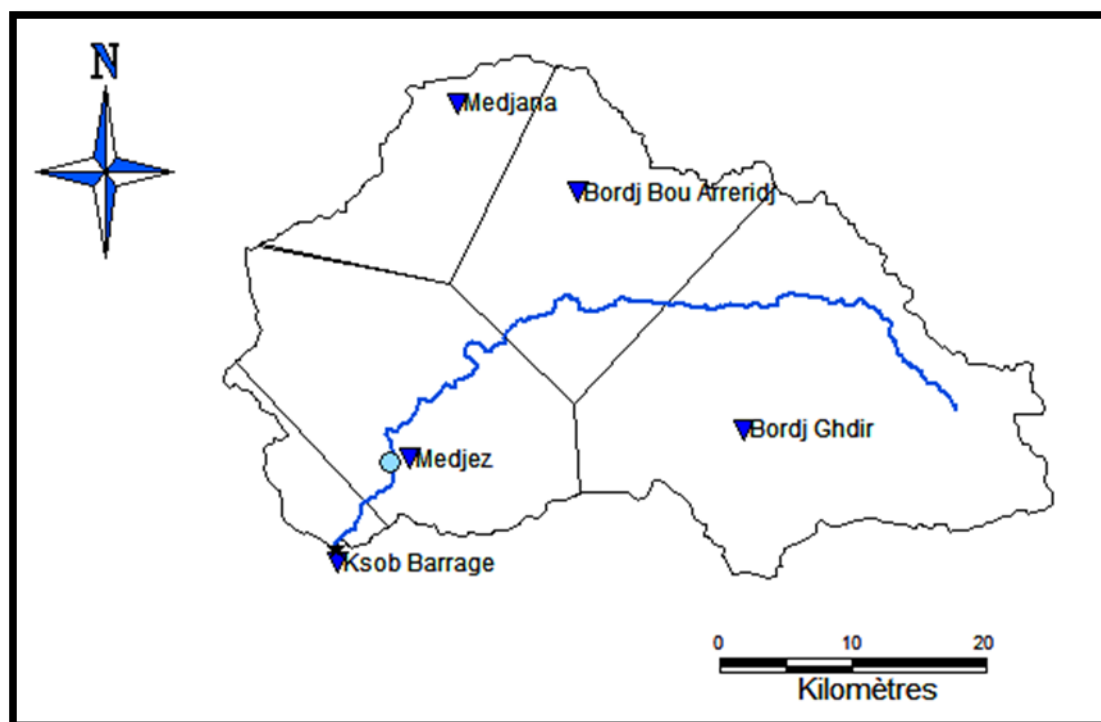
$S$  : surface globale du bassin [Km<sup>2</sup>].

Les résultats sont récapitulés dans (Tableau IV.6).

**Tableau IV.6** Méthode de Theissen pour calculer la pluie moyenne interannuelle du BV

Station	Précipitation $P_i$ (mm)	Surface propre à chaque station $S_i$ (km <sup>2</sup> )	$P_i * S_i$
B.B.A	342.44	296.4	101499.21
Medjena	427.5	165	70537.5
Bordj ghdir	377.54	602.3	227392.34
Medjez	232.27	363.5	84430.14
Ksob B	211.23	63.8	13476.47
	TOTAL	1491	497335.67
	$\sum (P_i * S_i) / S$	333.55	

La pluie moyenne annuelle du bassin égale à 333.55 mm.

**Figure IV.7** Découpage de la surface du B.V de l'Oued Ksob selon la méthode de Theissen

Les valeurs extrêmes de la pluviométrie aux limites du bassin sont : 150 mm à l'exutoire du bassin versant, on peut observer une augmentation de la pluviométrie avec la topographie du

bassin, elle dépasse 600 mm dans la partie la plus élevée du bassin versant ; correspondant à des altitudes dépassant 1800 m (Djebel Morissane, Djebel Mziata et DJ. Ech chlenndj).

En général, la pluviométrie diminue du côté des versants vers l'oued principal, qui est l'oued Ksob du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

Presque la moitié de la superficie totale du bassin possède une pluviométrie inférieure à 300 mm.

**Tableau IV.7** Comparaison des pluies représentatives de l'oued de Ksob calculées par différentes méthodes

<b>Bassin</b> <b>Méthode</b>	<b>Moyenne</b> <b>Arithmétique</b>	<b>Méthode</b> <b>Synthétique</b>	<b>Méthode</b> <b>Theissen</b>
Bassin versant de l'oued de Ksob	318.20	318.20	333.55

Pour estimer la pluie moyenne du bassin par la méthode de l'isohyète une meilleure couverture du bassin par les stations, malheureusement, notre bassin présente une mauvaise distribution des postes d'observation.

### **IV.3.2 Répartition pluviométrique interannuelle**

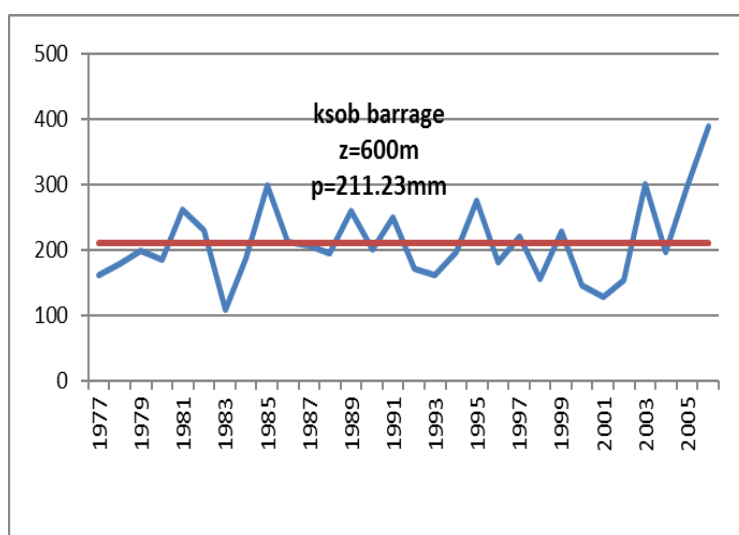
Pour mieux saisir et préciser la variation pluviométrique annuelle, on s'est basé sur le coefficient de variation ; ce paramètre est très efficace pour mesurer le degré de dispersion relative des valeurs particulières autour de la moyenne globale.

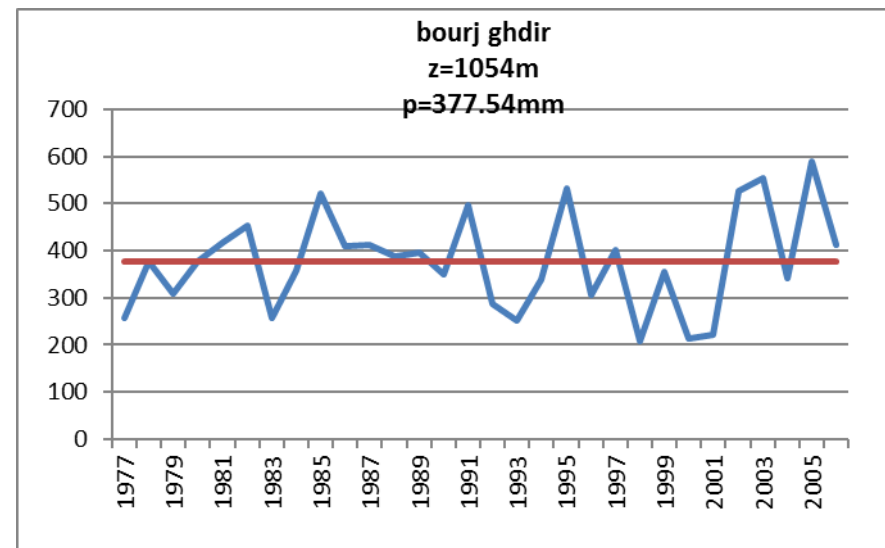
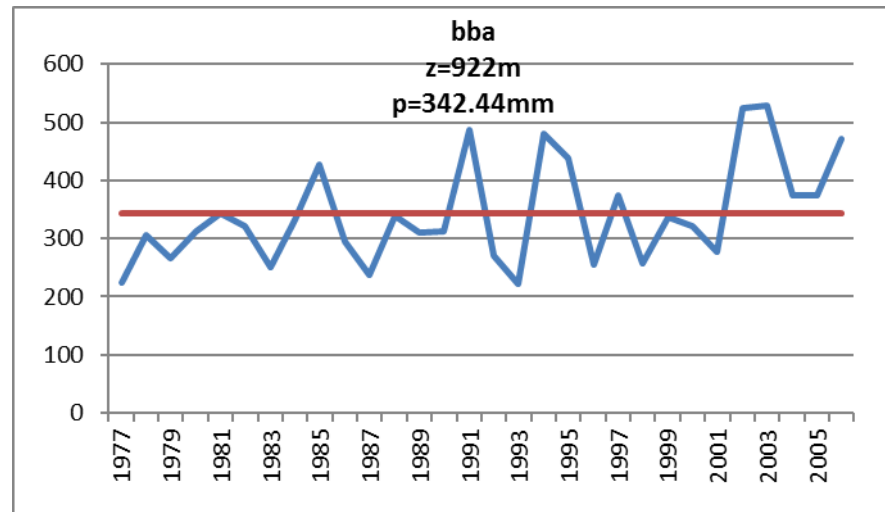
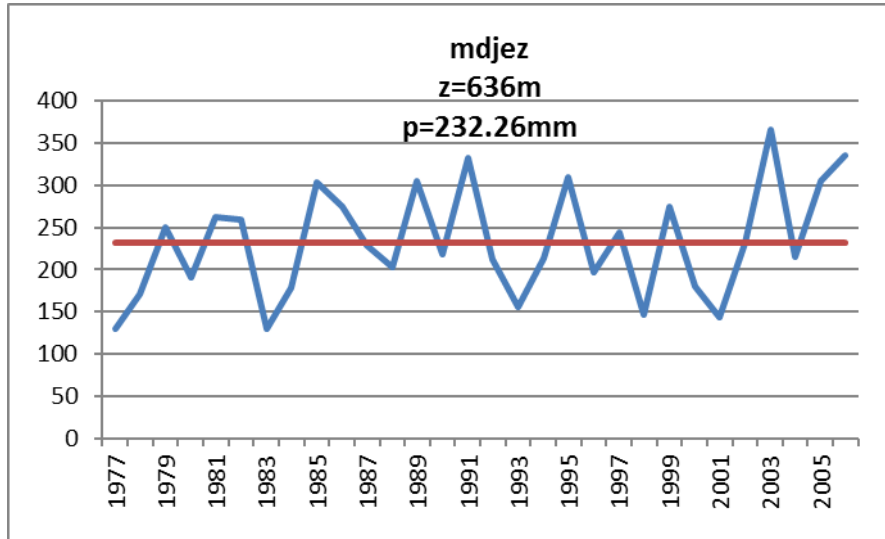
Les valeurs du coefficient de variation annuelles des cinq (5) stations du bassin varient entre 0,26 et 0,47 avec une distribution spatiale qui varie du Sud au nord, donc en fonction du domaine climatique (Tableau IV.8).

Afin de caractériser la pluviosité propre pour chaque année, il convient de tenir compte de "l'écart type" correspondant à l'excédent, ou au déficit des précipitations de l'année considérée rapportée à la moyenne de 29 ans; nous avons relevé toutes les années pluviométriques extrêmes humides et sèches voir la (Figure IV.6) et (Tableau IV.9).

**Tableau IV.8** Moyenne, écart type et coefficient de variation des la séries pluviométriques dans le BV de Ksob (1977-2006)

Station		Année
Ksob Barrage	P <sub>MOYENNE</sub>	211.23
	écart type	59.99
	CV	0.28
Medjez	P <sub>MOYENNE</sub>	232.27
	écart type	65.04
	CV	0.28
B.B.A	P <sub>MOYENNE</sub>	342.44
	écart type	89.09
	CV	0.26
Bordj ghdir	P <sub>MOYENNE</sub>	377.54
	écart type	104.36
	CV	0.27
Medjena	P <sub>MOYENNE</sub>	427.5
	écart type	202.6
	CV	0.47





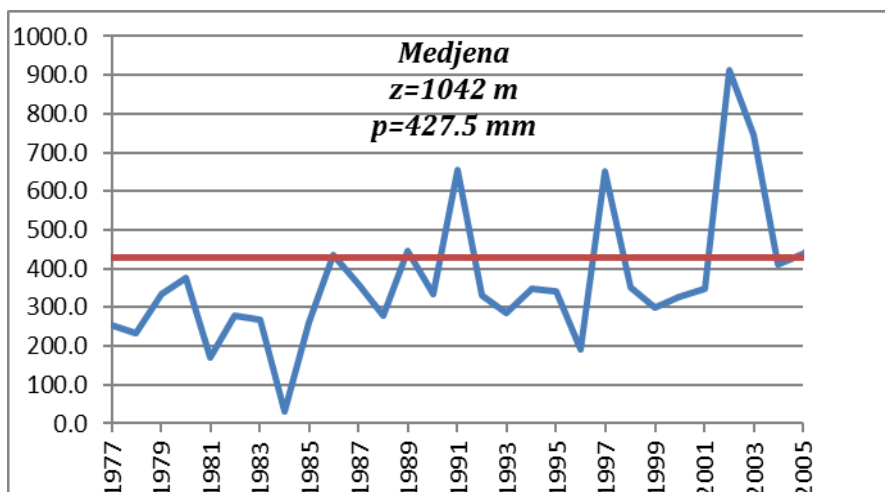


Figure IV. 8 Variation des précipitations annuelles de différentes stations (1977/2006)

Tableau IV.9 Écart à la moyenne des précipitations annuelles extrêmes (1977/2006).

Station	Moy interannuelle (p <sub>m</sub> ) 1977-2006	Année humide P <sub>i</sub>	Écart à la moyenne $ei = \frac{P_i - P_m}{P_m} * 100$	Année sèche S <sub>i</sub>	Écart à la moyenne $ei = \frac{S_i - P_m}{P_m} * 100$
Ksob Barrage	211.23	2006	84.11%	1983	-48.68%
Medjez	232.27	2003	57.66%	1983	-44.33%
B.B.A	342.44	2003	54.50%	1993	-35.40%
Bordj ghdir	377.54	2005	55.85%	1998	-44.80%
Medjena	427.5	2002	96.5%	1981	-92.8%

L’analyse de la variabilité interannuelle des précipitations mérite d’être complétée par une étude fréquentielle, c’est-à-dire l’estimation des valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période donnée. Ceci suppose de rechercher au préalable la loi d’ajustement.

**IV.4- Distribution statistique des pluies :**

**IV.4-1- Distribution annuelles :**

Nous avons ajusté les pluies annuelles de toutes les stations du bassin de Ksob à la loi normale (loi Gauss): on a classé les 66 hauteurs annuelles de pluie par ordre décroissant, en attribuant à chaque variable son rang dans la série compté de 1, puis on détermine les fréquences expérimentales correspondantes :

$$F = \frac{i - 0.5}{N} \dots\dots\dots(IV.05)$$

$i$  : rang, varie 1 jusqu' à  $N$ .

$N$  : taille de l'échantillon.

On porte dans un graphique de Gauss, les fréquences en abscisses et les pluies annuelles en ordonnée puis on trace la droite d'ajustement permettant d'envisager la loi de probabilité.

Cette démarche suivie pour toutes les stations du bassin versant l'Oued Ksob avec déférente intervalle de confiance [(Figure IV.7); ANNEXE(01)].

Selon la période d'observation choisi, les moyennes annuelles oscillent autour de la moyenne calculée sur la période la plus longue (erreur d'échantillonnage), il est donc nécessaire de compléter notre information en déterminant autour de la valeur empirique estimée un intervalle de confiance pour un degré de confiance choisi, qui dépend des considérations économiques concernant le risque accepté.

Pour une série d'observation ( $N > 30$ ), on a les intervalles de confiances suivants :

$$\bar{x} \pm \frac{t_{1-\alpha}}{2}, \frac{\delta}{\sqrt{N}} \text{ (Pour la moyenne).}$$

$$\frac{t_{1-\alpha}}{2} : \text{La variable réduite à la loi de Gauss, à la probabilité } \frac{1-\alpha}{2}$$

$\bar{x}$  : La moyenne annuelle sur une longue période.

$\delta$  : Écart type de la période considérée.

L'ajustement est fait au moyen du logiciel "HYDROLAB".

### **-Logiciel HYDROLAB**

HYDROLAB est un outil très simple (environnement Microsoft Excel) et diffusé gratuitement, il a pour principales fonctionnements :

✓ ajustement par la méthode des moments des lois statiques : GAUSS, GALTON, (log normale), GAUSS avec transformation racine, carrées, GUMBEL, FULLER, WERBULL, POISSON.

✓ régressions multiples.

✓ analyse en composantes principales.

✓ diverses taches hydrauliques : comblement de lacunes dans les séries d'observation, riment aux, il permet de tracer la loi théorique, les intervalles de confiance, HYDROLAB propose aussi une table des quantiles avec les bornes de l'intervalle de confiance, et offre la

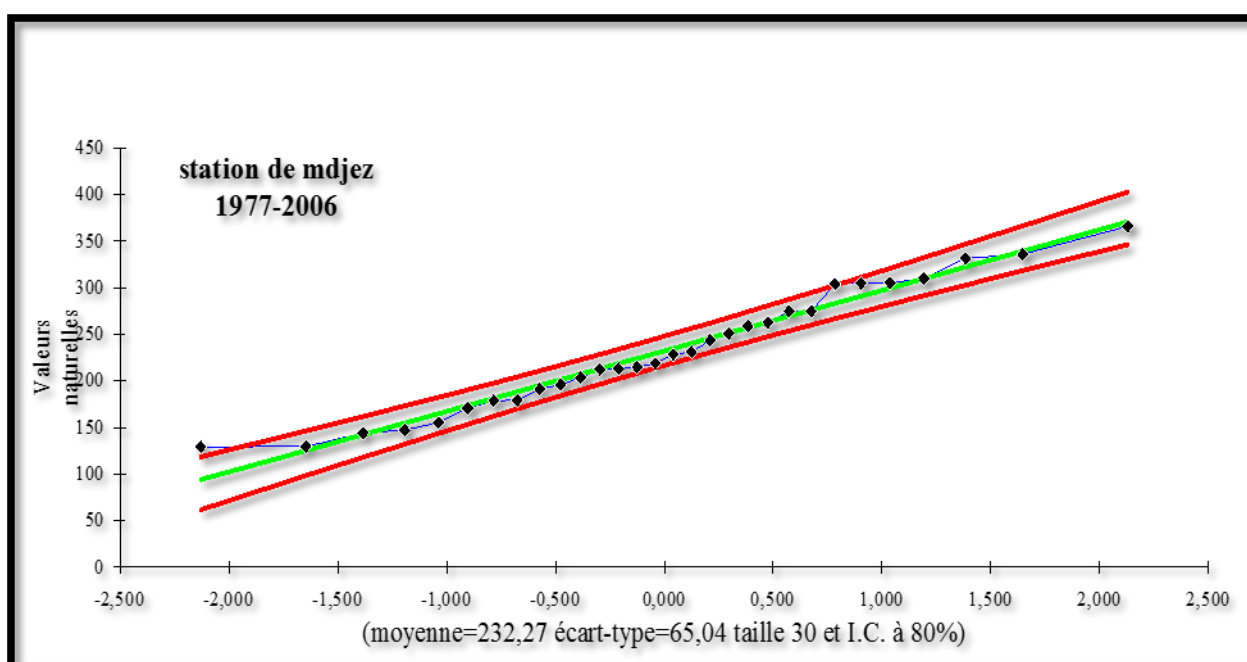
possibilité de calculer un quantile avec pour une probabilité donné ou, inversement, la probabilité théorique d'une valeur donnée de la variable.

**Tableau IV.10** Ajustement de la pluie annuelle de la station de Mdjez à la loi de Gauss.

Taille n=30		Moyenne= 232,2665616			I.C. à (en%)=80		UGauss=1,2817	
		Ecarttype=65,04274903						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
129,50	129,30	1	0,0167	-2,128	129,30	93,82	61,65	118,20
171,00	129,50	2	0,0500	-1,645	129,50	125,26	98,24	146,25
250,80	143,90	3	0,0833	-1,383	143,90	142,30	117,87	161,65
191,40	147,15	4	0,1167	-1,192	147,15	154,74	132,09	173,02
262,90	155,20	5	0,1500	-1,036	155,20	164,85	143,55	182,36
259,00	171,00	6	0,1833	-0,903	171,00	173,56	153,34	190,47
129,30	178,80	7	0,2167	-0,783	178,80	181,32	162,00	197,77
178,80	179,40	8	0,2500	-0,674	179,40	188,42	169,84	204,52
303,90	191,40	9	0,2833	-0,573	191,40	195,02	177,09	210,86
275,00	196,03	10	0,3167	-0,477	196,03	201,27	183,88	216,91
228,50	203,60	11	0,3500	-0,385	203,60	207,23	190,31	222,75
203,60	212,30	12	0,3833	-0,296	212,30	212,99	196,46	228,44
305,10	213,37	13	0,4167	-0,210	213,37	218,60	202,40	234,04
218,75	214,78	14	0,4500	-0,125	214,78	224,11	208,17	239,59
331,70	218,75	15	0,4833	-0,042	218,75	229,56	213,82	245,14
212,30	228,50	16	0,5167	0,042	228,50	234,98	219,40	250,71
155,20	231,30	17	0,5500	0,125	231,30	240,42	224,94	256,36
213,37	243,72	18	0,5833	0,210	243,72	245,93	230,49	262,13
309,90	250,80	19	0,6167	0,296	250,80	251,54	236,09	268,07
196,03	259,00	20	0,6500	0,385	259,00	257,30	241,79	274,22
243,72	262,90	21	0,6833	0,477	262,90	263,27	247,63	280,65
147,15	274,80	22	0,7167	0,573	274,80	269,51	253,68	287,44
274,80	275,00	23	0,7500	0,674	275,00	276,12	260,02	294,69
179,40	303,90	24	0,7833	0,783	303,90	283,21	266,76	302,54
143,90	304,70	25	0,8167	0,903	304,70	290,98	274,06	311,19
231,30	305,10	26	0,8500	1,036	305,10	299,68	282,17	320,98
366,20	309,90	27	0,8833	1,192	309,90	309,79	291,51	332,44
214,78	331,70	28	0,9167	1,383	331,70	322,24	302,88	346,66
304,70	336,00	29	0,9500	1,645	336,00	339,28	318,28	366,29
336,00	366,20	30	0,9833	2,128	366,20	370,71	346,33	402,88

**Tableau IV.10** Ajustement de la pluie annuelle de la station de Mdjez à la loi de Gauss (suite et fin).

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.
0,999	3,091	433,28	401,33	476,55
0,99	2,327	383,61	357,74	418,00
0,98	2,054	365,88	342,04	397,23
0,9	1,282	315,63	296,86	339,10
0,5	0,000	232,27	216,62	247,92
0,1	-1,282	148,90	125,43	167,67
0,02	-2,054	98,66	67,30	122,49
0,01	-2,327	80,93	46,54	106,80
0,001	-3,091	31,25	-12,02	63,20

**Figure IV.7** Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss (Station de Mdjez)

Les intervalles de confiance correspondant aux degrés de confiance  $\alpha\%$ , ils sont résumés dans le tableau IV.11.

Lorsqu'on procède à un ajustement d'une loi théorique de probabilité pour un échantillon, la question qui se pose est de savoir si cette loi s'adapte d'une façon satisfaisante.

Un examen graphique aussi intéressant qu'il soit ne pourrait suffire, il faut pouvoir tester par le calcul la qualité de l'ajustement réalisé.

On utilise à cette effet le teste de  $X^2$  : variable aléatoire dont la distribution a été étudiée par Pearson, les règles d'emploi sont les suivantes :

- Le découpage en classes qui doit introduire des classes d'égalité probabilité théorique et d'un effectif théorique d'au moins cinq (5) valeurs par classe.

- Calcul de  $\chi^2$  :

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - nP_i)^2}{nP_i} \dots\dots\dots (IV.06)$$

Avec :

$n_i$  : nombre expérimental continue de la classe  $i$  ;

$nP_i$  : effectif théorique de la classe  $i$ .

- calcul du nombre de degré de liberté :  $U = k-1-P$ .

Avec :

$P$  : nombre de paramètre à partir des valeurs expérimentales pour ajuster à la loi théorique ;

$K$  : nombre de classe.

Pour fixer le nombre de classe  $K$  :

-Règle de yule :  $K = 2.5 * \sqrt[4]{N}$  ;

-Règle de sturge :  $K = 1 + (3.3 \log N)$  ;

-Calcul de l'intervalle de classe :  $\frac{\text{valeur max} - \text{valeur min}}{\text{br de classe}}$

**Tableau IV.11** Intervalle de confiance pour les différentes stations du bassin (test de  $x^2$ )

Station	Intervalle de confiance	
	Confiance	Intervalle
Medjana (050906)	70%	$389.7 \leq x \leq 420.8$
	80%	$386 \leq x \leq 424.6$
	90%	$308.3 \leq x \leq 430.3$
	95%	$375.2 \leq x \leq 435.3$
Bordj Ghdir (050904)	70%	$382.8 \leq x \leq 413.7$
	80%	$379.1 \leq x \leq 417.4$
	90%	$373.5 \leq x \leq 423.1$
	95%	$368.4 \leq x \leq 428.1$
B.B.A (050905)	70%	$344.2 \leq x \leq 360.4$
	80%	$342.3 \leq x \leq 362.4$
	90%	$339.4 \leq x \leq 365.3$
	95%	$336.8 \leq x \leq 367.9$
Medjez (050901)	70%	$245.1 \leq x \leq 261.9$
	80%	$243.1 \leq x \leq 264$
	90%	$240 \leq x \leq 267$
	95%	$237.3 \leq x \leq 269.8$
Ksob B (051005)	70%	$247.3 \leq x \leq 266.2$
	80%	$245 \leq x \leq 268.5$
	90%	$241.6 \leq x \leq 271.9$
	95%	$238.5 \leq x \leq 275$

L'estimation des pluies fréquentielles [Pf] en année humide et en année sèche se fait en appliquant l'équation de la variable réduite de Gauss.

$$P_f = \bar{P} + U_f * \delta \dots\dots\dots(IV.07)$$

Avec :

$P_f$  : Pluie annuelle de fréquence f ;

$U_f$  : Variable réduite de gauss ;

$\bar{P}$  : Pluie moyenne annuelle.

Les quantités estimées pour les différentes stations du bassin versant de l'oued de Ksob et pour les probabilités de retour retenues, sont présentées dans le (Tableau IV.12).

**Tableau IV.12** Précipitations annuelles fréquentielles en (mm)

Station	P (année humide)				P	P (année sèche)			
	T=1000ans	T=100ans	T=50ans	T=10ans	T=2ans	T=10ans	T=50ans	T=100ans	T=1000ans
	f=0,999	f=0,99	f=0,98	f=0,90	f=0,5	f=0,10	f=0,02	f=0,010	f=0,0010
	U=3.091	U=2.327	U=2,054	U=1,282	U=0,000	U=1,282	U= -2,05	U= -2,32	U= -3.091
Ksob Barrage	396.69	350.85	334.47	288.15	211.23	134.31	87.99	71.61	25.77
Medjez	433.31	383.62	365.86	315.65	232.27	148.88	98.66	80.91	31.22
B.B.A (050905)	617.83	549.76	525.44	456.66	342.44	228.22	159.44	135.12	67.05
Borj ghdir	700.13	620.4	591.91	511.34	377.55	243.75	163.18	134.69	54.95
Medjena	1037.3	899.0	843.6	687.2	427.5	168.0	11.0	44.4	182.3

La période d'observation allant de 1977 à 2006 présente des années exceptionnelles sèches ou humides et contient des valeurs d'une fréquence très différente de la fréquence expérimentale. À titre d'indication: l'année 1981 est la plus sèche à la station de Ksob (P = 108.4 mm) à une période de retour de 22 ans. Alors que l'année la plus humide à la même station est celle de 2006 avec une pluie de 388.9 mm à une période de retour de 666 ans (Tableau IV.13) :

**Tableau IV.13** Fréquence théorique des pluies moyennes annuelles et extrêmes pour les différentes stations du BV de l'Oued Ksob

Station	Année extrême humide	P (mm)	$U_f = \frac{P-P}{\delta}$	f	$T = \frac{1}{1-f}$	Année extrême sèche	P (mm)	$U_f = \frac{P-\bar{P}}{\delta}$	f	$T = \frac{1}{f}$
Ksob Barrage	2006	388.9	2.96	0.9985	666	1983	108.4	-1.71	0.0436	22
Medjez	2003	366.2	2.05	0.9798	49	1983	129.3	-1.58	0.0571	17
B.B.A (050905)	2003	529.0 9	2.09	0.9817	54	1993	221.2	-1.36	0.0869	11
Bordj ghdir	2005	588.4	2.02	0.9783	46	1998	208.4	-1.62	0.0526	19
Medjena	2002	840.2	2.04	0.9793	48	1981	30.8	-1.96	0.025	40

#### IV.4.2 Distribution journalière maximale

L'analyse des précipitations journalières maximales et même des hauteurs de pluie horaire présente un intérêt particulier, pour les études de protection contre les crues.

Pour dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes, nous basons sur des données d'observations disponibles pour cinq (5) stations et pour une période différentes par exemple (période plus longue [B.B.A 050905 « 1913-2012 »], période plus court [Medjez « 1974-2012 »]). Il s'avère que la hauteur d'eau journalière maximale décroît d'une manière générale, en allant du secteur montagneux vers les plaines, à titre de comparaison, la station de Medjana a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne 41.7 mm ; la station de B.B.A 050905: 34,2 mm, Bordj Ghdir a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne de 36.7mm; la station Medjez : 37.3 mm, alors que Ksob B a reçu 30 mm donc ces hauteurs maximales recueillies en 24 heures. Ces pluies exceptionnelles alimentent largement les crues et les apports solides des oueds surtout dans les terrains fortement dénudés qui occupent une partie importante du bassin ; là où les inondations risquent de ce produire.

Afin de faire ressortir cette irrégularité temporelle de pluie extrême, une étude fréquentielle nous permet de caractériser et d'estimer les précipitations exceptionnelles, pour les différentes durées de récurrence.

La loi qui s'ajuste mieux aux valeurs extrêmes est celle de Gumbel, ou doublement exceptionnelle, sa réalisation par la méthode graphique nécessite les opérations suivantes :

- ✓ Classé les pluies maximales journalières observées par ordre croissant.
- ✓ Classé les probabilités expérimentales :

$$F(x) = \frac{n - 0.5}{N} \dots\dots\dots(IV.07)$$

- ✓ Reporté les couples (Pjmax, Fx) sur papier à échelle de probabilité Gumbel (traiter ce problème avec logiciel HYDROLAB).
- ✓ Calculé les paramètres d'ajustement :

-Méthode des moments :

$$\frac{1}{a} = 0.78 * \delta \dots\dots\dots(IV.08)$$

$$P_{jmax} \% = \overline{P_{jmax}} - \frac{1}{a} * 0.577 \dots\dots\dots(IV.09)$$

✓ Tracé la droite de Gumbel :

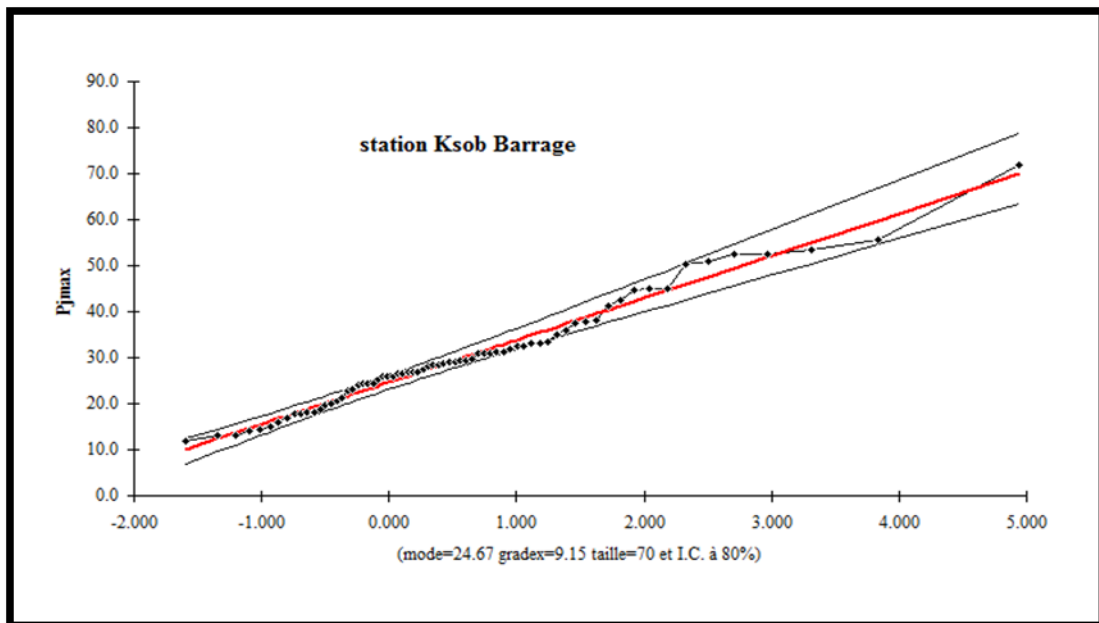
$$Y = a(\overline{P_{j\max}} - P_{j\max}\%) \dots\dots\dots(IV.10)$$

La (Figure IV.8) et (ANNEXE 02) montre que la droite de Gumbel passe bien au milieu de ces points expérimentaux, donc cette loi est applicable pour les séries d'observations des cinq stations caractéristiques du bassin, et pour le différent intervalle de confiance.

Les quantités estimées pour les cinq stations en appliquant l'équation de Gumbel :

$$Y = -[\text{Ln}(1 - \text{LnF}(x))] \dots\dots\dots(IV.11)$$

Les probabilités de retour retenues sont présentées dans le (Tableau IV.13).



**Figure IV.8** Ajustement des pluies journalières maximales des stations du bassin à la loi Gumbel (1943/2012)

**Tableau IV.14** Pluie maximale journalière fréquentielle, pour les cinq stations pluviométriques (1943-2012)

Période de retour T Pjmax	2	5	10	50	100	1000
Fréquence	0.5	0.8	0.9	0.98	0.99	0.999
Variable réduite de Gumbel	0.37	1.50	2.25	3.90	4.60	6.91
Medjana	37.48	50.14	58.53	76.97	84.77	110.54
Bordj ghdir	36.65	48.32	56.05	73.06	80.25	104.01
B.B.A (050905)	32.95	41.07	46.46	58.30	63.30	79.85
Medjez	35.51	48.36	56.87	75.60	83.52	109.68
Ksob B	27.39	36.62	42.73	56.17	61.86	80.64
Bassin (Moy)	34.00	44.90	52.13	68.02	74.74	96.94

Pour mieux caractériser les crue de période de retour, il faut descendre à une échelle temporelle encore plus fine dans l'analyse des pluies extrême, à l'échelle des pluies horaires, pour une analyse complète des événements averse- crue observées sur le bassin.

Cependant, n'ayant pas de données suffisantes, on doit recourir à des formules empiriques pour estimer les pluies de courte durée. Toutefois, on adopte la méthode utilisée par ANRH d'après Body (1981) :

$$P_t = P_{j\max} \% \left( \frac{t}{24} \right)^b \quad \dots\dots\dots(IV.12)$$

$P_t$  : Pluie de courte durée de fréquence donnée en mm ;

$P_{j\max} \%$  : pluie journalière de fréquence donnée en mm ;

$b$  : Exposant climatique, Blagoune(2012) propose la formule suivante pour estimer  $b$ :

$$b = 1 + \frac{\ln\left(\frac{P_{j\max}}{24}\right) - \ln(25)}{\ln(24) - \ln(0.5)} \quad \dots\dots\dots(IV.13)$$

**Tableau IV.15** Valeurs de l'exposant climatique pour les cinq stations pluviométriques du bassin de l'Oued Ksob

Station	Pj max moy	Exposant climatique
Medjana	41,2	0.31
Bordj Ghdir	38,8	0.29
B.B.A (050905)	34,5	0.26
Medjez	37.9	0.29
Ksob B	29,1	0.22
Bassin (Moy)	37.9	0.27

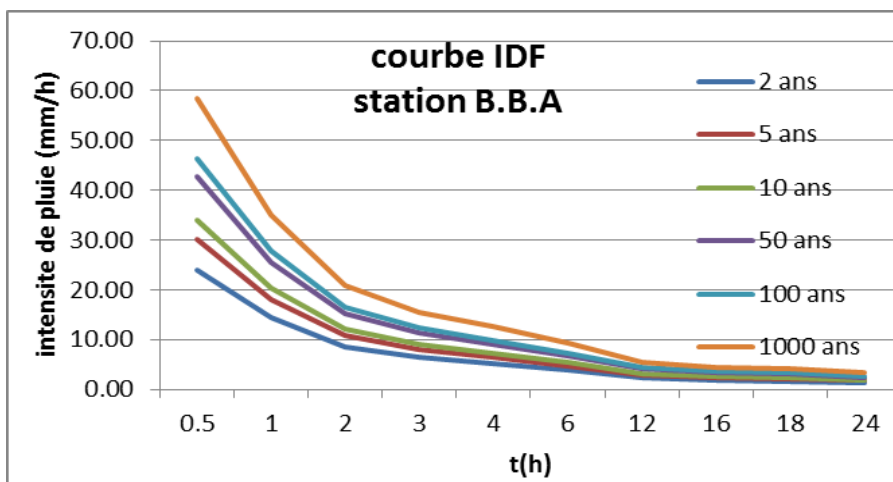
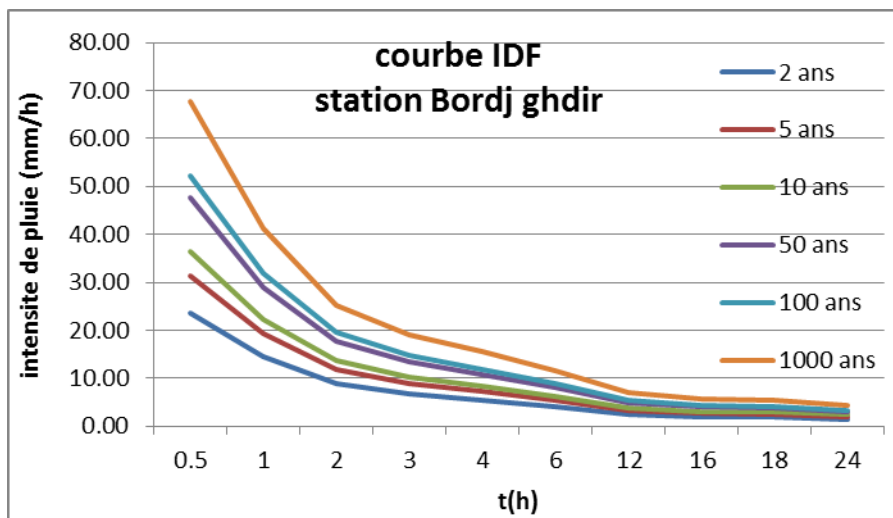
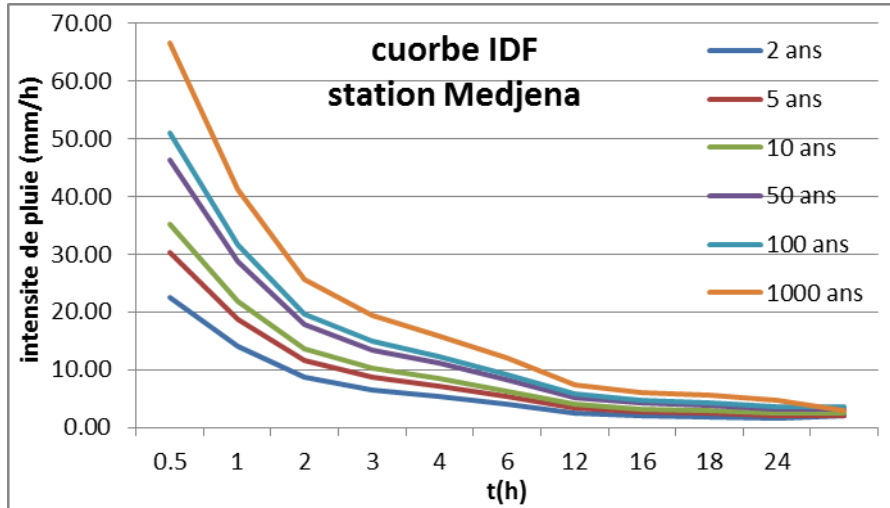
La pluie de courte durée, pour les différentes fréquences est représentée dans le Tableau IV.16.

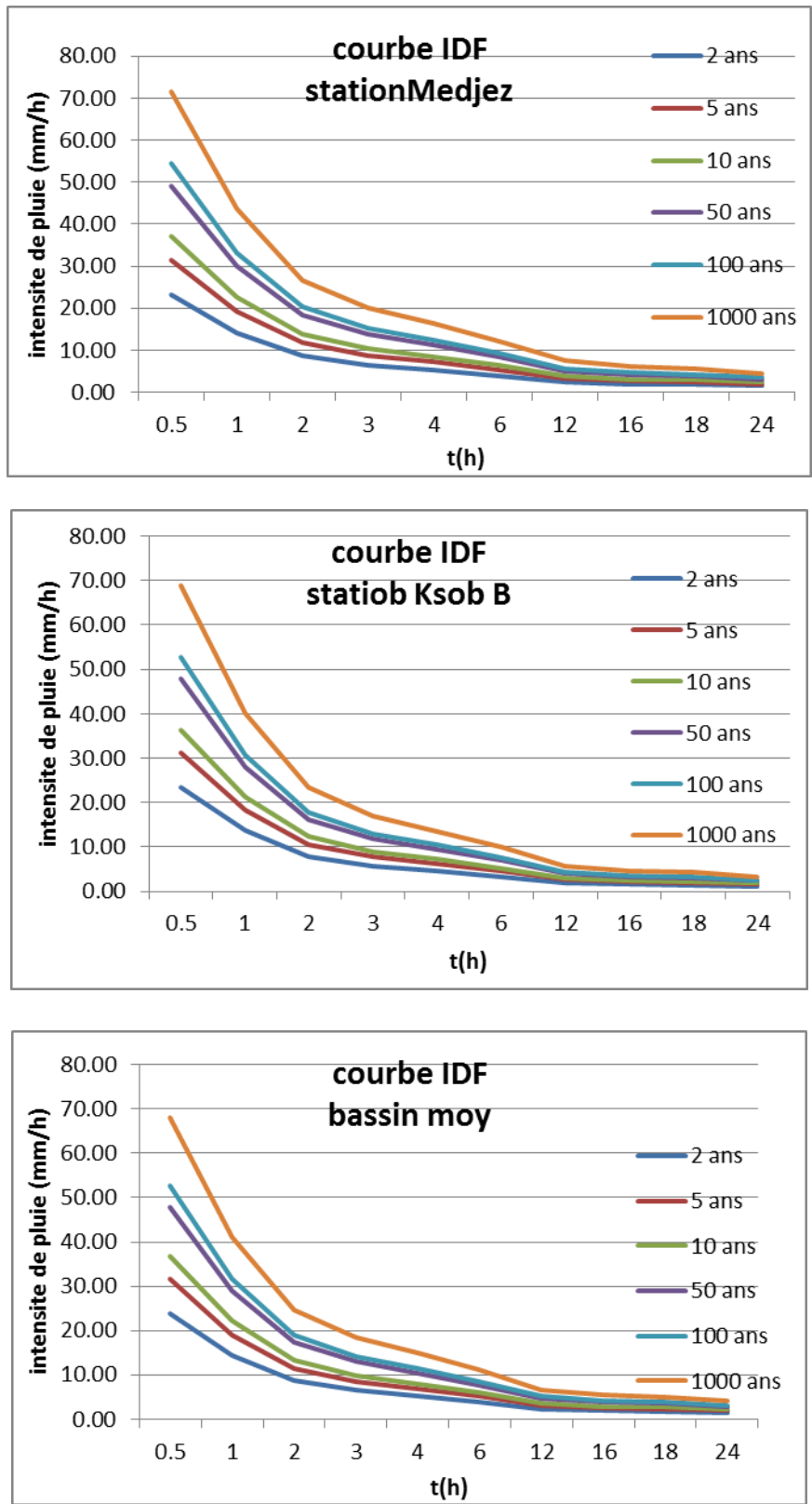
**Tableau IV.16** Pluie de courte durée pour les cinq stations pluviométriques du bassin versant de Ksob

Station	temps de retour		2	5	10	50	100	1000
	t (h)	f	0.5	0.8	0.9	0.98	0.99	0.999
Medjana	0.5		11.29	15.1	17.63	23.18	25.53	33.29
	1		13.99	18.72	21.85	28.74	31.65	41.27
	2		17.35	23.21	27.09	35.63	39.24	51.17
	3		19.67	26.32	30.72	40.4	44.49	58.02
	4		21.51	28.77	33.59	44.17	48.64	63.43
	6		24.39	32.62	38.08	50.08	55.16	71.93
	12		30.23	40.45	47.21	62.09	68.38	89.17
	16		33.05	44.22	51.62	67.88	74.76	97.48
	18		34.28	45.86	53.54	70.4	77.54	101.11
Bordj ghdir	24		37.48	50.14	58.53	76.97	84.77	110.54
	0.5		11.83	15.72	18.24	23.77	26.11	33.85
	1		14.46	19.22	22.3	29.07	31.93	41.38
	2		17.68	23.51	27.27	35.54	39.04	50.6
Bordj ghdir	3		19.89	26.44	30.67	39.97	43.91	56.91
	4		21.62	28.74	33.34	43.45	47.73	61.86
	6		24.32	32.32	37.5	48.87	53.68	69.58
	12		29.73	39.52	45.84	59.76	65.64	85.07
	16		32.58	42.96	49.83	64.96	71.35	92.47
	18		33.44	44.45	51.56	67.21	73.83	95.68
	24		36.35	48.32	56.05	73.06	80.25	104.01

**Tableau IV.16** Pluie de courte durée pour les cinq stations pluviométriques du bassin versant de Ksob  
(suite et fin)

Station	temps de retour		2	5	10	50	100	1000
	t (h)	f	0.5	0.8	0.9	0.98	0.99	0.999
B.B.A (050905)	0.5		12.04	15.01	16.98	21.31	23.14	29.18
	1		14.42	17.98	20.33	25.52	27.7	34.95
	2		17.27	21.52	24.35	30.55	33.18	41.85
	3		19.19	23.92	27.06	33.95	36.86	46.5
	4		20.68	25.78	29.16	36.59	39.73	50.11
	6		22.98	28.64	32.4	40.66	44.14	55.69
	12		27.52	34.3	38.8	48.69	52.86	66.68
	16		29.65	36.96	41.81	52.47	56.97	71.86
	18		30.58	38.11	43.11	54.1	58.74	74.1
Medjez	0.5		11.56	15.74	18.51	24.6	27.18	35.69
	1		14.13	19.24	22.63	30.08	33.23	43.64
	2		17.27	23.52	27.66	36.78	40.63	53.35
	3		19.43	26.46	31.12	41.36	45.7	60.01
	4		21.12	28.76	33.82	44.96	49.67	65.23
	6		23.75	32.35	38.04	50.57	55.87	73.37
	12		29.04	39.55	46.51	61.83	68.31	89.71
	16		31.57	43.00	50.56	67.21	74.25	97.51
	18		32.67	44.49	52.32	69.55	76.83	100.9
BV Ksob	0.5		11.69	15.63	18.23	23.97	26.4	34.41
	1		13.61	18.2	21.24	27.92	30.74	40.08
	2		15.86	21.2	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	31.5	41.4	45.6	59.44
	12		23.52	31.44	36.69	48.23	53.11	69.23
	16		25.05	33.49	39.08	51.38	56.58	73.76
	18		25.71	34.37	40.11	52.73	58.07	75.69
Bassin moy	0.5		11.95	15.79	18.33	23.92	26.28	34.09
	1		14.42	19.04	22.1	28.84	31.69	41.1
	2		17.38	22.95	26.65	34.77	38.21	49.56
	3		19.39	25.61	29.73	38.8	42.63	55.29
	4		20.96	27.68	32.14	41.93	46.07	59.76
	6		23.38	30.88	35.85	46.78	51.4	66.67
	12		28.2	37.24	43.23	56.41	61.98	80.39
	16		30.47	40.24	46.72	60.97	66.99	86.89
	18		31.46	41.54	48.23	62.94	69.15	89.7
	24		34	44.9	52.13	68.02	74.74	96.94





**Figure IV.9** Courbe intensité-durée-fréquence des stations pluviométriques du bassin versant de l’Oued Ksob

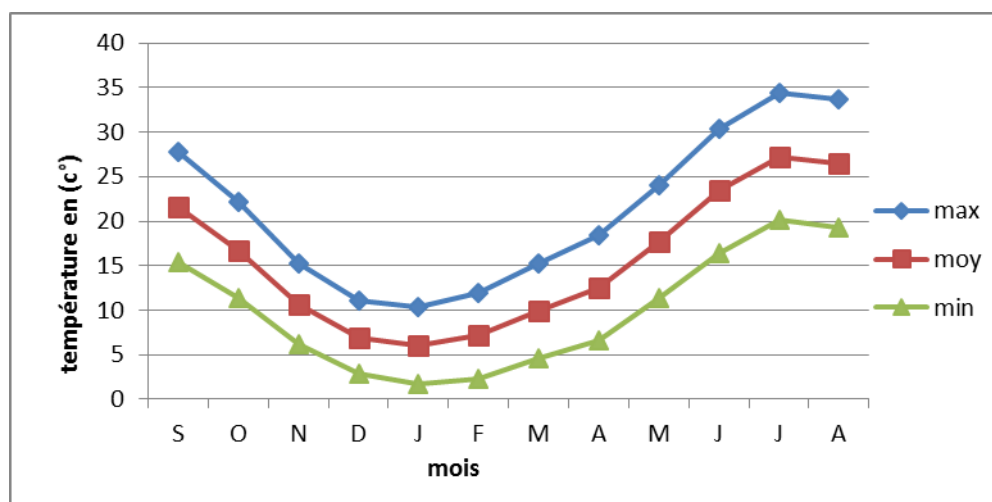
### IV.5 Température

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 ce sont elles qui nous permettent d'évaluer les déficits d'écoulement des bassins versant.

Dans notre cas d'étude on ne dispose que les données d'une seule station, celle de B.B.A., située en milieu du bassin, avec une série homogène pour une période de 29 ans (1980-2009), (Tableau IV.16). La (Figure IV.10) montre la variation des températures moyennes mensuelles interannuelles maximales, moyennes et minimales. Source O.N.M [B.B.A] :

**Tableau IV.17** Moyennes mensuelles interannuelles des températures [1981-2009]

Mois T en °C		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
		Bordj Bou Areridj [1981 2009]	<b>Max</b>	27.8	22.1	15.2	11.0	10.4	12.0	15.3	18.4	24.1	30.4
	<b>Moy</b>	21.6	16.7	10.7	6.95	6.05	7.15	9.95	12.5	17.75	23.4	27.2	26.5
	<b>Min</b>	15.4	11.3	6.2	2.9	1.7	2.3	4.6	6.6	11.4	16.4	20.1	19.3



**Figure IV.10** Moyennes mensuelles interannuelles des températures [1981-2009], station de B.B.A (O.N.M)

D'après (Figure IV.10), et (Tableau IV.16), l'un des points essentiels qu'il faut retenir c'est la division de l'année en deux saisons thermiques :

La saison chaude s'étend de mai à octobre, avec un maximum en juillet, qui atteint la valeur 34.7°C, alors que la saison froide correspond à novembre et avril avec un minimum en janvier de 1.7°C.

La diminution du Nord vers le Sud des températures pour le bassin de l'Oued Ksob est liée essentiellement à l'altitude en plus de l'effet de la continentalité dans la région des hautes plaines.

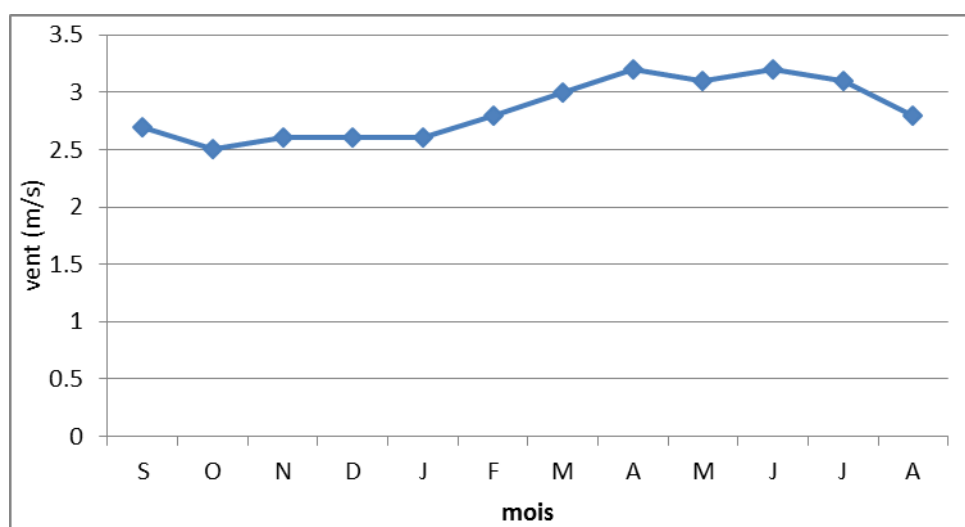
## IV.6 Autres facteurs climatiques

### IV.6.1 Les vents et le sirocco

Les vents dominants sont ceux de l'Ouest et du Nord-Ouest qui sont fréquents pendant la période hivernale; ils sont relayés par les vents du Sud (sirocco) pendant la saison estivale (juin, juillet, août) avec un nombre de jours variant entre 25 et 34 jours par ans. Bouteldja (2005) Le tableau ci-dessous présente les vitesses mensuelles interannuelles des vents pendant la période 1981-2009, Source O.N.M [Bordj Bou Arreridj] :

**Tableau IV.18** Vitesses des vents moyennes mensuelles interannuelles [1981-2009](station de BBA)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vent [m/s]	2.7	2.5	2.6	2.6	2.6	2.8	3.0	3.2	3.1	3.2	3.1	2.8



**Figure IV.11** Les vitesses des vents moyennes mensuelles interannuelles [1981-2009], station B.B.A (O.N.M)

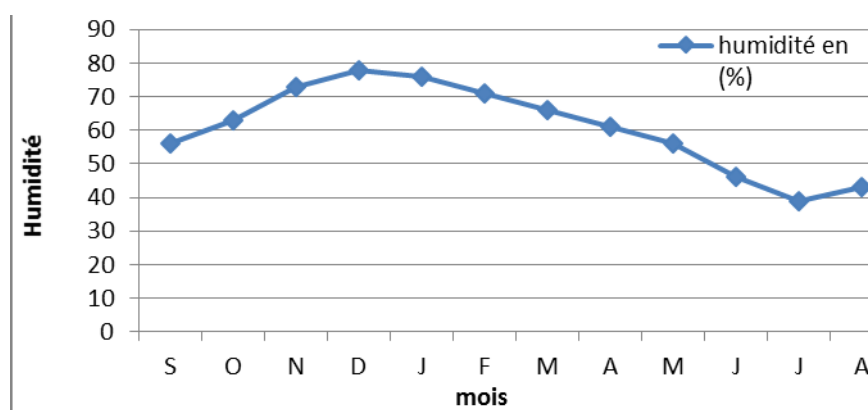
### IV.6.2 Humidité relative

Elle exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa) à la pression de vapeur saturante (Pr) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et de pression.

L'évaluation moyenne mensuelle de l'humidité calculée à la station de B.B.A, est mentionnée dans le tableau ci-dessous, Source : O.N.M [B.B.A].

**Tableau IV.19** Moyennes mensuelles interannuelles De l'humidité [1981-2009] (station de BBA)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité [%]	56	63	73	78	76	71	66	61	56	46	39	43

**Figure IV.12** Moyennes mensuelles interannuelles de l'humidité [1981-2009], B.B.A (O.N.M)

D'après les résultats obtenus, on constate, à la station de B.B.A, que l'humidité est plus élevée en hiver qu'en été, celle-ci est due à la température qui est plus élevée en été qu'en hiver. L'humidité relative moyenne mensuelle varie entre 39 % en juillet et 78 % en décembre, l'altitude et l'exposition sont les facteurs principaux dans l'abondance ou pas de l'humidité en ajoutant le rôle du vent.

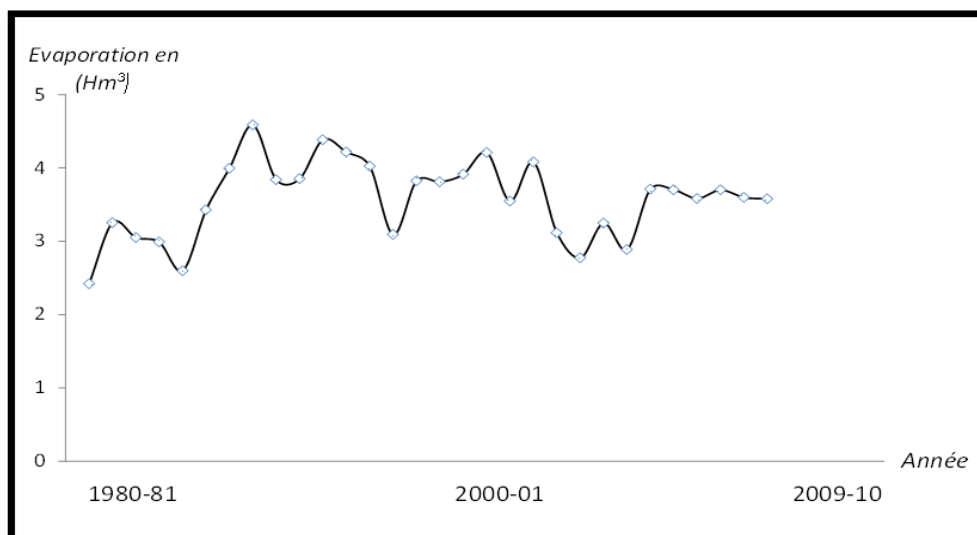
### IV.6.3 Évaporation

On dispose au barrage de l'oued de Ksob des mesures d'évaporation sur bac Colorado.

L'évaporation moyenne interannuelle calculée sur la base de ces mesures est de 3.56 Hm<sup>3</sup> (Tableau IV.20).

**Tableau IV.20** Evaporation annuelle observée au niveau de la station du barrage Ksob

Année	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90
<b>E (Hm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.420</b>	<b>3.251</b>	<b>3.051</b>	<b>2.987</b>	<b>2.597</b>	<b>3.426</b>	<b>3.994</b>	<b>4.584</b>	<b>3.838</b>	<b>3.850</b>
Année	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00
<b>E (Hm<sup>3</sup>)</b>	<b>4.384</b>	<b>4.216</b>	<b>4.023</b>	<b>3.090</b>	<b>3.821</b>	<b>3.808</b>	<b>3.912</b>	<b>4.210</b>	<b>3.546</b>	<b>4.080</b>
Année	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10
<b>E (Hm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.115</b>	<b>2.772</b>	<b>3.245</b>	<b>2.885</b>	<b>3.709</b>	<b>3.701</b>	<b>3.582</b>	<b>3.699</b>	<b>3.597</b>	<b>3.578</b>

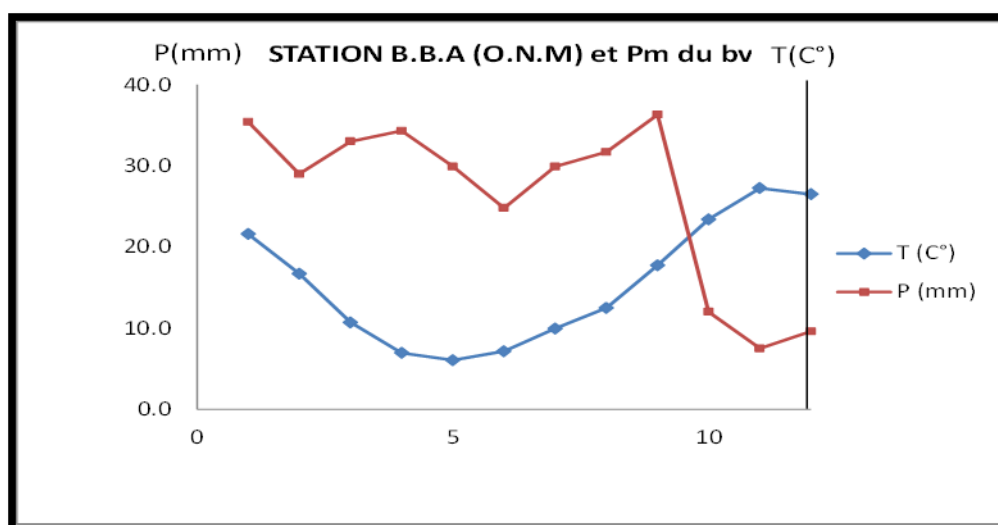


**Figure IV.13** Variation de l'évaporation annuelle dans la station barrage Ksob

#### IV.7 Régime climatique du bassin versant de l'oued de Ksob

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques (températures et précipitations) est intéressante dans la mesure, où elle permet de déterminer les mois véritablement secs, qui correspondent selon la définition de Bagnous et Gaussen (1952), Au mois où le total des précipitations est inférieur au double de la température moyenne mensuelle.

Pour avoir la relation entre la température et la précipitation on utilise le diagramme ombrothermique de Bagnous et Gaussen (1952), (Figure IV.14) qui sont établi à partir des données de températures moyennes mensuelles et des précipitations moyennes mensuelles avec une échelle  $P = 2T$ .



**Figure IV.14** Diagramme ombrothermique de la station B.B.A (O.N.M)

La période sèche présente six mois : avril, Mai, Juin, juillet, août et septembre.

### **Conclusion**

L'analyse des précipitations de bassin versant de l'oued de Ksob est faite sur la base des données de 5 stations pluviométriques couvrant une période de 1943 au 2012. Le comblement des lacunes des séries pluviométriques est réalisé entre les stations en utilisant la régression linéaire, le coefficient de corrélation dans toutes les stations est jugé significatif. Le choix de la méthode d'ajustement des données pluviométriques dépend de la loi de probabilités, la taille et certaines caractéristiques de l'échantillon. Dans notre étude, on ajuste les pluies annuelles à la loi de Gauss et les pluies maximales journalières à la loi de Gumbel. La pluviométrie et son rôle dans l'écoulement ont été amplement analysés, on a été amené à distinguer une série longue et homogène [1977-2006]. La pluviométrie moyenne interannuelle du bassin est estimée à 333.5 mm, pour la pluie journalière maximale interannuelle elle est de l'ordre de 37.9 mm. On relève des précipitations faibles et irrégulières et des températures élevées varient entre 9.85°C et 22°C.

*Chapitre V*

*Généralité sur l'érosion hydrique*

## Chapitre V : Généralité sur l'érosion hydrique

### Introduction

D'une manière générale, l'érosion des sols correspond au "détachement" et au "transport" des particules de sol, par différents agents (gravité, eau, vent, glace), de leur emplacement d'origine à un endroit de "dépôt" à l'aval. Ces mouvements de sol sont des processus discontinus à fortes variations spatio-temporelles, difficiles à décrire sous forme d'équations mathématiques. Nous, nous intéressons dans cette étude plus particulièrement à l'érosion hydrique, qu'est un phénomène largement répandu et dont les conséquences peuvent entraîner des pertes de terre irréversibles et une diminution des capacités de stockage des barrages.

L'érosion hydrique constitue en Algérie un phénomène très grave qui affecte durement le patrimoine foncier. Elle touche 45% des zones telliennes soit 12 millions d'hectares cultivables.

Ce phénomène devient encore plus grave si l'on sait que 85% des surfaces cultivables, sont situées dans les zones les plus sensibles à l'érosion.

Les deux agents principaux de l'érosion hydrique sont les précipitations et le ruissellement superficiel. Toutefois, un grand nombre de facteurs comme l'intensité et l'agressivité des précipitations, caractéristiques du sol, pentes et longueur de pente, le couvert végétal et l'état hydrique initial affectent la relation "chute de pluie –détachement de particules, ruissellement avec entraînement des terres".

### V.1 Définitions

L'érosion est l'ensemble des actions physiques chimiques et organiques qui aboutissent à la destruction des roches et au nivellement progressif du terrain. Plus simplement l'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre ; l'eau et le vent sont les principaux agents naturels (Greco, 1966).

L'érosion est un phénomène naturel qui affecte l'ensemble de la couverture terrestre géo-pédologique et c'est l'un des facteurs importants de formation et d'évolution des milieux naturels (Dutil, 1984).

L'érosion se manifeste sous deux formes, érosion éolienne ou hydrique.

#### V.1.1 Erosion éolienne

Se traduit par l'ablation et le transport des particules de sol (sables et limons surtout) détachées des agrégats auparavant, suite à l'absence de liant, argile ou matières organiques.

Elle concerne essentiellement les sols sableux ou sablo-limoneux, à faible teneur en matières organique.

### **V.1.2 Erosion hydrique**

L'érosion hydrique concerne pratiquement tous les sols. Elle commence avec la chute des gouttes de pluie sur les agrégats du sol, qui provoque un certain détachement de particules élémentaires du sol (sables et limons). Ce choc de la goutte d'eau avec détachement de particules effet « splach » est plus ou moins intense selon l'état structural du sol au moment de la pluie. Signalons qu'il ne concerne qu'une redistribution sur place des particules. Ensuite, l'action peut se poursuivre avec l'entraînement des particules détachées, d'abord en petites nappes à l'intérieur de la parcelle, puis hors de la parcelle, mais avec des intensités très variables, selon :

- ✓ La nature des sols.
- ✓ La pente.
- ✓ Les systèmes culturaux.
- ✓ L'intensité de la pluie.
- ✓ L'état d'humidité du sol au moment où il reçoit la pluie.

## **V.2 Effets néfastes de l'érosion**

### **V.2.1 Dans leur zone de production**

Les répercussions de l'érosion des sols vont au-delà de la perte du sol de la couche arable. La levée des plantes, leur croissance et leur rendement sont directement affectés par la perte d'éléments nutritifs du sol et des engrais qui y sont appliqués. La semence et les plantes peut-être dérangées ou totalement transportées hors du lieu où se produit l'érosion. La matière organique du sol, les résidus ainsi que le fumier épandu sont relativement légers et peuvent être facilement transportés à l'extérieur du champ, particulièrement à la fonte des neiges.

La qualité du sol, sa structure, sa stabilité et sa texture peuvent être affectées par l'érosion. Le Morcellement des agrégats, le déplacement de particules fines, de couches entières de sol ou de Matière organique peuvent détériorer la structure et même modifier la texture. Tout changement de texture peut à son tour affecter la capacité de rétention d'eau du sol le rendant alors plus Susceptible aux conditions extrêmes telles que la sécheresse

### V.2.2 En d'hors des zones de production

L'impact de l'érosion des sols sur les sites plus éloignés n'est pas toujours aussi apparent que celui sur le site même de l'érosion. Le sol érodé, déposé au bas des pentes, peut empêcher ou retarder l'émergence de la semence. Les sédiments peuvent se déposer sur les propriétés en aval et occasionner des dommages aux routes.

Les sédiments qui atteignent les cours d'eau peuvent accélérer l'érosion des talus, en sabler les fossés de drainage et les cours d'eau, envaser les réservoirs, couvrir les zones de fertile et réduire la qualité de l'eau. Les pesticides et engrais fréquemment transportés avec les particules de sol peuvent contaminer ou polluer les sources d'eau et les sites récréatifs (**Zaibak, 2008**).

L'Algérie comme les autres pays de l'Afrique du Nord (Maghreb arabe) est parmi les régions les plus érodables dans le monde (**Probest & Suchet, 1992**), plusieurs travaux ont été consacrés à l'évaluation de la dégradation des terres dans cette région (Tableau V.1) (**Hasbaia & al. 2012**).

Pour l'Algérie, les premières mesures de l'érosion hydrique et du transport solide ont débuté en 1946 à la station hydrométrique de la Traille qui contrôle le haut bassin de l'Oued Isser (Medinger, 1960; Demmak, 1982). Au fur et à mesure de l'installation d'autres stations, plusieurs études ont été menées pour la quantification et l'étude de l'érosion hydrique et le transport solide (Medinger, 1960 ; Tixeront, 1960 ; Capolini, 1967 ; Capolini & al., 1969)

Le Tableau V.1 donne l'ordre de grandeur de l'érosion spécifique dans les pays de Maghreb selon Hasbaia & al, (2012).

**Tableau V.1** Dégradation spécifique du sol ( $E_s$ ) dans le Maghreb (**Hasbaia & al., 2012**)

Source	$E_s$ (t/km <sup>2</sup> /an)
Fourier (1960)	60-600
Strakhov (1967)	10-50
Heusch and Milliés-lacroix (1971)	265-2569
Dedkov and Mozzherin (1984)	100-250
Walling (1984)	1000-5000
Walling and webb(1987)	> 500

Snoussi (1988) (Maroc)	750
Probest and suchet (1992)	504

Ces exemples montrent l'enjeu majeur de l'érosion hydrique non seulement pour l'Algérie, mais aussi pour les pays semi-arides. Au Maroc, près de 10% du volume des barrages est comblé par les sédiments. En Tunisie, la proportion est plus forte, soit 25% de la gravité de l'érosion hydrique réside à la fois dans les taux importants en plus de la variabilité spatio-temporelle du phénomène (**Hasbaia & al., 2012**).

En Algérie, une enquête recensant l'état d'envasement des ouvrages existants de mobilisation d'eau a été réalisée par (**Salhi & al, 2013**). Cette étude a apporté une information sur la quantité de sédiments déposés sur 63 barrages, petits barrages et retenues collinaires. Les ouvrages ont été choisis dans le grand bassin de l'Algérois-Hodna-Soummam. Les résultats ont permis de déterminer l'Erosion spécifique  $E_s$  (tonne/ha) (Tableau V.2).

**Tableau V.2** Ordre de grandeur de l'érosion hydrique dans quelques bassins en Algérie.

	<b>Nom de l'ouvrage</b>	<b>Surface du BV (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>Erosion spécifique Es (tonne/ha)</b>
1	Beni Amrane	3710,00	187	3,24
2	Ain zada	2078,00	319	0,15
3	Freha	552,45	821	0,48
4	Koudiet acerdoune	2792,24	425	16,44
5	Prise Djer	359,67	554	11,89
6	Prise el harrach	972,16	433	6,95
7	Prise nador	202,13	469	0,16
8	Prise mazafran	1833,48	602	5,10
9	Sidi Khelifa	219,63	1046	0,54
10	Taksebt	454,24	702	0,16
11	tichy haf	4015,81	724	1,14
12	Ain Zouaoua	1,64	554	4,28
13	Oued Skhouna	6,58	595	3,89
14	Freha	0,51	903	47,06
15	DAS Bourahla 1	0,50	900	32,00
16	DAS Bourahla 2	0,38	900	42,11
17	Kouanine	8,60	780	9,30
18	Naciria	0,58	780	41,38
19	Sidi Daoud	0,18	780	44,44
20	Boussedoum	2,60	483	18,46
21	Oued Assila	12,70	460	18,58
22	Boumerzél (I)	9,04	382	4,42
23	Boumerzél (II)	6,70	600	4,78
24	Ouled el berdi-av	48,16	526	2,66
25	bordj oukhris	10,92	180	16,12
26	Bir Ghbalou	2,12	393	11,32
27	Ighil Libene	1,40	600	28,57
28	Chabet Merdja	1,00	598	16,00
29	Gominsis	3,00	598	7,42
30	Djedala	1,14	393	6,10
31	Bouchiouane	1,80	258	4,04
32	H.M'thene	2,70	511	23,19
33	Merdja	1,40	511	20,87
34	harbitia	1,21	263	39,67
35	mihab	4,15	460	7,33
36	Dra alouest	20,00	254	3,80
37	Bergoug	3,60	526	11,59
38	Ouled el berdi-am	47,00	526	1,28
39	Lechbour	32,25	363	33,07
40	El H'mada	20,23	363	15,22
41	Draouet	25,85	566	61,90
42	Oued Ouled Saber	6,18	344	32,36
43	RC Lemhari	15,43	344	18,66
44	Oued Sedd	4,70	263	8,51
45	Mechtates Sedari	1,47	263	48,98
46	chabet Mehadjer	3,03	263	1,32
47	Chabet Ain Bouaicha	3,27	486	16,39
48	Oued Anseur El Hadj	2,58	393	21,71
49	Djoueb	1,56	263	1,28
50	Chabet El Farfachia	2,54	263	18,90
51	Chabet Tatouch	3,02	380	31,79
52	Chabet Arous	6,04	380	7,95
53	Chabet Loualouia	13,43	380	4,77
54	Chabet metreg	2,55	380	31,37
55	Chabet Touhiah	3,87	380	38,24
56	Chabet Mahrouga	2,10	393	22,10
57	Chabet Sfaï	9,40	263	1,98
58	Oued Rhorb	33,50	263	1,95
59	Oued Messai	10,30	393	34,25
60	Chabet Bouhalfia	1,80	263	2,42
61	Chabet Defla	3,30	486	3,92
62	Chabet Drabine	3,50	486	3,24
63	Oued Ben Loulou	10,00	486	9,45

### V.3 Procédures de l'érosion

L'érosion se manifeste par l'enlèvement, l'arrachement, la mise en solution, puis le dépôt, de particules détachées de la surface du sol et des roches. Le résultat est une ablation qui se traduit par un modèle d'érosion (par exemple le ravin ou l'auge). Sous l'action de la pesanteur, seule (éboulis, éboulement) ou assistée par les agents d'érosion que sont l'eau, la glace, les vagues et le vent, les débris sont déplacés. Ce transport à plus ou moins longue distance aboutit à des accumulations créatrices de modelés construits (cône de déjection, cordon littoral, dune, moraine) ou fournit la matière première des sédiments lorsque ceux-ci se déposent au fond d'un lac ou d'un océan. L'érosion implique que les constituants des substrats rocheux puissent être mobiles. Son action s'exerce immédiatement sur tous les matériaux meubles (sable, argile, limon, sol, dépôt caillouteux) dès l'instant qu'ils sont exposés à l'air libre, sans protection du couvert végétal. Il n'en est pas de même pour les roches mécaniquement dures (granite, calcaire, grès) pour lesquelles une transformation préalable, la météorisation, s'impose.

#### V.3.1 Ablation (altération)

La destruction du matériel rocheux se fait par altération des roches, c'est-à-dire la séparation des éléments d'une roche par l'action de phénomènes physiques et chimiques. L'altération est donc l'ensemble des processus qui décomposent et désagrègent les roches produisant les grains sédimentaires et des constituants dissous.

Il existe trois familles de processus d'altération

✓ Les processus chimiques entraînent une modification de la composition chimique ou une dissolution des minéraux de la roche. Ils nécessitent la présence d'eau et sont de loin les plus importants.

✓ Les processus physiques provoquent une fragmentation mécanique de la roche sans affecter la composition des minéraux.

✓ Les processus biologiques conduisent également à une fragmentation ou à une détérioration chimique des roches par l'action d'organismes vivants (animaux, plantes, bactéries).

#### V.3.2 Altération physique

Elle provient essentiellement des variations de température (une chaleur intense par exemple), de l'action de l'eau gelant dans les fissures de la roche, et d'organismes vivants, tels que racines d'arbres et animaux fouisseurs. Les roches se dilatent ou se contractent suivant la température, provoquant l'émiettement, la desquamation et l'exfoliation des couches

superficielles. Le gel et les organismes agrandissent les fissures, exposant les couches plus profondes à l'altération chimique. Les processus mis en œuvre dans l'altération physique sont les suivants :

✓ **La gélifraction**

La gélifraction correspond à la fragmentation d'une masse rocheuse en réponse aux pressions exercées par le gel et le dégel de l'eau qu'elle contient en effet, une même quantité d'eau occupe un volume plus grand (d'environ 9%) à l'état solide qu'à l'état liquide. En gelant dans les vides d'une roche, l'eau tend à les agrandir, créant ainsi des fractures. Les fragments ainsi créés se désagrègent lors du dégel. De nombreuses répétitions du cycle gel-dégel sont cependant nécessaires pour réduire une roche en morceaux. Les roches riches en fissures sont généralement débitées en blocs anguleux par ce processus. Les roches homogènes mais poreuses, se désagrègent grain par grain. Ballah(2014)

✓ L'haloclastie correspond à la fragmentation d'une masse rocheuse par des cristaux de sels Formés lors de l'évaporation de l'eau qu'elle contient. Lorsque de l'eau riche en sels dissous Contenue dans une roche s'évapore, des cristaux de sels se forment. En grandissant, ils exercent des pressions au sein de la roche, comme la glace dans le cas de la gélifraction. Ces pressions conduisent peu à peu à une fragmentation de la roche.

✓ La thermoclastie correspond à la fragmentation d'une masse rocheuse en réponse à de fortes variations de la température extérieure. Les variations de température que subit une roche provoquent des épisodes de dilatation (chaud) et de contraction (froid) sur une certaine épaisseur. A la longue, des fractures se forment entre la zone externe qui réagit aux changements de température et la zone interne qui est inerte

✓ **L'exfoliation et la desquamation sont des phénomènes par lesquels une masse rocheuse compacte et homogène se fracture en feuillets.**

L'exfoliation est un processus d'altération qui délite les roches massives et homogènes en grandes dalles courbes, épaisses de quelques décimètres et parallèles à la topographie. Ce type de fracturation semble lié à la diminution de pression lorsque des roches d'origine profonde (magmatiques ou métamorphiques) sont mises à jour par l'érosion (c.à.d. l'enlèvement) des couches superficielles.

### **V.3.3 L'altération chimique décompose la roche en modifiant lentement la nature des minéraux**

Elle se fait de nombreuses façons par dissolution des minéraux par l'eau et les acides faibles du sol ; par oxydation ; réaction chimique avec le dioxyde de carbone ; et par hydratation (combinaison de l'eau et de minéraux produisant une réaction chimique). Les plantes, telles que les lichens, décomposent également certaines roches en extrayant des substances nutritives solubles et du fer des minéraux. La respiration des plantes au niveau des racines produit en outre du gaz carbonique qui acidifie les eaux environnantes et favorise les processus chimiques d'altération (hydrolyse, dissolution).

**La dissolution est un processus d'altération chimique correspondant à la dissociation d'une substance solide dans un liquide. Certains minéraux peuvent être dissous par l'eau.**

Processus d'altération chimique le plus simple, la dissolution peut être définie comme la mise en solution d'une substance solide dans un liquide que l'on appelle le solvant. Dans la nature, le solvant est en général l'eau douce ou l'eau de mer.

Les minéraux les plus sensibles à la dissolution sont la halite (NaCl) et les gaz aussi peuvent être dissous dans l'eau

✓ **L'oxydation est un processus d'altération chimique qui affecte particulièrement les minéraux riches en fer.**

L'oxydation se définit comme la perte d'un électron par un atome ou une molécule. Dans le cas du fer, l'ion ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) s'oxyde en ion ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) par la perte d'un électron.

Lorsqu'un minéral contenant du fer (ou du manganèse ou du soufre) entre en contact avec de l'oxygène, il s'oxyde en produisant un autre minéral. Cette réaction se déroule aussi bien à la surface de la terre que dans les profondeurs océaniques. La présence d'eau douce ou marine accélère le processus d'oxydation.

✓ **L'hydratation est une altération chimique qui affecte les roches composées d'éléments capables de fixer une molécule d'eau.**

L'hydratation est une réaction chimique qui affecte les minéraux capables de fixer une molécule d'eau dans leur structure, se transformant ainsi en un minéral différent. L'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), par exemple, s'altère en goéthite ( $\text{FeOOH}$ ) tandis que l'anhydrite donne du gypse. Cette réaction implique généralement une augmentation de volume qui conduit à la fracturation de la roche

## V.4 Le transport

### V.4.1 Définition du transport des sédiments

C'est la mobilisation des produits de l'altération. Pour certains c'est là que commence le processus d'érosion proprement dit. Une fois libérés, ces produits sont transportés par l'air, l'eau, la glace. Les particules sédimentaires produites par les processus d'altération sont, dans la plupart des cas, transportées de leur lieu de formation vers un bassin d'accumulation (par exemple : un barrage, un lac ou un océan). Le transport des matériaux issus de la désagrégation de la roche s'effectue soit sous forme dissoute dans la circulation des eaux continentales, soit sous forme solide. Dans ce dernier cas, les particules sédimentaires peuvent être entraînées par l'effet d'un fluide (vent, eau, glace) ou encore être déplacées en masse ou sous l'action prédominante de la gravité.

### V.4.2 Modes de transport de sédiments

#### a- Glissements en masse en l'absence de fluides

Il s'agit d'un déplacement en masse dans ce cas, les sédiments ne sont pas transportés par le mouvement d'un fluide, mais en masse par l'action de la gravité. Les fluides, principalement l'eau, sont souvent présents dans ce type de transport, mais ils ne servent qu'à lubrifier le sédiment.

Le déplacement en masse peut avoir lieu aussi bien dans l'air que dans l'eau. On distingue les processus suivants classés selon la présence croissante d'un fluide : la reptation (mouvement lent des sols selon la pente) ; les éboulements (chute libre de blocs à partir de reliefs escarpés); les glissements (déplacement d'une masse de roches ou de sédiments selon une surface de rupture) ; les écoulements gravitaires (par exemple coulées de boues). Ces processus déplacent des masses considérables de sols et débris rocheux sur des distances courtes (de l'ordre du km). Leur impact sédimentaire est pourtant important, car ils mettent les matériaux mobilisés à la disposition du système fluvial.

#### b- Ecoulements gravitaires

Dans ces phénomènes, les particules sédimentaires sont en suspension dans un fluide, mais leur mouvement est dû à la gravité, non au déplacement du fluide lui-même (à la différence d'un écoulement liquide conventionnel). On distingue quatre types d'écoulements gravitaires(1) le «grain flows», (2) les "debris flows", (3) les "fluidised sediment flows" et (4) les courants de turbidité (= "turbidity currents")

❖ Les grains flows se déclenchent lorsque la pente d'un dépôt est supérieure à la pente d'équilibre. Les particules sont maintenues en mouvement par des forces dispersives dues aux multiples collisions entre les grains. L'air (l'eau) n'agit que comme un lubrifiant mais ne propulse pas les grains. De grandes stratifications entrecroisées peuvent être produites, mais chaque unité est homogène et ne présente pas de structure interne (Fig. IV.2). L'exemple le plus connu de grain flow est l'avalanche de sable provoquée au revers d'une dune devenue trop raide.



**Figure V.1** Ecoulement (grain flow) de sable au flanc d'une dune.

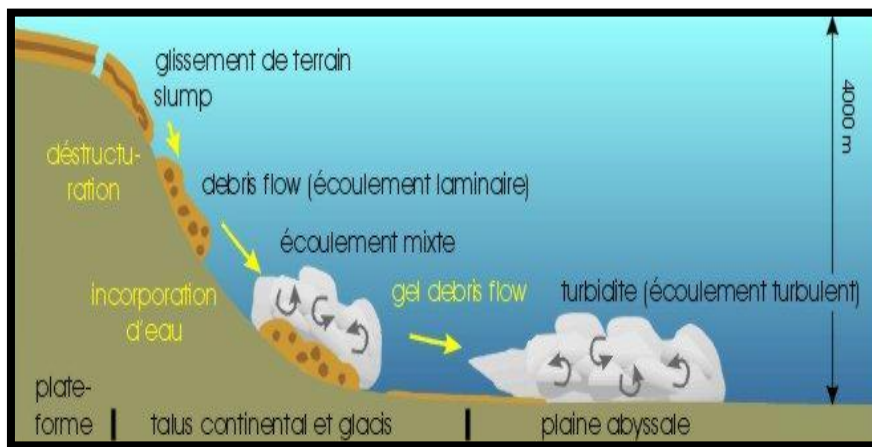
❖ Fluidise sédiment flows. Ce type d'écoulement gravitaire est constitué de grains maintenus en suspension par un excès de pression du fluide inter granulaire. Les fluidise sédiment flow demeurent en mouvement aussi longtemps que cet excès de pression est maintenu. de nombreuses structures sédimentaires caractéristiques sont produites figures de charge (= "load casts"), "convolute laminations", volcans de sable (= "sand volcanoes"), figures en assiettes (= "dish structures"), structures d'échappement de fluide (= "fluid escape structures") (Fig. V.2). L'exemple le plus connu de ce phénomène est les sables mouvants (= "quick sand") cassables saturés en eau (par exemple suite à un dépôt rapide) perdent leur cohésion lors de l'application d'une pression extérieure. A l'échelle géologique, cette pression extérieure est souvent le fait d'une onde sismique.

❖ Débris flows et mudflows. Les mudflows sont des écoulements de boue sous l'action de la gravité. Si cette boue contient de gros éléments (galets, blocs), on parle alors de débris flow.

Ces écoulements ont l'aspect du béton frais et se mettent en mouvement lorsque de fortes pluies ont saturé d'eau leur fraction fine. Leur vitesse de propagation peut atteindre une centaine de km/h et ils provoquent le déplacement de blocs de taille parfois considérable. Le maintien en suspension de ces gros éléments est dû à la rigidité de la matrice et à sa densité relativement forte. Lorsque les forces de gravité deviennent moins fortes que les forces de frottement (internes et sur le fond), la coulée s'arrête on dit qu'elle gèle.

❖ Les courants de turbidité. Un courant de turbidité est un écoulement gravitaire lié à la différence de densité entre deux masses d'eau. Cette différence de densité est due à la présence de sédiment en suspension dans l'un des deux fluides. Le fluide le plus dense s'écoule sous le fluide le moins dense.

Les courants de turbidité transportent de grandes quantités de matériaux dans les fonds océaniques. Ces dépôts ont reçu le nom de turbidités.



**Figure V.2** Naissance d'une turbidité (Ballah, 2014)

Un glissement de terrain dans la partie supérieure du talus continental mobilise une grande masse de sédiment. Au début du glissement, le sédiment est à peine déstructuré et on retrouve des structures de lumps; progressivement, la masse de sédiment va se comporter comme un débris flow en descendant le talus continental. Par ailleurs, en érodant et incorporant les sédiments rencontrés sur son chemin, sa densité et sa vitesse augmentent; ensuite, par incorporation d'eau, la cohésion entre les particules de sédiment diminue et des tourbillons commencent à se former le courant de turbidité se développe; à un certain moment, le débris flow "gèle" et le courant de turbidité continue seul à se déplacer.

#### V.4.3 Ecoulements de fluides

a)- **La mécanique des fluides** La capacité d'un fluide à déplacer du sédiment dépend du mode d'écoulement qui peut être laminaire ou turbulent.

La capacité d'un fluide à mobiliser et transporter des sédiments dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont sa masse volumique, sa viscosité et sa vitesse. Pour mémoire, la masse volumique de l'eau de mer est d'environ 1,03 g/cm<sup>3</sup>, celle de l'eau douce de 1 g/cm<sup>3</sup>, celle de la glace de 0,9 g/cm<sup>3</sup>. Par contre, la masse volumique de l'air est très faible, de l'ordre de 0,001 g/cm<sup>3</sup>. En ce qui concerne la viscosité, celle de l'air est très faible, celle de la glace est élevée et celle de l'eau est intermédiaire. Les principales différences entre sédiments éoliens (sable fin et silt), glaciaires (galets, sable, boue) et alluviaux sont la conséquence de ces masses volumiques et viscosités distinctes.

Dans un régime turbulent, les filets d'eau se mélangent, forment des tourbillons et ne restent plus parallèles entre eux et parallèles au fond. Ceci a une conséquence importante quant à la capacité d'érosion et de transport du fluide la composante ascendante des tourbillons et filets d'eau maintient les sédiments en suspension ou favorise leur érosion.

**(Boughalem, 2013)**

#### **b) Modes de transport des sédiments**

Dans un fluide en mouvement les particules peuvent être déplacées de trois manières par charriage, par saltation et en suspension. La manière dont les particules sont transportées dans un fluide dépend de leur taille, de la turbulence du fluide et de sa viscosité. Trois modes ont été reconnus

- ✓ Transport par charriage ou roulement les grains restent toujours en contact avec le fond et se déplacent en roulant et en glissant.
- ✓ Transport par saltation les grains se déplacent en rebondissant sur le fond.
- ✓ Transport en suspension les particules ne sont jamais en contact avec le fond.

La charge de fond regroupe l'ensemble des grains transportés par traction et saltation. Dans le cas d'un cours d'eau, ce sont principalement les sables et les graviers. La charge en suspension est constituée uniquement des particules déplacées de cette manière, généralement les silts et les argiles. Il faut noter que, dans un cours d'eau, de nombreuses substances sont également transportées sous forme dissoute (p. ex. le calcium qui provient, entre autres, de la dissolution du calcaire).

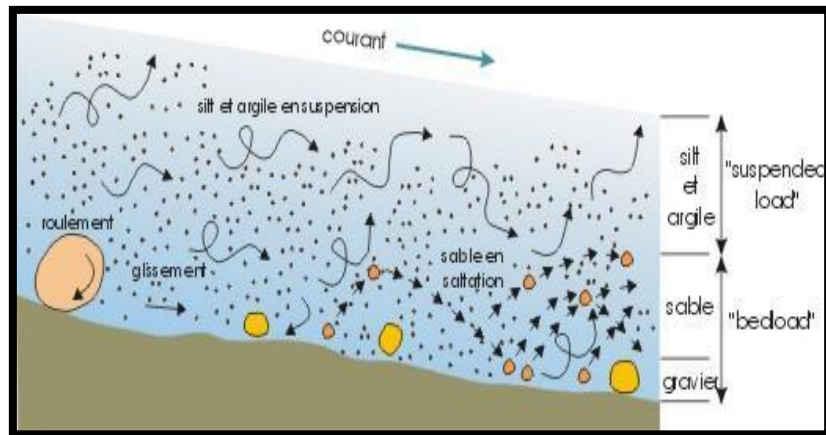


Figure V.3 Modes de transport des particules dans un courant.

#### V.4.4 Les effets du transport

Le transport prolongé d'une masse de sédiments conduit généralement à une réduction de la taille des grains, à un tri du matériel (c'est à dire à un classement du sédiment en fonction de la taille des grains) et à une augmentation de l'arrondi des particules. L'ampleur de ces effets dépend cependant de la taille et de la nature des grains transportés, ainsi que de la viscosité et de la vitesse du fluide en mouvement. L'eau et le vent ont par exemple une bonne capacité à trier du sédiment, mais ce n'est pas le cas de la glace. Les galets sont rapidement arrondis lors d'un transport fluviatile (10 km pour un galet calcaire; 300 km pour un galet siliceux)

#### Le dépôt

Le dépôt des sédiments a lieu lorsque la vitesse de l'agent de transport diminue ou lorsque cet agent de transport disparaît (fonte de la glace). La granulométrie des particules, la texture des sédiments, la géométrie des dépôts sont d'importants indices sur l'agent de transport, sa vitesse au moment du dépôt, sa direction, etc.

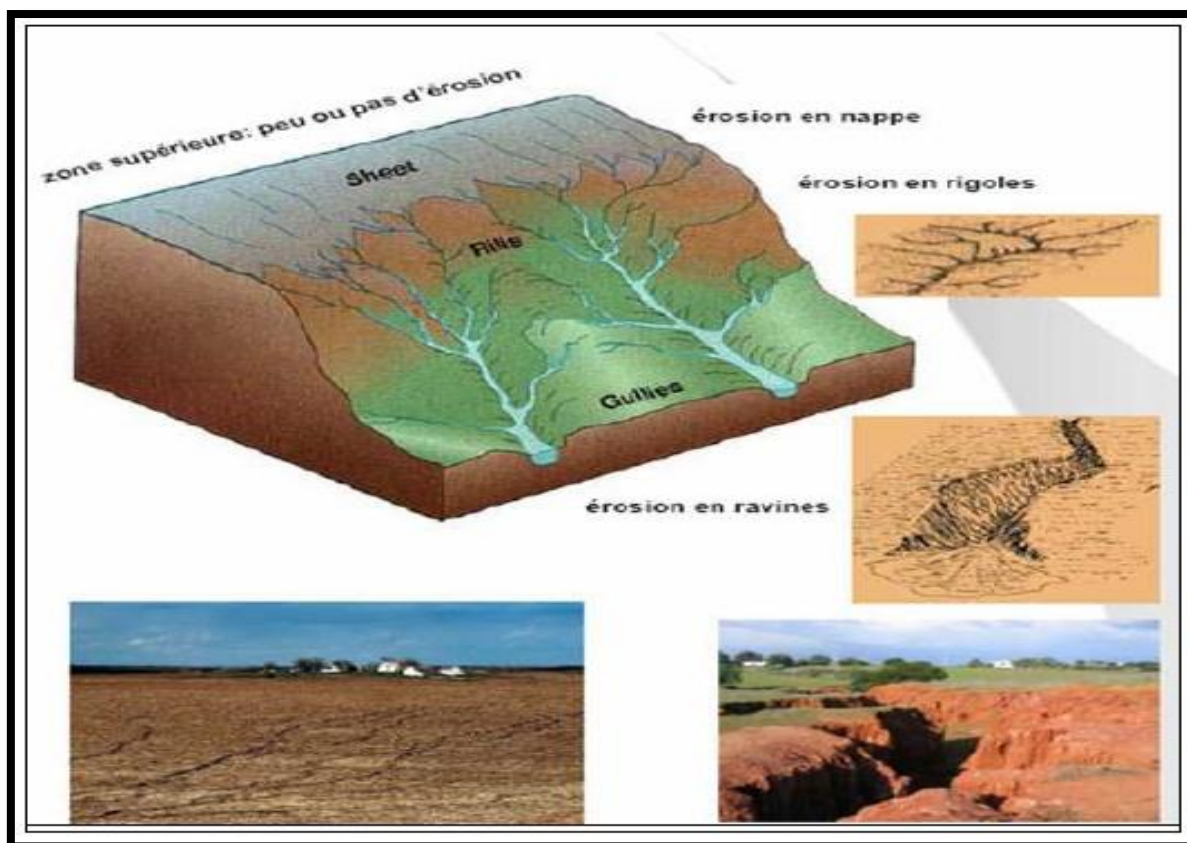
Les grains se déposent avec leur face plane parallèle au lit sédimentaire. Ils montrent souvent un phénomène d'imbrication. Les grains allongés sont stables quand leur grand axe est parallèle à la direction du courant.

#### V.5 Mécanismes d'érosion hydrique

Bien que des phénomènes tels que les alternances d'humectation et de dessiccation, le gel, les pratiques culturales, la circulation d'engins et/ou de bétail, des agents biologiques ou des réactions chimiques puissent contribuer notablement à l'affaiblissement de la structure d'un sol, les principaux agents de désagrégation des sols impliqués dans les phénomènes érosifs

sont l'impact des gouttes d'eau lors de précipitations et les forces de cisaillement exercées par l'écoulement des eaux de ruissellement.

Cet écoulement constitue également le principal agent du transport des particules, bien que l'effet de rejaillissement lié à la force d'impact des gouttes d'eau puisse ne pas être négligeable (érosion par rejaillissement). Le ruissellement peut prendre la forme d'un écoulement infiniment large d'une hauteur relativement uniforme (érosion en nappe), d'écoulements préférentiels dans des structures peu profondes, susceptibles d'être éliminées par les intempéries ou le travail du sol (érosion en rigoles), ou dans des structures plus marquées et plus durables (érosion en ravines). En général, sur un versant, la zone supérieure, proche de la crête, ne montre que peu ou pas de traces d'érosion. Vers l'aval, le ruissellement prend davantage d'importance, donnant lieu à une érosion, d'abord en nappe puis progressivement également en rigoles, voire en ravines. (L'intensité des phénomènes érosifs est limitée soit par leur capacité de détachement, soit par leur capacité de transport.



**Figure V.4** Distribution des formes d'érosion sur un versant (Souter & al., 1978)

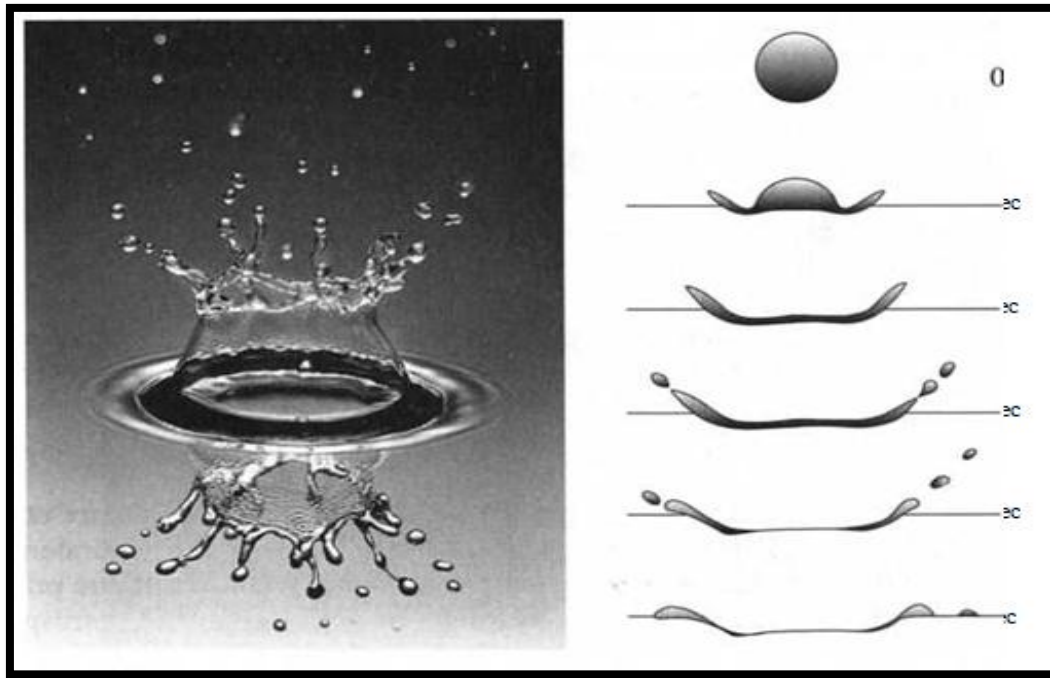
Les mouvements de masse par solifluxion (glissements de terrain), reptation (alternances dessiccation-humidification) ou écoulement (coulées de boue) peuvent également être considérés comme des formes particulières d'érosion hydrique dans la mesure où leur cause réside en un affaiblissement, d'origine hydrique, de la cohésion ou de la structure interne du sol. Ces phénomènes, qui peuvent entraîner des pertes en terre considérables, ne seront toutefois pas pris en considération ici.

### **V.5.1 Erosion par rejaillissement**

Les gouttes d'eau qui tombent soit directement sur le sol, soit, après interception par le couvert végétal, du feuillage sur le sol, constituent les agents de l'érosion par rejaillissement. La force exercée par l'impact d'une goutte d'eau sur la surface du sol possède des composantes normale et tangentielle à cette surface. La composante normale contribue à compacter le sol, mais comme celui-ci est peu déformable, seule une faible partie de la quantité de mouvement est absorbée, si bien que l'impact provoque, par réaction, un rejaillissement latéral de gouttelettes d'eau, fragments de la goutte initiale. Les vitesses locales de ces jets latéraux sont à peu près doubles de la vitesse d'impact et suffisantes pour entraîner des particules de sol (fig. V.5). La composante tangentielle à la surface du sol de la force d'impact est plus faible et entièrement transmise au sol (cisaillement).

Le détachement de particules de sol lors de l'impact de gouttes d'eau affecte de façon privilégiée les silts et les sables fins. Les particules plus grossières sont en effet plus résistantes en raison de leur poids, alors que les argiles, plus fines, sont liées par des forces de nature électrostatique dont la rupture requiert davantage d'énergie.

Les effets de la force d'impact d'une précipitation dépendent de son intensité et de la taille des gouttes d'eau, mais également de l'état structural du sol et de son humidité. Une distinction est habituellement faite entre deux formes de ruissellement.



**Figure V.5** Effet de rejaillissement ou effet « Splash » (Souter et al., 1978)

### V.5.2 Erosion en nappe

L'érosion en nappe, également dénommée *érosion diffuse* par opposition à l'érosion linéaire caractéristique de l'érosion en rigoles ou en ravines, est produite par l'écoulement d'une lame de ruissellement de hauteur relativement uniforme sur la surface du sol (fig. V.6). Cet écoulement n'est en général pas homogène mais plutôt constitué d'un entrelacs d'écoulements dont les débits et les directions varient constamment, sans cheminements particulièrement marqués et parsemés d'obstacles divers tels que pierres, troncs ou tiges, touffes d'herbes, etc. Du point de vue hydraulique, ces écoulements se caractérisent en général par des nombres de REYNOLDS et de FROUDE ; plutôt faibles ( $Re < 500$ ,  $Fr < 0,5$ ), ce qui correspond à un écoulement laminaire subcritique.



**Figure V.6** Accumulation de sol et de débris de culture à l'extrémité basse de ce champ est un indice d'érosion en nappe.

La capacité de détachement de ces écoulements dépend de leur vitesse, pour autant que celle-ci dépasse le seuil critique qui voit les forces de cisaillement engendrées par l'écoulement surmonter les forces liant les particules entre-elle. Cette vitesse peut s'exprimer par l'équation de Manning (Souter & al., 1978).

### V.5.3 Erosion en rigoles

L'érosion en rigoles commence à se manifester à une certaine distance de la crête d'un versant, distance critique qui voit l'écoulement en nappe commencer à suivre des chenaux préférentiels (l'érosion en nappe est également parfois dénommée érosion inter-rigoles, car entre les rigoles cette forme d'érosion se poursuit). Cette transition semble être principalement due à une modification des conditions d'écoulement les divagations latérales de l'écoulement en nappe conduisent à des concentrations locales de débit, accompagnées de petits vortex qui se développent en turbulences localisées. L'augmentation de la vitesse de frottement liée à l'augmentation de débit et l'apparition de tourbillons provoque un affouillement qui crée une rupture dans la pente, à partir de laquelle se développe une rigole. Au point de rupture et à mesure que l'affouillement prend de l'ampleur, l'écoulement devient progressivement supercritique ou torrentiel (les forces d'inertie deviennent supérieures au forces de pesanteur et le nombre de **FROUDE** ( $Fr$  supérieur à 1).

Le développement de la rigole s'effectue alors à la fois vers l'amont et vers l'aval. Le rythme du retrait vers l'amont du point de rupture dépend de la cohésion du sol, de la pente et de la longueur de la zone de rupture ainsi que du débit et de la vitesse d'écoulement. Le développement vers l'aval est quand à lui contrôlé par les efforts de cisaillement exercés par l'écoulement et par la résistance que leur oppose le sol. La tendance à la formation de rigoles d'érosion est toutefois contrebalancée dans une certaine mesure par le détachement de particules sous l'effet des précipitations, particules qui peuvent venir combler les ébauches de rigoles aussi vite que celles-ci se forment (**Souter & al., 1978**).



**Figure V.7** Tracé distinct formé par les eaux de ruissellement est un signe d'érosion en rigoles ayant emporté le sol.

#### **V.5.4 Erosion en ravines**

Une distinction est parfois faite dans le domaine de l'érosion entre rigoles, ravines et fossés sur la base de leurs profondeurs (< 15 cm, 15-45 cm, > 45 cm). Outre le fait que les ravines (et fossés) constituent des structures plus marquées que les rigoles, elles s'en distinguent essentiellement par leur caractère permanent, bien qu'elles puissent dans certains cas être comblées par déposition. Elles peuvent être considérées comme des éléments du réseau hydrographique dans lesquels seuls des écoulements éphémères se produisent lors de fortes précipitations. Contrairement aux cours d'eau permanents qui présentent en général un profil en long relativement régulier et concave, les ravines se caractérisent par un talus initial très marqué, souvent vertical, et une succession de replats et de chutes tout au long de leur cours. Elles sont par ailleurs et en général plus profondes et moins larges qu'un cours d'eau permanent, et susceptibles de transporter davantage de sédiments, bien que leur comportement soit souvent imprévisible de ce point de vue. La présence de ravines constitue un signe patent d'érosion accélérée. Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion linéaire. Il y en a trois processus de ravinement (Fig. V.8).

**a)** Dans la nature, on observe le plus souvent des ravines en forme de V qui s'impriment dans un matériau homogène, plus ou moins meuble, sablo-argileux; argileux, marneux ou schisteux.

Au cours des saisons intermédiaires, les matériaux fins accumulés sur les versants par altération des roches, glissent jusqu'au fond de la ravine, d'une part suite à l'impact des gouttes de pluies, et d'autre part par formation de petites rigoles secondaires ou le plus souvent par glissement en masse des particules saturées par l'eau. La pente d'équilibre des versants étant largement dépassée, aucune végétation ne peut s'y installer (**Roose, 1994**).

**b)** Un deuxième type de ravines en U s'observe fréquemment dans la nature sur des matériaux hétérogènes. Soit elles ont un fond constitué de matériaux très résistants lors des crues exceptionnelles le canal va donc s'élargir latéralement par effondrement. Soit, la couche de résistance se trouve en surface, le ruissellement creuse alors profondément le matériau jusqu'à atteindre une nappe d'eau temporaire ou permanente qui va exercer une poussée latérale sur le bas du versant jusqu'à ce que celui-ci s'effondre (sapement de berges) .

**c)** Il existe une troisième forme de ravinement encore plus difficile à traiter l'érosion en tunnel (tunneling). Elle peut se développer sur des pentes faibles, dans un matériau fissuré en surface, soit sur des sols riches en argiles gonflantes (vertisols, sols bruns tropicaux, etc...), soit sur des marnes riches en gypse ou en d'autres minéraux solubles (fréquent dans le bassin méditerranéen).

Lors des orages de fin de saison sèche, les eaux pénètrent dans ces sols fissurés jusqu'à la roche altérée, ruissellent dans ces fissures jusqu'en bas de pente où elles peuvent former des ravines régressives.

Les fissures du sol dans lesquelles s'engouffre le ruissellement hypodermique vont se transformer progressivement en tunnels, lesquels s'effondrent et forment des ravines régressives qui peuvent progresser de quelques dizaines de mètres au cours des grosses averses (**Boughalem, 2013**)



Figure V.8 Processus de ravinement en relation avec leur typologie (Boughalem, 2013).

Des phénomènes de mouvement de masse peuvent également se manifester sur le versant, ils proviennent d'une part, du déséquilibre entre la masse de la couverture pédologique, de l'eau qui s'y trouve stockée et des végétaux qui la couvrent et d'autre part, les forces de frottement de ces matériaux sur la roche altérée en pente sur laquelle ils reposent. On peut regrouper ces phénomènes en six groupes principaux (Fig. V.9).

➤ **Les glissements lents (crêpe)**

C'est un glissement plus ou moins lent des couches superficielles de la couverture pédologique, généralement sans décollement, qui s'observe assez généralement sur les pentes fortes grâce à la forme couchée des jeunes plants forestiers et à la forme en crosse de la base des arbres adultes. Dans les zones sylvo-pastorales; la circulation des animaux le long des versants peut également entraîner la formation d'escaliers encadrés par des réseaux de fissures

➤ **Les glissements rapides**

Les glissements de terrain **en planches** sont des décollements d'une couche plus ou moins

Épaisse de sol, glissant sur un horizon plus compact (souvent de la roche altérée), servant de plan de glissement. Ce phénomène est très courant sur les schistes dont le pendage est parallèle à la topographie (pendage conforme) sur les gneiss et sur les marnes en voie d'altération.

➤ **Les versants moutonnés**

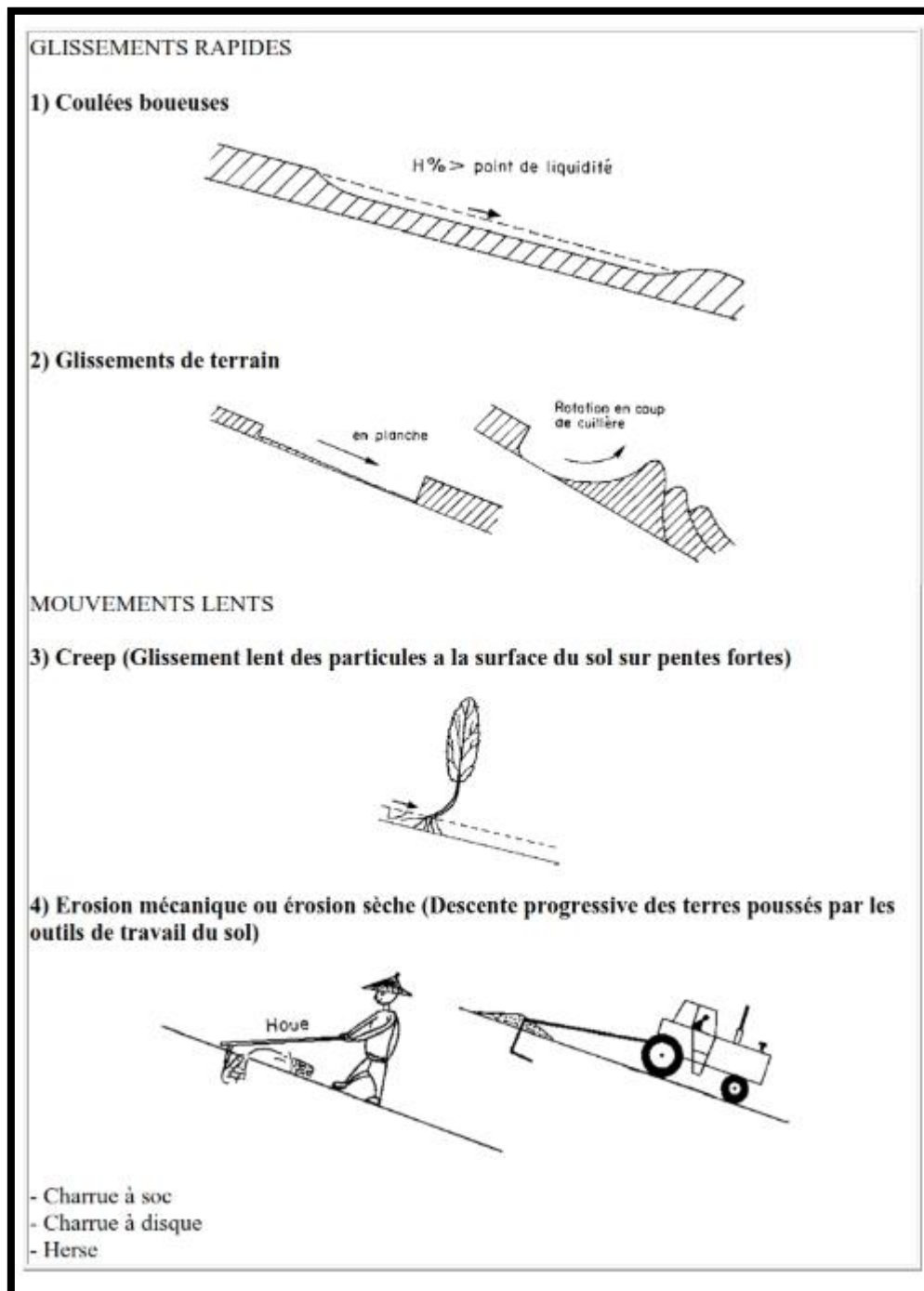
Formes molles apparaissant dans des conditions humides lorsque les horizons superficiels dépassent le point de plasticité et progressent lentement, connue une pâte dentifrice, entre la trame de racines qui retient l'horizon de surface et l'horizon compact imperméable que représente l'altérité des marnes ou des argilites par exemple

➤ **Les coulées boueuses (lave torrentielle)**

Ce sont des mélanges d'eau et de terre à haute densité ayant dépassé le point de liquidité et qui emportent à grande vitesse des masses considérables de boue et de blocs de roches de taille imposante. Lorsqu'elles viennent de se produire, elles se présentent sous forme d'un canal

Terminé par une langue de matériaux de texture très hétérogène (cône de déjection). Les matériaux fins sont repris ultérieurement par l'érosion hydrique en nappe ou en rigole, laissant en place une masse de cailloux et de blocs de taille très hétérogène. Elles apparaissent

souvent à la suite d'un glissement en planche 011 dans une ravine lors d'une averse exceptionnelle nettoyant les altérités accumulées depuis quelques années.

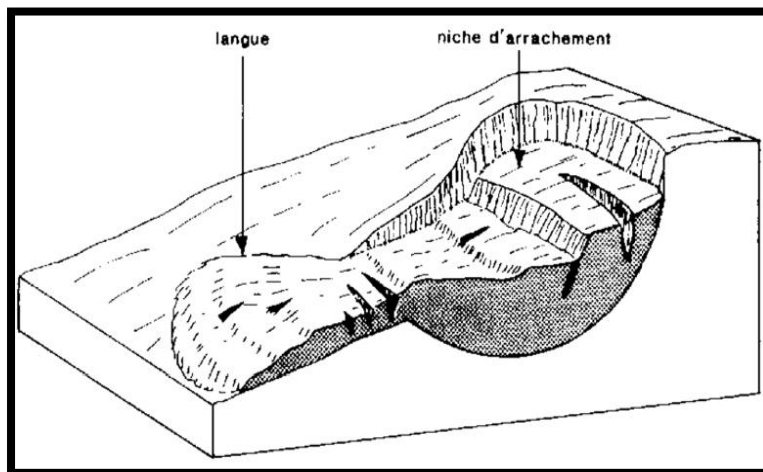


**Figure V.9** Différentes formes d'érosion en masse (Boughalem, 2013).

Les glissements rotationnels en "coups la cuillère" (fig.10) Ce sont des glissements où la surface du sol et une partie de la masse glissent en faisant une rotation, de telle sorte qu'il apparaît une contrepente sur le versant. Il s'agit souvent de toute une série de coups de cuillère, laissant au paysage un aspect moutonné. Au creux du coup de cuillère, on

observe généralement une zone humide où croît une végétation adaptée à hydromorphie. Il arrive couramment qu'après des périodes très humides, il s'installe au ruissellement sur les bords de la contrepente et ce ravinement fait progressivement disparaître la contrepente. En laissant qu'un creux dans le versant qu'il est difficile de dissocier d'un ravinement ordinaire.

Les formes locales Il s'agit d'éboulements rocheux, de sapements de berges ou d'effondrements de versants qui entraînent des glissements localisés. Ceux-ci sont très fréquents en tête de ravine ils entraînent l'éboulement de la partie supérieure des lèvres d'une ravine et font progresser la ravine vers le sommet de la colline par érosion régressive. On les retrouve également dans les oueds, en particulier dans les parties concaves de la rivière lorsqu'elle forme les méandres.



**Figure V.10** Glissement rotationnel en coups de cuillère (Boughalem, 2013)

A l'échelle de la parcelle cultivée, la distinction la plus commune est faite entre les processus d'inter rang, où l'entraînement est principalement causé par l'énergie des gouttes de pluie et l'érosion linéaire pour laquelle c'est l'énergie du ruissellement qui devient prépondérante.

#### ➤ **Érosion des berges**

Les cours d'eau naturels et les canaux de drainage servent d'exutoires aux eaux de ruissellement et aux effluents des réseaux de drainage souterrain. L'érosion fait son œuvre sur les berges au fur et à mesure du sapement, de l'affouillement et de l'effondrement de celles-ci (figure V.11). Des aménagements déficients, le manque d'entretien, le libre accès du bétail et la trop grande proximité des superficies cultivées sont autant de facteurs en cause.

On peut aussi pointer du doigt la conception des sorties de drainage souterrain. Certaines ne remplissent pas leur rôle convenablement faute d'un tuyau de sortie rigide, ou parce

qu'aucun bloc antiérosif n'a été installé ou parce que celui-ci ne convient pas, ou encore parce que les tuyaux de sortie ont été endommagés par l'érosion, la machinerie ou le sapement de la base de la berge.

Les conséquences directes de l'érosion des berges sont, entre autres la perte de terre arable; le sapement de la base des ouvrages, tels que les ponts; les exigences accrues de nettoyage et d'entretien des canaux de drainage; et le ravinement des voies de circulation et des superficies longeant les clôtures (Remmas, 2014)



**Figure V.11** Erosion des berges résulte du sapement et de l'affouillement des berges des cours d'eau naturels et des canaux de drainage.

### V.5.5 Principaux facteurs d'érosion

Afin de réaliser une cartographie des zones potentiellement productrices de matériel Sédimentaire, il convient de fournir un aperçu sur les facteurs qui conditionnent les modalités et les rythmes de l'érosion. L'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols et des roches, la topographie et le couvert végétal.

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant pas s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur les versants en entraînant les particules de terre. Ceci apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol, soit lorsque la pluie touche une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe. Ces deux types de ruissellement peuvent donner, d'une part, une érosion aréolaire par ruissellement diffus et/ou en rigoles et, d'autre part, une érosion linéaire par ruissellement concentré (Tourki, 2010)

### a)- Agressivité des pluies

C'est l'énergie des gouttes des pluies qui déclenche le processus de destruction des agrégats et le ruissellement assure leur transport (Roose et Lelong 1976). Le facteur  $R$  est estimé par la formule (Wischmeier & Smith 1978)  $R = ME_c I^{30}$  où  $M$  est un coefficient dépendant du système d'unités de mesure, et  $E$  est l'énergie cinétique de l'intensité moyenne sur 30 minutes ( $I_c$ ) des gouttes de pluie de chaque averse. Les seules données disponibles concernant les précipitations dans les stations qui se trouvent dans le bassin ou à sa proximité sont des moyennes mensuelles et annuelles. Certains auteurs (Seddiki & al. 2004) ont utilisé des formules alternatives qui n'impliquent que les précipitations mensuelles ( $p_i$ ) et annuelles pour déterminer le facteur  $R$  (Toumi & al., 2013).

$$\log R = 1.74 \log \sum_{i=1}^{12} (p_i^2 / p) + 1.29$$

L'érosivité du climat dépend essentiellement des caractéristiques des précipitations, car elles conditionnent les modalités de l'érosion Saisonnalité des pluies, fréquence et intensité des orages. En effet, les pluies déclenchent les phénomènes de destruction des agrégats du sol nu sur les versants et le ruissellement assure le transport des particules détachées (Ellison, 1945). Ainsi, les précipitations jouent manifestement un rôle important dans le déclenchement des processus géomorphologiques relevant de l'érosion hydrique.

Il n'y a ruissellement que lorsque la vitesse avec laquelle la pluie arrive au sol est plus importante que la vitesse avec laquelle l'eau entre dans le sol. Autrement dit, le ruissellement est la différence entre l'intensité de la pluie et le taux d'infiltration d'eau dans le sol ( $R = P - I$ , en  $\text{mm h}^{-1}$ ) (Tourki, 2010)

### b)- Vulnérabilité des roches et érodibilité des sols

Les roches des formations meubles seront directement érodables, dès lors que les conditions favorables seront réunies (couvert végétal absent ou clairsemé, entrée en action d'un agent d'érosion, topographie,.....etc). Les marnes et les argiles seront livrées à l'érosion hydrique.

A l'inverse, les calcaires ou les affleurements de grès ne pourront être érodés que si le matériel est préparé par l'altération à travers les fissures et les diaclases. L'érodibilité du sol est une mesure de la facilité avec laquelle le sol est érodé. Certains sols résistent bien à l'érosion, d'autres beaucoup moins. L'érodibilité du sol dépend surtout de sa « stabilité structurale ».

La stabilité structurale est une propriété qui se mesure par un tamisage dans l'eau et constitue un indice de la résistance à la désagrégation d'un sol. C'est une mesure de la cohésion des agrégats et de leur capacité à ne pas se désagréger sous l'effet de la pluie. La stabilité structurale dépend des propriétés qui donnent une cohésion au sol dont on cite la texture, la structure et de la matière organique contenue dans le sol. Wischmeier a proposé d'étudier l'érodibilité du sol au champ, dans des conditions standards qui servent de référence en tous points du globe. La répétition des expérimentations sur différents types de sols a permis à Wischmeier et Smith (1978) de développer une équation pour le calcul de l'érodibilité des sols:

$$100K = 2.1 M^{1.14} \cdot 10^{-4}(12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$$

Où M est calculé par la formule  $M = (\% \text{ sable fin} + \text{limon}) \times (100 - \% \text{ argile})$ ; a est le pourcentage de matière organique; b est le code de la perméabilité; et c est le code de la structure. Les divers types de roches et leurs structures donnent une indication sur la capacité d'infiltration des zones occupées par les roches et par les sols et en conséquence sur la quantité de sol susceptible d'être érodée (Boukheir et al. 2001). Une faible infiltration des roches indique qu'une grande quantité d'eau ruisselle, par conséquent, une forte quantité de terre peut être emportée.

### c) Topographie

La topographie influence l'énergie du ruissellement superficiel et le développement de l'érosion, du moins lorsque le sol est nu ou peu couvert par la végétation. Les terrains montagneux avec une altitude et un relief excessifs sont connus comme étant des régions pouvant produire anormalement des quantités élevées de transports solides, particulièrement là où les roches sont vulnérables (Hadley & Schumm, 1961 ; Ahnert, 1970) ou récemment affectées par une perturbation tectonique (Li, 1976).

Les principaux éléments topographiques qui interviennent dans les phénomènes de l'érosion sont l'inclinaison et la longueur de la pente. L'inclinaison de la pente est sûrement l'aspect topographique le plus important. Elle joue moins sur des pentes très courtes (quelques mètres) que sur des pentes plus longues puisque le ruissellement a besoin d'une certaine distance pour atteindre sa vitesse d'écoulement maximale. Le débit, et surtout la vitesse d'écoulement, détermine à quel moment une rigole va se creuser. La vitesse dépend d'une part, de la rugosité du sol et, d'autre part, de l'inclinaison de la pente, comme le montrent les équations de Chezy (1769) et Manning (1889). La transition entre érosion diffuse et érosion linéaire est donc en partie déterminée par l'inclinaison de la pente

$$\text{Chezy (1769)} \quad v=C(RS)^{0.5}$$

$$\text{Manning (1889)} \quad v=K((R^{\frac{2}{3}} * S^{0.5})/n)$$

Avec

C Coefficient de rugosité de Chezy .

n Coefficient de rugosité de Manning.

v Vitesse moyenne de ruissellement, R Rayon hydraulique.

S Pente ; k 1 en unités SI.

En ce qui concerne Les fortes pentes avec un écoulement rapide sont en général à l'origine d'une érosion importante dont l'importance dépend de la géologie, de la nature des sols, et de la protection par la couverture végétale.

Le facteur  $LS$  est fonction de la longueur et de l'inclinaison des pentes. Dans le cadre de notre étude, on a utilisé la formule développée par Wischmeier & Smith (1978) et utilisée par plusieurs auteurs (e.g. Khosrowpanah *et al.* 2007, Vezena et Bonn 2006, García Rodríguez & Giménez Suárez, 2010)

$$LS = \frac{L}{22.13}^m (0.065 + 0.045 S + 0.065 S^2)$$

Où  $L$  est la longueur de pente (m);  $S$  est l'angle de la pente (Toumi et al. 2013)

#### **d)- Occupation du sol**

Elle est, de loin, le facteur le plus important. La végétation vivante protège la surface du sol de l'impact des gouttes de pluie, et donc du détachement par le Splash. Les tiges et les troncs forment des obstacles qui ralentissent la vitesse du ruissellement, ce qui réduit le détachement par le ruissellement ainsi que sa capacité de transport. Les racines forment un réseau près de la surface qui tient le sol en place, augmentant ainsi sa résistance au détachement. Les feuilles mortes et débris végétaux protègent la surface de l'impact des gouttes, ralentissent le ruissellement, et ajoutent de la matière organique au sol, ce qui le rend plus résistant à l'érosion.

La relation entre végétation et érosion n'est pas simple

- Elle dépend, d'une part, de la densité du couvert végétal. L'effet protecteur d'une culture agricole n'est souvent pas efficace avant environ 40-50% de couvert végétal et il y a peu de différence au-delà de 80-90%.

- Elle dépend, d'autre part, du type de végétation. Des plantes à feuillage haut sont moins efficaces parce que les gouttes d'eau qui tombent des feuilles ont le temps d'atteindre une vitesse presque égale à celle de la pluie. Même la forme de la feuille peut jouer en altérant la taille de la goutte qui tombe au sol (l'énergie cinétique d'une goutte qui tombe à la surface est approximativement proportionnelle à  $mv^2$  où  $m$  = masse et  $v$  = vitesse). Des feuilles qui concentrent l'eau à leur surface pour agrandir la taille des gouttes peuvent en effet provoquer une érosion sous la couronne si le sol est nu.

D'une façon générale, la densité de la couverture végétale permet de déterminer l'existence d'un ruissellement. Jusqu'à 70% de couverture végétale, l'eau ruisselle en grande partie (ruissellement diffus ou concentré). Au delà, l'eau percole et ne ruisselle plus, sauf s'il y a saturation des sols (Rey et al, 2004).

## V.6 Conséquence de l'érosion hydrique

### V.6.1 L'envasement des barrages

Le processus de l'envasement influe sur le volume d'eau utile emmagasiné dans les barrages entraînant une diminution de capacité de stockage de ce dernier. Ce problème de sédimentation est lié aux phénomènes de l'érosion hydrique dans le bassin versant qui lui-même est conditionné par certains paramètres tels que la nature du sol, la couverture végétale, la pente de versant, la quantité de précipitation et leur intensité.



**Figure V.12** Dépôts de vase dans le barrage sur la rive gauche (photo à gauche) et dépôts de vase à l'entrée de l'Oued Bougous au barrage (photo à droite) (Tourki, 2010)

### V.6.2 Dégradation du bilan hydrique

Il s'agit de l'effet le plus important. Une culture pluviale soumise à l'érosion voit son déficit hydrique s'accroître suite à la réduction de la pluie efficace. En effet une fraction importante de la pluie ruisselle et n'est plus utilisable par la plante. La réduction du volume de sol exploitable pour les racines et donc de la réserve utile du sol (Remmas, 2014)

### V.6.3 Appauvrissement du sol

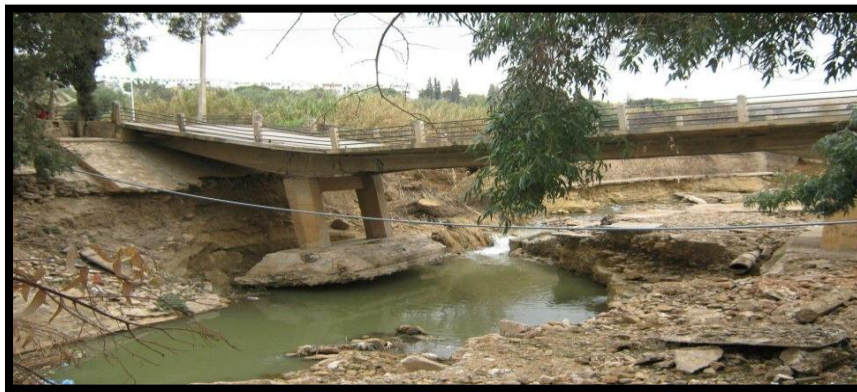
L'appauvrissement du sol se manifeste de la manière suivante

- ✓ La teneur en humus et en éléments nutritifs du sol décroît.
- ✓ La capacité de rétention en eau du sol diminue.
- ✓ La stabilité structurale du sol décroît.

Cet appauvrissement est lié au double effet de décapage des horizons supérieurs habituellement les plus fertiles et de sélectivité de l'érosion. (Remmas, 2014)

### V.6.4 Autres conséquences

Les autres conséquences de l'érosion hydrique sont récapitulées  
Déchaussements, des plantes emportées ou recouvrement de la culture  
Hétérogénéité croissante des parcelles diminution du drainage profond induisant une moindre réalimentation des nappes.  
Destruction des routes et infrastructure hydraulique (Fig.13) (Remmas, 2014)



**Figure V.13** Destruction des ouvrages (pont du quartier commando Mejdoub wilaya de Saida en 2013)

## Conclusion

La dégradation des sols entraîne une réduction importante de la capacité productive de la terre. Au nombre des activités humaines qui contribuent à la dégradation des sols on relève une utilisation inadéquate des terres agricoles, la mauvaise gestion du sol et de l'eau, la déforestation, l'enlèvement de la végétation naturelle, l'utilisation fréquente de machines

lourdes, le surpâturage, une mauvaise rotation des cultures et une irrigation laissant à désirer, à quoi il faut ajouter la survenue de catastrophes naturelles, notamment les sécheresses, les inondations et les glissements de terrain. L'érosion hydrique est une des causes majeures de la dégradation des sols dans le monde. Ce phénomène, essentiellement irréversible, entraîne une perte de potentiel de production du sol là où il est décapé et, au-delà, de nombreux dégâts : coulées boueuses, parfois violentes, détérioration de la voirie, d'ouvrages d'art, pollution de l'eau par des molécules dissoutes, des particules en suspension, Eutrophisation... L'érosion hydrique est influencée par les façons culturales pratiquées et les aménagements qui se trouvent sur le territoire cultivé. L'érosion ravinante fait généralement suite à l'érosion en nappe. Elle commence par l'apparition de griffes et rigoles qui disparaissent après les labours. Elles peuvent évoluer, quand la configuration du terrain le permet, vers un approfondissement et la formation de ravines. Ces ravines par l'action de la lame ruisselante sont au début en forme de V, puis, par l'action régressive leur profil devient plus large et en forme de U.

*Chapitre VI*

*Cartographie des paramètres de  
l'érosion à l'aide d'un SIG*

## Chapitre VI : Cartographie des paramètres de l'érosion à l'aide d'un SIG

### Introduction

Le barrage de l'oued de Ksob est le seul barrage dans notre bassin, d'une capacité de 50 millions de mètres cubes d'eau destinée exclusivement à l'irrigation de 13 000 ha. Actuellement, il n'irrigue qu'un tiers de cette superficie du fait d'un envasement avancé, accumulé durant les dernières 20 années. L'identification et la détermination des mesures à mettre en œuvre afin de lutter adéquatement contre l'envasement de ce barrage, préserver leur capacité utile et assurer la disponibilité future de l'eau restent l'une des préoccupations de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) et de la communauté scientifique Algérienne. Le présent chapitre a pour but l'identification et l'évaluation de la nature et l'ampleur du degré d'érosion dans le bassin versant de l'oued Ksob, en fonction de chaque paramètre et en tenant compte de l'ensemble des paramètres à la fois.

Parmi plusieurs modèles de quantification de l'érosion hydrique, on a opté dans le cadre de cette étude pour le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation Wischmeier and Smith (1978)) afin d'élaborer la carte de sensibilité du bassin versant de l'oued Ksob à l'érosion par rapport à chaque paramètre pour arriver à la fin, à une carte globale de sensibilité quantitative à l'érosion en superposant les cartes obtenues pour chaque paramètre.

### VI.1 Application de l'Equation universelle de perte en sol 'USLE'

L'équation universelle de pertes en sol (Wischmeier & Smith, 1978) permet la quantification des pertes en sol par l'érosion en nappes. C'est une fonction multiplicative des cinq facteurs principaux qui contrôlent l'érosion hydrique : agressivité climatique, érodibilité des sols, inclinaison et longueur de pente, occupation des sols et l'effet des pratiques anti-érosives :

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \dots\dots\dots(VI.1)$$

**A** : taux annuel de perte en sol en t/ha/an.

**R** : facteur de l'érosivité des pluies ; il correspond à la moyenne annuelle des sommes des produits de l'énergie cinétique de la pluie par son intensité en 30 min consécutives ; il est exprimé en MJ .mm / ha .hr. an.

**K** : l'érodibilité des sols ; il dépend de la granularité, de la quantité de matière organique de la perméabilité et de la structure du sol ; il est exprimé en t.h / MJ .mm.

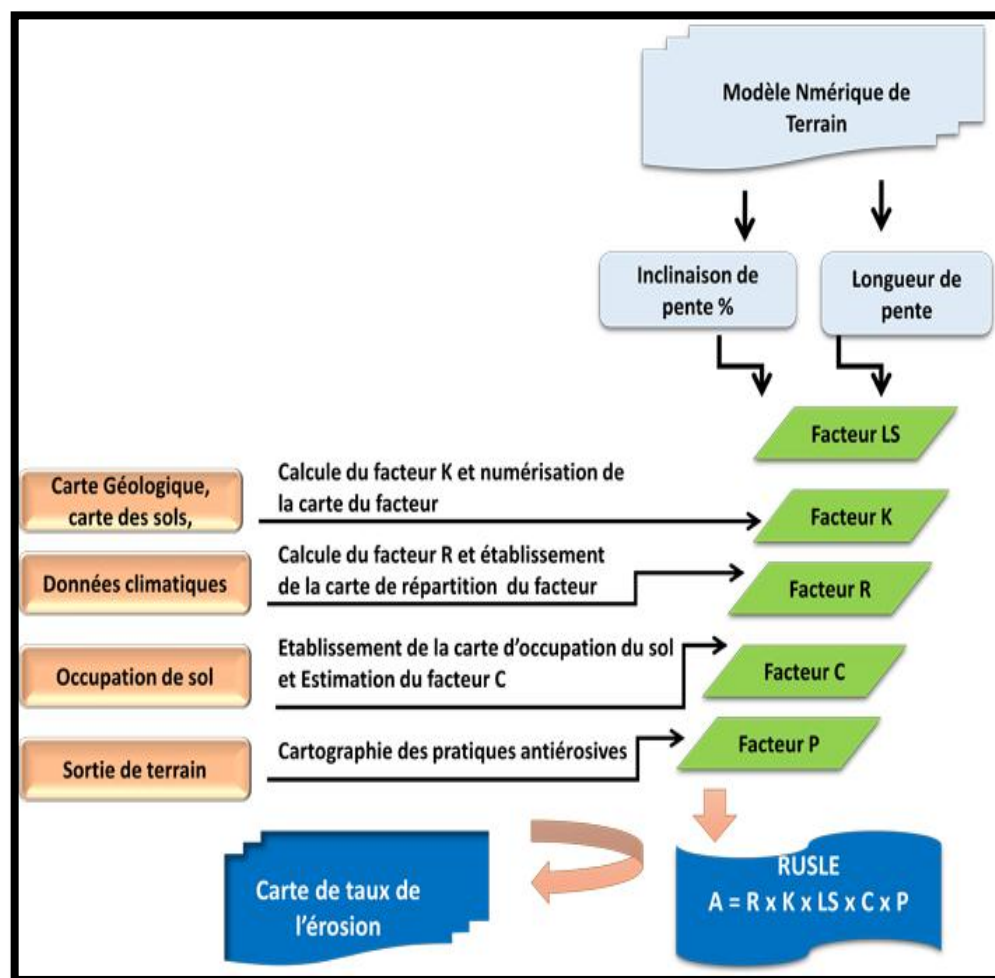
**L** : facteur de longueur de la pente ;

**S** : facteur de d'inclinaison de la pente ;

**C** : facteur sans dimensions qui représente l'effet de la couverture végétale

**P** : facteur des pratiques antiérosives.

L'équation (VI.1) de l'USLE est utilisée pour la cartographie de la quantité de l'érosion dans la bassin versant de l'oued Ksob, en superposant, à l'aide du logiciel ArcGis, les différentes cartes thématiques obtenue pour chaque facteur. Au préalable, la base de données véhiculée par chaque carte thématique a été adaptée en attribuant une valeur précise au facteur concerné en se basant sur le contenu thématique du polygone cartographique. Par exemple, la carte du couvert végétal a été utilisée pour générer le facteur C. Ainsi, une valeur particulière du facteur C a été définie pour chaque polygone cartographique en se basant sur le type de couvert végétal comme élément indispensable La méthodologie appliquée pour cartographier à l'aide d'un SIG les différents paramètres, sera résumé dans l'organigramme suivant et décrite en détail dans les sections ci-dessous.



**Figure VI.1** Organigramme de la cartographie de l'érosion par le modèle USLE

### VI.1.1 Indice d'agressivité des pluies (facteur R)

Le facteur R est estimé en fonction de la pluviométrie. Une valeur élevée du facteur R caractérise une région subissant des pluies de forte capacité érosive tandis qu'une faible valeur de R traduit un faible pouvoir érosif des pluies. A cause du manque de données pluviographiques dans les régions mal contrôlée, certains auteurs (Kalman 1967, Arnoldus 1980, et Rango&Arnoldus 1987) ont développé des formules alternatives qui n'impliquent que les précipitations mensuelles et annuelles pour déterminer ce facteur. Au terme de cette étude, la valeur du facteur R a été calculée en appliquant la formule(VI.2) (Rango&Arnoldus, 1987) sur 12 stations pluviométriques se trouvant dans ou à proximité du bassin versant de l'oued Ksob. Les précipitations annuelles et mensuelles des 12 stations utilisées ainsi que les résultats des calculs du facteur R sont reportés dans le tableau VI.1.

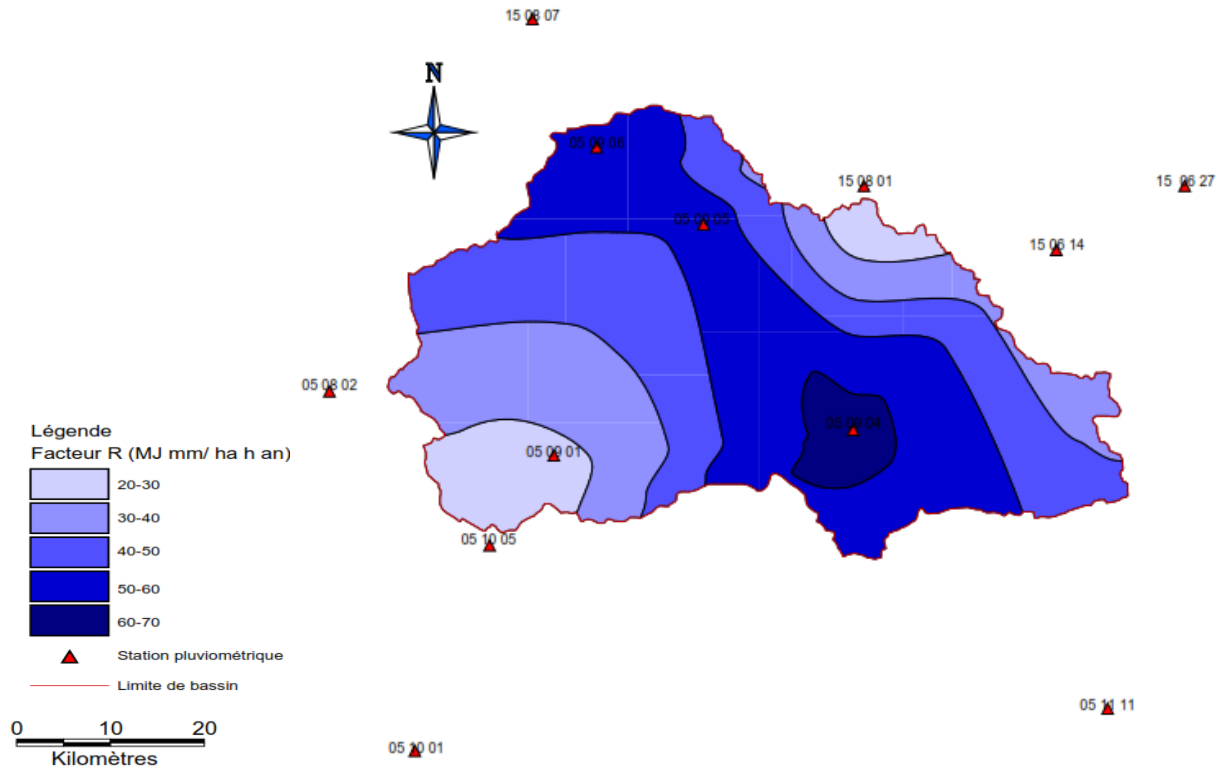
$$\log R = 1.74 \log \sum_{i=1}^{12} (p_i^2 / p) + 1.29 \dots \dots \dots (VI.2)$$

Où  $P_i$  et  $P$  sont respectivement les précipitations mensuelles et annuelles en mm.

**Tableau IV.1** Précipitations moyennes mensuelles (mm), annuelles (mm) et les valeurs du facteur R moyennes (1977-2006).

Station	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel	R
BBA	39,52	26,49	33,26	36,47	34,55	26,64	29,72	42,00	38,28	19,51	6,32	11,94	342,44	50,94
Medjana	38,77	24,34	36,10	47,07	44,39	36,11	34,43	36,06	35,33	10,14	5,81	13,10	407,20	56,49
Mdjez	28,14	21,92	27,07	20,74	19,32	17,59	21,19	24,81	30,08	8,95	4,67	6,47	232,27	28,51
BourjGhdir	35,11	33,70	42,87	45,29	37,93	31,82	37,49	45,10	41,29	15,41	6,47	9,12	377,54	60,68
ksob	19,55	21,09	27,20	20,24	17,73	16,03	18,52	25,93	27,35	9,42	3,34	5,60	211,23	25,19
Sidi Ouadah	27,53	30,83	30	35,35	29,55	23,96	28,31	26,53	33,46	11,1	2,038	6,86	282,12	45,95
150802	21,85	21,24	22,02	25,57	26,55	24,52	12,57	28,63	22,9	5,33	1,05	3,47	222,42	37,69
M'sila	29,16	28,46	22,86	17,8	17,15	19,3	18,84	29,82	25,79	8,69	5,643	6,73	230,24	38,47
150807	39,89	32,91	49,36	57,17	62,03	39,47	44,89	48,01	46,77	12,9	4,121	10,7	445,22	65,84
150627	24,76	18,02	22,29	22,55	22,7	12,83	16,52	22,45	28,83	11,0	2,938	6,46	210,76	36,11
150801	17,46	11,45	14,34	14,1	11,87	11,78	13,28	17,62	16,48	10,9	2,262	7,3	148,84	26,41
150614	18,5	8,063	16,31	17,75	22,35	7,125	6,75	14,13	19,94	4,94	0,75	12,5	149,1	29,31

Après la détermination de la valeur moyenne du facteur R dans les 12 stations pluviométriques disponibles sur le bassin, les iso-érodent (lignes de même agressivité climatique) intermédiaires du R ont été interpolées à tous les 10 MJ mm (ha h an)<sup>-1</sup> sur l'ensemble du bassin versant. La répartition des iso-érodent dans le bassin versant de ksob est représenté dans la figure V.2.



**Figure VI.2** Carte du facteur R

Le facteur  $R$  varie de 20 à 90  $\text{MJ mm (ha h an)}^{-1}$  dans tout le bassin de Ksob (Figure VI.1). Les valeurs les plus faibles de ce paramètre se localisent légèrement dans les frontières amont et aval du bassin, tandis que les maxima sont atteints au sommet des massifs montagneux qui bordent le bassin près des villes de Medjana (Nord Ouest), de Guilassa (Sud-Est) et au milieu du bassin versant. Le taux de diminution du facteur  $R$  s'opère de façon régulière depuis le Nord jusqu'au barrage au Sud. La valeur moyenne pour l'ensemble du bassin est de  $41.8 \text{ MJ mm (ha h an)}^{-1}$ .

### VI.1.2Pente et longueur de pente (facteur LS)

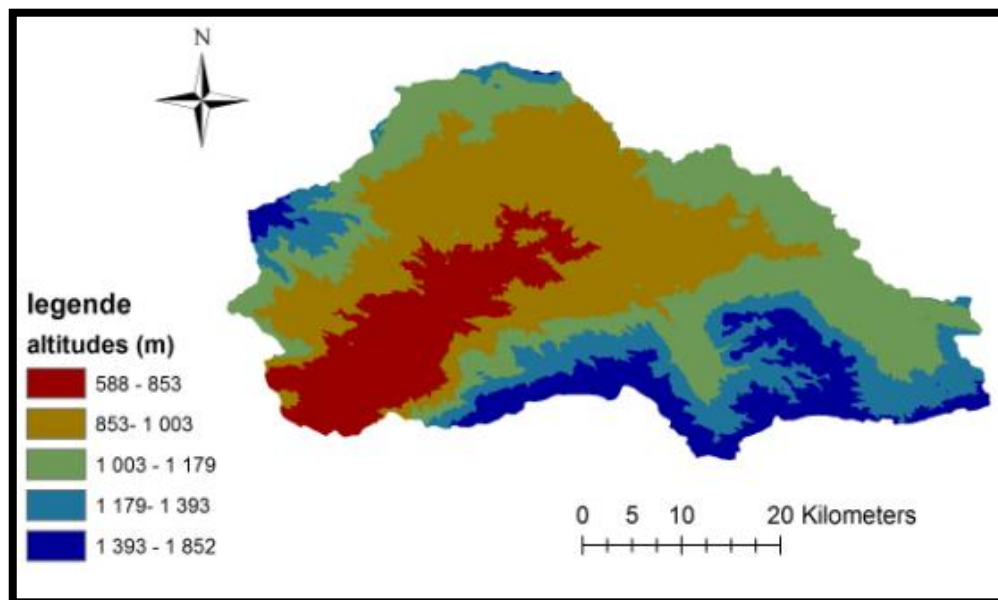
Le facteur LS caractérise l'effet de la topographie des versants sur l'érosion des sols en fonction l'inclinaison des pentes ( $S$ ) et sa longueur correspondante. Pour chaque bassin, les valeurs de ce facteur ont été obtenues par l'entremise d'un modèle numérique de terrain généré à partir de cartes satellitaires. Le facteur LS (équation (1)) est fonction de la longueur et de l'inclinaison des pentes. Dans le cadre de notre étude, on a utilisé la formule développée par Wischmeier & Smith (1978) et utilisée par plusieurs auteurs (e.g. Khosrowpanah et al. 2007, García Rodríguez & Giménez Suárez, 2010, et Toumi et al. 2013).

Les facteurs  $L$  et  $S$  peuvent être estimés séparément à partir des MNT Concernant la longueur de pente, la technique consiste à déterminer la délimitation des sous- bassins versants où l'écoulement ne rencontre aucun obstacle Toumi et al.2013

$$LS = \left( \frac{L}{22.13} \right)^m (0.065 + 0.045S + 0.065S^2) \dots \dots \dots (VI.3)$$

Où  $L$  est la longueur de pente (m);  $S$  est l'angle de la pente ;  $m$  un paramètre tel que  $m = 0,5$  si la pente est  $>5\%$ ,  $m = 0,4$  si la pente est de 3,5 à 4,5%,  $m = 0,3$  si la pente est de 1 à 3% et  $m = 0,2$  si la pente est  $<1\%$ .

Après avoir généré l'MNT du bassin versant par Global-Maper (figure VI. 2) et transférée vers le logiciel ArcGis qui a été utilisé pour déterminer  $L$  et  $S$  séparément. à partir des cartes de  $L$  et  $S$  on génère la carte de  $LS$  en utilisant l'équation (VI.3)



**Figure VI.3** Modèle numérique du terrain (MNT) du bassin versant de l'oued Ksob

Le facteur  $LS$  varie de 0,029 à 90 dans le bassin de l'oued Ksob (**Figure VI.4**). Les valeurs les plus élevées se concentrent principalement dans les frontières Sud et Nord-Est du bassin. Cette région correspond au massif montagneux constitué de calcaires marneux et de formations marno-calcaires. Deux autres zones de valeurs facteur  $LS$  encore élevées s'observent dans les limites du bassin; la première près de K'Sour, à l'Ouest du bassin, et la seconde près de Medjana dans l'extrême Nord du bassin. Comme le restant du territoire est constitué principalement de plaines de grande étendue, le facteur  $LS$  diminue, il est alors à des niveaux moins critiques et moyennement inférieurs à 3.

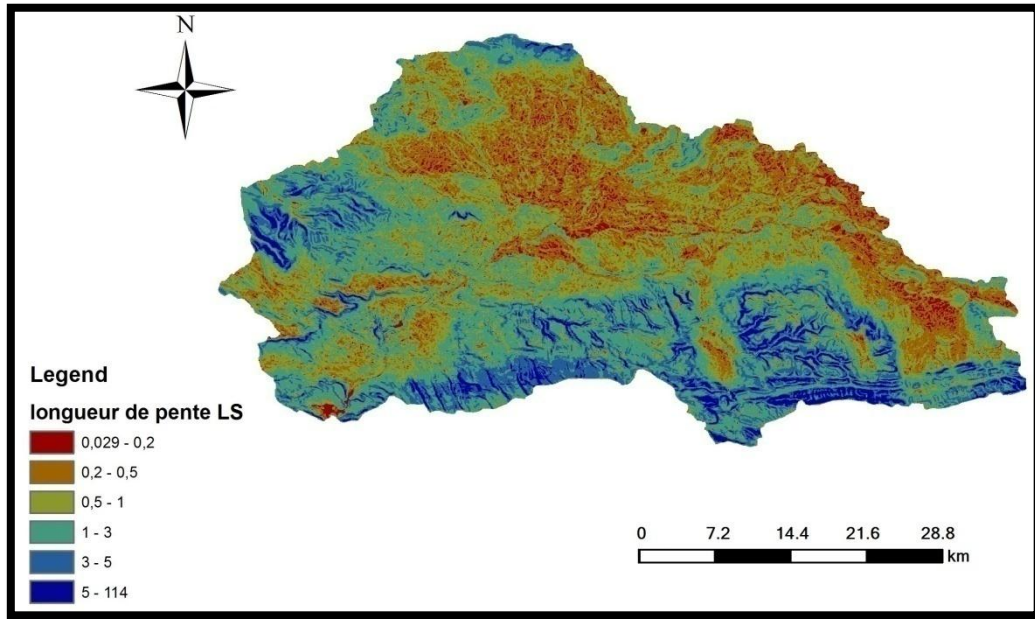


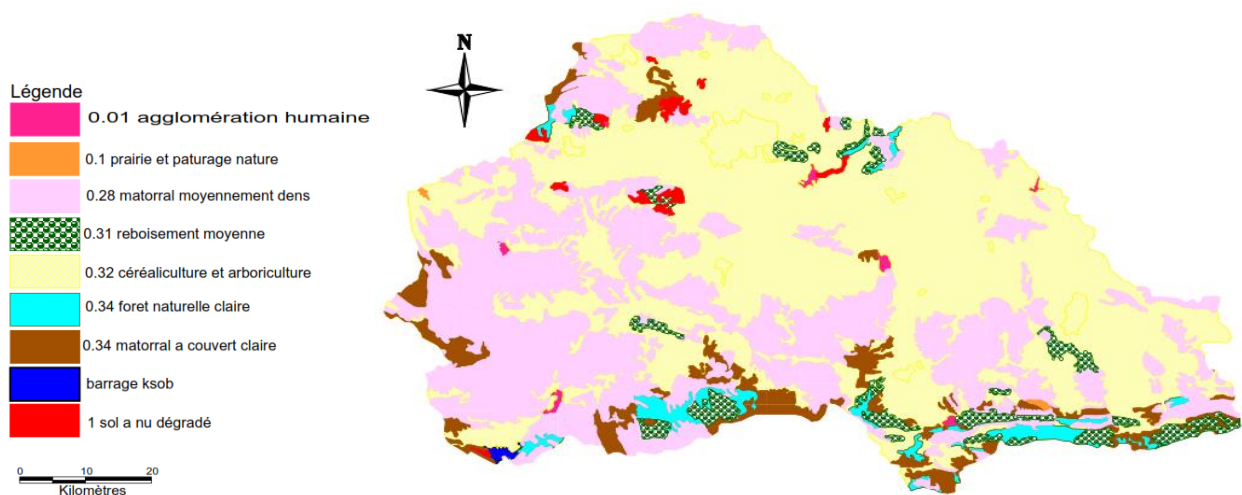
Figure VI.4 Carte du facteur *LS*.

### VI.1.3 Occupation des sols (C)

Les arbres forestiers ou les plantes cultivées protègent le sol contre l'érosion hydrique. En effet, celles-ci protègent le sol de l'action des gouttes de pluie et les racines maintiennent en place les particules emprisonnées dans un réseau racinaire dense qui accroît ainsi la résistance du sol au cisaillement et limite l'incision. Selon Kalman(1967), la valeur de C dépend principalement du pourcentage de couverture végétale. Le recours à l'imagerie satellitaire «Landsat UTM+» en 2010 établi par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT) avec une résolution de 30m×30m, nous a permis d'identifier la surface occupée par le couvert végétal ainsi d'établir la carte du facteur C pour le bassin versant de l'oued K'sob (Figure VI.5). Les valeurs attribuées aux différents modes d'utilisation des sols se situent entre 0.08 et 1 (Tableau IV.2) (Sadikiet al. 2009). Aussi, dans notre étude la valeur la plus petite de C = 0.01 est attribuée aux zones bâties (agglomérations) et la valeur maximale C = 1 pour les sols nus et le lac du barrage.

**Tableau IV.2** Les valeurs du facteur C par type d'occupation du sol

Types d'occupation du sol	Facteur C
Arboricultures/ céréaliculture	0.32
Cultures intensives	0.1
Matorral à couvert claire	0.34
Cultures et matorral	0.29
Arboriculture aléatoires	0.34
Arboriculture diffuse	0.34
Cultures en sec	0.36
Reboisement clair sur matorral clair	0.37
Reboisement dense	0.29
Matorral dense	0.21
Foret naturelle claire	0.34
Arboriculture sur sols décapé par l'érosion	0.5
Arboriculture, banquettes	0.33
Cultures en sec	0.36
Sol nu	1

**Figure VI.5** Indice de couverture végétale et de pratiques culturales du bassin versant de l'oued Ksob (Facteur C)

La distribution géographique du facteur C sur le bassin de Ksob reflète indirectement la dynamique d'utilisation des terres selon les unités physiographiques : les valeurs les plus élevées se concentrent surtout dans la grande plaine centrale du bassin où dominent les activités agricoles, tandis que les valeurs les plus faibles se localisent dans les massifs montagneux, compte tenu de la présence de forêts. Environ 45 % de la surface est attribuée à un facteur C de 0,32 associé aux terres agricoles, et environ 30 % de la surface est caractérisée par un facteur C de moins de 0,28 correspondant aux couvertures Matorral dense. Le reste de la surface du bassin, soit 25%, présente les zones d'agglomération avec un facteur C =0.01, terrains nus avec C =1 et les zone de reboisement dense avec C =0.29.

#### VI.1.4 Indice d'érodibilité des sols (facteur K)

L'indice d'érodibilité du sol (facteur K) est fonction la teneur du sol en matières organiques, de la texture des sols, et de la perméabilité. Il exprime la vulnérabilité du sol à être érodé par la pluie. Il varie de 0,70 pour les sols les plus fragiles à 0,01 pour les sols les plus stables. Le facteur K est évalué à l'aide du Nomogramme de Wischmeier & Smith (1978) en utilisant la carte pédologique du bassin, les analyses et les données d'infiltrabilité des sols.

Le facteur érodibilité des sols témoigne la cohésion et la résistance du sol vis-à-vis de l'érosion. Wischmeier et Smith (1978) ont mesuré expérimentalement le taux d'érosion de différents sols sous des conditions standard. Sous ces conditions, tous les facteurs sont égaux à 1 sauf l'agressivité climatique et le facteur K. Les pertes dépendent dans ce cas seulement de R et K. La répétition des expérimentations sur différents types de sols a permis à Wischmeier & Smith (1978) de développer statistiquement une équation pour le calcul de l'érodibilité des sols :

$$100K = 2,1 M^{1,14} 10^{-4} (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3) \dots \dots \dots (VI.4)$$

Où M est calculé par la formule  $M = (\% \text{ sable fin} + \text{ limon}) \cdot (100 - \% \text{ argile})$ .

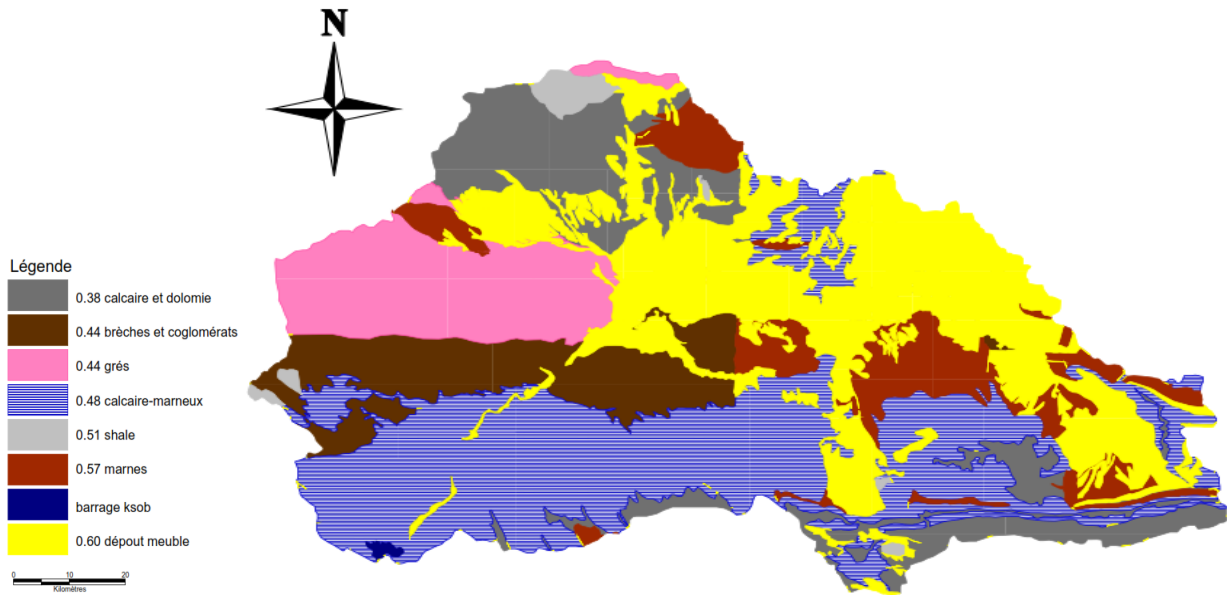
a : est le pourcentage de matière organique ;

b : est le code de la perméabilité ;

c : est le code de la structure.

Vu le manque de données pour appliquer l'équation VI.4, on a fait recours à la carte géologique du bassin de Ksob pour déterminer le facteur K (Sadik, 2009). On a analysé la surface relativement meuble des formations potentiellement mobilisables par l'érosion ; Les altérites et les sols couvrant les différentes formations géologiques ainsi que les alluvions et colluvions meubles. Pour limiter l'influence des autres facteurs, nous avons retenu la moyenne de 3 ou 4 valeurs de K pour chaque formation lithologique.

La figure VI.6 montre que K varie entre 0,38 et 0,60 suivant les types pédologiques. La limite supérieure 0.60 a été attribuée aux sols de l'unité complexe de sols peu évolués ; il s'agit des formations très tendres et facilement érodables développées sur des marnes miocènes, et constamment rajeunies par l'érosion. La limite inférieure 0,38 a été attribuée aux sols brunifiés et moyennement érodables se développant sur des grès et des calcaires de crétacé.



**Figure VI.6** Carte de distribution des classes d'érodibilité (K) dans le bassin versant de l'Oued Ksob

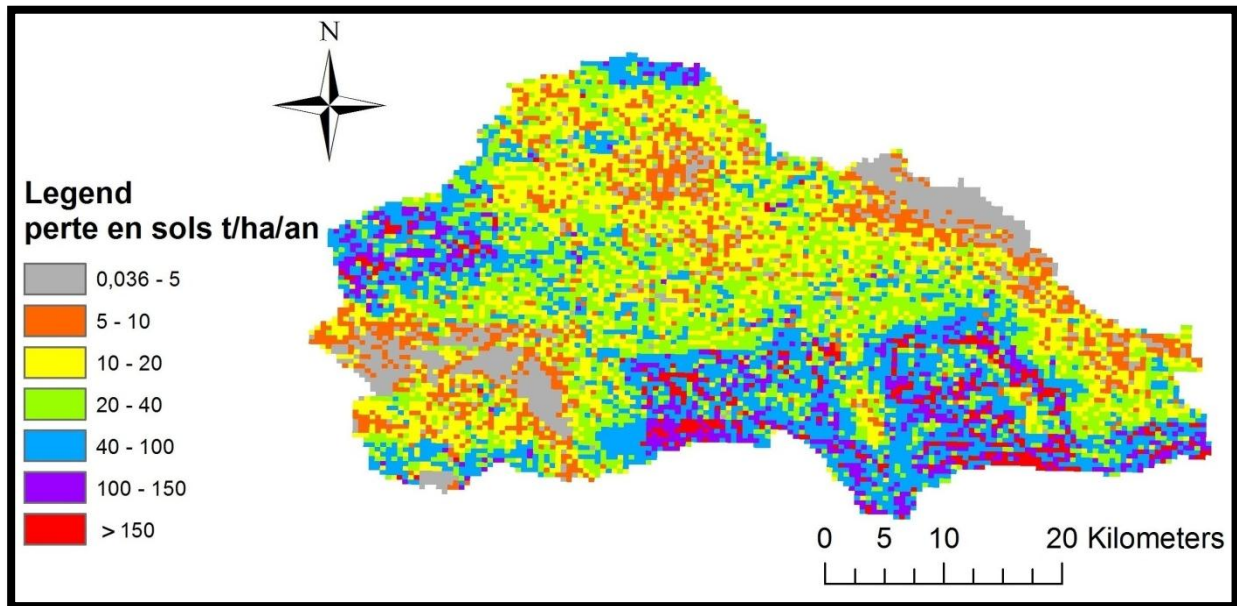
### VI.1.5 Pratiques anti-érosives, facteur P

Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols. Les valeurs d'indice d'aménagement antiérosif (Facteur P) sont inférieures ou égales à 1. La valeur 1 est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques citées n'est utilisée. Les valeurs de P varient selon la pratique adoptée et aussi selon la pente. Dans tout le bassin versant de l'oued Ksob, il n'y a pas d'aménagements anti-érosifs, et les agriculteurs n'utilisent pas de pratiques culturales anti-érosives. Dans ce contexte, la valeur  $P=1$  a été attribuée à toute la superficie du bassin.

## VI.2 Résultats et discussion

### Estimation des pertes en terre

Le taux de l'érosion résulte de la combinaison des tous les facteurs du modèle USLE, notamment l'agressivité climatique R (ou érosivité des précipitations), l'érodibilité des sols K et l'effet combiné du degré et de la longueur de la pente LS, la couverture végétale C et les pratiques antiérosives P. Sa détermination permet de connaître la répartition du risque érosif dû aux seuls effets des facteurs naturels. La combinaison et le traitement sous SIG de ces facteurs présentés dans les sections précédentes ont permis d'élaborer à l'échelle du bassin de Ksob la carte de l'érosion potentielle (Figure VI.7).



**Figure VI.7** Carte de pertes en sol du bassin versant de l'oued Ksob

De cette figure, on constate que le taux d'érosion dans le bassin de Ksob se diffère d'une zone à l'autre selon l'influence des différents facteurs qui contrôlent l'érosion, ce taux varie est de 0.036 à 150 t/ha/an. Si on adopte la classification établie aux Etats Unis fondée sur la tolérance des sols aux pertes, quatre classes ont été distinguées sur le bassin de l'oued de Ksob (Tableau IV.4 et figure VI.7), à savoir :

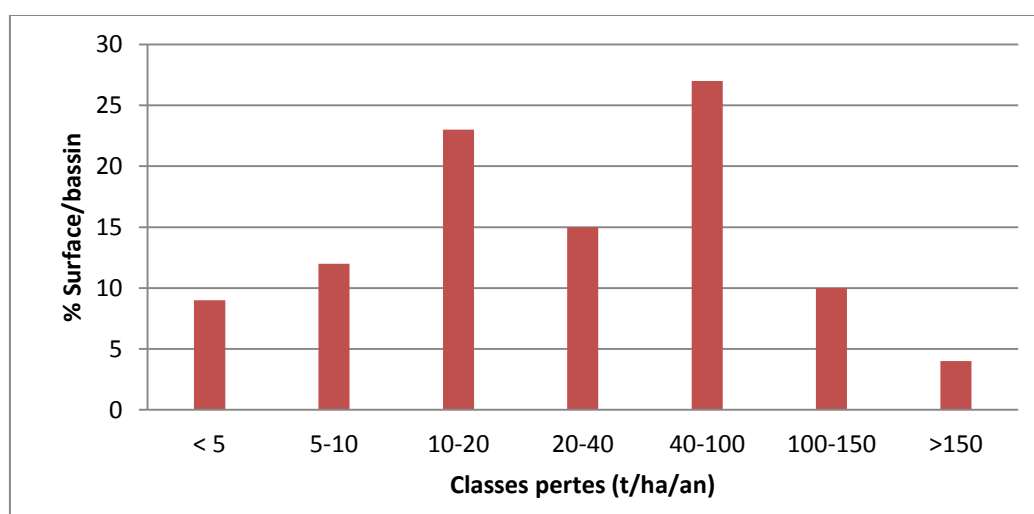
1. Une première classe qui regroupe les zones avec une érosion potentielle faible inférieure à 11 t/ha/an. Elle constitue 21% de la superficie du bassin étudié et couvre principalement les frontières du bassin et une partie près de l'exutoire du bassin.
2. Une deuxième classe qui regroupe les zones avec une érosion potentielle modérée comprise entre 11 et 22 t/ha/an. Elle constitue 23% de la superficie du bassin étudié, se focalise principalement sur la plaine en milieu et au Nord du bassin versant.
3. une troisième classe qui regroupe les zones avec une érosion potentielle élevée comprise entre 22 et 40 t/ha/an. Elle représente 15% de la superficie du bassin étudié.
4. La quatrième classe regroupe les zones avec une érosion potentielle grave supérieure à 40 t/ha/an. Cette classe représente 41% de la superficie de l'oued de Ksob, elles se localisent dans les zones montagneuses au Sud-Est du bassin près de Bordj Ghdid et Ghilassa et au nord-Ouest près de Medjena.

**Tableau IV.3** Les classes de risque d'érosion du sol.

Classes	Érosion des sols	Perte en sol en tonnes/hectare/année
1	Faible	6 - 11
2	Modérée	11 - 22
3	Élevée	22 - 33
4	Grave	> 33

**Tableau IV.4** Répartition des pertes de sol dans le bassin de l'ouedKsob

Classes pertes (t/ha/an)	Surface (ha)	% surface du bassin	% surface/bassin	Érosion des sols
< 5	12700	9	21	Faible
5-10	17800	12		
10-20	33300	23	23	Modérée
20-40	21900	15	15	Élevée
40-100	39400	27	41	grave
100-150	14600	10		
>150	5800	4		

**Figure VI.7** Répartition des pertes de sol dans le bassin de l'Oued Ksob

## Conclusion

La carte d'érosion des versants fournit de nombreuses informations concernant le potentiel de production de sédiments par l'érosion des versants et la localisation des zones sources. Les valeurs du taux de l'érosion potentielle (t/ha/an) obtenues à l'échelle du bassin ont été regroupées suivant quatre classes adoptées aux Etats Unis. L'analyse des résultats obtenus pour le bassin versant de l'oued Ksob montre que le taux d'érosion sur tout le bassin est en

moyenne de 6.79 t/ha/an. Cette valeur représente presque le double du seuil tolérable de la perte en sol qui est de 3 t/ha/an.

A partir des relevés bathymétriques du barrage de Ksob réalisé par l'ANBT pendant la période 1986-2008 (quatre relevés : 1<sup>er</sup> :1986-1993, 2<sup>ème</sup> :1993-2000, 3<sup>ème</sup> :2000-2004, 4<sup>ème</sup> :2004-2008), le taux réel de perte en sol accumulé dans la cuvette de barrage dans cette période est évalué à 6.41 t/ha/an. Ce taux réel enregistré dans le barrage montre la bonne qualité de nos résultats, soit une erreur moyenne relative de l'ordre de 5%.

*Chapitre VII*

*Moyens de lutte contre l'érosion*

## Chapitre VII : Moyens de lutte contre l'érosion

### Introduction

Sur le long terme, la perte en productivité du sol est le problème le plus grave. La ressource ne se remplace pas et les gains dans d'autres domaines ne remplacent pas la superficie perdue chaque année. Ce problème est particulièrement grave dans les pays pauvres qui n'ont pas les moyens de mettre en place des systèmes de gestion à la hauteur des défis. Que vaut la perte d'1 cm de terre sur 10 ans. Il est aujourd'hui très difficile de chiffrer la valeur de la perte en terre. De plus, conserver le sol représente un gain sur le long terme, alors que dresser la liste des problèmes hors-sites représente un gain immédiat. Dans ce chapitre, les moyens de lutte contre l'érosion seront présentés.

### VII.1 Conséquences de l'érosion hydrique en Algérie sont dramatiques

Les conséquences de l'érosion hydrique en Algérie sont dramatiques, nous pouvons citer parmi eux:

1. Réduction de la production agricole (pertes en sol agricole) ;
2. Une dégradation spécifique dépassant les 5000 t/km<sup>2</sup>/an ;
3. Une quantité de 120 millions de tonnes de sédiments rejeté en mer chaque année par les bassins tributaires de la méditerranée (Demmak, 1982) ;
4. Un exode rural important ;
5. Un rehaussement des lits des oueds provoquant par la suite des inondations, menace les voies de communication et les ouvrages d'arts,...
6. L'envasement précoce des barrages en exploitation.

### VII.2 Lutte contre l'érosion hydrique

Devant ces problèmes préoccupants d'érosion, les populations développent, en générale, deux types d'attitude:

- Les paysans sont principalement concernés par la dégradation de la productivité de leurs champs : ils cherchent à adapter leur système de production pour optimiser la productivité de leur terre et de leur travail. La formation de rigoles (griffes d'érosion linéaire décimétriques) et de ravines (rigoles profondes de plus de 50 cm que les façons culturales ne peuvent effacer) est un indicateur d'un mauvais fonctionnement du système de production. Les paysans tentent de reboucher les rigoles et les ravines par le travail de la surface du sol, mais ils maîtrisent rarement les problèmes techniques posés par la réhabilitation des ravines. La plupart des études sur l'érosion dans les champs cultivés

concernent l'érosion en nappe et en rigoles et leur spatialisation est basée sur l'équation universelle des pertes en terre (USLE de Wischmeier et Smith, 1978) laquelle tente de prévoir à long terme (> 20 ans) l'érosion en nappe et rigoles en fonction de l'érosivité des pluies, du sol, de la pente et du système de culture.

- En revanche, les populations urbaines et les consommateurs d'eau sont plus intéressés par la qualité des eaux, les problèmes de transfert de boues lors des orages, de pollutions des nappes d'eau en aval et les inondations par les effluents en provenance des champs cultivés dans les rivières poissonneuses et les lacs. En générale, l'État charge les ingénieurs des services publics de surveiller les forêts et les eaux douces contre toutes ces pollutions.

### VII.3 Stratégies traditionnelles de lutte anti-érosive

- **Culture itinérante sur brûlis** est probablement la plus ancienne stratégie utilisée sur tous les continents pour maintenir la productivité de la terre. Cette stratégie ne s'applique que sur des terres peu peuplées (moins de 20 à 40 habitants au kilomètre carré).
- **Les terrasses en gradins et les terrasses méditerranéennes sur murettes en pierres:** se sont développées 2 000 ans avant J.-C., en Asie. Ces terrasses sont apparues là où la population est dense, les terres cultivables rares et le travail bon marché. Comme ces aménagements exigent un gros effort pour la construction des terrasses (700 à 1 200 hommes.jours/ha), pour l'entretien des talus et la restauration de la fertilité des sols remués, il faut que la production soit rentable ou vitale. Ces améliorations foncières ne sont acceptées que là où les paysans n'ont plus d'autre choix pour subsister (pressions foncières, militaires, religieuses ou économiques) ou pour produire des cultures particulièrement rentables. Ce sont les aménagements les plus connues et les plus utilisées par les agriculteurs. Ce sont des constructions qui arrivent à casser la pente. On distingue, parmi ces terrasses, celles qui sont soutenues par un mur et celles qui sont soutenues par un talus (figure VII .1).



**Figure VII.1** Une vue de versants aménagés par des terrasses soutenues par a-des talus et par b-des murs en pierre.

- **les billons, les cultures associées et l'agroforesterie** sont illustrés dans la photo de la figure suivante. Il y a divers types de billons : des billons simples et des billons cloisonnés. Les billons cloisonnés sont des petites cuvettes de 2 à 10 m<sup>2</sup> entourées par des billons de terre. Les billons peuvent également être consolidés en pierres quand la parcelle se situe dans le lit d'un oued.



**Figure VII.2** Vue sur des billons.

#### VII.4 Stratégies modernes d'équipement hydraulique

1. **La restauration des terrains en montagne (RTM)** : Développée en France à partir des années 1850. Elle a pour but de reboiser les terres dégradées de montagne et de corriger les torrents, de protéger les vallées et les voies de communication des masses de terre mobilisées par l'érosion et des crues dévastatrices.

2. **La conservation de l'eau et des sols (CES)** : Elle a été créée aux Etats-Unis lors de la crise de 1930. Cette stratégie vise à conseiller les paysans et à leur fournir un appui technique et financier pour lutter contre la dégradation spectaculaire des terres des grandes plaines agricoles (des nuages de poussière, provoqués par l'érosion éolienne, étaient capables d'obscurcir le ciel en plein jour). La CES vise à maintenir en plus de la capacité de production des terres, aussi la protection de la qualité des eaux si indispensable aux citoyens. Les nuisances à l'aval coûtent bien plus cher et forcent l'Etat à réagir. Cela justifie les efforts considérables de l'Etat pour aider techniquement et financièrement les paysans (plus ou moins volontaires selon les régions) à aménager leurs terres.
3. **La défense et restauration des sols (DRS)** : qui consiste entre autres à revégétaliser l'amont des bassins-versants, stabiliser les ravines, restaurer la productivité des terres et protéger les barrages de l'envasement. Cette stratégie a été développée par les forestiers dans les années 1940-1980 autour du bassin méditerranéen pour faire face à de graves pénuries d'eau, à l'envasement rapide des barrages (en 30 à 50 ans) et à la dégradation des équipements et des terres. La DRS est née d'un mariage de raison entre la RTM des forestiers (reboisement des hautes vallées, correction torrentielle) et la CES des agronomes (banquettes plantées d'arbres fruitiers). Pour les forestiers, il s'agissait avant tout de mise en défens des terres dégradées par la culture et le surpâturage, de reboiser les hautes vallées pour restaurer par les arbres la capacité d'infiltration des sols dégradés.



**Figure VII .3** DRS en pente sur bassin versant.

## VII.5 Les mesures de lutte contre le ruissellement et l'érosion des sols

Les méthodes antiérosives sont des techniques qui agissent en modifiant le trajet de l'agent d'érosion et en réduisant sa force. En voici quelques exemples de mesures de lutte les plus utilisées et qui vont être traités dans cette partie :

### VII.5.1 Création d'obstacles au ruissellement

La végétation protège le sol de l'impact des gouttes de pluies, elle ralentit les filets d'eau superficiels et favorise ainsi l'infiltration. La couverture végétale peut être faite de végétaux vivants ou morts.

- Couverture vivante: les cultures d'hiver évitent de laisser le sol à nu après le labour; il peut s'agir de culture dont le cycle végétatif commence à la fin de l'automne (blé d'hiver) ou de cultures spécifiques qui seront labourées au printemps et enfouies comme engrais vert (ray grass). En zone montagnarde, on peut procéder à la végétalisation des badlands pour les sols sensibles à l'érosion par ravinement généralisé. L'installation d'une végétation à croissance rapide tels que *Eucalyptus*, *Acacia*, pins, *Atriplex*, laurier rose, cactus, etc. assure une amélioration de la couverture du sol et son enrichissement en matière organique (figure VII.3).



**Figure VII.4** Végétalisation de badlands par Eucalyptus et pin d'Alep sur banquettes au Maroc

- Rideaux : un rideau se forme à la limite d'un champ en pente quand le labour est fait parallèlement à cette limite. Des broussailles, puis des arbres y poussent et s'opposent au ruissellement et à l'entraînement du sol.



**Figure VII.5** Rideaux d'arbres

### VII.5.2 Terrasses soutenues par des murs en pierres sèches

Cette technique s'applique aux pentes moyennes à fortes, où la charge caillouteuse est importante.

- Les murs sont alignés suivant les courbes de niveau et dont l'espacement augmente quand la pente diminue.

- Les dimensions des murs:

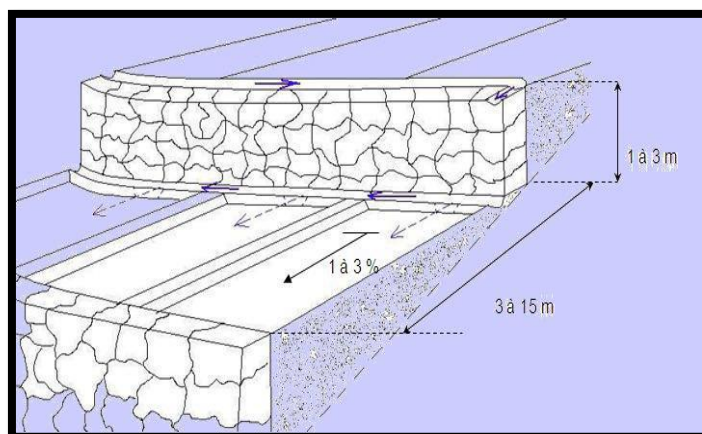
Hauteur: de 1 à 3 m

Base: de 0,4 m à 0,8 m

Longueur peut dépasser plusieurs dizaines de mètres.

- La dimension de la terrasse entre deux murs: Largeur: de 3 m à 15 m;

- Souvent, cette technique est couplée à un système d'irrigation (figure .



**Figure VII .6** Schéma descriptif d'une terrasse irriguée.

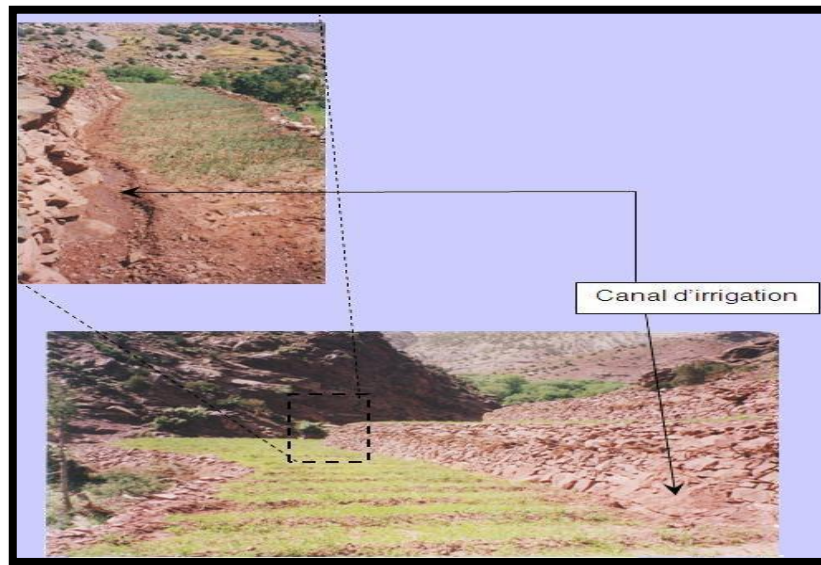


Figure VII .7 Aménagement en terrasse associé à un système d'irrigation.

#### VII.6 Protection des pentes contre l'érosion

- Travaux selon courbes de niveau (**figure VII .8**): culture en courbes de niveau (action de cultiver la terre en suivant le relief plutôt que la pente). En ce faisant, on oriente la rugosité du sol due aux mottes et aux petits creux, on les oriente perpendiculairement à la pente de telle sorte que l'on ralentit au maximum la nappe d'eau qui pourrait ruisseler. Ce procédé utilisé comme moyen de conservation des sols et de l'eau, n'est efficace que sur les pentes faibles ne dépassant pas 4%. Sur ces pentes, les travaux selon les courbes de niveau suffisent pour contrecarrer l'érosion en nappe (sheet erosion) que l'on ne perçoit pas toujours dans ses débuts.



Figure VII .8 Cultures parallèles aux courbes de niveau

- Culture en bandes alternantes: C'est un procédé de culture en bandes parallèles (le plus souvent parallèles aux courbes de niveau) qui est utilisé lorsque la pente augmente et que le labour selon les courbes de niveau ne suffit pas pour arrêter l'érosion. On peut distinguer deux types de bandes alternantes : les bandes alternantes

### **VII.7 Moyens de lutte utilisés en Algérie**

Le reboisement, la restauration des sols, l'implantation des banquettes, la création des petit barrages (retenues collinaires), la plantation des cultures suivant les lignes de niveau, la plantation des végétations à longue tiges dans les oueds (Bendjedou, 2013).

*Conclusion*

## Conclusion Générale

Ce présent travail a permis de faire le point sur l'ampleur du degré d'érosion dans toute la surface du bassin versant de l'Oued Ksob en utilisant l'équation universelle de perte en sol 'USLE' (Universal Soil Loss Equation). Tout au long des chapitres de ce travail, nous avons défini l'ensemble des paramètres, géomorphologiques, climatiques et géologiques qui permettent de déterminer les cinq facteurs principaux qui composent l'équation 'USLE' et contrôler l'érosion hydrique dans le bassin versant, à savoir : agressivité climatique, érodibilité des sols, inclinaison et longueur de pente, occupation des sols et l'effet des pratiques anti-érosives. Afin de bien comprendre un tel phénomène et vue la grandeur et la complexité des facteurs qui le gouvernent, nous étions amenés à suivre les étapes ci-dessous :

- Présenter les caractéristiques morphométriques du bassin-versant de Ksob ;
- Présenter la climatologie générale du bassin versant de Ksob en basant sur 12 stations pluviométriques ;
- Détermination et cartographie de toute la surface du bassin versant de l'oued Ksob en utilisant un système d'information géographique SIG des facteurs qui réagissent l'équation universelle de perte en sol 'USLE'. Il s'agit de la carte d'agressivité climatique, d'érodibilité des sols, inclinaison et longueur de pente et la carte d'occupation des sols. La superposition des cartes de ces facteurs permet d'avoir la carte de perte en sol sur toute la surface du bassin ce qui va permettre à l'identification des zones les plus productrices de sédiments.

Cette carte nous a permis aussi d'estimer le taux d'érosion sur tout le bassin de l'oued Ksob, qui est en moyenne de 6.79 t/ha/an. Cette valeur représente presque le double du seuil tolérable de la perte en sol qui est de 3 t/ha/an.

Enfin, nous espérons, que cette étude fera l'objet d'autres travaux qui vont servir à mieux comprendre le phénomène d'érosion dans le bassin versant de Ksob en utilisant des données spatiales à une résolution très fine (4km\*4km), comme par exemple les données Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) et Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

## Références Bibliographiques

- Adoui H., 2013.** Etude de la vulnérabilité du bassin versant du Hodna aux inondations, Mémoire soutenu a l'université de M'sila pour obtenir le diplôme de Master, p 17.
- Ahnert F., 1970.** Functional relationships between denudation, relief, and uplift in large, mid-latitude drainage basins. *American Journal of Science*, 268(3), 243-263.
- Arnoldus, H. M. J., Boodt, M. D., & Gabriels, D. 1980.** An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. *Assessment of Erosion.*, 127-132.
- Ballah A., 2014.** Etude de l'écoulement liquide et solide dans le bassin versant de l'oued sébaou (Wilaya de Tizi-Ouzou), Mémoire soutenu a l'université de chellef pour obtenir le diplôme de Magister, p 186.
- Boughalem K., 2013.** Impact des système de gestion sur la vulnérabilité des sols à l'érosion ;cas du bassin versant de l'Isser-tlemcen(algérie),mémoire soutenu à l'université de tlemcen pour obtenir le diplôme de doctorat, p.215
- Belfeges H., 2012.** Analyse de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique Cas du bassin versant de Ksob, Mémoire soutenu à l'université de M'sila pour obtenir le diplôme Master, p.120
- Bouteldja N., 2005.** Contribution à la modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant du Hodna sous bassins versants du Ksob et de Soubella (Algérie), Thèse de doctorat en Géographie à l'université de la Provence Aix-Marseille, p180.
- Bourenane A & Mechri S., 2008.** Contribution a l'étude du transport solide dans le sous bassin versant de Soubella (Hodna).Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, *Université de m'sila*.
- Charabi A, Blissag B., 2011.** Etude critique des apportes liquides et solides cas de sous bassin versant du ksob dans le bassin du hodna, mémoire de fin d'étude pour l'obtention diplôme d'ingénieur d'état, université de M'sila, p110.
- Capolini J., 1967** Étude géomorphologiques des conditions d'envasement du port de Ghazouet, Etude SES 1013/DH2, Alger, 16 p.
- Capolini J., Piens S.et Ramana R., 1969** Bassin versant du Cheleff : Oued Rhiou, Sly, Fodda, Deurdeur, Zeddine, Ebda : prévision des apports des crues et des débits solides, Étude SES 13/12/DH2, Alger, 41 p.
- Dutil P., 1984.** L'érosion en grande culture, revue technique des agriculteurs dynamique, N°169, France.
- Demmak A., 1982.** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale (Doctoral dissertation).
- Tixeront, J., 1960.** Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. *IAHS Publ*, 53, 26-42.
- Hattab a. et Delaladja h. 2007.** Modélisation des écoulements du bassin versant du K'sob par l'analyse corrélatoire et spectrale (ACS) et les ondelettes des pluies et débits. Mémoire de l'ingénieur d'état en hydraulique : *Université de M'Sila*.
- Hasbaia M., Hedjazi A., & Benayada L., 2012.** Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna: cas du sous-bassin versant de l'Oued elham.*Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 1(1), 28-32.
- Haoues CH., 2008.** Evaluation par analyse multicritères du risque d'érosion dans la vallée de l'Oued Labiod (Approche systémique). Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme de Magister en aménagement du territoire, université de colonel El Hadj Lakhdar de Batna, p.16
- Hedjazi A., 2009 .** Quantification des apports liquides et solides de l'Oued El-ham. Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique : option hydraulique urbaine, *Université de M'Sila*.

**Hasbaia M., Benayada L. & Bournane A. 2010.** Estimation and analysis of suspended sediment transport in an interior semi-arid watershed of Algeria, case of wadi Soubella in Hodna basin, Congrès Water2010 . Hydrology, Hydraulics and Water Resources in an Uncertain Environment, Quebec City, July 5-7 2010. Canada.

**Hadley, R. F., & Schumm, S. A., 1961.** Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River basin. *US Geological Survey Water-Supply Paper, 1531*, 198.

**Greco J., 1966 .** L'érosion , la défense et la restauration des sols , le reboisement en Algérie. MARA. Alger.

**Greco J., 1966.** *L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie.* Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire.

**Khosrowpanah S., Wen, Y. & Heitz, L., 2007.** *Development of a digital watershed atlas for Guam.* Technical Report 116, Water and Environmental Research Institute of the Western Pacific, University of Guam.

**Kalman R., 1967.** Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du Sebou, Maroc. *Projet Sebou.*

**Medinger, J. M., 1960.** Transport solide des oueds algériens. *Annuaire hydrologique de l'Algérie (années 50-59)*, Alger.

**Probst J. L., & Suchet, P. A., 1992.** Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). *Hydrological Sciences Journal*, 37(6), 621-637.

**Remmas H., 2014.** contribution à l'étude et à la cartographie des zones sensibles à l'érosion hydrique de sous bassin versant de oued saida,mémoire soutenu à l'université de tlemcen pour obtenir le diplôme de master

**REMMAS H., 2014.** *Contribution à l'étude et à la cartographie des zones sensibles à l'érosion hydrique du sous bassin versant de Oued Saida*, Thèse de Doctorat, P 35.

**Roche M., 1963.** Hydrologie de surface- office de la recherche scientifique et technique outre-mer - (paris). GAUTHIER - VILLARS ÉDITEUR – PARIS.

**ANRH, (1993).** Carte pluviométrique de l'Algérie du nord, à l'échelle 1: 500.000 et notice explicative. *ANRH, Algérie.*

**Roose, S. P., Glassman, A. H., Attia, E., & Woodring, S. 1994.** Comparative efficacy of selective serotonin reuptake inhibitors and tricyclics in the treatment of melancholia. *American Journal of Psychiatry*, 151(12), 1735-1739.

**Rey F., 2004.** Effectiveness of vegetation barriers for marly sediment trapping. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(9), 1161-1169.

**Roose E., & Lelong, F., 1976.** Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique Tropicale. Études sur petites parcelles expérimentales de sol. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, 18(4), 365-374.

**Rango A., & Arnoldus, H. M. J. 1987.** Aménagement des bassins versants. *Cahiers techniques de la FAO.*

**Soutter M., Mermoud A. et Musy A. 1978.** Ingénierie des eaux et du sol, presse Poily, p.294

**Salhi C., Touaibia B. & Zeroual A., 2013.** Les réseaux de neurones et la régression multiple en prédiction de l'érosion spécifique: cas du bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam (Algérie). *Hydrological Sciences Journal*, 58(7), 1573-1580.

- Sadiki A., Faleh, A., Navas, A., & Bouhlassa, S. 2009.** Using magnetic susceptibility to assess soil degradation in the Eastern Rif, Morocco. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(15), 2057-2069.
- Tourki M., 2010.** Etude de l'érosion et du transport solide dans le bassin versant de l'Oued kébir Est Nord-Est Algerien, mémoire soutenu à l'université de annaba pour obtenir le diplôme de magister,p.290
- Toumi S., Meddi M., Mahé G., & Brou, Y. T. 2013.** Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Mina en Algérie par télédétection et SIG. *Hydrological Sciences Journal*, 58(7), 1542-1558.
- Touaibia B. ,2003.**Manuel pratique d'hydrologie,preses madani frères,p.166
- ZAIBAK I., 2008.** Contribution a une approche cartographique de l'érosion spécifique dans le bassin versant de l'oued Cheliff. Mémoire de Magister. ENSH Blida. p5.

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم طبيعة ومدى درجة تآكل التربة في حوض وادي القصب باستعمال المعادلة الشاملة لضياع التربة 'USLE' لتطبيق هذه المعادلة قمنا بتحديد جميع الخصائص الجيومورفولوجية والمناخية بالإضافة الى دراسة تحليلية للطابع الجيولوجي والهيدرولوجي لهذا الحوض. هذا ما سمح لنا بإنشاء خرائط ثنائية الإبعاد تحت نظام المعلومات الجغرافية لعوامل هذه المعادلة. بعد دمج هذه الخرائط تمكنا من الحصول على خريطة نهائية تبين ضياع قيمة التربة في جميع مناطق حوض وادي القصب.

## Résumé

Le présent travail vise à évaluer la nature et l'ampleur du degré d'érosion dans toute la surface du bassin versant de l'oued Ksob en utilisant l'équation universelle de perte en sol 'USLE' sous un environnement SIG. Pour ce faire, il fallait définir l'ensemble des paramètres, géomorphologiques et climatiques du bassin versant, suivi d'une analyse géologiques et hydrologique du bassin. Ceci nous a permis d'établir des cartes sensibilité à l'érosion de quatre paramètres. La carte de pertes en sol du bassin de Ksob a été obtenue après superposition des cartes des quatre paramètres.

## Abstract

The objective of this study is to evaluate the nature and magnitude of erosion degree in the whole surface of Ksob catchment using the universal soil loss equation 'USLE' under GIS environment. The work aims to define all the parameters, geomorphologic and climatic of the Ksob watershed, followed by a geological and hydrological analysis. This allowed us to establish maps of erosion sensitivity versus four parameters. The soil losse map of Ksob watershed was obtained after superposition of the four parameters maps.