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

UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE -1
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE DE LA GEOGRAPHIE ET DE
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
DEPARTEMENT DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

N° D'ORDRE : 59/DS/2019
SÉRIE : 11/Am/2019



THESE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT PAR

HAMADOU NOUREDDINE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT EN SCIENCES
OPTION : AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

THEME

***ÉVALUATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE DANS LES BASSINS DES OUEDS
DE KISSIR ET LAGREME : APPROCHE SYSTEMIQUE, NORD-EST
ALGERIEN***

SOUTENUE LE : Le 14/03/2019

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

PRESIDENT : PR MEBARKI AZEDDINE...UNIV-FRERE MENTOURI- CONSTANTINE 1
DIRECTEUR DE THESE : PR AMIRECHE HAMZA...UNIV- SALAH BOUBNIDER- CONSTANTINE 3
EXAMINATEURS : PR KALLA MEHDIUNIVERSITE DE BATNA 2
: PR TATAR HAFIZA.....UNIV-FRERE MENTOURI-CONSTANTINE 1
: DR BOUGHRARA AHMED...UNIV-FRERE MENTOURI-CONSTANTINE 1
: PR BENMESSAOUD HACENE.....UNIVERSITE DE BATNA 1

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

UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE -1
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE DE LA GEOGRAPHIE ET DE
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
DEPARTEMENT DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

N° D'ORDRE : 59/DS/2019
SÉRIE : 11/A m/2019



THESE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT PAR

HAMADOU NOUREDDINE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT EN SCIENCES
OPTION : AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

THEME

***ÉVALUATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE DANS LES BASSINS DES OUEDS
DE KISSIR ET LAGREME : APPROCHE SYSTEMIQUE, NORD-EST
ALGERIEN***

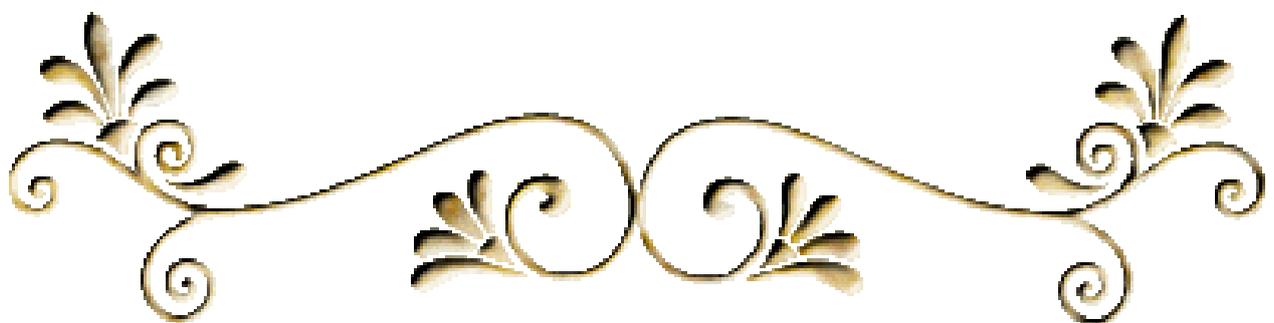
SOUTENUE LE : LE 14/03/2019

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE:

PRESIDENT : PR MEBARKI AZEDDINE...UNIV-FRERE MENTOURI- CONSTANTINE 1
DIRECTEUR DE THESE : PR AMIRECHE HAMZA...UNIV- SALAH BOUBNIDER - CONSTANTINE 3
EXAMINATEURS : PR KALLA MEHDIUNIVERSITE DE BATNA 2
: PR TATAR HAFIZA.....UNIV-FRERE MENTOURI- CONSTANTINE 1
: DR BOUHRARA AHMED...UNIV-FRERE MENTOURI-CONSTANTINE 1
: PR BENMESSAOUD HACENE.....UNIVERSITE DE BATNA 1



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements et Dédicaces

Je remercie avant tous Dieu qui ma éclairé le chemin de la réussite et du savoir.

Cette thèse finalement est le fruit d'un travail long et compliqué.

En premier lieu je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude à mon directeur de thèse, monsieur Amireche Hamza, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer ce travail doctoral, pour ses divers conseils et recommandations.

Je voudrais, en outre, exprimer ma profonde gratitude et tous mes remerciements à : Monsieur Rouikha Yousef, Baghdad Abdelmalek pour l'intérêt qu'ils portent à notre thèse....

Je tiens à exprimer mes remerciements à M. Babay Kheraddine chef d'établissement ANRH Jijel pour avoir mis à mes dispositions des données nécessaires à mon travail.

*Je remercie également les membres de la direction de l'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT) barrage de Kissir et Lagreme.
J'adresse aussi mes remerciements aux membres de la conservation des forêts wilaya de Jijel.*

J'adresse mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse et en particulier monsieur Mebarqi Azzeddine et Kalla Mehdi et Boughrara Ahmed et Benmessaoud Hacene et Tatar Hafiza pour avoir bien vouloir êtres les rapporteurs de cette thèse.

*Au terme de ce parcours, je remercie enfin celles et ceux qui me sont chers. Leurs attentions et encouragements m'ont accompagnée tout au long de ces années.
Finalement Je dédie ce modeste travail.*

A toute ma famille, surtout a mes parents pour leur sacrifices, leurs aides durant mes années d'études.

A tous mes chers frères et, soeurs...

A tous ce qu'est m'aime.

Noureddine. H

Résumé

Les bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir connaissent des dégradations et des pertes de sol à travers le temps. Les propriétés géo-géomorphologiques et morphométriques telles la lithologie, la morphologie, la pente et la végétation des deux bassins représentent un facteur important qui favorise l'érosion hydrique et généralement un transport solide spécifique significatif. L'action des précipitations est fonction de leur intensité sur les sols, elles entrent en jeu et engendrent une érosion souvent accélérée. Les sédiments issus de cette dégradation des sols contribuent à l'envasement de la retenue du barrage. Les formations lithologiques qui affleurent dans la zone d'étude exercent une influence sur l'installation d'un réseau de ravins et ravines et sur le comportement des écoulements superficiels. L'érosion des versants reste un phénomène complexe et dissemblable d'un bassin à un autre, elle est irrégulière à l'intérieur d'un même bassin et ce, en raison des conditions géo-géomorphologiques et morphométriques locales.

Cette étude a pour but d'établir une hiérarchisation des bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir, en se basant sur les indices indicateurs morphométriques. Le présent travail a pour but aussi de dresser des cartes thématiques à l'aide d'un système d'informations géographiques (SIG) des différents processus ayant une relation avec l'érosion hydrique, telles que les pentes, la lithologie, les précipitations, et la végétation. L'intégration dans les SIG des différentes cartes numériques, a permis de codifier le degré de vulnérabilité des différents paramètres ayant impact sur l'érosion hydrique dans les deux bassins versants objet de l'étude. La spatialisation du risque d'érosion a été établie sur la base de l'estimation de la gravité des six facteurs présentant les paramètres de l'erosibilité des sols, pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols et linéaments. La combinaison additive des différentes cartes intégrées dans le SIG a permis par la suite d'établir une carte de différentes classes de sensibilités des sols à l'érosion : faible, moyen, fort et très fort. La cartographie du degré du risque « érosion » a été établie sur le principe de la superposition des différentes cartes thématiques élaborées à l'aide d'un système d'information géographique. Les zones marquées par une sensibilité à l'érosion forte et très forte, (couleurs orange et rouge) dans les deux bassins, exigent des interventions antiérosives immédiates.

Mots-clés : Bassins versants oued Lagreme et Kissir, Érosion, Vulnérabilité, Cartographie.

Abstract

The watersheds of the wadis of Lagreme and Kissir know degradations and losses of soil over time. The geo-geomorphological and morphometric properties such as lithology, morphology, slope and vegetation of the two basins are an important factor that promotes water erosion and generally a significant specific solid transport. The action of precipitation is a function of their intensity on the soil, they come into play and cause an erosion often accelerated. The sediments resulting from this soil degradation contribute to the siltation of the reservoir dam. The lithological formations outcropping in the study area have an influence on the installation of a network of ravines and gullies and on the behavior of superficial flows. Slope erosion remains a complex and dissimilar phenomenon from one basin to another; it is irregular within the same basin due to local geo-geomorphological and morphometric conditions.

This study aims to establish a hierarchy of watersheds of the two wadis Lagreme and Kissir, based on morphometric indicative indices. The present work also aims to draw up thematic maps using a geographic information system (GIS) of the different processes related to water erosion, such as slopes, lithology, precipitation, and vegetation. The integration in the GIS of the various digital maps, allowed to codify the degree of vulnerability of the various parameters having impact on the water erosion in the two watersheds that are the subject of the study. The spatialization of the risk of erosion was established based on the estimate of the severity of the six factors presenting the parameters of the soil erodibility: slope, lithology, precipitation, flow, land use and lineaments. The additive combination of the various maps integrated into the GIS enabled the mapping of different classes of soil sensitization to erosion: low, medium, strong and very strong. The mapping of the degree of erosion risk was established on the principle of superposition of the different thematic maps developed using a geographic information system. Areas marked by strong and strong erosion sensitivity (orange and red color) in both basins require immediate anti-erosion interventions.

Keywords: Wadi Lagreme and Kissir watersheds, Erosion, vulnerability, Cartography.

ملخص:

تعتبر الخصائص الجيومورفولوجية و الجيولوجية (التركيب الصخري – التضاريس الانحدارات ...) للحوضين المائيين لوادي العقرم و كيسير عوامل جد فعالة في عمليات الحث و من ثمة تأثيرها المباشر على المنقولات النهرية الصلبة. تلعب هذه العناصر السالفة الذكر بالإضافة الى التساقطات المطرية دورا فعالا و محوريا في عمليات الحث المختلفة داخل الحوضين المائيين الى جانب تأثيرها المباشر في انظمة السيلاان و هذا ما يؤدي الى تسارع تآكل التربة و بالتالي زيادة المنقولات النهرية و مساهمتها المباشرة في زيادة حدة الطمي و الأوحال داخل سدي وادي كيسير و العقرم. تعتبر الخصائص المورفومترية للحوضين المائيين سالف الذكر من اهم العوامل المؤثرة و بشكل مباشر علي السيلاان وكذلك التعرية.

تهدف هذه الدراسة الى احداث هيرارشية و ترتيب لمختلف الاحواض الفرعية لوادي كيسير و العقرم و من ثمة ابراز مدى تأثيرها لعمليات التعرية النهرية. هذه الدراسة اظهرت هدى تباين التعرية داخل الحوض المائي الواحد . الى جانب ذلك تهدف هذه الدراسة الى انجاز خرائط للتعرية للحوضيين المائيين و ذلك بتطبيق نظم المعلومات الجغرافية اعتمادا على عدة عوامل ذات تأثير مباشر على ظاهرة التعرية مثل : الأنحدار التركيب الصخري – التساقط – والغطاء النباتي. في الاخير مكنت الخرائط المنجزة من تحديد مختلف مناطق التعرية داخل الحوض الواحد و هذا حسب درجة وشدة عامل التعرية : ضعيف – متوسط – قوي - قوي جدا. المناطق ذات حساسية قوية و قوية جدا للتعرية تتطلب تدخلا عاجلا لوقف عمليات تقهقر التربة داخل الحوضيين المائيين لوادي كيسير و العقرم .

كلمات مفاتيح: الحوض المائي وادي كيسير و العقرم – التعرية – هشاشة – تنطي

Introduction générale.....01

Première partie

Analyse du milieu physique

Chapitre I : Présentation des bassins versants

I.1.Introduction.....	10
I.2. Le bassin des Côtiers Constantinois	10
I.3. bassin versant de l'oued Lagreme.....	11
I.3.1. Site et situation	11
I.3.2. Morphologie et relief.....	13
I.3. 2.1. Relief.....	13
I.3.2.2. Profil en long.....	15
I.3.2.3. Les pentes.....	16
I.3.2.4. Exposition des versant.....	18
I.3.3. Couvert végétal.....	20
I.4. Bassin versant d'oued kissir.....	21
I.4.1.Site et situation.....	21
I.4.2. Relief.....	21
I.4.1.2. Profil en long.....	23
I.4.1.3. Les pentes	25
I.4.1.4. Exposition des versants	27
I.4.3. Couvert végétale.....	28
Conclusion.....	31

Chapitre II : Caractéristiques géologiques et lithologiques

Introduction	33
II.2. Contexte géologique régional.....	33
II.1.1 Les formations de domaine kabyle (domaine interne).....	33
a- Le socle kabyle	33
b-La couverture sédimentaire	33
II.1.2. Le domaine des flyschs	34
II.1.3. Le domaine externe	35
a- les formations telliennes	35
b- les formations de l'avant pays	35
II.1.4. Les formations post-nappes	35
II.1.5. Les formations quaternaires	35

II.2. Caractéristiques lithologiques de la zone d'étude.....	36
II.2.1. Propriétés lithologiques du bassin versant oued Lagerme.....	36
• Les formations quaternaires.....	37
• Les formations de bassin de néogène.....	38
• Les olistostromes.....	39
• OMK.....	40
• Socle Kabyle.....	41
• Les formations de complexe volcano-sédimentaire (cvs).....	41
• Arène (Gneiss et schiste altéré).....	41
II.2.2. Propriétés lithologiques bassin versant oued Kissir.....	43
A- Les formations affleurant sur la rive droite (Est).....	43
• Les flyschs.....	43
• Le flysch Mauretarien.....	43
• Les unités à faciès flysch massylien.....	43
• Les unités à faciès grésos-micacé.....	43
• Les flyschs numidien.....	44
• Les colluvions.....	46
B- Les formations affleurants sur la rive gauche (Ouest).....	47
• Flysch mauretarien.....	47
• Les alluvions récents.....	47
II.3. Aspect tectonique et sismicité de l'aire d'étude.....	47
II.4. Zones d'activités sismiques et microséisme.....	48
II.5. Classification et répartition spatiale des différentes formations lithologique.....	50
A- Classification lithologique du bassin versant de l'Oued Lagreme.....	50
• Roche à résistance élevé.....	50
• Roche résistante.....	51
• Roche à résistance moyenne.....	51
• Roche à résistance faible.....	52
• Roches non résistant (meuble).....	52
B- Classification lithologique du bassin versant de l'Oued Kissir.....	53
• Roche à résistance élevée.....	53
• Roche résistante.....	53
• Roche à résistance moyenne.....	53
• Roche à résistance faible.....	54
• Roche non résistant (meuble).....	54
Conclusion.....	54
II.6. Caractéristique linéamentaire des bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir.....	54
Définition.....	54
II.6.1. Caractéristiques linéamentaires du bassin versant d'oued Lagreme.....	56
a- Les couloirs linéamentaires.....	60
b- Les linéaments en échelons.....	60
c- Les nœuds linéamentaires.....	60
II.6.2. Caractéristiques linéamentaires du bassin versant d'oued Kissir.....	60
a- Les couloirs linéamentaires.....	64
b- Les linéaments en échelons.....	64
c- Les nœuds linéamentaires.....	64
Conclusion.....	65

Chapitre III : Processus et facteurs de l'érosion

Introduction	66
III.1. Les facteurs de dégradations des sols dans l'aire d'étude	67
• Le facteur «climat »	68
• Le facteur « lithologie »	69
• Le facteur « morphologie et pente »	70
• Le facteur « végétation »	70
• Le facteur « socio-économique »	71
III.2. Les principales formes d'érosion hydrique	71
• L'érosion en nappe	71
• L'érosion linéaire.....	72
Conclusion	74

Chapitre IV : Contexte socio-économique

IV. Impact du cadre socio-économique sur la dynamique du milieu physique au sein du territoire de l'aire d'étude	75
Introduction	75
IV.1. Aspect socio-économique du bassin versant d'oued Lagreme.....	75
IV.1.1. Population	75
IV.1.2. L'habitat	80
IV.1.3. Équipement	81
IV.1.4. Les infrastructures de base	81
IV.1.5. Le secteur économique	82
IV.2. Aspect socio-économique du bassin versant d'oued Kissir	85
Conclusion	87

Deuxième partie

Analyse hydro-climatologique et morphométrique des bassins versants d'oued Lagreme et Kissir

Chapitre V : Caractéristiques climatiques

V. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude	88
Introduction	88
V.1. Les précipitations.....	88
A- Série ancienne : P.SELTZER (1913-1938).....	91
B- Série récente	96

▪ Précipitations moyennes mensuelles des stations : Achouat aéroport, Texenna, Erraguene, et Col de Fedoules période 1961- 1991.....	96
▪ Précipitations moyennes mensuelles stations : Achouat aéroport, période 1988- 2007.....	98
V.2. Les Températures.....	101
V.3. Précipitations solides.....	103
V.4. Valeurs moyennes de l'humidité relative de l'atmosphère (station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1996-2006).....	103
V.5. Vitesses moyennes mensuelles des vents (m/s) station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1997-2010).....	104
V.6. Combinaison des facteurs thermiques et pluviométriques (station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas).....	106
V.7. L'aridité	107
V.8. L'indice d'Emberger	107
V.9. Coefficient pluviométrique relative (H)	108
V.10. Appréciation du bilan hydrologique station Ferhat Abbas (période 1988 -2007).....	110
• Cartographie de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	110
• Calcul de (l'ETP) station de station Ferhat Abbas (période 1988 -2007).....	111
• Calcul de (l'ETR) station Ferhat Abbas (période 1988 -2007).....	112
• Cartographie de l'écoulement dans l'aire d'étude (ANRH_ 2005).....	113
• Estimation du ruissellement (R) station Ferhat Abbas (période 1988 -2007).....	114
• Calcul de l'infiltration (I) station Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 - 2007).....	114
• Calcul du bilan hydrologique station de Texenna (période 1996 - 2011).....	116
• Estimation du ruissellement (R) station de Texenna (période 1996 -2011).....	117
• Calcul de l'infiltration (I) station de station de Texenna (période 1996 -2011).....	118
• Interprétation des bilans hydrologiques de la zone d'étude.....	120
Conclusion.....	121

Chapitre VI : Caractéristiques hydrologiques

Introduction.....	122
VI.1. Variation des débits annuels moyens (station Chaddia, 1972 – 1984).....	122
VI.2. Apport fréquentiel de l'oued Lagreme.....	125
VI.2.1. Ajustement d'une loi de Gauss pour une année humide.....	125
VI.2.2. Ajustement d'une loi de Gumbel.....	132
VI.2.3. Ajustement d'une loi de Gauss pour une année sèche.....	135
VI.2.4. Ajustement pour une loi de Galton	138
Conclusion.....	140
VI.3. Approche déterministe : Estimation de l'apport moyen annuel.....	141
VI.3.1. Relations débit spécifique et surface.....	141
VI.3.2. Répartition des lames écoulées annuelles moyennes	141
VI.3.3. Estimation de l'apport moyen annuel selon les formules empiriques, bassin versant de l'oued Kissir.....	143
VI.4. Étude des crues.....	145
VI.4.1. Études des crues de 5/1/73 et 25/9/1973 station Chadia (Oued Lagreme).....	145
VI.4.2. Calcul des débits de pointe des bassins versants de l'oued Kissir.....	149

VI.5. Estimation de l'érosion : les transports solides spécifiques dans les bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir.....	151
Introduction	151
Différents types des transports solides	151
VI.5.1. Étude des transports solides en suspension dans le bassin versant oued Lagreme.....	152
VI.5.1.1.Évaluation des transports solides spécifiques en relation avec les précipitations et l'écoulement.....	153
VI.5.1.2.Évaluation quantitatifs des transports solides spécifiques en relation avec les précipitations et l'écoulement.....	155
• A l'échelle annuelle.....	155
• À l'échelle saisonnière	157
• A l'échelle mensuelle.....	158
VI.5.2. Évaluation de l'érosion hydrique dans le bassin d'oued Kissir (formule empirique).....	160
Conclusion.....	161

Chapitre VII : Caractéristiques morphométriques

VII. Détermination des caractéristiques morphométriques des bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir.....	162
Introduction	162
VII.1. Les indices de relief hypsométrique	163
VII.1.1.Hypsométries des bassins versant.....	164
• L'altitude moyenne.....	167
• L'altitude médiane.....	168
• Pente moyenne.....	168
• Pente médiane.....	169
• Dénivelé spécifique	171
• L'indice de pente globale.....	172
• L'indice de relief.....	174
VII.1.2. Les indices morphométriques de la taille et de la forme.....	175
• L'indice de compacité.....	175
• Longueur de rectangle équivalent.....	176
• L'indice de circularité.....	178
• L'indice d'élongation.....	179
• L'indice hypsométrique.....	181
• L'indice de forme.....	182
VII.1.3. Les indices morphométriques de l'organisation du réseau hydrographique	183
• Densité de drainage.....	185
• Fréquence de Thalweg.....	189
• Superficie de drainage moyenne par affluent.....	190
• Longueur moyenne de thalweg d'ordre (n).....	191
• Rapport de confluence.....	193
• Coefficient de torrentialité.....	195
• Temps de concentration.....	196
Conclusion.....	199

Chapitre VIII : Hiérarchisations des indices morphométriques des sous-bassins versants selon leurs impacts sur l'érosion

VIII. Classement des indices morphométriques des sous-bassins versants selon leurs impacts sur l'érosion.....	200
Introduction.....	200
VIII.1. Paramètres indicateurs utilisés dans le classement des sous bassins.....	202
A- Les indices indicateurs de relief hypsométriques.....	202
B- Les indices indicateurs de la taille et de la forme	203
C- Les indices indicateurs de l'organisation du réseau hydrographique.....	204
VIII.2. Méthode de classement et codification des sous-bassins versants en fonction du degré d'impact des indices morphométriques sur l'érosion.....	204
Résultat et discussion	206
Conclusion	209

Troisième partie

Cartographie et analyse du risque érosion par l'application des SIG

Chapitre IX: Méthodes et outils de géotraitement

Introduction.....	210
IX.1. Matériels utilisés	211
X.2.Evaluation de degré du risque érosion hydrique	213
Organigramme adopté dans cette étude.....	214
IX.2.1.Evaluation et analyse du risque érosion hydrique bassin versant oued Lagreme	216
A- Facteur « pente ».....	216
B- Facteur « lithologie ».....	218
C- Facteur « précipitation ».....	220
D- Facteur « écoulement ».....	221
E- Facteur « végétation ».....	223
F- Facteur « linéamentaire ».....	224
IX.2.2.Evaluation du risque érosion hydrique bassin versant oued Kissir.....	226
A- Facteur « pente ».....	226
B- Facteur « lithologie ».....	228
C- Facteur « précipitation ».....	230
D- Facteur « écoulement ».....	231
E- Facteur « végétation »	233
F- Facteur « linéamentaire».....	235

Conclusion.....	237
-----------------	-----

Chapitre X: Cartographie et spatialisation du degré de risque érosion

X.1.Introduction	238
X.2.Cartographie du degré du risque érosion dans le bassin versant oued Lagreme	240
A-Carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie.....	242
B-Carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie et précipitations.....	244
C-Carte de sensibilité à l'érosion combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulement.....	246
D-Carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulement et occupation des sols.....	248
E-Carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols et linéaments.....	250
X.3. Cartographie du degré de risque érosion dans le bassin versant oued Kissir.....	254
A- Combinaison pente, lithologie.....	254
B- Combinaison pente, lithologie et précipitations.....	257
C-Combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulement.....	259
D-Combinaison pente, lithologie, précipitation, écoulement et occupation des sols.....	261
E-Combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols et linéaments.....	263
Résultats et discussion	266
Conclusion.....	270

Chapitre XI : Validation des résultats et stratégie antiérosifs

Introduction.....	271
XI.1.Aspect morphodynamique et forme d'érosion ressentie dans de la zone d'étude.....	271
A- forme d'érosion dans le bassin versant de l'oued Lagreme	272
• Les ravins.....	272
• Les bad Lands.....	274
• Les mouvements de masse	276
- Les glissements de terrain.....	278
- Coulée boueuse.....	281
- Les solifluxions.....	283
B-Forme d'érosion affectent le bassin versant de l'oued Kissir.....	284
• Les ravins.....	284
• Les bad lands	284
Conclusion	286
XI.2. Proposition d'aménagement et stratégie antiérosifs	287
Introduction.....	287

XI.2.1. Programme de lutte contre l'érosion hydrique dans les deux bassins Lagreme et Kissir	288
Conclusion générale.....	292
Référence bibliographiques.....	294
Liste des figures.....	i
Liste des tableaux.....	vi
Liste des photos.....	xi
Liste des acronymes	xii
Annexe.....	xiii

Introduction générale

Le Nord-Est algérien est caractérisé par un climat humide à sub humide, des pluies fortes le plus souvent à caractère orageux. L'action des précipitations en fonction de leur intensité sur les sols provoque une érosion accélérée sur les bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir objets de notre étude. Ainsi les sédiments issus de cette dégradation des sols contribuent à l'envasement des retenues des barrages.

L'érosion hydrique est un phénomène géologique naturel qui façonné la surface de la terre au cours des âges géologiques (White, W, R.1986). Le terme érosion vient du mot latin «erodere» qui signifie « ronger », « brouter », « corroder» (Rampon, 1987). L'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité (Girard, M, C et al. 2005)

Selon la FAO, la détérioration de la situation a été mise en évidence en 1990 dans des pays comme : en Grèce 35% des terres, au Maroc 40% et en Turquie 50% avec des pertes de terre de 500 à 600 million de tonnes/an en Turquie (Celik et al ; 1996). En Tunisie 45% de la superficie du pays et menacée par l'érosion (Chevalier,P et al .1995. Boussema, H, R. 1996) et en Algérie, 45% des zones Tellienne ; soit 12 millions d'hectares (Chebbani,R et al, 1999). Ces chiffres dépassent ce que la pédogenèse peut produire dans les conditions climatiques actuelles (Boukheir, R ., Girard,M,C., M Khawlie et Abdallah,C. 2001).

Les techniques traditionnelles mises au point au cours des siècles par les paysans étaient supposées à priori moins efficaces que les nouvelles techniques développées par la société occidentale (Roose, E et al .2012).

Les premières démarches, et approches utilisées pour l'évaluation de l'érosion hydrique n'ont commencé qu'au début de 20^e siècle en Allemagne, puis 40 ans plus tard aux États Unis d'Amérique à l'époque de la grande crise économique. (Roose, 1999 in E.Roose.1994).

D'après plusieurs auteurs, le risque de l'érosion hydrique est largement répandu dans la région de Méditerranée (Boukheir,R et al, 2001). Plusieurs chercheurs ont lancé des études d'évaluation de l'érosion à divers échelles, des parcelles d'une centaine de mètres carré, des micro-bassins de quelques hectares, aux grands bassins versants de milliers de kilomètres carrés (Boughalèm, K. 2013).

Des études spécialisées sur le risque lié à l'érosion en nappe sont établies par plusieurs géomorphologues, (Raynal, A.1957).

Ce type d'érosion est considéré comme un moteur efficace de l'appauvrissement en particules fines et en nutriments de l'horizon superficiel des nombreux sols argilo-sableux (Roose, E. 1981. 1994).

L'érosion du sol par ravinement est un phénomène largement répandu en Europe (Oldeman, L, R et al, 1991). Dans certaines parties du pourtour méditerranéen, l'érosion a atteint un niveau d'irréversibilité tandis que dans certaines régions ce phénomène a pratiquement cessé par manque du sol. Des pertes pouvant atteindre 20 à 40 t/ha lors des orages ponctuels bisannuels ont été quantifiées régulièrement en Europe. Ce taux peut atteindre un maximum de 100 t/ha lors d'événements particulièrement violents (Morgan, R, P, C.1992).

En Algérie, environ 6 millions d'hectares sont exposés aujourd'hui à une érosion active, et en moyenne 120 millions de tonnes de sédiments sont emportés annuellement par les eaux. Les pertes annuelles des eaux dans les barrages sont estimées à environ 20 millions de mètres cubes dues à l'envasement (Remini, B, et al. 2000).

L'envasement des barrages est un phénomène fatal en Algérie, dont la vitesse de colmatage des ouvrages d'art est variable d'un barrage à un autre selon l'efficacité de l'érosion, et de la lame d'eau écoulée, alors que la durée de vie d'un barrage est estimée en moyenne à une trentaine d'année (Kadik, B. 1982).

Les études géomorphologiques et hydrologiques établis par SARI., 1977, et Daoudi.M, 2008 montrent clairement qu'il existe une forte corrélation entre la torrencialité du bassin et les paramètres géomorphologiques (Boughalèm, K. 2013).

Recherches effectuées en Algérie

Les recherches effectuées sur l'érosion en Algérie, l'étude établie par Ballatrache (1987) dans la région de Médéa, Béni-Slimane propose une carte du risque obtenue par l'application d'une approche géomorphologique multifactorielle.

Une approche SIG sur l'érosion basée sur des paramètres physiques a été effectuée par (Gomer, D. 1994). Cette étude explique et décrit l'écoulement et l'érosion dans des petits bassins méditerranéens caractérisés par des substratums marneux (Gomer, D. 1994., Daoudi, M. 2009).

Quantification de l'érosion

La quantification et l'évaluation de l'érosion hydrique dans les bassins versants, fait appel à plusieurs méthodes. Depuis longtemps, divers auteurs ont attiré l'attention sur les dégâts

provoqués par le phénomène de l'érosion. De nombreux ouvrages ont été publiés fournissant ainsi des informations sur l'érosion du sol et les divers aspects de ce phénomène. (Fournier, F. 1960).

Les recherches et les études des facteurs et des processus d'érosion ont fait appel depuis longtemps à plusieurs méthodes. A ce titre, plusieurs approches et modèles empiriques quantitatifs et qualitatifs ont été adoptées pour l'évaluation et la cartographie du risque érosion hydrique.

a- Approches basées sur la modélisation

Les modèles utilisés pour l'évaluation du risque érosion hydrique peuvent être ordonnés de plusieurs manières. Parmi celles-ci, nous avons les modèles annuels appliqués pour une longue durée et les modèles appliqués pour l'évaluation de l'érosion pendant un événement climatique bien déterminé.

- ❖ L'équation universelle des pertes en sols (USLE) de W.H. Wischmeier et D.D. SMITH (1960, 1978), est l'une des équations les plus utilisées dans ce domaine. Ce modèle a fait l'objet de plusieurs études critiques (Roose, E. 1994) et Boukheir, R et al (2001-a).
- ❖ D'après (J. R ; WILLIAMS et H.D. BERNDT. 1977) cette équation nécessite souvent des calculs et des mesures à l'exutoire des bassins versants objets d'études. Ce modèle ne satisfait pas toujours le but recherché des modèles physiques basés sur les processus élémentaires d'érosion tout en s'appuyant, non pas sur des valeurs moyennes sur 20 ans, mais sur les événements au cours de chaque averse élémentaire (Roose, E. 1999 in Roose, E. 1994).
- ❖ Kirkby et King (1988), ont appliqué un modèle pour évaluer le risque érosion en France, en utilisant la modélisation. Ce dernier a été appliqué notamment pour l'évaluation de l'érosion lors d'un orage ponctuel et prend en considération le paramètre érodibilité des sols, pente et climat.

Le modèle quantitatif (modélisation) a connu plusieurs critiques :

D'après (Dero, 1993) : le cas échéant, la seule façon d'utiliser le modèle quantitatif à l'échelle régionale serait de supposer que certaines variables et paramètres sont constants. À l'échelle de la région, il est habituellement difficile de déterminer directement sur le terrain les données sources du modèle, comme les paramètres liés au sol (De Roo, 1996).

b- Approches qualitatives basées sur l'expertise

- ❖ Parmi les études effectuées dans ce type d'approche, nous avons la carte du risque « érosion » de l'Ouest de l'Europe établie par (De Ploey.1989).
- ❖ Un autre exemple d'une approche de l'estimation du risque d'érosion de la région méditerranéenne, se base sur le score factoriel pour l'érodibilité (4 classes), l'érosivité (3 classes), la pente (4 classes). La compilation de ces données résulte après l'analyse en un point sur l'aléa érosion (Corine. 1992).
- ❖ De ce fait, en France une approche similaire a été développée par Montier et al, 1998 avec la prise en considération de : la végétation (9 classes), l'érodibilité des sols (4 classes), la pente (8 classes) et finalement la capacité du sol à former une croute de battance (4 classes). L'interaction entre les paramètres sol, végétation, pente, et climat rend bien compte du phénomène de l'érosion dans toute son étendue (Montier, et al, 1998).

L'érosion dans La zone d'étude

La région de Jijel est caractérisée par une forte agressivité des sols du aux précipitations intenses et présente de ce fait une vulnérabilité élevée à l'érosion en haute altitude.

Les bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir connaissent des dégradations et des pertes de sol exceptionnellement durant les périodes pluvieuses. Les paramètres géomorphologiques et lithologiques des bassins versants objet de cette étude notamment le bassin de l'oued Lagreme montrent que, la plupart des particules transportées vers le lac du barrage proviennent des ravins et des glissements de terrain.

Méthodologie

Il s'agit d'une approche systémique basée sur une méthode multifactorielle permettant d'établir des cartes codifiées numérisées.

Dans L'approche systémique, il s'agit d'appréhender différemment la thématique de l'érosion : la détermination d'une méthodologie basée sur divers indicateurs (lithologie, pluviométrie, couvert végétal, et pente). Ces facteurs permettent de spatialise l'alea érosion (Roose, E., de Doni, G. 1998).

L'approche systémique est une approche conceptuelle globale, formalisée ou non mathématiquement, décrivant plusieurs processus et leurs interactions. De ce fait les systèmes constituent souvent un outil de description et d'analyses entre jeux d'acteurs et de contraintes.

Donc l'approche systémique appliquée en géographie cherche à établir l'ensemble des interactions spatio-temporelles entre des contraintes (sociales, physiques, naturels...) d'un territoire donnée (Marchand, J.P ; 1996).

Pour apprécier la problématique abordée, la méthode adoptée dans ce travail est basée sur le modèle qualitatif développé par là (FAO-UNEP 1997) dans le cadre du plan d'action pour la zone « Méditerranée ». Cette méthode développée par les chercheurs de CNRS combine différents facteurs : pente, occupation des sols, climat, etc...dont le poids est pondéré (Boukheir, R.1989., 2002. Boukheir, R et al .2001 ; Cerdan,O. et al. 2006).

Le bassin versant de L'oued Lagreme est caractérisé par la prédominance de formations lithologiques friables telles : les marnes, les argiles, le olistostromes (flysch et marnes) de calchistes et magmatisme altéré avec des arènes très altérées.

- les formations du massif arénitisé (arène granito-gneissique), et du conglomérat de type continental d'âge mio-pliocène, s'étalant sur une superficie totale de l'ordre de 16.92 km² soit 42.76% de la totalité du bassin.
- Les formations lithologiques à caractères olistostromiques couvrent une superficie totale de l'ordre de 13.00 km² soit 32.85 % de la totalité du bassin.
- les formations marneuses (marnes bleues et jaunes), occupent une superficie totale de l'ordre de 6.61 km², soit 16.70 % de la totalité du bassin.
- les formations de socle Kabyle (schistes et gneiss sains) bordant le bassin au sud et affleurent sur une superficie totale de l'ordre de 0.97 km² soit 2.45% de la totalité du bassin.
- Les formations de complexe volcano-sédimentaire avec une superficie totale de l'ordre de 0.78 km² soit 1.97 % de la totalité du bassin.
- Concernant le bassin versant de l'oued Kissir les formations lithologiques prédominantes sont :
- Les formations de la nappe maurétanienne (grés durs et marnes) avec une superficie totale de l'ordre de 55.658 km². Elles sont situées dans la partie Sud-ouest du bassin versant.

- les formations lithologiques à caractères Olistostromiques couvrent une superficie totale de l'ordre de 47.591 km² soit 44.55 % de la totalité du bassin objet d'étude. Ces derniers sont marquées dans la zone d'étude par de blocs de flysch grés-micacés noyés dans une molasse marneuse (flyschs dissociés allant de l'Albien à l'éocène dans une matrice marneuse de l'oligo miocène Kabyle (Bouillin, J, P et Raoult, J, F.1971, H. Djelil, H.1987).
- les formations meubles (alluvions et éboulis des pentes) caractérisé par des matériaux grossiers polygéniques : galets, cailloux, et pouding enrobés d'argile rouge couvrent les piémonts sur une superficie totale de l'ordre de 1.953km² carrés soit 1.83 % de la totalité du bassin.
- les formations lithologiques de grés numidien s'étalent sur une superficie de 0.195 km² soit 0.18 % de la superficie totale du bassin versant.
- Finalement les formations des flysch grés-micacées, constituent les arêtes du Djbel Bouyouder et Ben Saber avec une superficie totale de l'ordre de 1.433 km² soit 1.34% de la totalité du bassin objet d'étude.

L'érosion hydrique dans les deux bassins est étonnante et spectaculaire provoquant de profonde incisions et entailles caractérisant des ravinements intenses, notamment dans les zones amont conduisant à un envasement précoce et une durée de vie courte des deux barrages en exploitation Kissir et Lagreme.

L'examen et l'analyse des sous-bassins, nous permet de mieux cerner la problématique liée au risque sus-cité par une étude poussée et plus approfondie, et d'apporter par la suite des propositions adéquates à ce problème.

Actuellement les deux bassins versants renferment deux barrages fonctionnels (barrage de Lagreme daïra de Texenna, et barrage de Kissir daïra d'El Aouana).

Le barrage de Lagreme est destiné pour l'irrigation, notamment les communes de Chekfa, Taher et El Kennar.

Les recherches sur les mécanismes de l'érosion montrent que ce phénomène à de très nombreux facteur, mais que la plupart d'entre eux : lithologie, végétation et relief exercent leur influence à une échelle locale. D'autre part, la nature du sol, la végétation et le relief ne font que conditionner l'érosion hydrique tandis que les précipitations atmosphériques, par leurs effets multiples et complexes : choc sur le sol (splash) puis le ruissellement sont la cause principale de l'ablation des sols.

L'aire d'étude, constituée une large bande au nord de la wilaya de Jijel qui reçoit une lame considérable des précipitations annuelles. Donc de par ses caractéristiques géo-géomorphologiques, climatiques, hydrologiques, ainsi que la l'activité socio-économique sur les deux bassins versants se trouvent soumis à une forte vulnérabilité érosion hydrique.

L'évaluation de l'érosion hydrique dans les bassins versants de l'oued Lagreme et oued Kissir, impose une conception et une bonne compréhension des différents paramètres géo-géomorphologiques, climatiques, hydrologique, et morphométriques. Les différents éléments qui conditionnent le phénomène de l'érosion dans les bassins versants sont nombreux (pente, lithologie, écoulement, végétation...). Ainsi, pour mieux concevoir les mécanismes érosifs au sein des bassins versants, il est nécessaire d'aborder une étude verticale et profonde pour mieux caractérisées le rôle de chaque sous-bassin dans l'équation générale de l'érosion.

Enfin le risque d'érosion hydrique qui menace les bassins versants de l'oued Kissir et Lagreme, est un phénomène géo-géomorphologique très complexe liées à des facteurs naturels, et anthropiques évolutifs aussi bien dans l'espace que dans le temps, impactant sérieusement les infrastructures (barrages en exploitation) ayant des effets socio économiques fatals.

Objet d'étude

Cette étude à pour objet :

- L'examen et la reconnaissance des différents processus de l'érosion.
- Faire ressortir la situation morphologique et le degré de l'érosion dans les différents bassins et sous bassins.
- La protection des sols sur les bassins versant objets d'étude.
- La réduction du taux de transport solide vers les lacs de deux barrages en exploitation.
- L'étalement de la durée vie des deux barrages, par la réduction de taux d'envasement ainsi que le degré de sédimentation.

Ce-ci nous amène à bien mettre en relief les paramètres les plus influents sur le risque de l'érosion encourus par les deux bassins.

L'approche adoptée pour élucider notre problématique consiste à :

- Elaborer des cartes, basées sur le rapport et l'analogie entre les différents éléments ayant une influence sur le phénomène d'érosion hydrique. L'association et l'analyse des

facteurs d'érosion hydrique (en lithologie, la topographie, la végétation... etc.) permette de mieux cerner l'évolution et la dynamique de notre aire d'étude.

- La réalisation d'un modèle cartographique qui consiste à localiser l'aléa ainsi que les zones de forte érosion. Cette thématique permet aussi de présenter des outils d'analyses pour l'estimation de l'érosion du sol à l'échelle des bassins et sous bassins versants afin de mettre en place une disposition de conservation des sols et des techniques anti-érosives.

L'étude consistera aussi à réaliser les objectifs suivants, en adaptant une méthodologie de travail basée sur une approche systémique multifactorielle : géo-géomorphologique et lithologique, hydro-climatologique, morphométrique.

- Dans ce cadre, l'utilisation de l'outil SIG (logiciel Arc-Gis) permet d'identifier et caractériser différents facteurs de l'érosion et, par conséquent l'analyse spatiale de différents éléments (facteurs érosion) qui nous permettra de mieux évaluer le risque en question.

De ce fait plusieurs requêtes sur le phénomène risque érosion hydrique seront établies qui déboucheront sur l'établissement de carte de sensibilité à l'érosion, pour pouvoir ensuite mettre en place une stratégie d'aménagement et anti-érosive dans les bassins versants, objet d'étude.

La connaissance des mécanismes de chacun des éléments et processus du milieu physique des deux bassins versants qui entre en jeu et leurs conséquences vont permettre de présenter des recommandations pour un aménagement adéquat.

Enfinement : Ce travail sera présenté en trois parties fondamentales :

- **Une étude très poussée** géo-géomorphologique des deux bassins versants afin de bien mettre en relief les unités morphologiques (reliefs, pente, lithologie..). Ces facteurs joueront un rôle capital de premier ordre dans le fonctionnement et le comportement des deux bassins versants.
- **La deuxième partie, l'étude hydro-climatologique et morpho-métrique** : cette étude sera fondée au début sur l'analyse statistique des données climatiques (pluviométrie, température, et bilan hydrique...), ensuite l'examen des différents aspects principaux de l'écoulement superficiel, apport liquide annuel et leur impact sur l'érosion hydrique. Il s'agit aussi de tester des lois d'ajustement pour estimer l'apport moyen annuel et fréquentiel, et par la suite le transport solide spécifique. L'étude morphométrique a pour but la détermination des caractéristiques géométriques des deux bassins versants. Toutes

transformations de pluies en écoulement (superficiel ou souterrain passe par l'intermédiaire des bassins versants).

- **Dans la troisième partie, nous expérimenterons une approche systémique cartographique** à l'aide d'un système d'informations géographiques (SIG) qui comporte la spatialisation du degré de risque érosion hydrique dans les deux bassins objet de cette étude.

Première partie

Analyse du milieu physique



Chapitre I

Présentation des bassins versants

Chapitre I. Présentation des bassins versants

I.1. Introduction

Dans le nord Est algérien, l'écoulement des différents oueds génère deux types de bassins hydrographiques :

Au Nord, des bassins à écoulement exoréique c'est-à-dire (les oueds se jettent dans la mer Méditerranée) cas des bassins versants de l'oued Lagreme et de l'oued Kissir objet d'étude.

Au Sud, des bassins à écoulement endoréique (les oueds se jettent dans des vallées fermées) tels que les Hauts Plateaux constantinois, le bassin Nord-Est du Chott Melrhir et le bassin est du Chott Hodna.

I.2. Le bassins des Côtiers Constantinois

Les bassins versants des Côtiers Constantinois figure 1, trouvent leur origine sur les versants très arrosés du bourrelet tellien. Ils occupent les regions nord constantinoises de Béjaia à l'Ouest jusqu'à Annaba à l'Est. Il se décompose en Côtiers Est (quatre sous-bassins répartis sur 3203 km²), et Côtiers Ouest (cinq sous-bassins répartis sur 2724 km²), et finalement le Côtiers Centre (neuf sous-bassins répartis sur 5 524 km²). Les Côtiers centre sont formés d'Est en Ouest principalement par les Oueds Kébir-Ouest, Saf Saf et Ghuebli (Amireche, H. 2001).

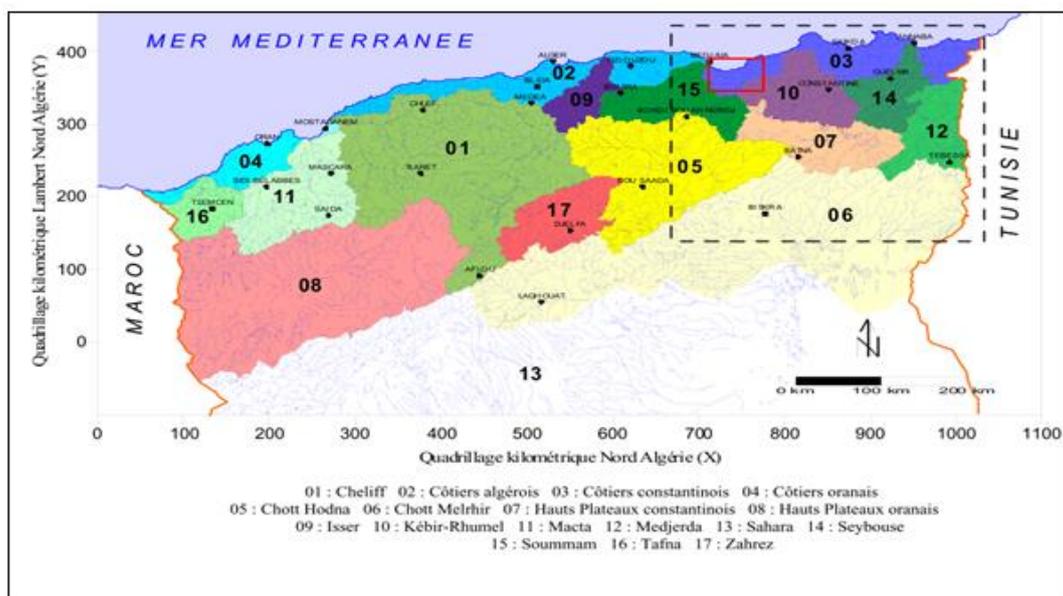


Figure 1. Positionnement de l'aire d'étude, Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord

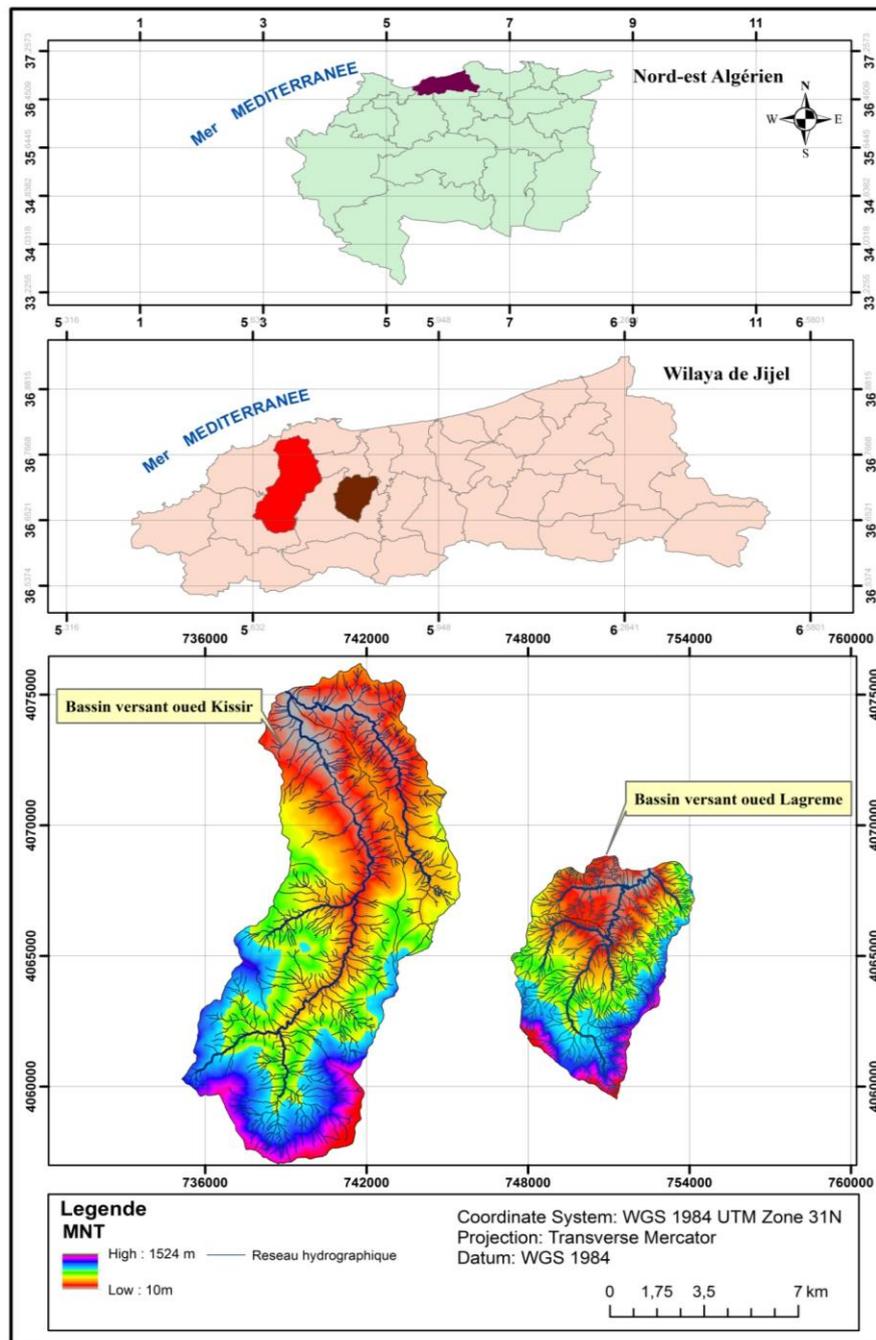


Figure 2. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Localisation*

I.3. Bassin versant d'oued Lagreme

I.3.1. Site et situation

Le bassin versant de l'oued Lagreme est situé à 10 Km au sud-est de la ville de Jijel. Il est drainé par l'oued Lagreme voir figure (2) et (3). Ce bassin versant est compris entre :

- Les longitudes : 5.7728° et 5.8457° Est.
- Et la latitude : 36.6590° et 36.7446° Nord

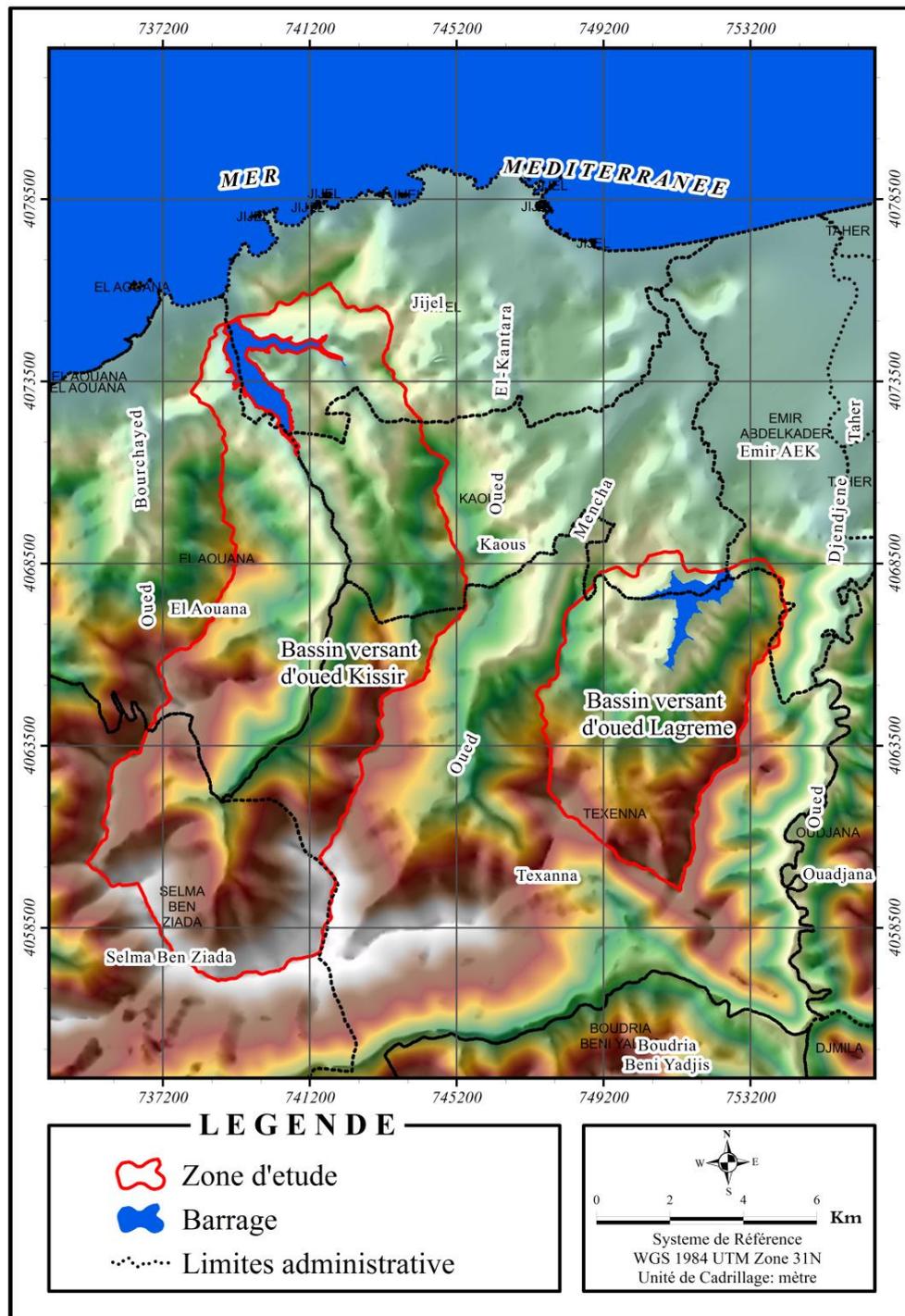


Figure 3. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Situation géographique*

(Image satelliaire google earth, 2017)

Le bassin versant de l'oued Lagreme fait partie de la commune de Texenna. Il est limité à l'Est et au Sud par le bassin versant de l'Oued Djen djen, et à l'Ouest par le bassin de L'oued Mencha.

I.3.2. Morphologie et relief

I.3.2.1. Relief

Le bassin versant de l'oued Lagreme fait partie des unités morphologiques de l'Atlas tellien. Il est caractérisé par une topographie accidentée et contrastée augmentant progressivement vers le sud (figure 4 et 5).

Le relief étant un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin (Bouanani, A. 2004).

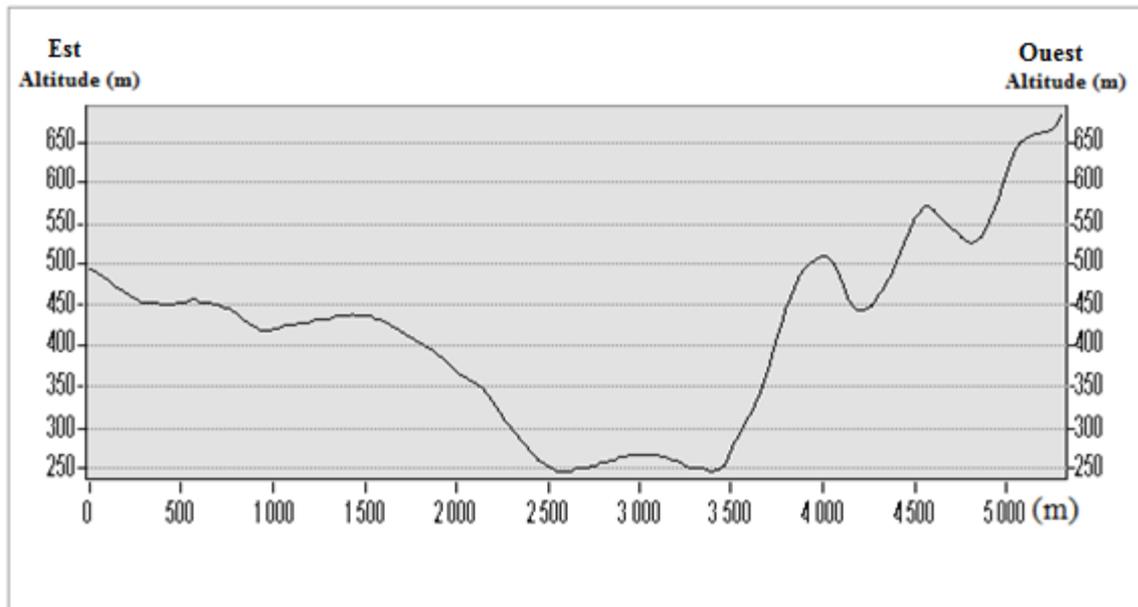


Figure.4. Bassin versant d'oued Lagreme : *Coupe topographique* (Est-Ouest)

Le bassin versant de l'oued Lagreme est pratiquement exposé au littoral, c'est-à-dire face aux vagues de l'Hiver pluvieux. Cette bande du nord Algérien est caractérisée par un climat méditerranéen, les précipitations sont abondantes notamment dans la partie nord-est de pays.

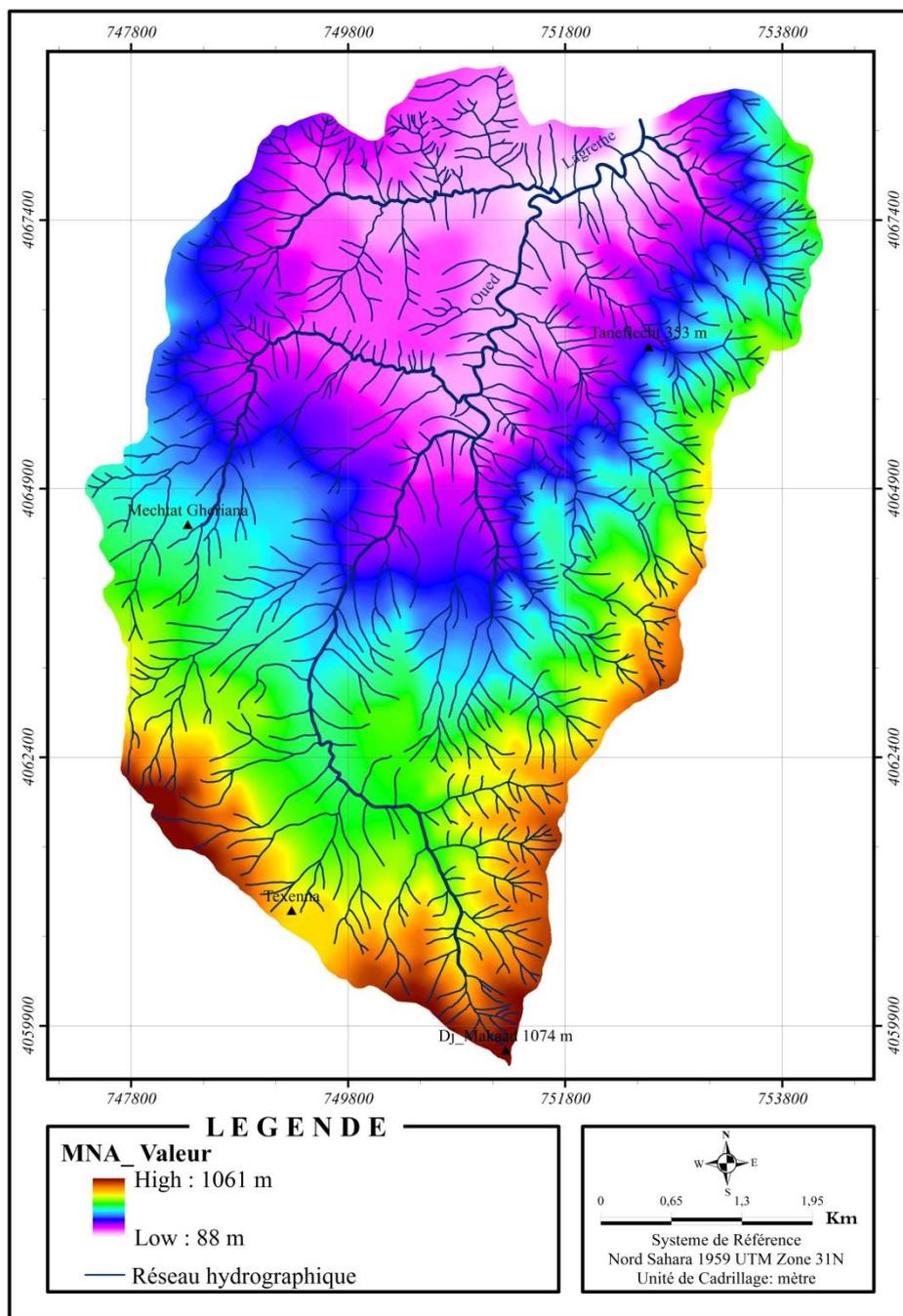


Figure 5. Bassin versant d'oued Lagreme : *Model numérique d'altitude* (MNA)

Le bassin présente une morphologie caractérisée par des reliefs accidentés, avec une dénivelée oscillant entre 80 et 1061 mètres. Il est encadré par plusieurs chainons montagneux :

- Au sud du bassin par Djebel El Makaad, culminant à 1061 m d'altitude.
- Au sud-est par Djebel El Djarda 774 m d'altitude.
- À l'ouest du bassin par Djebel Rakbat Naidj 739 m d'altitude.

Sur le plan lithologique, le bassin versant de l'oued Lagreme est constitué de plusieurs formations lithologiques (Marne, olistostrome, arène gneissique, cvs, et calschiste).

I.3.2.2. Profil en long de l'oued Lagreme

La pente hydrographique de l'oued Lagreme (figure. 6), établie à partir de la carte topographique 1/25000 et modifiée à partir de l'image satellitaire à haute résolution, présente un décollement concave, sa pente avale est plus faible que la pente amont. Généralement l'oued Lagreme, présente un profil en long assez uniforme de l'ordre de 9.8 %.

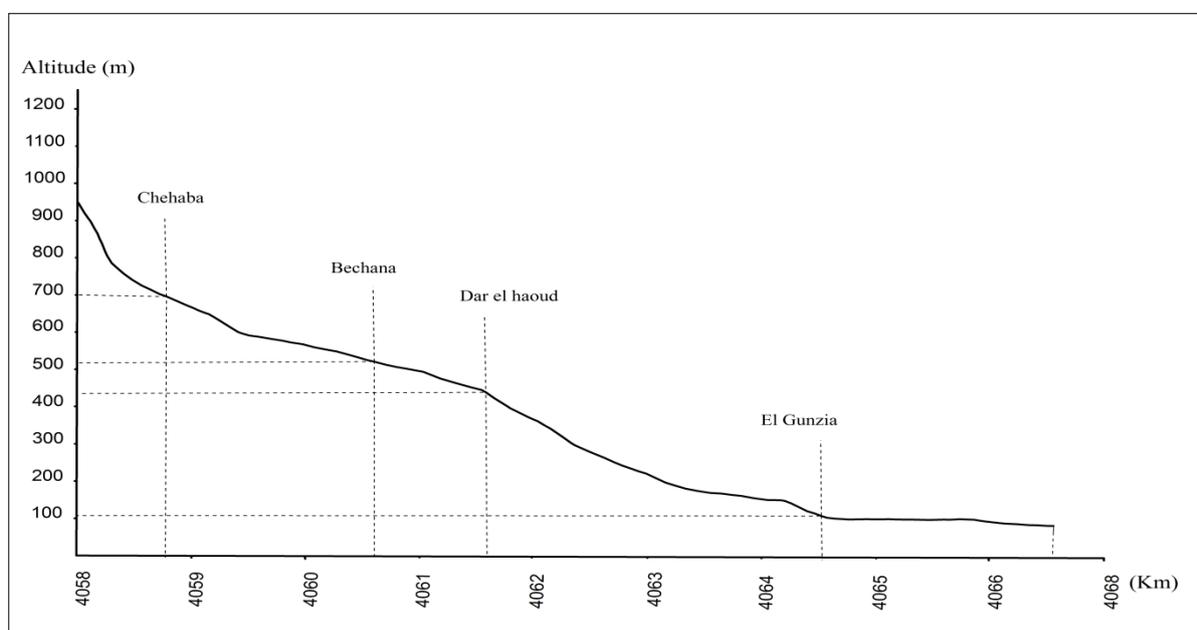


Figure 6. Bassin versant oued Lagreme : *Profil en long*

On remarque sur le tracé du profil que la valeur et le degré de la pente hydrographique varient plus ou moins, en diminuant vers l'aval du bassin.

Ces affluents de la rive gauche s'écoulent sur des pentes assez fortes des massifs montagneux du socle gneissique, ce qui accélère l'érosion dans cette zone. L'analyse du profil en long de l'oued Lagreme permet de caractériser les modifications de pente (forme concave, et convexe) ainsi que les zones de creusement et d'accumulation.

Ainsi on peut déduire trois divisions sur le profil en long de l'oued lagreme :

- Zone amont du bassin versant : cette zone s'étale entre l'altitude 600 et 1061 m.
- Zone intermédiaire : se trouvant entre l'altitude 200 et 600 m.
- Et la zone aval entre 80 et 200 m.

Dans la zone amont du bassin versant, l'oued Lagreme circule dans les formations du socle kabyle arène gneissique très altéré, et reçoit dans cette zone un volume impressionnant de matériaux (feldspath, sable et Mica).

Dans la zone intermédiaire, l'oued lagreme chemine dans les formations lithologiques molassiques imperméable olistostromique. On aval, il circule généralement dans les formations lithologiques marne bleues et marnes jaunes et reçoit dans cette zone une grande quantité de matériaux fins.

Dans sa thèse (Nemouchi, A .2002) rapporte « que le profil en long des oueds ou pente hydrographique est un élément déterminant de la vitesse de l'eau dans le chenal en général, et de la vitesse de propagation des crues en particulier ; plus la pente est forte plus la vitesse de l'eau augmente et plus l'impact des crues est destructeur ».

I.3.2.3. Les pentes

Les pentes représentent un facteur important qui favorise l'érosion hydrique. Elles entrent en action comme élément jouant un rôle majeur dans l'analyse morphodynamique et l'explication de certaines formes de l'érosion, telles les mouvements de masse.

Selon la carte des pentes (figure.7), le bassin versant de l'oued Lagreme est caractérisé par des classes de variant de 0 à plus de 35%.

La classe +35% (tableau.1) affecte essentiellement la formation lithologique gneissique (arène très altérée), les schistes gneissiques et la molasse, avec une superficie de l'ordre de 12.11 km² soit 30.61 % de la totalité du bassin versant.

Tableau 1. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classes des pentes*

Classes	Surfaces (Km²)	Surfaces (%)
0 à 3 %	2,34	5,90
3 à 12.5 %	8.04	20.31
12.5 à 25 %	11,00	27.80
25 à 35 %	6,08	15,37
> à 35 %	12,11	30,61
Total	39,57	100,00

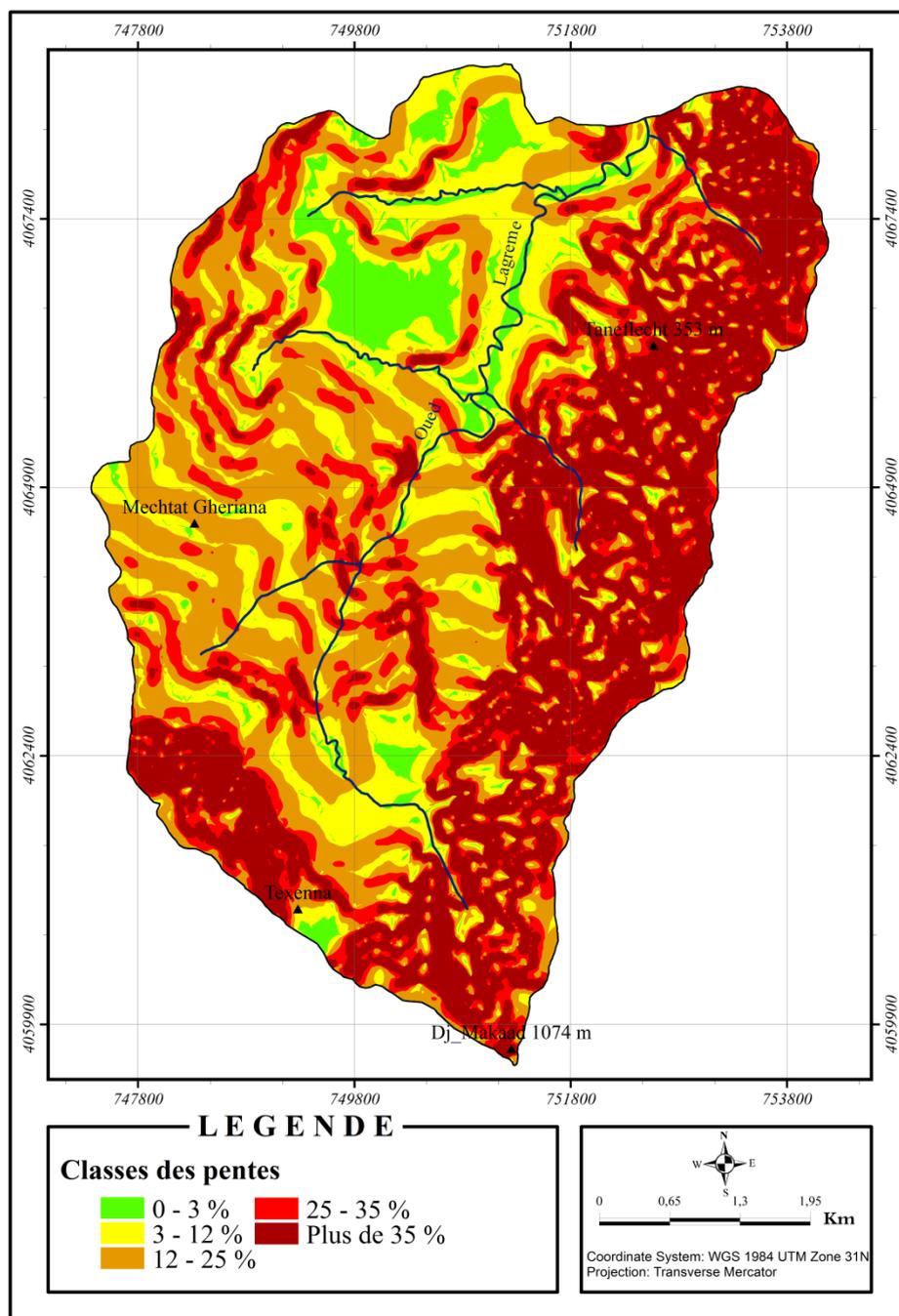


Figure 7. Bassin versant d'oued Lagreme : *Les pentes*

La classe (25-35%) affecte la formation lithologique gneissique (arène très altérée) et les formations lithologiques Olistostromiques (blocs des grès noyés dans une molasse marneuse) dont la superficie est de l'ordre de 6,08 km², soit 15.37 % de la totalité du bassin versant en question. La classe (12.5-25%) affecte généralement la rive gauche de l'oued de Lagreme (c'est-à-dire les formations lithologiques dites Olistostrome et l'arène gneissique occupant une superficie de l'ordre de 11.00 km², soit 27.80 % de la totalité du bassin versant.

La classe (3-12.5%) affecte particulièrement les formations lithologiques : molasse, marnes jaunes, et les marnes bleues avec une superficie de l'ordre de 8.04 km², soit 20.31 % de la totalité du bassin versant.

Finalement la classe (0-3%) affecte les formations lithologiques marneuses dans la partie avale du bassin versant avec une superficie de l'ordre de 2.34 km², soit 5.90 % de la totalité du bassin versant.

Dans la partie Est du bassin, les pentes sont très fortes dépassant les 35% et correspondent à la zone montagneuse constituée essentiellement des formations lithologiques du socle gneissique (arène) présentent une potentialité « érosion hydrique » importante (feldspath, sable et Mica).

I.3.2.4. Exposition des versants

Dans la zone d'étude, les versants exposés au nord (figure. 8) sont caractérisés par une pluviométrie importante, tandis ceux versants exposés au sud sont dominés par une insuffisance en ressources en eaux, c'est-à-dire plus secs.

Tableau 2. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classes d'exposition des versants*

Classes	Surfaces (Km²)	Surfaces (%)
0 à 45 °	8,662	21,89
45 à 90 °	6,51	16,46
90 à 135 °	3,85	9,73
135 à 180 °	1,76	4,45
180 à 225 °	1,84	4,64
225 à 270 °	3,993	10,09
270 à 315 °	5,775	14,59
315 à 360 °	7,18	18,15
Total	39,57	100,00

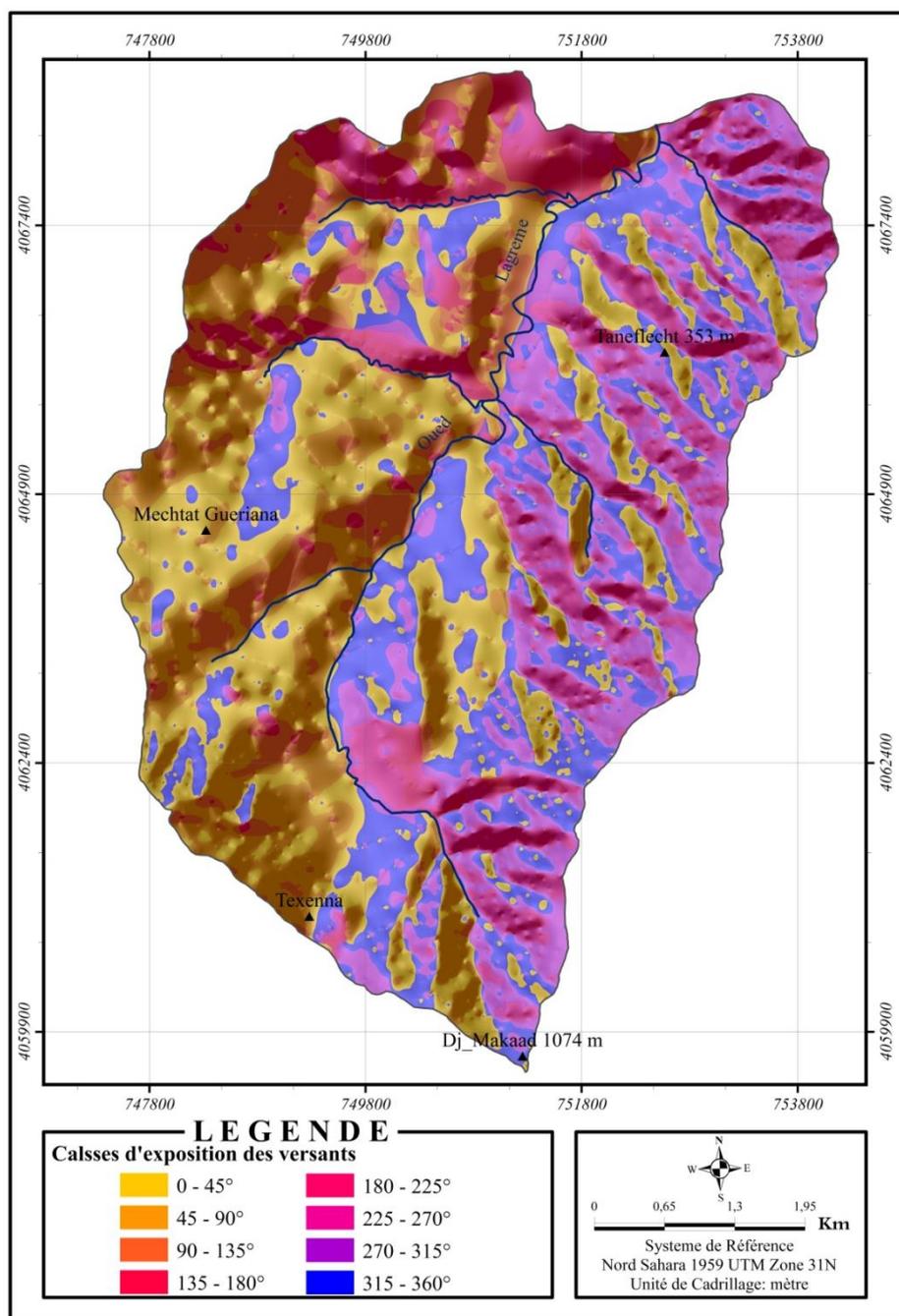


Figure 8. Bassin versant d'oued Lagreme : *Exposition des versants*

D'après le tableau (2) on remarque que :

La calsse d'exposition des versants direction Nord-est (0° à 90°) représente 31.35% de la totalité du bassin versant. Tandis que, la classe d'exposition des versants direction Nord-ouest (de 90° à 180°) figure 5.61km^2 , soit 14.18% de la totalité du bassin versant.

I.3.3. Couvert végétal

Dans une optique hydrologique, le couvert végétal d'un bassin versant agit sur trois processus : l'écoulement, l'infiltration, et l'érosion. Si le rôle de la végétation vis-à-vis du ruissellement et de l'infiltration est souvent opposé, il demeure décisif vis-à-vis de l'érosion hydrique. En particulier sur les terrains des versants mal protégés ou nus, source principale d'alimentation de la charge solide de cours d'eau (Mebarki, A. 2005).

Généralement les paramètres des reliefs notamment les altitudes et l'exposition des versants conditionnent les précipitations, tandis que la végétation d'un bassin versant influe largement sur le phénomène d'évapotranspiration et par la suite sur le bilan hydrique.

Le bassin versant de l'oued Lagreme se caractérise par des reliefs modérés, et un couvert végétal faible notamment la partie aval du bassin.



Photo 1. Bassin versant d'oued Lagreme : *Extension urbaine*

La végétation dans le bassin versant de l'oued Lagreme, est généralement dégradée (Photo1). Elle est composée pour l'essentiel d'espèces caractéristiques adaptées au climat méditerranéen, comme les pins d'Alep, le chêne vert, le chênes-lièges, des boussailles et arbres fruitiers.

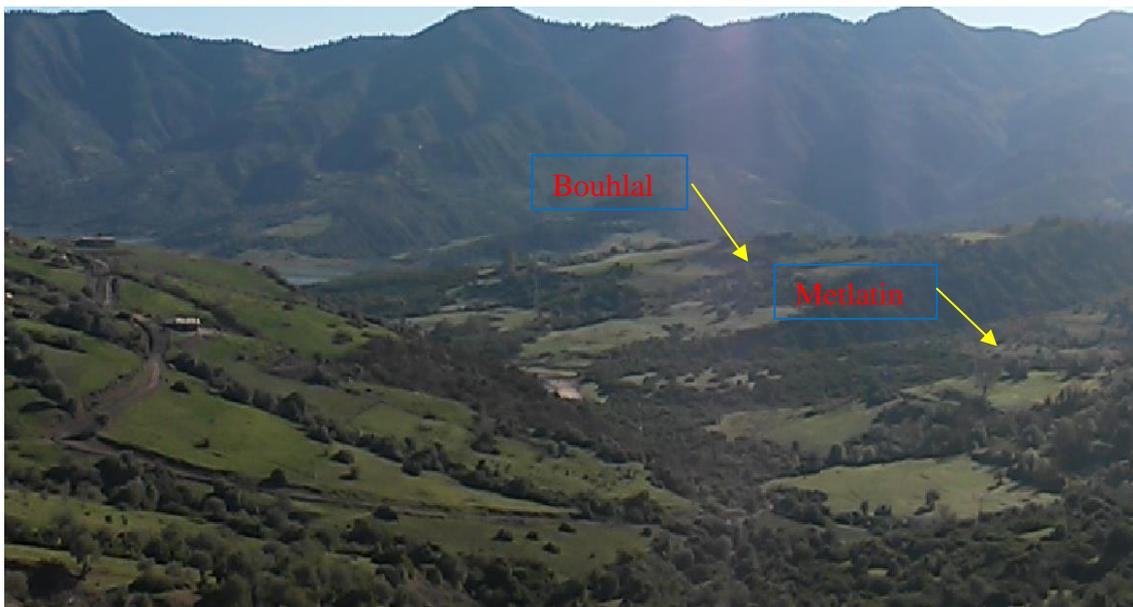


Photo 2. Bassin versant d'oued Lagreme : *Maquis discontinu et dégradé*

Généralement le couvert végétal très souvent détruit par l'homme pour ses besoins agricole notamment l'élevage et l'arboriculture fruitière. Les incendies et l'extension urbaine agissent dans le même sens (photo 2), notamment dans la partie nord et nord-ouest du bassin (Texenna et Gheriana).

I.4. Bassin versant d'Oued Kissir

I.4.1. Site et situation

Le bassin versant de l'oued Kissir englobe en partie les communes de Texenna, El Aouana, Emir Abdel kader, et Jijel. Il est limité à l'Est par le bassin de l'oued Mencha, à l'Ouest par le bassin de l'oued Bourchaid, et au Sud par le bassin versant de l'Oued Djen djen.

Il est compris entre :

- Les longitudes : 5.63797° et 5.74749° Est.
- Et la latitude : 36.63900° et 36.81407° Nord.

Sa superficie totale est de l'ordre de 106.83 Km^2 , avec un périmètre de l'ordre de 53.45 Km .

I.4.2. Relief

Le bassin versant de l'oued Kissir est caractérisé par une topographie accidentée (figure (9) et (10) dont les altitudes augmentent progressivement vers le sud, allant de 10 à 1524 mètres.

Sur le plan morphologie le terme relief caractérise la structure physique d'un bassin versant. Les reliefs peuvent être ordonnés en fonction du procédé dont ils sont modelés par les divers processus de l'érosion.

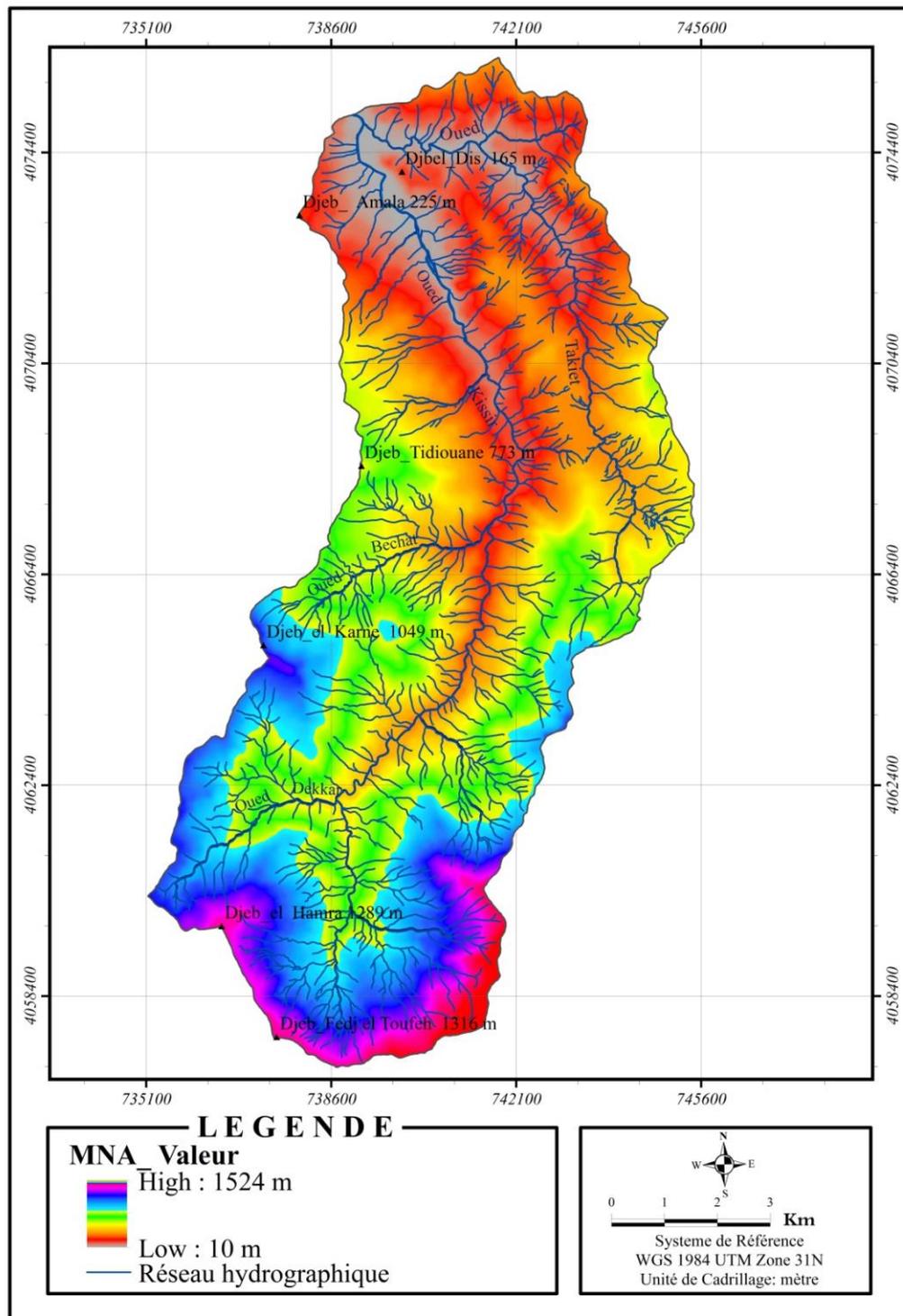


Figure 9. Bassin versant d'oued Kissir : *Model numérique d'altitude* (MNA)

L'examen des cartes topographiques, Jijel (1/25000 est) et Texenna 1/25000 (est) montre que : Le bassin versant de l'oued kissir montre une morphologie accidentée à fort relief. Il est cerné par les chainons suivants :

- Au sud par Djebel M'sid ech Cheta, et Djebel Fedj el Toufeh, avec 1316 m d'altitude, djebel Chria avec 1115 m d'altitude.
- Au Sud-ouest Djebel El Hamra avec 1289 m d'altitude.
- À l'Ouest par Djebel Karn avec 1076 m.
- Et à L'Est par Djebel Djebra (Mrabet Moussa) avec une altitude de l'ordre de 561 m.

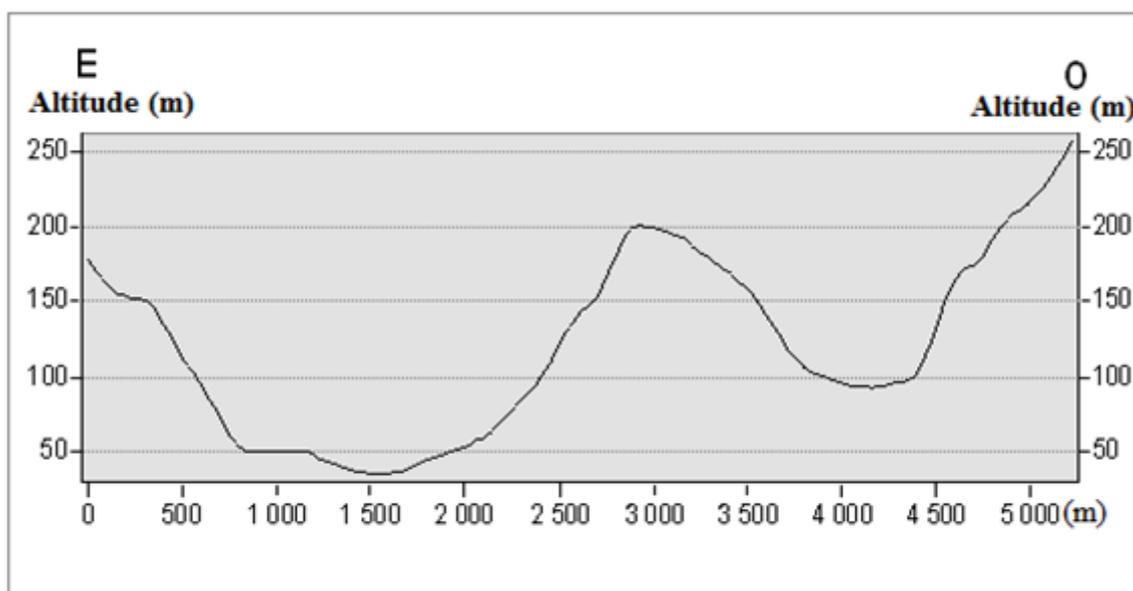


Figure 10. Bassin versant d'oued Kissir : *Coupe topographique* (Est-ouest)

La partie amont du bassin versant de l'oued Kissir est caractérisée par un substratum assez perméable (nappe maurétaniens grés), par contre la partie avale du bassin est caractérisées largement par un substratum assez imperméable (olistostrome et marne).

I.4.1.2. Profil en long de l'Oued Kissir

Le relief joue un rôle dans le conditionnement des facteurs climatiques par le biais des altitudes et de l'exposition des versants d'abord, et un rôle hydrologique par le biais de la pente topographique qui commande l'écoulement général (Nemouchi, A. 2002).

La pente hydrographique de l'oued Kissir (profil en long) figure 11, établie à partir de la carte topographique 1/25000 et modifiée sur l'image satellitaire de haute résolution, présente une

forme concave et uniforme d'environ 7.99%. Le profil de l'oued Kissir présente une pente assez faible par rapport à l'oued Lagreme.

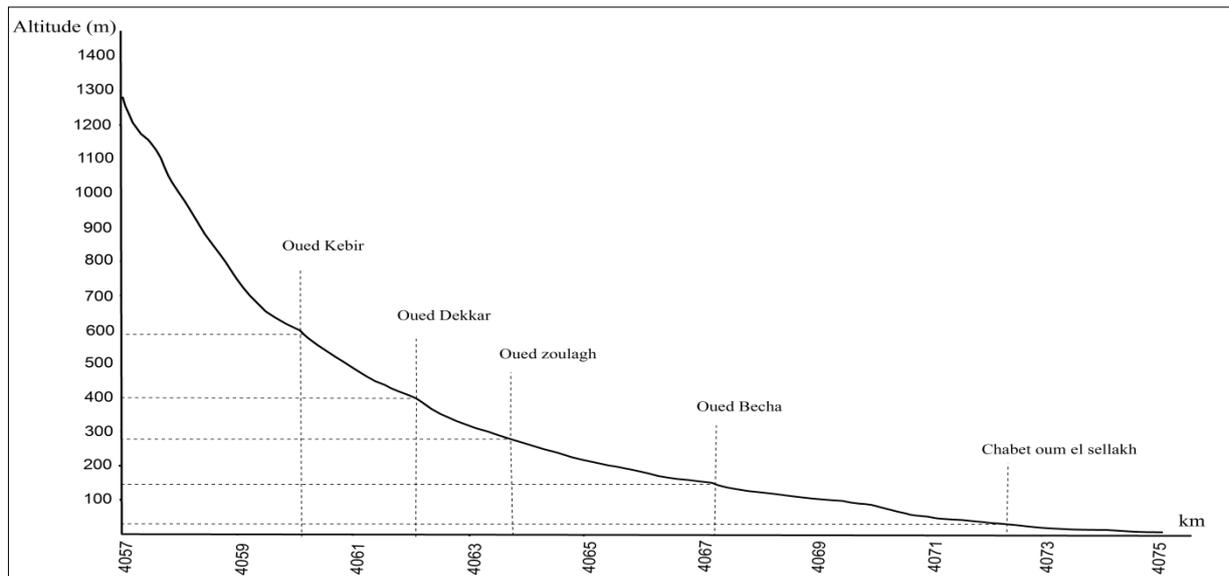


Figure 11. Oued Kissir : *Profil en long*

On remarque que le linéaire du profil en long de l'oued Kissir est plus long que celui de profil en long de l'oued Lagreme. Ce qui nous indique que la capacité de transport solide spécifique de l'oued Kissir est plus élevée que celle de son homologue de l'Est.

Ainsi, pour l'oued Kissir, on peut caractériser trois unités sur le profil en long :

- Zone amont : elle est située entre l'altitude 400 et 1524 m
- Zone intermédiaire : entre l'altitude 200 et 400 m.
- Zone aval : entre l'altitude 10 et 200 m.

La superposition sur ArcGis des cartes de lithologie, hypsométrie et du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued kissir a permis de déduire les observations suivantes :

- en amont du bassin versant, l'oued kissir s'écoule dans la formation lithologique de la nappe maurétannienne (grès durs), et reçoit dans cette zone une faible quantité de matériaux arrachés.
- dans la zone intermédiaire : l'oued Kissir s'écoule dans les formations lithologiques de la nappe maurétannienne (grès durs), et la molasse marneuse et reçoit dans cette zone une importante quantité de matériaux.
- En aval : l'oued kissir s'écoule dans une formation lithologique grés-micacée, molassique et alluvionnaire.

I.4.1.3. Les pentes

L'étude et l'analyse du contexte morphologique du bassin versant de l'oued Kissir, permettent de déterminer l'architecture et le cheminement du réseau hydrographique, ainsi que leurs impacts sur l'écoulement et l'érosion hydrique.

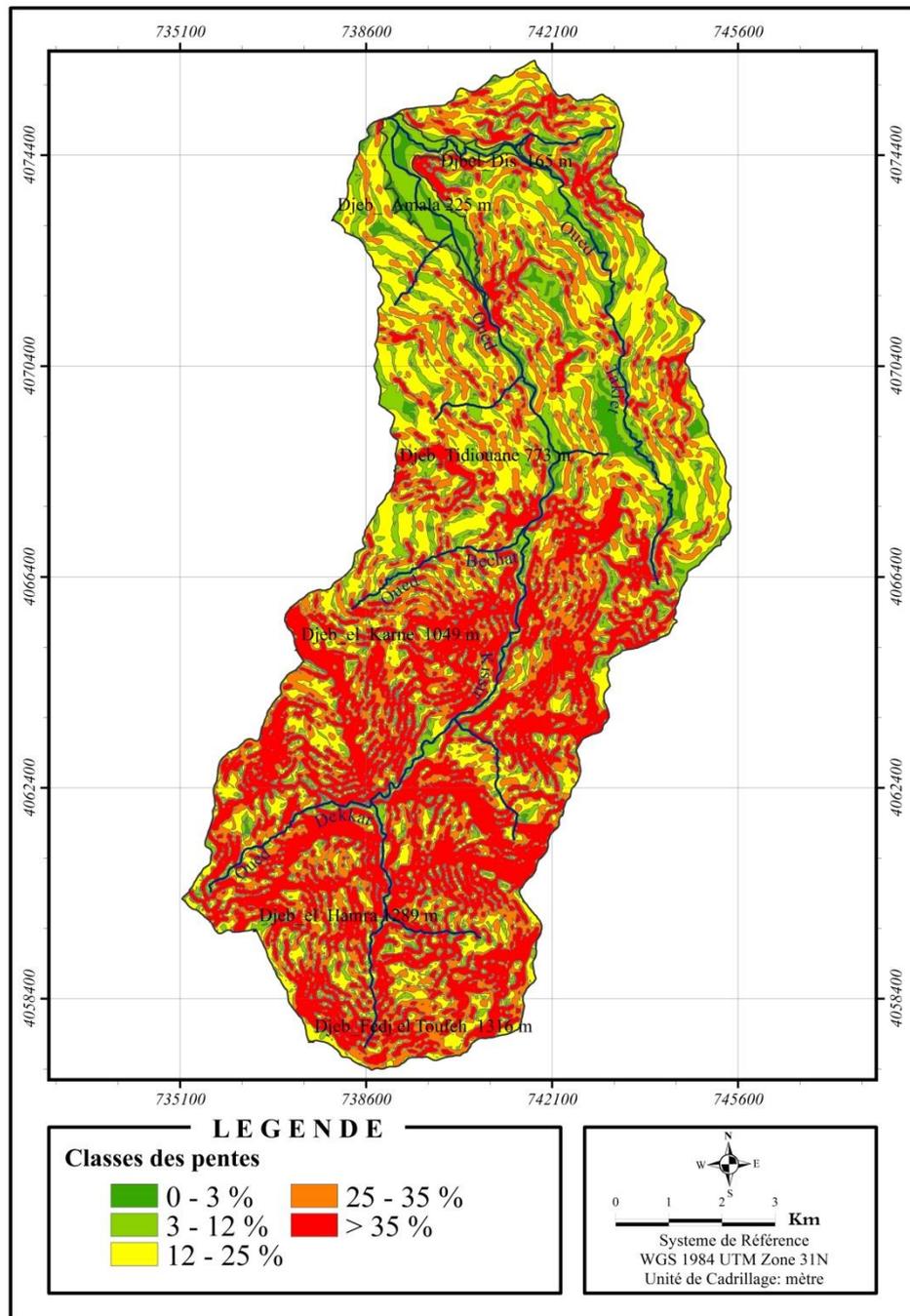


Figure 12. Bassin versant d'oued Kissir : *Les pentes*

Les pentes dans un bassin versant figure (12), précisent largement si les cours d'eau sont en stade érosif ou bien d'accumulation.

Tableau 3. Bassin versant d'oued Kissir : *Calsses des pentes*

Classes	Surfaces (Km²)	Surfaces (%)
0 à 3 %	3,23	3,02
3 à 12 %	14,96	14,01
12.5 à 25 %	29,00	27,14
25 à 35 %	24,75	23,16
> à 35 %	34,90	32,67
Total	106.83	100

La carte des pentes du bassin versant de l'oued Kissir figure (12) indique que :

- La classe des pentes +35% (tableau.3) affecte pour l'essentiel la formation lithologique de la nappe maurétannienne et la molasse, avec une superficie de l'ordre de 34.90 km², soit 32.67 % de la totalité du bassin versant
- La classe (25-35%) affecte généralement la formation lithologique nappe maurétannienne, les éboulis des pentes et les flyschs gréso-mécacé et dont la superficie est de l'ordre de 24.75 km² soit 23.16 % de la totalité du bassin versant
- La classe (12.5-25%) s'étale sur les formations lithologiques dites Olistostrome (des blocs de grès noyés dans une molasse marneuse), nappe maurétannienne, flysch gréso-mécacé, et les éboulis de pentes occupe une superficie de l'ordre de 29.00 km², soit 27.14% de la totalité du bassin versant.
- La classe (3-12.5%) : elle s'observe pour l'essentiel sur les terrains à substratum : molasse marneuse, nappe maurétannienne, alluvions, et les flyschs gréso-mécacé avec une superficie de l'ordre de 14.96 km² soit 14.01 % de la totalité du bassin versant
- Finalement la classe (0-3%) affecte les formations lithologiques : les molasses, la nappe maurétannienne, numidienne et les alluvions dans la partie avale du bassin versant avec 3.02 % de la totalité du bassin versant.

La structure des pentes du bassin versant de l'oued Kissir provienne d'un écoulement important, notamment dans la partie supérieure du bassin.

I.4.1.4. Exposition des versants

L'abondance ou la pénurie des ressources en eaux superficielles dans un bassin versant sont étroitement liées à un environnement global incluant la morphologie du bassin et les conditions climatiques de celui-ci.

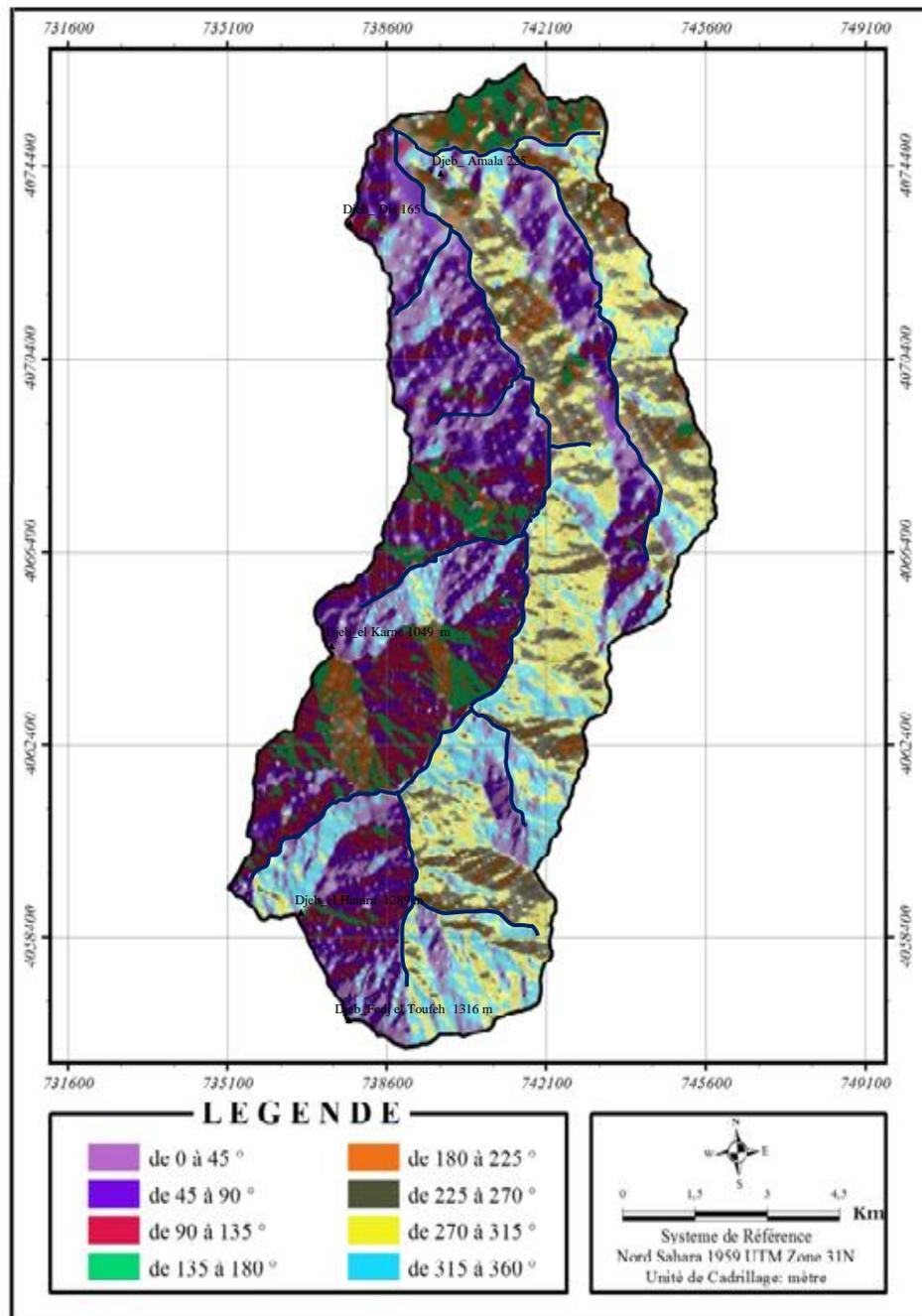


Figure 13. Bassin versant d'oued Kissir : *Exposition des versants*

L'orientation et l'exposition aux masses d'air et aux flux perturbés chargés d'eau de pluie sont aussi des facteurs déterminants. Outre l'exposition des versants aux flux perturbés, les effets

d'ubac et d'adret jouent également un rôle important dans l'aridité des sols et leur capacité d'emmagasiner longtemps l'humidité (El Mehdi, M.S, et al. 2006).

La carte d'exposition des versants (figure.13) en question a permis de distinguer huit classes ordonnées par ordre croissant de (0°– 45° à 315°– 360°).

Tableau 4. Bassin versant de l'oued Kissir : *Classes d'exposition des versants*

Classes	Surfaces (Km ²)	Surfaces (%)
0 à 45°	16,26	15,22
45 à 90°	18,49	17,31
90 à 135°	12,60	11,79
135 à 180°	7,28	6,81
180 à 225°	7,96	7,45
225 à 270°	13,14	12,30
270 à 315°	16,54	15,48
315 à 360°	14,57	13,64
Total	106.83	100

L'examen du (tableau 4) permet de déduire les observations suivantes :

La classe d'exposition des versants de direction Nord-Est (0 à 90°) représente 32.53% de la totalité du bassin versant. Tandis que, la classe d'exposition des versants de direction Nord-ouest (de 90° à 180°) s'étale sur une superficie de 19.88 km², soit 18.60% de la totalité du bassin versant.

L'exposition au vent et au rayonnement solaire modifie l'influence de l'altitude : elle accentue la variabilité spatiale du milieu via des différences de précipitations et d'évapotranspiration (Chaponnier. A, 2005).

I.4.3. Couvert végétal

La végétation, est un facteur important qui favorise l'infiltration et par la suite diminue le volume ruisselé et les pertes des sols. Le couvert végétal protège le sol de l'impact des gouttes de pluie, tendent à ralentir la vitesse de la lame ruissellée et permet une meilleure infiltration (Bouanani, A et al. 1999).

Selon Dubreuil et Guiscafre (1974), la végétation intervient sous son aspect de couverture du sol, plus ou moins modifiée sous l'influence de l'homme (Laouamri.A.2013).

D'après (Bouanar, R. 2014), les forêts sont des formations caractérisées par la dominance d'une strate arborescente dont la hauteur est de sept mètres au minimum, avec une densité des arbres d'au moins 100 individus à l'hectare :

- La forêt est dite « dense » lorsque les frondaisons (feuillages) se touchent et le recouvrement total de la strate arborée est supérieur à 75%.
- La forêt est dite « claire » lorsque la répartition des arbres est assez régulière mais les couronnes ne se touchent pas, le recouvrement global arborescent étant compris entre 50 et 75%.



Photo 3. Bassin versant d'oued Kissir : *Arboriculture* (olivier)

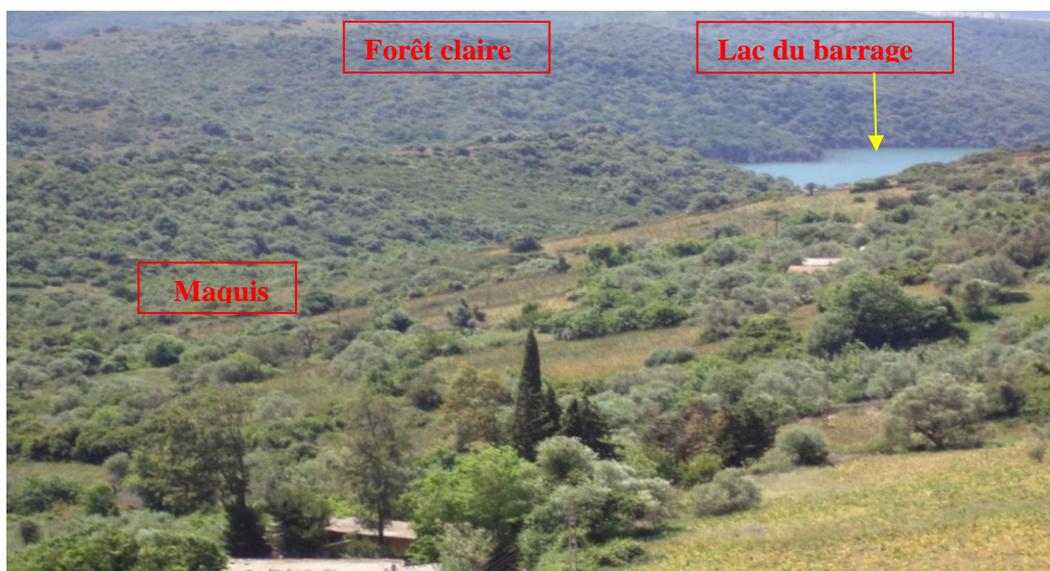


Photo 4. Bassin versant d'oued Kissir : *Forêt claire et maquis*

La répartition du couvert végétal à travers le bassin versant de l'oued Kissir, offre une couverture faible particulièrement en aval du bassin planche 3 et 4. Cette zone mal protégée expose une forte vulnérabilité érosion notamment en périodes des fortes précipitations et des averses. Par contre,

les surfaces bien couvertes marquées au sud du bassin (forêt de Guerrouche), offrent une bonne couverture végétale pour les sols, ce qui rend la zone moins exposée aux risques d'érosion.



Photo 5. Bassin versant d'oued kissir : *Maquis clair et cultures*



Photo 6. Bassin versant d'oued kissir : *Terre nue et cultures*

Au niveau du Parc National de Taza s'y trouve des peuplements purs et mixtes. Les principales essences naturelles dominantes, sont le chêne zène couvrant 1287 ha soit 34.60% de l'aire du Parc et 40.26% de l'aire forestière, le chêne liège (39.06%) et le chêne afares (5.06%). Généralement cette végétation est caractérisée par un sousbois assez développé et dense par endroits.



Photo 7. Bassin versant d'oued kissir : *Pin d'Alèp*

Parmi les espaces forestiers observés dans la zone étudiée, le pin d'Alep (Photo 7), arbre commun dans la zone méditerranéenne, peuple les massifs allant jusqu'à 800 mètre d'altitude.

A basse altitude on trouve un sous-bois planche (5) et (6) à base de myrte, de bruyère arborescente de Pistachia, lentisque et phyllère, alors qu'en altitude, il est plutôt dominé par le cytise, les ronces et l'aubépine (Bounar, R. 2014).

Conclusion

La diversité des caractéristiques morphologiques (reliefs, pentes), à l'échelle des bassins versants met en évidence des variations des intensités de ruissellement auxquelles est associé un degré d'érosion correspondant.

Concernant le bassin versant de l'oued Lagreme, il fait partie des unités morphologiques des massifs de l'Atlas Tellien. Sa topographie est accidentée augmentant progressivement du nord vers le sud, atteignant 1061 m au sud est de Texenna.

Plus à l'Ouest, le bassin versant de l'oued Kissir présente une topographie accidentée et contrastée, variant progressivement vers le sud, l'altitude augmente de 10 m jusqu'à 1524 m d'altitude (Dj_M'cid Ehta).

Le bassin versant de l'oued Lagreme se caractérise par des reliefs modérés, et un couvert végétal faible notamment la partie avale du bassin.

Les pentes dans les bassins versants de l'oued Lagreme et kissir, représentent un facteur très important qui favorise l'érosion hydrique et jouent un rôle majeur dans l'analyse morphodynamique et l'explication de certaines formes de l'érosion ainsi que les mouvements de masse.

Les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir sont situés sur le bord nord de la chaîne montagneuse numidique de l'Atlas Tellien et par conséquent subissent les flux nord-est et nord-ouest.

Chapitre II :

Caractéristique géologique et lithologique

Chapitre II. Caractérisation géologique et lithologique

Introduction

Le massif de la petite Kabylie dont fait partie les bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir occupe un emplacement septentrional dans le domaine interne de la chaîne alpine (Wildi, 1983). Il est borné à l'Ouest par la chaîne des Babors, et à l'Est par le massif de l'Edough, avec une extension Nord sud sur plus de 50 Km.

II.1. Contexte géologique régional

Les structures géologiques des bassins versants objets d'étude font partie des formations de domaine interne (domaine Kabyle) de l'orogène Maghrébin dont le massif de la petite Kabylie représente un de ses segments (Durand Delga, M. 1969).

On distingue de l'intérieur vers l'extérieur de cette chaîne 03 domaines

- le domaine Kabyle au nord.
- Le domaine des flyschs
- Le domaine tellien et de l'avant pays au sud

II.1.1. Les formations du domaine Kabyle (domaine interne)

Elles comportent essentiellement des terrains cristallophylliens du socle kabyle, et sa couverture sédimentaire (Durand Delga, M. 1955, et 1969).

a- Le socle Kabyle

Il comprend deux grands ensembles qui sont de bas en haut :

- Ensemble inférieur Gneissique d'âge précambrien.
- Ensemble supérieur : phylladique d'âge paléozoïque inférieur.

En Petite Kabylie les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont largement charriées vers le sud sur les formations de type flysch et les formations tellien (Bouillin, J.P.1977).

b- La couverture sédimentaire.

❖ **Dorsale kabyle** : elle est respectivement mentionnée « chaîne liasique » calcaire et enfin « dorsale Kabyle », Durand Delga, M. 1969.

Les séries qu'elle présente permettent de la subdiviser en trois sous domaines (Raoult, 1974), qui sont du Nord au Sud :

- dorsale interne
- dorsale médiane

- la dorsale externe.

Dans notre zone d'étude la dorsale kabyle est absente. En position structurale similaire on rencontre une formation volcano-sédimentaire complexe dénommée « CVS », d'âge présumé jurassique pour certains auteurs (Durand Delaga, M. 1969 et Bouillin, J, P.1970 et Djellit, H. 1987). Cette unité est chevauchée par le socle Kabyle et chevauche elle-même le domaine des flysch (figure 15).

❖ Les formations de l'Oligo-Miocène-kabyle et les olistostromes

- **OMK= (Oligo-Miocène-Kabyle)** il forme la couverture sédimentaire transgressive du socle Kabyle (Raoult, J, F.1974 et Bouillin, J, P.1977).

Il est constitué par des formations détritiques comportent (3) terme (Bouillin, J, P. 1977) :

- Un terme de base, formé : de conglomérat reposant en discordance sur le socle Kabyle.
 - Un terme médiane : comportant des grès micacés à débris de socle associé à des pelites micacées.
 - Un terme sommital formé de silexites.
- **l'Olistostrome** : Ces formations ont été décrites pour la 1ère fois en Algérie par Durand Delaga 1955 (région d'Alger), puis par Raoult, J,F et Bouillin,J,P 1971 en Petite Kabylie. Se sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flysch Maurétanien, massylien, grés-mécacé, numidien et lambeaux de « tellien » reposant sur les termes OMK. Elles sont de tailles métriques à plurikilométriques. L'âge de ces formations est Aquitanien à Burdigalien inférieur probable pour (Bouillin, J, P.1977) et Aquitanien à Serravallien pour Djellit, H. 1987).

II.1.2. Le domaine des flyschs

Le domaine des flysch en Algérie occupe un emplacement intermédiaire entre les zones internes au Nord de la chaîne des Maghribides et les zones externes au Sud de celle-ci. Dans ce domaine, se sont accumulés plusieurs types de faciès flysch selon les zones et les périodes de dépôts. Parmi ces dépôts on distingue :

- Les flysch Maurétanien (Thitonique- Neocomien à Eocène)
- les flysch Massylien (Albo-Aptien à Eocène inf)
- Les flysch numidien (Aquitano-Burdigalien)

Remarque : un autre type de flysch grés-mécacé (Priabono-Oligocène) constitue la couverture commune du Maurétanien proximale et de la chaîne calcaire (Raoult, J, F. 1969).

II.1.3. Le domaine externe

a- Les formations telliennes : la formation du domaine tellien ressemble aux bandes situées sur la paléomarge Africaine, à l'aval des zones internes qui le chevauchent. (Djellit .H.1987).

-Structuralement il est constitué par un empilement de (3) trois grandes nappes à vergence sud qui sont du Nord au Sud :

- Les nappes épi-telliennes.
- Les nappes méso-telliennes.
- Les nappes infra-telliennes.

b- Les formations de l'avant pays : elles sont représentées par des calcaires et des marnes. Ce domaine comporte l'avant pays allochtone constitué d'un empilement de nappes péliculaires à vergence sud et l'avant pays autochtone (Vila, J, M. 1980).

II.1.4. Les formations post nappes

Dans le bassin néogène de Jijel (figure.14), le comblement de ce dernier est intervenu durant le miocène moyen supérieur selon les auteurs par des marnes gris bleutées à miches calcaires par fois métriques. Ces dépôts sont transgressifs sur les termes inférieurs de l'olistostrome comme ceux de l'OMK. En certains endroits (Dj-Sidi Ali, Emir Abdelkader), les dépôts post nappes transgressent directement le socle kabyle. Le cycle post nappe se termine par des dépôts continentaux représentés par conglomérats grossiers polygénique formant les terrasses d'anciens cours d'eaux.

II.1.5. Les formations quaternaires

Elles sont représentées pour l'essentiel par :

- les alluvions : constituent des terrasses anciennes et actuelles des vallées.
- Les colluvions : composées d'éboulis, et de brèche non consolidées.
- Les dunes anciennes limoneuses et récentes généralement cotières.

II.2. Caractéristique lithologique

II.2.1. Propriété lithologique du bassin versant de l'oued Lagreme

D'après les travaux de Durand Delga, M.1955, et Djellit, H.1987 dans la région de Texenna, les différents termes lithologiques de cette région et leur dispositif structural peuvent être résumé comme suit :

Du sud vers le nord on peut distinguer la succession suivante (figure 15) :

- Les formations du complexe volcano-sédimentaire de Texenna.
- Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle.
- Les formations de type flysch dissocié (olistostrome).
- Les formations post nappes marneuses.
- Les formations quaternaires.

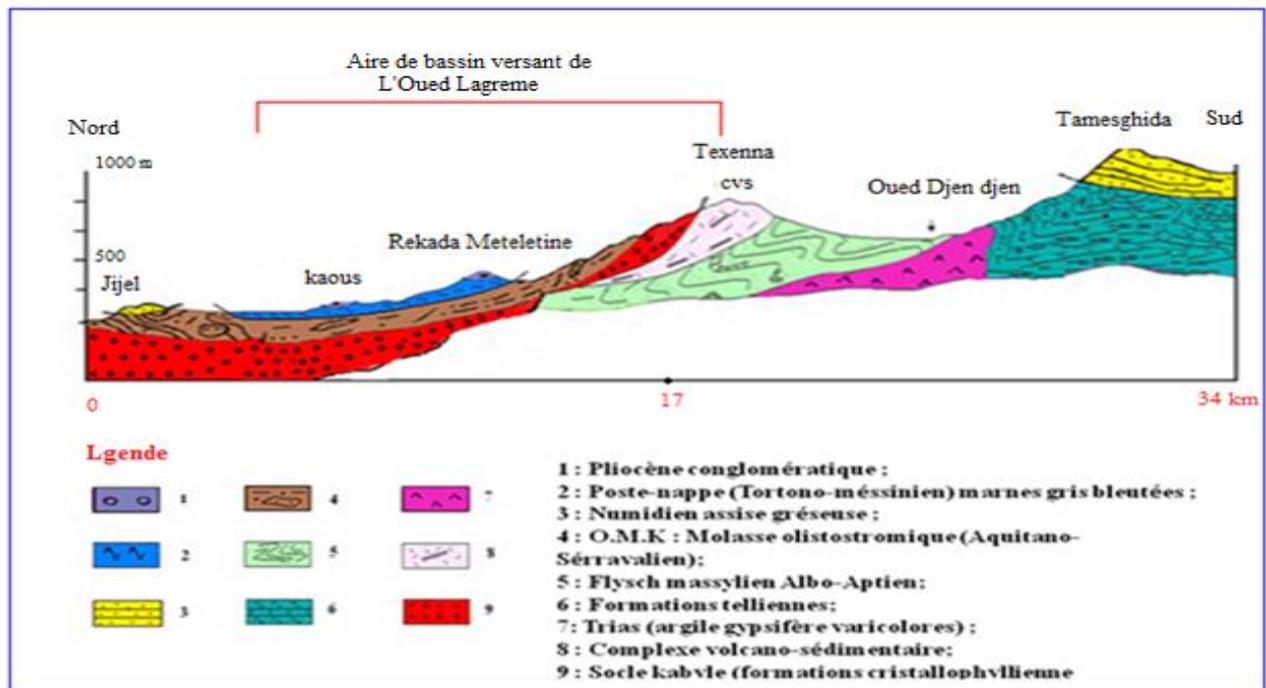


Figure 14. Petite Kabyle Occidentale : *Coupe géologique N-S*

(Rouikha, Y. 2008)

Selon la carte lithologique effectuée dans la zone d'étude figure 15, la structure lithologique du bassin versant de l'oued Lagreme est représentée essentiellement par les formations ci-dessous :

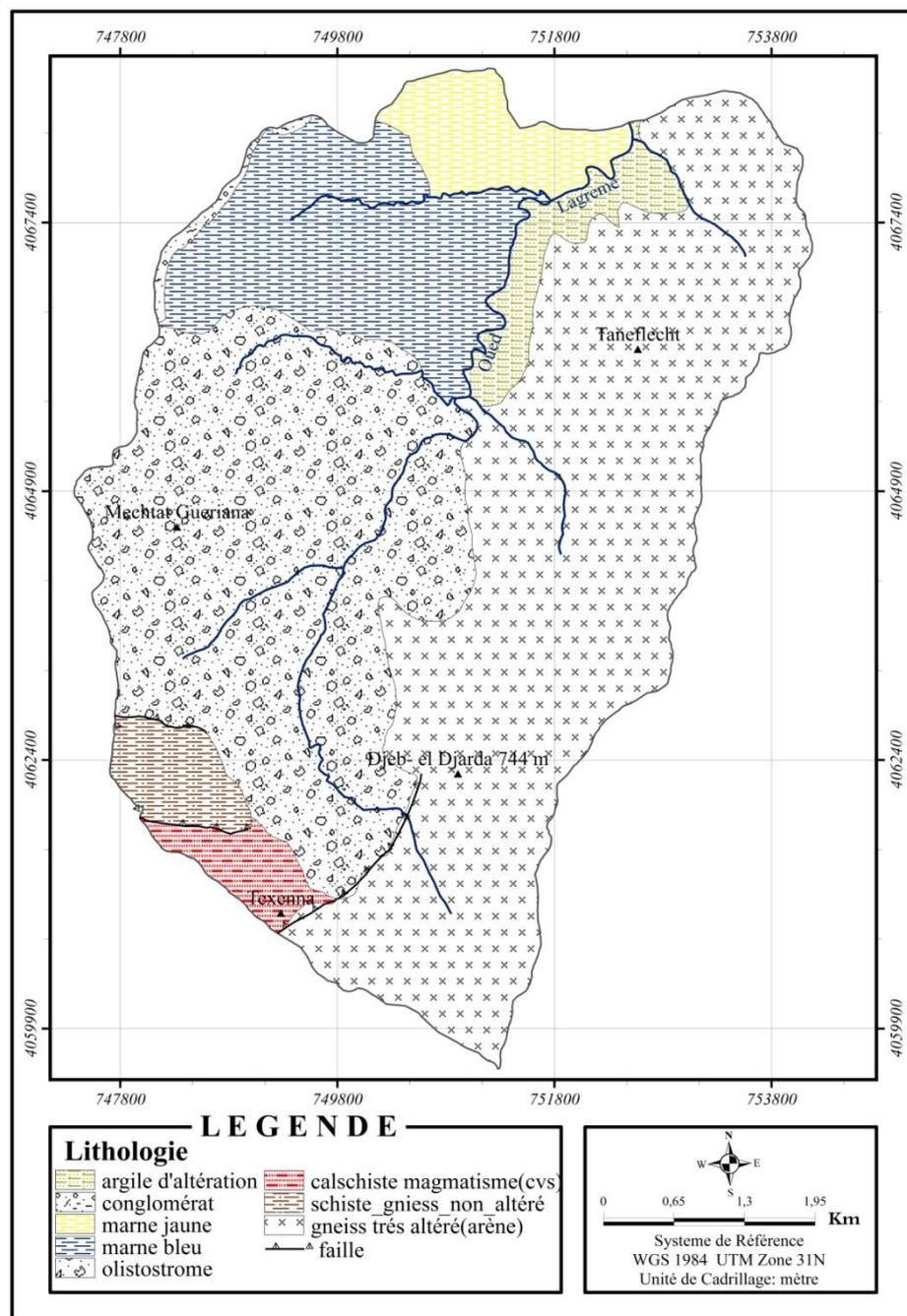


Figure 15. Bassin versant d'oued Lagreme : *Carte lithologique*

(Durand Delga, M. 1955, modifié)

❖ Les formations quaternaires

Les formations quaternaires dans l'aire d'étude sont représentées par :

- des alluvions (des terrasses alluviales)
- et colluvions (des éboulis, et des brèches non consolidées).

- Les argiles d'altération : se sont des argiles arénitisées localisées sur la rive droite de l'oued Lagreme.

❖ **Les formations de bassin néogène**

Ce sont des formations meubles figure 16, caractérisées par des dépôts à dominance marneuse à la base et conglomératiques comportant des blocs anguleux, de cailloux, de galets, des graviers, et des sables dans une matrice argileuse vers le sommet d'une épaisseur d'environ 50 m (photo 8).

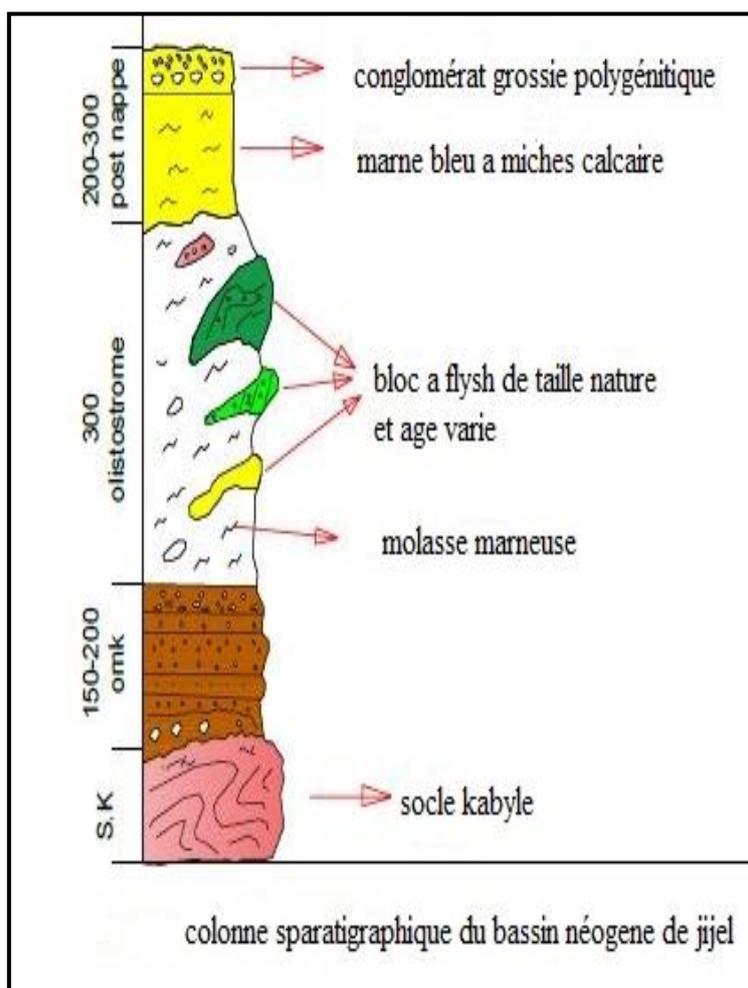


Figure 16. Bassin néogène de Jijel : *Log stratigraphique*

D'après Djellit, H.1987, le pliocène ainsi que le miocène qu'il surmonte sont affectées tardivement par des failles de directions NS-SW. (Cuvette de Beni Siar) et NEE - SWW dans la région de Rekkada Meteletine.

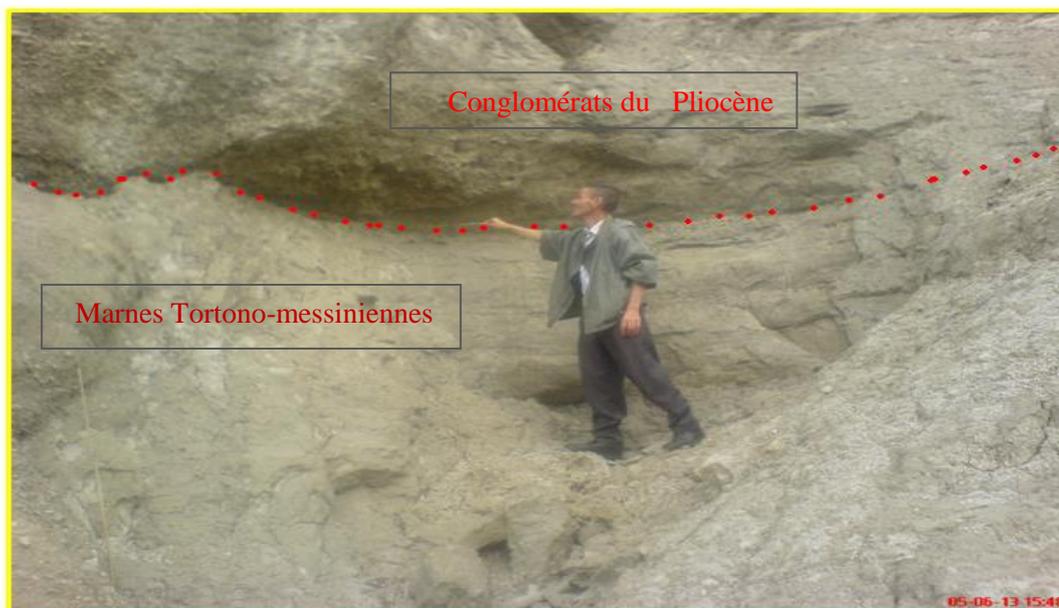


Photo 8. Bassin versant d'oued Lagreme : *Vue de la superposition des conglomérats du Pliocène et des marnes Miocène.*

❖ L'Olistostrome

L'olistostrome photo 9 et 10 est constitué de formations tectono-sédimentaires à débris de flysch maurétanien et massylien reposant sur les formations de l'oligo-miocène Kabyle (bloc de flysch noyés dans une molasse marneuse, marne).

Ces formations affleurent dans la région sud-ouest de la retenue du barrage de Lagreme.

Se sont des formations d'âge Aquitainien à Burdigalien inférieur probable (Raoult, J, F. 1971, Bouillin, J, P et al, 1973).



Photo 9. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Illustrant la molasse olistostromique*

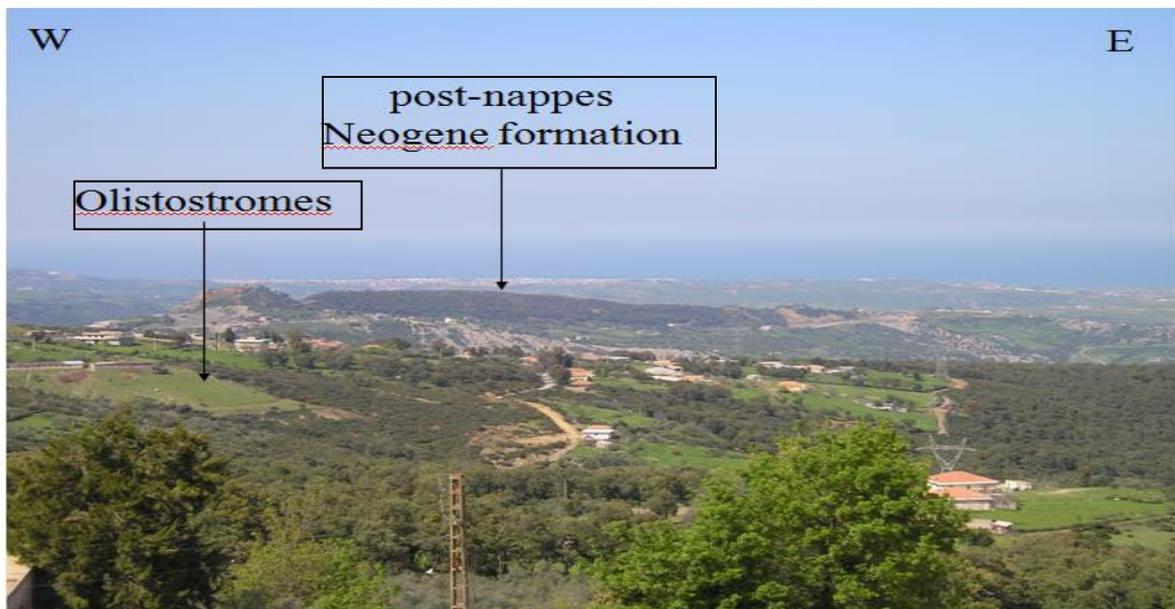


Photo 10. Bassin versant d'oued Lagreme : *Illustrant la molasse olistostromique*
(d'après Djellit, H)

- ❖ **L'OMK** : ce sont des dépôts détritiques gréseux, micacés par fois grossiers à microgonglomériques remaniant des éléments de socle sur lequel ils transgressent. d'âge oligocène sup-à aquitainien (Djellit, H. 1987).

❖ **Le socle Kabyle**

Il est constitué de deux séries métamorphisées : une série supérieure phylladique représentées par des schistes et phyllades avec des calcaires au sommet datant de cambro-ordovicien à silurien. Une série inférieure gnessique admettant des passages de marbres à grenats et des porphyroïdes (Durand Delga, M. 1955). Il délimite l'assiette du bassin vers l'Est et le Sud.

❖ **Les formations de complexe volcano-sédimentaire (cvs)**

D'après Bouillin, J, P.1979, le complexe volcano-sédimentaire de Texenna représente de bas en haut les formations suivantes : Un empilement de roches volcaniques à texture variables avec une épaisseur métrique feuillée et s'organisent en niveaux parallèle entre eux.

• **au sommet :**

- Une série volcano-sédimentaire (50 m) d'épaisseur contenant des niveaux quartzo-pelitiques et des basaltes passants à des dolerites, des parasinites et enfin des gabbros-dioritiques à amphiboles brunes.
- Une alternance de calcaire centimétrique à décimétrique (calschistes) (Djellit, H. 1987).

❖ **Arène (Gneiss et schistes altérés)**

Les terriens sus-cités sont fortement altérés donnant des résidus détritiques très meubles photo 11 et 12, formé de grain de sable grossier, résultant de la décomposition de la roche mère Gneiss (roche génitrice).



Photo 11. Bassin versant d'oued Lagreme : *illustrant le phénomène d'arénitisation* (décomposition de la roche mère Gneiss)

Pour le gneiss : est une roche métamorphique contenant du quartz, du mica, des feldspaths.

L'altération des roches gneissique dépend en grande partie de la présence d'eau. L'arène est un sable grossier formant un recouvrement sédimentaire meuble. Les gneiss riche en quartz, mica, et feldspath. L'arénitisation correspond à la formation d'une arène par désagrégation du feldspath et d'altération des micas au contact permanent avec l'eau.

Cette arénitisation peut affectées les niveaux profond de la roche et son action est très active surtout dans les zones caractérisées par un climat tempéré.

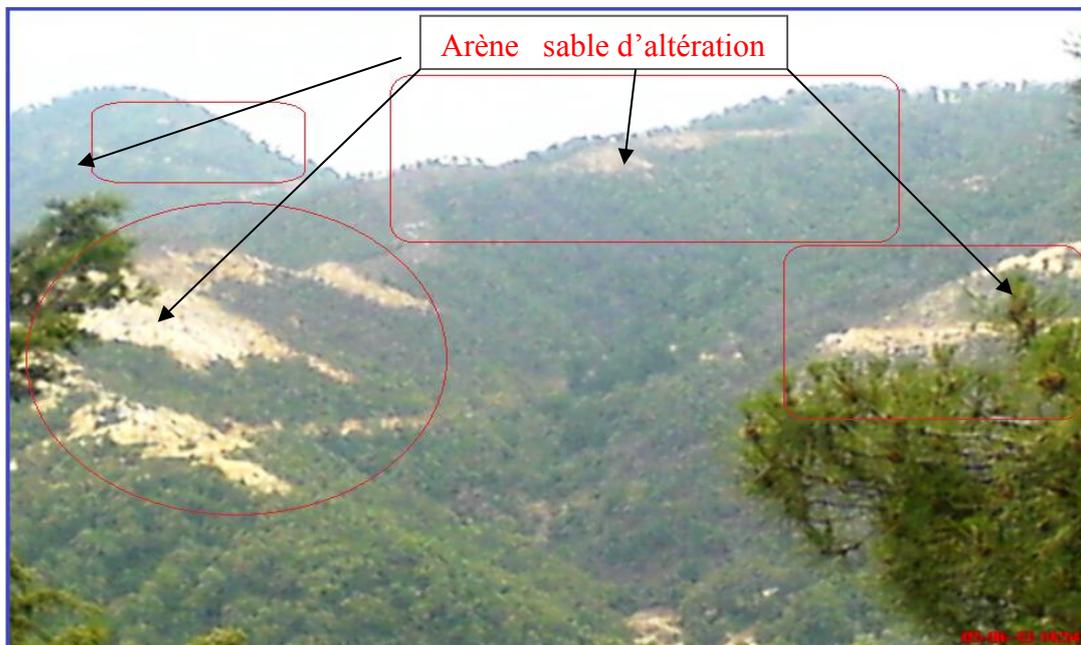


Photo 12. Bassin versant d'oued Lagreme : *Illustrant L'arène gneissique*

Le processus et facteur d'érosion dans ce cas est lié principalement aux actions chimiques de l'eau qui s'infiltré à travers les fissures et les diaclases. L'arène résultante qui représente la majorité des formations lithologique du bassin versant de l'oued Lagreme est issue de ce processus d'altération.

II.2.2. Propriétés lithologiques du bassin versant de L'Oued Kissir

D'après les travaux de (Djellit, H.1987) ainsi que nos constatations sur terrain, le bassin versant de l'oued Kissir renferme les molassiques sur la rive Est et les formations de types flysch mauretaniens sur la rive Ouest (figure 17 et 18).

A- Les formations affleurants sur la rive droite (Est)

Elles sont totalement représentées par des unités tectono-sédimentaires de nature, de taille et d'âge variés noyés dans une matrice marneuse micacée admettant des passées gréseuses molassique (Photo15). Ces unités sont issues du démantèlement de la chaîne tellienne en formation qui a glissé dans le bassin sédimentaire durant le miocène inf- à moyen (d'après Djellit, H. 1987). On y trouve les faciès suivants :

❖ **Les flyschs** : Trois types des flyschs peuvent être distingués : (Lahondere, J, C. 1987).

- Les flyschs mauretaniens (nappe de Guerrouch, bassin versant de l'Oued Kissir).
 - Les flyschs massyliens : schisteux, grésopélitique.
 - Le flysch grésomiacé
 - Le flysch numidien
-
- **Le flysch Mauretaniens** : le flysch mauritanien est représenté par des lambeaux de préflysch calcaire dilacérés et des marnes gris à verdâtres. Des blocs plurimétriques de grés verdâtre sont noyés dans la molasse (Albien moyen).
 - **Les unités à faciès flysch massilien** sont représentés par les termes schisto-quartzitique et pélitique de l'albo-aptien. Quelques blocs épars de quartzites olivâtres jonchent sur la rive droite du bassin.
 - **Les unités à faciès grésomiacés** : largement abondante dans le bassin et constituant les reliefs de Bouyouder et Sid Said (photo.13) et représentés par des alternances argilo-gréseuses décimétriques à centimétriques micacées de couleurs brun tabac du Priabon-oligocène (Bouillin, J, P.1977).

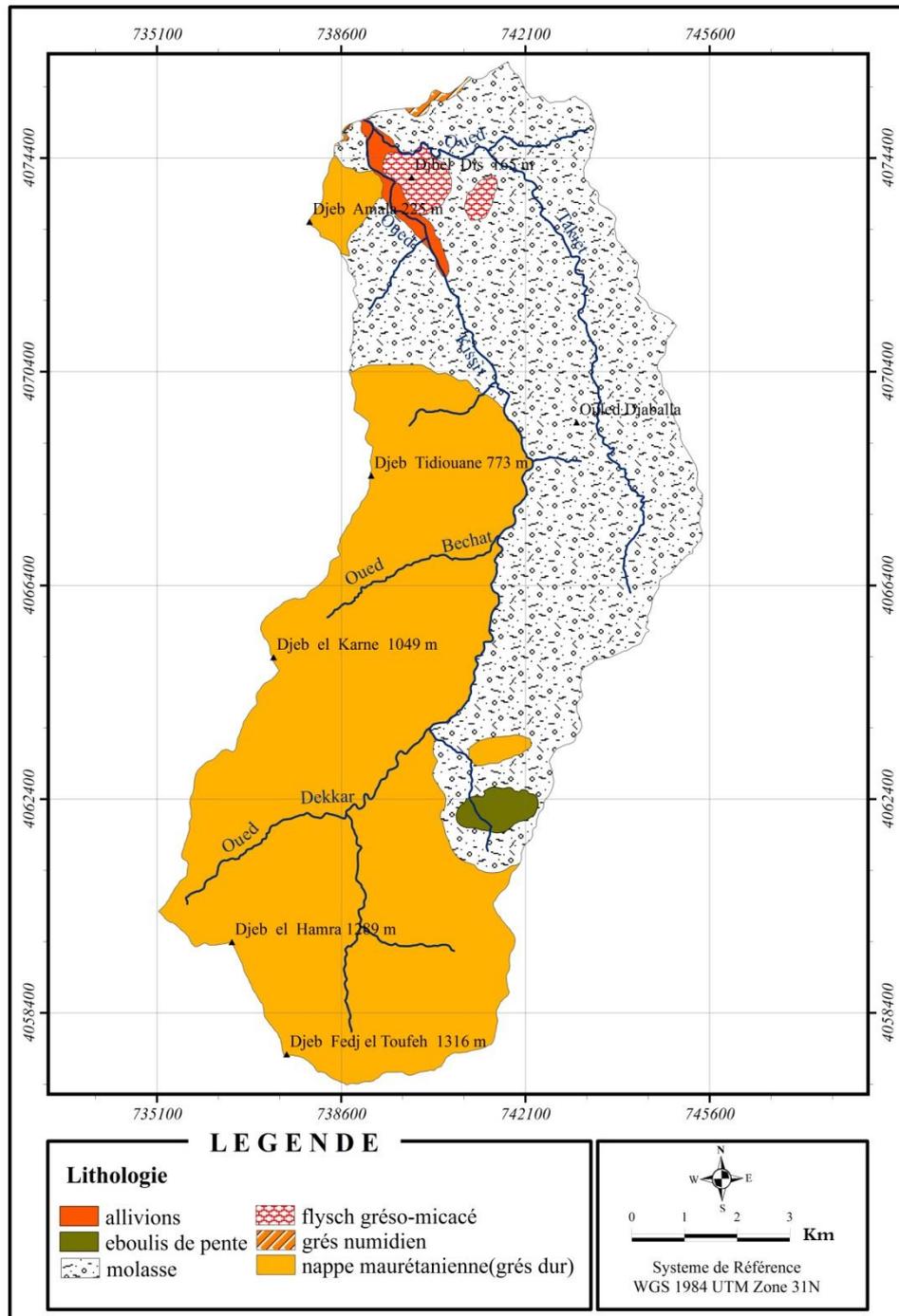


Figure 17. Bassin versant d'oued Kissir : **Lithologie** (Durand Dulga 1955, Djellit, H. 1987, modifié).

- **Le flysch numidien** : il affleure uniquement à Dj-Mazghitane (photo.14) dont la terminaison nord-ouest constitue la zone aval du bassin dans laquelle on trouve des bancs métriques à plurimétriques de grés blancs fortement diaclasés et des argiles grisâtres dites sous-numidiennes.

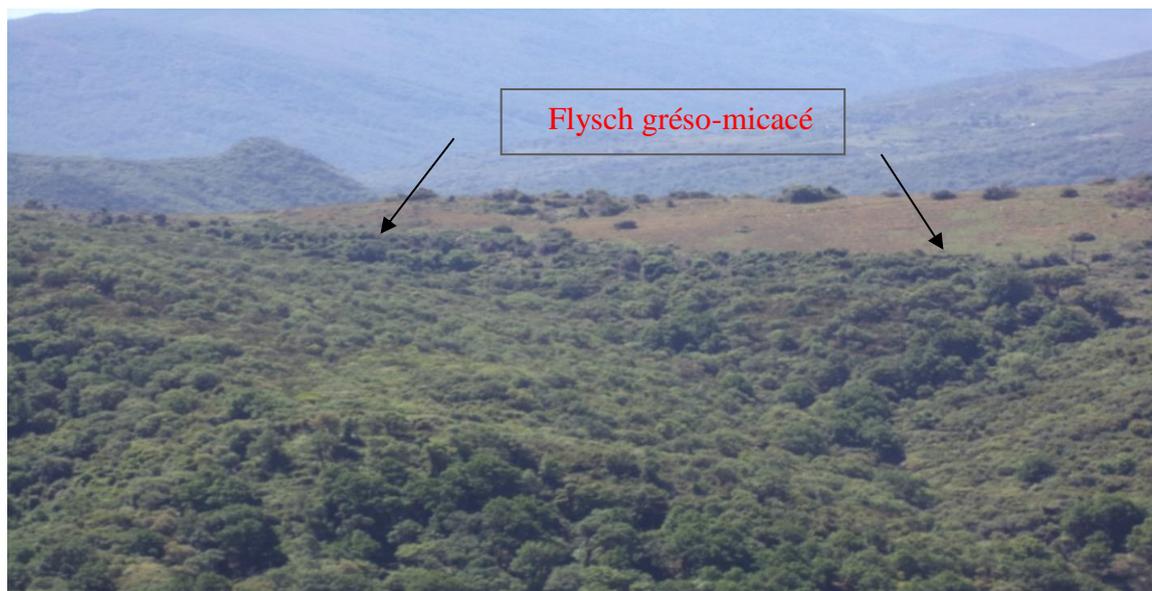


Photo 13. Bassin versant d'oued kissir : *Formation grés-micacées*

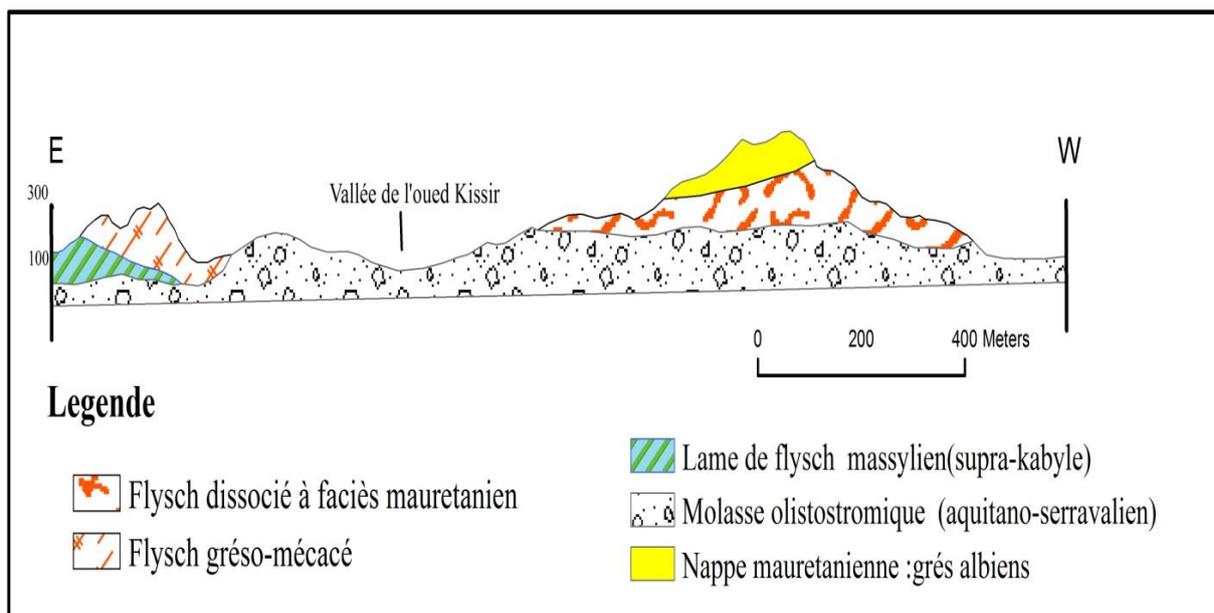


Figure 18. Bassin versant d'oued Kissir : *Coupe géologique* (Est-Ouest)
(D'après Durand Dulga 1955, Djellit, H. 1987, modifiée).



Photo 14. Bassin versant d'oued kissir : *Grès numidien*



Photo15. Bassin versant d'oued kissir : *Formation molassique avec colluvions de pente*

❖ Les colluvions

Ce sont des éboulis de pente anciens représentés au sud du bassin versant de l'Oued Kissir. Les éboulis sont formés par un ensemble de fragments rocheux déplacés par gravités et accumulés en cônes sur le talus, ou en nappes d'éboulis au pied des versants ou des abrupts rocheux (Jean, Noel, Salamon. 2007).

B- Les formations affleurants sur la rive gauche (Ouest)

Les formations lithologiques affleurants sur la rive gauche(Ouest) de l'oued Kissir sont largement re présentées rn amont comme en aval par les termes du flysch mauretaniien dilacerés.

En y trouve des lambeaux du préflysch calcaire constitue des marnes grises et de turbidites calcaires, un ensemble des flyschs argileux-gréseux, des marnes vertes et argile rouge fortement tectonisées, quelque blocs métriques de grés mauretaniien jonchent le long de la route menant Kissir à Hamza au sud.

❖ **Le flysch mauretaniien**

- Au sud de Dj-Guessouma les affleurements dominante sont les facies gréseux du **flysch mauretaniien** formant les hauts reliefs, limitants au sud le bassin versant.

❖ **Les alluvions récentes**

Les alluvions récentes sont constituées de dépôts détritiques de graviers conglomérats et sable. Les alluvions sont largement représentées dans les lits des oueds.

II.3. Aspect tectonique et sismicité de l'aire d'étude

La structure géologique de la petite Kabylie occidentale comprend le schéma suivant :

- **Au Nord** : un compartiment structural superieur constitué des nappes gravitaires à contacts plats issues rétrocharriage des nappes de flyschs et telleiens situées plus au Sud. Ce compartiment a été tardivement intercalé par un magmatisme miocène.
- **Au Sud** : un compartiment structural inferieur constitué du socle Kabyle et des nappes qui'il chevauche figure15 (CVS, flysch massylien et Tellien)(Djellit, H.1987).

Cette structure a été mise en place durant plusieurs phases tectoniques successives :

- a-** Phase de compression fini lutitienne (phase atlasique) :
- b-** d'Oligocene supérieur (relachement et depots OMK) :
- c-** Nouvelle compression miocène moyen (seravallien) (Djellit, H.1987) mise en place des nappes gravitaires par retro-charriage (olistolithes).

La phase tectonique miocène semble être à l'origine de la structuration géologique actuelle du massif de la petite Kabylie. Plusiurrs auteurs indiqués que la phase tectonique miocène, est une phase de compression caractérisée dans toute l'Algérie Nord orientale par un

raccourcissement N-S (Bouillin, J, P. 1977, et 1979. Vila, J, M. 1980 et Kazi, N. 1986). Cette phase est caractérisée par des plissements des charriages ainsi des reprise de rejeux de faille type décrochant. Dans cette phase, l'effet de la tectonique est signé par la régression de la mer méditerranéenne, sauf dans les zones de dépression côtière. (Bassin Jijel- Oued Zhor- bassin El-milia- et le bassin de Collo.

- d- Distention miocene superieur et dépôts post-nappes. Phase ultime de serrage post pliocène : néotectonique : Enfin, la région et marquée par des rejeux récent (néotectonique) qui ont introduit d'importants désordres dans les réseaux hydrographiques des oueds.

II.4. Zones d'activités sismiques et microséismicités

L'occurrence des séismes en Algérie du Nord reste une thématique de recherche d'importance pour de nombreuses raisons qui sont aussi bien d'ordre scientifique que sociétal du fait de leur impact désastreux sur le développement socio-économique du pays. L'intérêt pour la sismicité en Algérie du nord a débuté au 19^{ème} siècle lors de la période française.

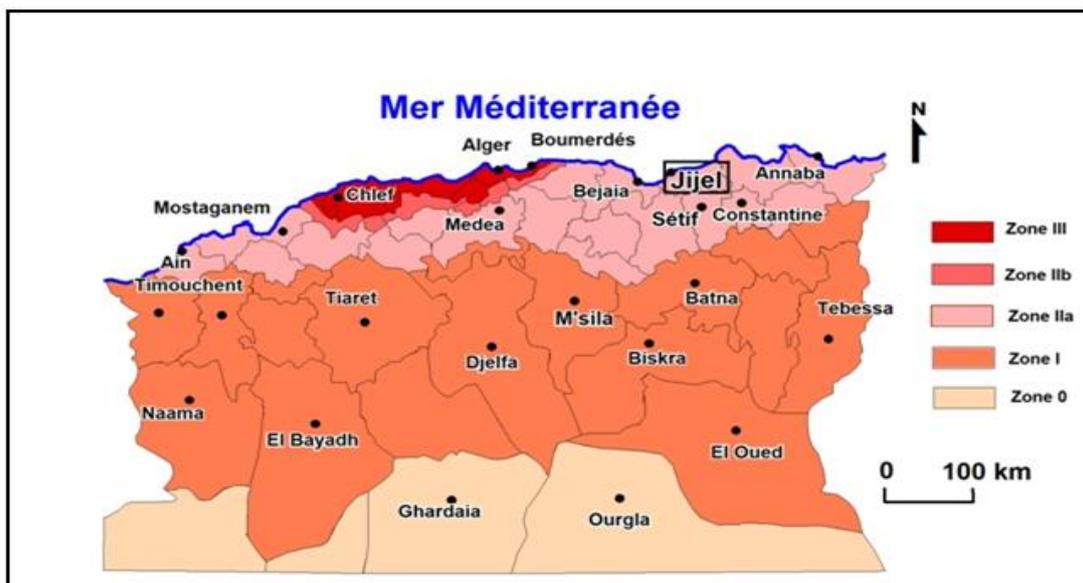


Figure 19. Nord-Algérien : *Carte sismique* (RPA version 2003)

De nombreuses publications (Perrey, 1847-1870, Aucapitaine, 1856 ; Glautier de Claubry, 1856 ; Cochard, 0862 ont relaté l'occurrence d'événements parfois importants celui de Djidjelli de 1856 ou celui de Tenes en 1891(Bacha, I. 2015).

Sur le plan sismique, il apparait actuellement que les reliefs telliens sont affectés tout au long de la chaîne des failles sismiques actives et dont les fréquences de ces manifestations et reconnue comme préoccupante pour la sécurité et le développement.

Cet état de fait est à l'origine de réactivation des glissements de terrain et/ou liquéfaction des sols ainsi que des éboulements de pentes (Amireche, H. 2001).

D'après la figure 19 ci-dessus, la carte sismique de l'Algérie (RPA 2003 Règles Parasismiques Algérienne), le territoire Algérien est divisé en quatre zones de sismicité décroissante de 0 à III.

- zone 0 sismicité négligeable
- zone I sismicité faible
- zone (IIa – IIb) sismicité moyenne
- zone III sismicité forte

La région de Jijel (bassin versant de l'Oued Lagreme et Kissir faisant partie de l'aire d'étude) appartient à la zone de moyenne sismicité (zone II).

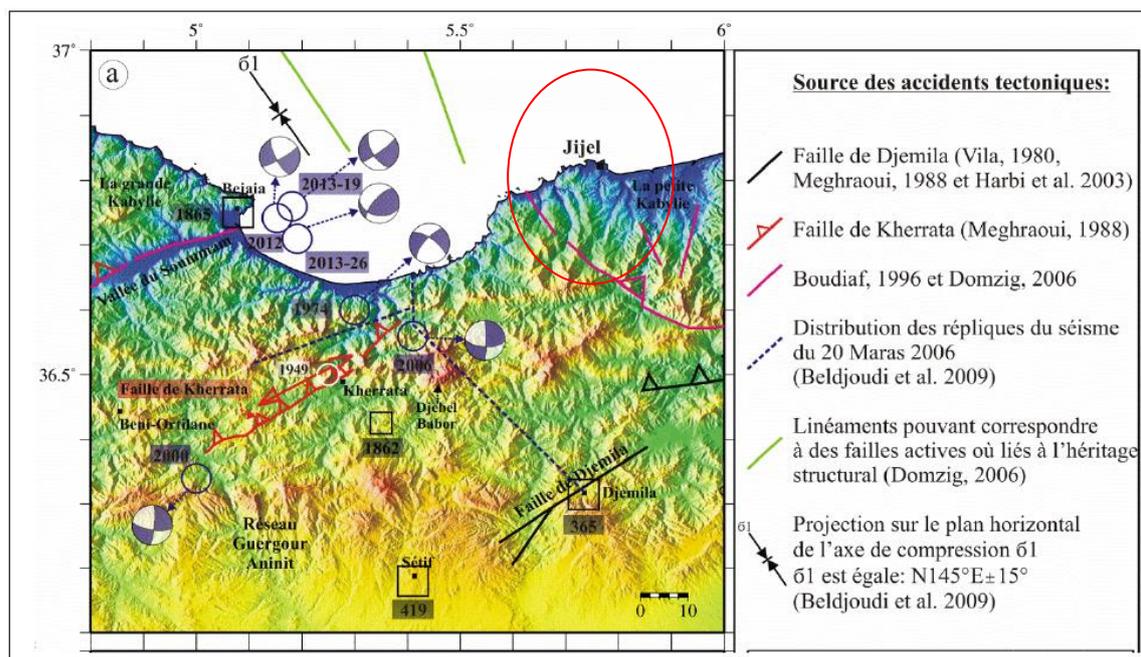


Figure 20. Région de Babors : *Carte sismique* (Abbacha, 2015)

L'occurrence et l'effet de la sismicité dans la zone d'étude sont très élevées (fig. 20 et 21) en raison d'une déformation crustale plus élevée par rapport aux autres zones de l'Algérie (Abbacha, 2015).

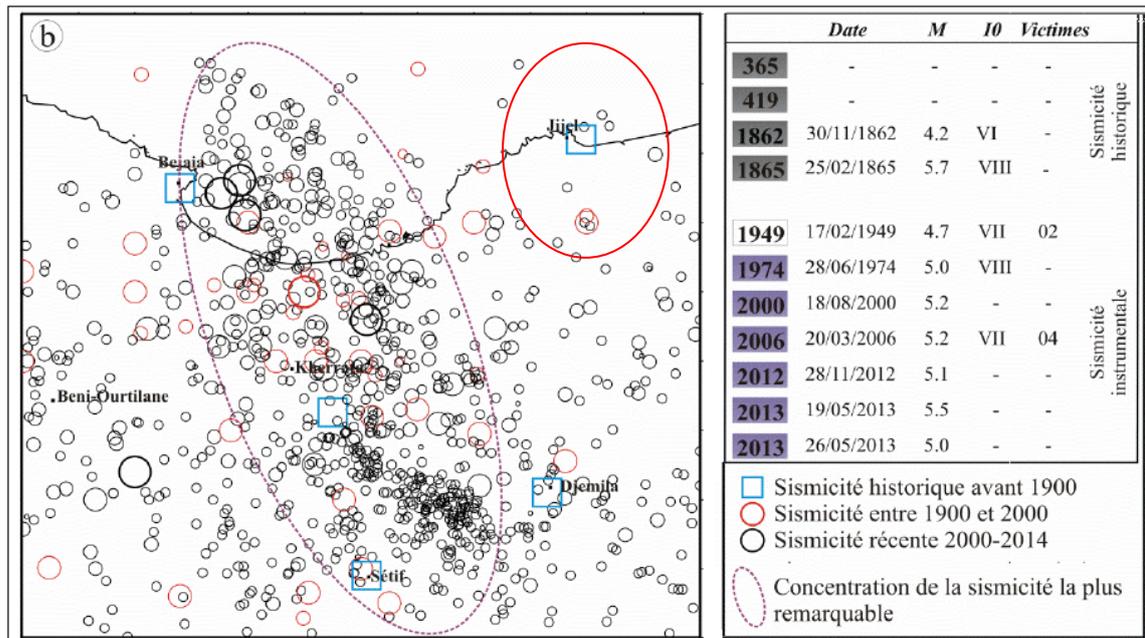


Figure 21. Région de Babors : *Séismicité de 1900 à Décembre 2013* (Abbacha, 2015)

Finalement, la plus part des études récentes montrent que la séismicité la zone d'étude est liée largement au contexte géodynamique régionale méditerranéen.

II.5. Classification et répartition spatiale des différentes formations lithologiques de la zone d'étude

A travers les temps géologiques, une roche est soumise à l'action des facteurs physico-chimiques et biologiques. Elle peut être désagrégée, transformée puis transportée. La lithologie joue un rôle important sur le comportement de la lame d'eau ruissillée, sur l'infiltration, l'érosion et le transport solide.

Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grés, calcaires, dolomies (Bouanani, A. 2004).

A- Classification lithologique du bassin versant de l'oued Lagreme

L'analyse thématique des cartes sur logiciel ArcGis à permis de dégager plusieurs zones à érodibilité variable. Le tableau 5 ci-dessous montre les différentes zones dont les valeurs sont consignées (érodibilité élevée, moyenne, et faible) de différentes formations lithologiques du bassin versant de l'oued Lagreme.

- ❖ **Roches à résistances élevées** : Elles sont représentées dans la zone d'étude par les formations de socle Kabyle (schiste et gneiss non altéré) avec une superficie totale de

l'ordre de 0.97 km² soit 2.45 % de la totalité du bassin objet d'étude. Elles sont localisées dans la partie Sud-ouest du bassin versant.

Tableau 5. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classification et répartition spatiale des différentes formations lithologique* en (%)

Dureté	Roche résistante élevée	Roche résistante	Roche résistante moyenne	Roche résistante faible	Roche non résistante (meuble)
Formation lithologique	<p><u>Formation de socle :</u></p> <p>- schiste et gneiss non altérée</p>	<p><u>Formation du complexe volcano-sédimentaire : (CVS)</u></p> <p>- calschiste et magmatisme de niveaux= quartz, pélitique du basalte de dolérite, de parasinite et gabbros dioritique</p>	<p><u>Formation Olistostrome :</u></p> <p>- bloc de flysch noyé dans une molasse marneuse (gré et flysch)</p>	<p><u>massif arénisé (Arène)</u></p> <p>_(granito-gneissique très altéré. sable gneiss feldspath</p> <p>-<u>formation mio-pliocène continental</u></p> <p>conglomérat galet pouding+ argile</p>	<p><u>Formation meuble : de mio-pliocène marin</u></p> <p>- les marnes mélange de carbonate et de minéraux d'argile - argile d'altération</p>
Sup (km ²)	0.97	0.78	13	16.92	7.90
%	2.45	1.97	32.85	42.76	19.97
Superficie total (km ²)	39.57 km ²			100	

❖ **Roches résistantes** : Elles sont représentées dans la zone d'étude, par la formation de complexe volcano-sédimentaire avec une superficie totale de l'ordre de 0.78 km² soit 1.97% de la totalité du bassin objet d'étude limitant le bassin au nord du village de Texenna. Selon Bouillin, J, P.1979, l'épaisseur de cette formation peut atteindre quelque 200 m constituée d'une série de roches de type calcschiste et magmatisme, (des niveaux quartzo-pelitique, du basalte, avec des dolerites, des parasinites et gabbros dioritique).

❖ **Roches à résistances moyennes** : Elles sont représentées par les la formation Olistostromique, avec une superficie totale de l'ordre de 13 km² soit 32.85% de la totalité du bassin objet d'étude. Les unités tectono-sédimentaires (olistolites) sont marquées dans la zone d'étude par de blocs de flysch noyés dans une molasse marneuse (gré, flyschs

dissociés) dans une matrice marneuse d'âge oligo-miocène (Bouillin, J, P., Raoult, J, F. 1971 et Djellit, H. 1987).

- ❖ **Roches de faibles résistances** : Elles sont désignées par les produits d'altération du massif kabyle (arène gneissique), et de conglomérat de type continental d'âge mio-pliocène caractérisé par des matériaux grossier polygénique (galet), de cailloux, de poudings enrobés d'argile avec une superficie totale de l'ordre de 16.92 km² soit 42.76% de la totalité du bassin objet d'étude.

Donc l'arène est le résultat de l'altération des roches, magmatique porphyrique, ou métamorphique (gneiss) riches en :

- **quartz** = (SiO₂) : principalement (c'est la silice pure).
- **mica** = ce sont des minéraux feuilletés, on a essentiellement du mica noir (ou biotite) K (mg, Fe)₃ (Al, Fe) Si₃ O₁₀ (OH)₂. Mais aussi du mica blanc (ou muscovite) K, Al₂ Al Si₃ O₁₀ (OH)₂.

Le mica noir est surtout riche en magnésium, potassium, et en fer, alors que le mica blanc et surtout riche en aluminium et en potassium.

- **Feldspath** = feldspaths potassiques (orthose, microcline...) et feldspath plagio-clases (albite, anorthite...). L'altération du feldspath fournit diverse argiles comme Kaolin.

- ❖ **Roches de très faibles résistances (meubles)** : Les formations meubles, sont représentés dans la zone d'étude par les marnes jaunes, marnes bleus (marnes miocènes), et argiles d'altération avec une superficie totale de l'ordre de 7.90 km² soit 19.97 % de la totalité du bassin objet d'étude. Les marnes sont des roches sédimentaires formées par un mélange de carbonate et de minéraux argileux ; elles sont intermédiaires entre les calcaires et les argiles.

Ce sont des roches biochimiques et détritiques contenant du calcaire CaCO₃ et de l'argile en quantité à peu près équivalents (35 à 65%). L'altération des marnes se traduit essentiellement par une dégradation de la structure de la roche en surface sous l'effet de divers mécanismes (Bufalo, M. 1989).

Finalement, on constate que ce type de formations lithologiques qui affleurent dans le bassin versant de L'Oued Lagreme a une influence sur la répartition de réseaux hydrographiques et le comportement des écoulements superficiels (ravinement intense).

B- Classification lithologique du bassin versant de l'oued Kissir

Pour le bassin versant de l'oued Kissir, la répartition des diverses zones à érodibilité élevée moyenne, et faible de différentes formations lithologiques qui sont regroupées dans le tableau (6) ci-dessous.

Tableau 6. Bassin versant d'oued Kissir : *Classification et répartition spatiale des différentes formations lithologique en (%)*

Dureté	Roche résistante élevé	Roche résistante	Roche résistante moyenne	Roche résistante faible	Roche non résistante (meuble)
Formation lithologique	Formation de la nappe maurétanienne - grès dur	Formation des flysch -grésomicasées (perméable fracturé)	-Formation Olistostrome : -bloc de flysch noyé dans une molasse marneuse (gré et flysch) - grés numidien (tectonisé, fracturé)	Eboulis de pentes (ancien)	Alluvions
Superficie (km ²)	55.79	1.49	48.14	0.94	1.05
%	51.94	1.39	44.83	0.87	0.97
Total (km ²)	106.83				
%	100%				

- ❖ **Roches de résistances élevées :** Elles sont représentées dans la zone d'étude par la formation de la nappe maurétanienne (grès durs) avec une superficie totale de l'ordre de 55.79 km², soit 51.94 % de la totalité du bassin objet d'étude. Elles sont localisées dans la partie Sud-ouest du bassin versant.
- ❖ **Roches résistantes :** Elles sont représentées par les formations des flyschs grésomicasées avec une superficie totale de l'ordre de 1.49 km² soit 1.39 % de la totalité du bassin objet d'étude zone nord-Est bordant l'affluent Takielt.
- ❖ **Roches de résistances moyennes :** Elles sont représentées dans le bassin versant de l'Oued Kissir par des blocs de flysch noyés dans une molasse marneuse (Olistostromes) avec une

superficie totale de l'ordre de 48.01 km² soit 44.70 % de la totalité du bassin objet d'étude, et les formations dites grès numidiens (aquitano-burdigalien, tectonisé fracturé moyen dur), avec une superficie de l'ordre de 0.13 km².

- ❖ **Roches de faibles résistances** : Ensembles des fragments rocheux de différentes tailles et recouvrement quaternaires, déplacées par gravité sur les versants, avec une superficie totale de l'ordre de 0.94 km² carrés soit 0.87 % de la totalité du bassin objet d'étude.
- ❖ **Roches de très faibles résistances (meubles)** : Elles sont représentées par des alluvions récentes caractérisées par des matériaux grossiers polygéniques (galets), de cailloux, de poudings revêtus d'argile avec une superficie totale de l'ordre de 1.05 km² soit 0.97 % de la totalité du bassin objet d'étude.

Conclusion

Les caractéristiques géologiques (lithologie, structures tectoniques) des bassins versants de l'oued Lagrme et Kissir, ont une forte gravité sur l'organisation du réseau hydrographique notamment la fréquence des talwegs et la densité de drainage.

Les formations lithologiques qui affleurent dans le bassin versant de L'oued Lagreme exercent une influence sur l'installation d'un réseau de ravins et ravines et conséquence le comportement des écoulements superficiels.

L'érosion à travers diverses formes trouve sa dynamique plus active sur les terrains meubles. Cette manifestation est plus significative en rive gauche de l'oued Lagreme où les marnes prédominent.

Concernant le bassin versant de l'oued Kissir les formations lithologiques prédominantes sont les formations de la nappe maurétannienne (grès dur) situées dans la partie Sud-ouest du bassin versant, et les formations lithologiques à caractère olistostromiques.

II.6. Analyses linéaire des bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir

Définition

Les études publiées sur les linéaments sont multiples et donnent plusieurs définitions. Ces derniers sont des alignements rectilignes plus ou moins courbés qui apparaissent au sein des reliefs. Les linéaments correspondent à des crêtes rides ou limites de relief, ligne de partage des eaux, limites linéaires de formation géographique ou d'ensemble pétrographique ou ligne d'affleurement (Hobbs, W, H. 1912. O'leary et al, 1976). Ils peuvent aussi correspondre à des éléments structuraux clairs, vallée et ravins, faille et plis (Amireche.H, 2002).

La nature du substratum influence largement l'architecture et l'organisation du réseau hydrographique. Généralement la lithologie, la structure ainsi que la tectonique (faille, décrochement), obligent les cours d'eau à modifier et changent leurs directions brusquement en fonction des zones de faiblesses.

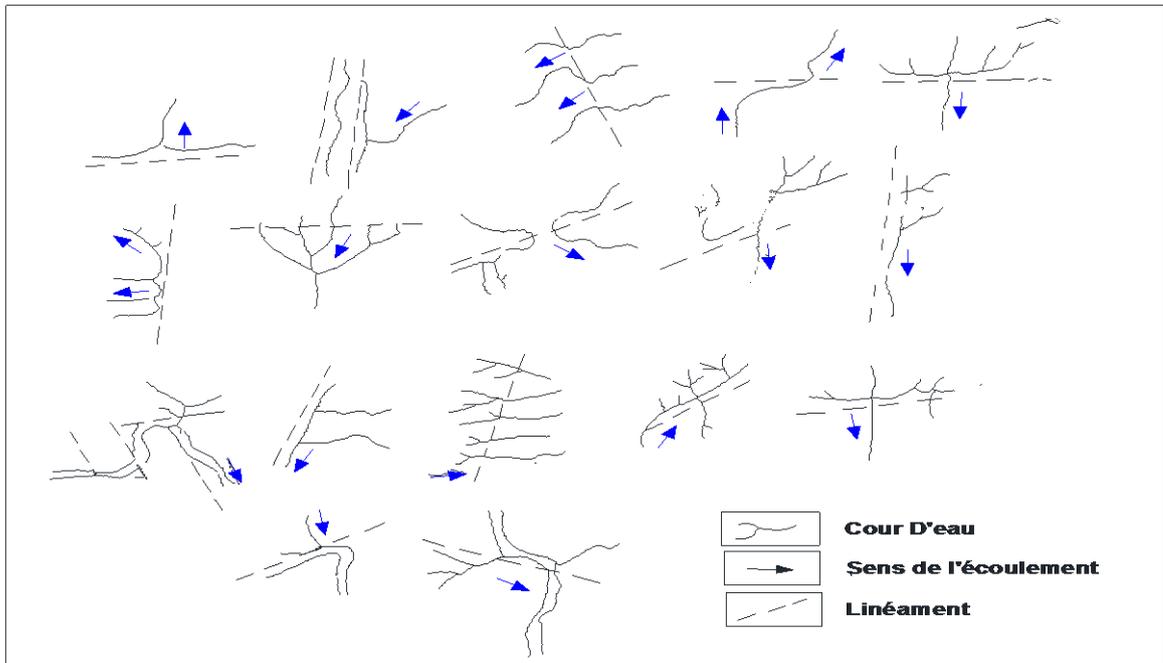


Figure 22. *Abaque linéamentaire* (d'après Hobbs, W, H., O'leary et al, 1976).

Il peut exister plusieurs causes naturelles à l'origine d'un linéament : ligne de crêtes topographiques, contact entre formations lithologiques différentes (joint de stratification), ligne de fracture ou de faille, etc. Ils peuvent être identifiés visuellement par leurs effets sur le paysage.

On peut citer, entre autres, un changement ou une anomalie dans le couvert végétal, la géométrie des rives d'un plan d'eau, la forme du réseau du drainage ou des oueds inexplicables dans les cours enchainés (Ngugen, X and HO, 1988 ; Fraipont, P et Hirsch, 1984)

La distribution spatiale des réseaux hydrographiques est un indice matériel de l'interaction qui peut exister entre une tectonique active et les mécanismes de l'érosion accélérée. La méthode Rasskatov (figure.22) a permis de certifier que l'écoulement de certains oueds, se fait sur des traces de failles profondes (Amireche. H, 2002).

Appliqué à la zone d'étude, la carte linéamentaire établie par la méthode de Rasskatov, du bassin versant de l'Oued Lagreme et Kissir, nous permet de déterminer les principaux linéaments affectant le bassin versant.

Les linéaments, les failles, les réseaux hydrographiques (densité de drainage) peuvent aussi nous donner une idée sur le degré d'érodibilité des sols (Scanvic, J. 1983).

II.6.1. Caractéristiques linéamentaires du bassin versant d'oued Lagreme

L'effet des linéaments affectant le bassin versant de l'oued Lagreme est fonction de :

- Leur extension dans l'espace.
- Leur répétitivité dans une direction donnée.
- Le type de structure géologique qu'ils affectent.

Chaque linéament est caractérisé par Sa position dans le plan (x,y), son angle azimatal et finalement par sa longueur. Ils sont classés par ordre d'angle croissant de 0 à 180° suivant un fichier formé de classe de 10°.

L'interprétation de la carte linéamentaire du bassin versant objet d'étude figure 23, enrichie par l'analyse multiscalaire, basé sur la photographie aérienne et la carte géologique de l'aire d'étude, nous permettent de démontrer les différents types linéamentaires affectant le bassin en question

❖ Répartition spatiale des linéaments du bassin versant d'oued Lagreme

L'application du logiciel Arc Gis notamment la requête sélection par entité, nous permet de sélectionner des entités dans une ou plusieurs couches en fonction de leur position relative. La réponse à ce type de question est connue sous le nom de requête spatiale. L'usage de cette requête d'analyse pour le bassin versant de l'oued Lagreme nous a permis de sélectionner les entités d'une ou plusieurs couches en fonction de leur emplacement par rapport aux entités de la couche source :

Le cananevas de ces linéaments et consigné sur un structurogramme « rosace » statistique (figure 24), ci-dessous.

- Couche ciblée : linéaments.
- Couche source : Lithologie bassin versant de L'oued Lagreme.
- Méthode de sélection spatiale : les entités des couches cible « linéament » croisent l'entité de la couche source « argile d'altérations ».

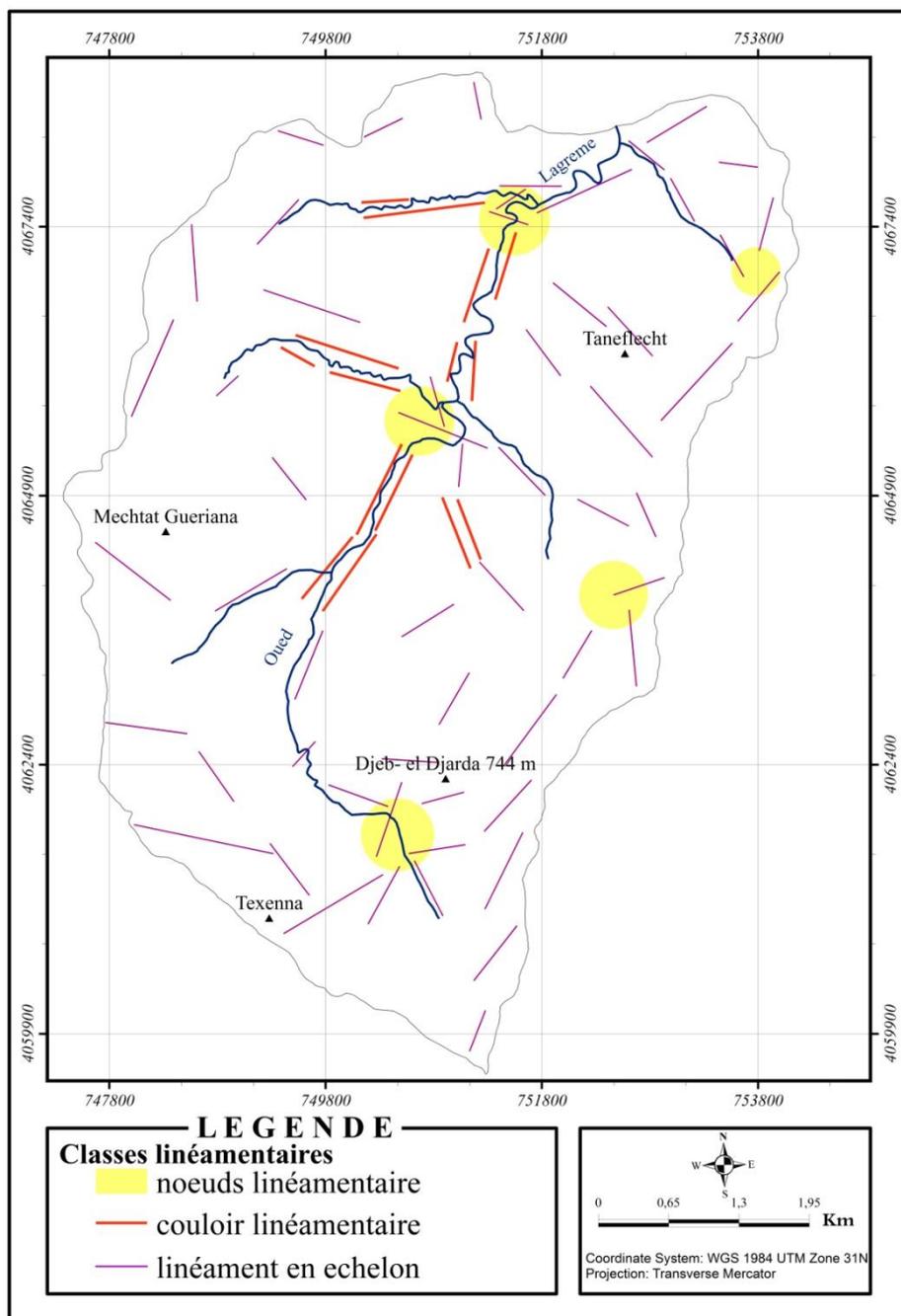


Figure 23. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Linéaments*

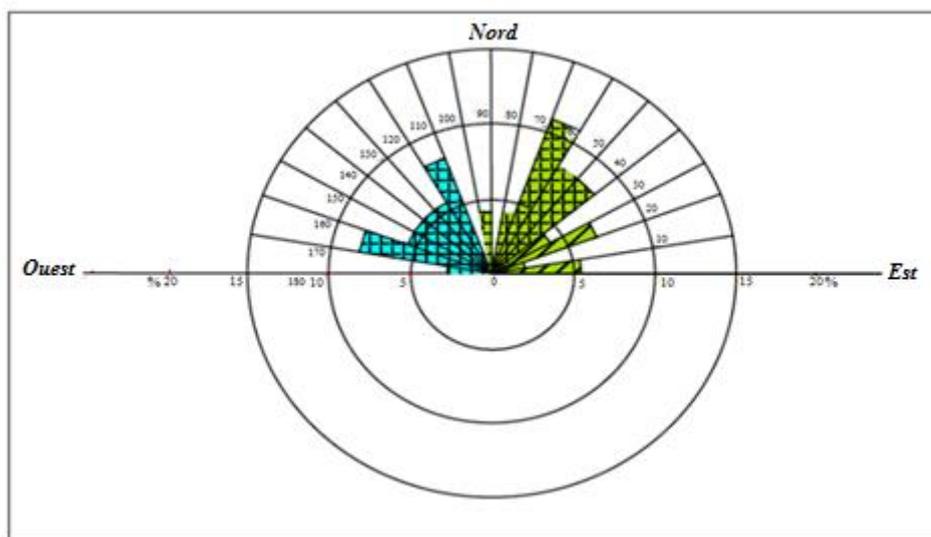


Figure 24. Bassin versant de L'oued Lagreme : *Diagramme « Rosace » statistique linéaire*

Les résultats obtenus par cette requête d'analyse spatiale linéaire sont regroupés dans le tableau 7. La sélection par attribut nous permet de sélectionner les fonctionnalités dans une couche ou des enregistrements d'une table en créant une requête.

Par exemple, dans notre cas cette requête sélectionnera tous les linéaments qui sont classés par ordre d'angles croissants de 50° à 60° suivants un fichier formé par classe de 10° voir (Annexe .4).

➤ **Les calculs peuvent être inclus dans les requêtes à l'aide des ces opérateurs arithmétiques :** " angleØ " > 50° and " angleØ " < 60°

Les bilans obtenus par cette requête d'analyse sont regroupés dans le tableau 7 ci-dessous :
Les linéaments classés par ordres d'angle croissants de 50 à 60° suivants un fichier formé par classe de 10°

Tableau 7. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classement par ordre d'angle croissant linéamentaire*

	Angle ∅ en degré	Nbrs linéament	Les formations géologiques affectées	%	Requête
1	0° > 10°	4	Marne bleu et jaune+ arène	5.48	Angle∅ ≤ 10
2	10 -20	3	Socle (arène) + Olistostrome	4.11	Angle∅ > 10 and angle ∅ ≤ 20
3	20 - 30	3	Socle (arène) + Olistostrome	4.11	Angle∅ > 20 and angle ∅ ≤ 30
4	30-40	4	Socle (arène) + Olistostrome Marne bleu+ marne jaune+ CVS	5.48	Angle∅ > 30 and angle ∅ ≤ 40
5	40-50	7	Socle (arène) +Olistostrome	9.59	Angle∅ > 40 and angle ∅ ≤ 50
6	50-60	6	Socle (arène) +Olistostrome Marne bleu	8.22	Angle∅ > 50 and angle∅ ≤ 60
7	60-70	6	Olistostrome +Marne bleu Socle (arène)	8.22	Angle∅ > 60 and angle∅ ≤ 70
8	70-80	5	Socle (arène) Argile d'altération Olistostrome	6.85	Angle∅ > 70 and angle ∅ ≤ 80
9	80-90	2	Socle (arène) Argile d'altération	2.74	Angle∅ > 80 and angle ∅ ≤ 90
10	90-100	2	Marne bleu + conglomérat Socle (arène)	2.74	Angle∅ > 90 and angle ∅ ≤ 100
11	100-110	1	Marne bleu+ marne jaune Olistostrome	1.37	Angle∅ > 100 and angle∅ ≤ 110
12	110-120	5	Socle (schiste+ gneiss non altéré +	6.85	Angle∅ > 110 and angle ∅ ≤120
13	120-130	4	CVS Olistostrome Socle (arène)	5.48	Angle>∅ 120 and angle ∅ ≤ 130
14	130-140	4	Socle (arène)	5.48	Angle∅ > 130 and angle ∅ ≤ 140
15	140-150	4	Socle (arène) Olistostrome	5.48	Angle∅ > 140 and angle ∅ ≤ 150
16	150-160	3	Olistostrome	4.11	Angle∅ > 150 and angle ∅ ≤ 160
17	160-170	7	Socle (arène) Olistostrome +Marne bleu Socle schiste, gneiss non altéré- Argile d'altération conglomérat	9.59	Angle∅ > 160 and angle ∅ ≤ 170
18	170-180	2	Socle (arène) Olistostrome Socle schiste, gneiss non altéré-	2.74	Angle∅ > 170 and angle ∅ ≤ 180
Total			73		

Selon le tableau (7) et Rosace fig.24 ci-dessus, on constate que les linéaments du bassin versant de l'Oued Lagreme s'organisent selon (3) trois directions principales :

- ✓ Une direction : NE – SW → (N- 40 à 70°)
- ✓ Une direction : NW – SE → (N- 110 – 120°)
- ✓ Une direction : WNW ESE → (N -160- 170°)

L'étude statistique des linéaments du bassin versant de l'oued Lagreme a permis de classer ces derniers d'après leur assemblage (disposition) en trois principaux ensembles.

a- Les couloirs linéamentaires

Leur extension est également visible sur la zone de M'zahda, sud-ouest du bassin versant passant au Nord de El-Ganzira.

Un 2^{ème} couloir linéamentaire s'étend de Mrayedj au NW du bassin versant, jusqu'au Nord de Djebel el Djarda.

b- Les linéaments en échelons

Les linéaments en échelon les plus significatifs, se concentrent à l'Est et au Sud bassin versant affectant principalement les formations lithologiques arénétisées du socle gneissique, et les formations du complexe volcano-sédimentaire (c.v.s).

c- Les nœuds linéamentaires

Selon la carte linéamentaire figure .23 on constate cinq nœuds linéamentaires :

- Le premier nœud est visible au Nord-est d'El Ganzira.
- Le deuxième nœud est remarqué au lieu dite Tarzout.
- Le troisième nœud se localise au Sud du bassin versant à l'ouest d'El-Moundjari.
- Le quatrième et cinquième nœuds se localise au Nord-Est et au Sud-Est du bassin versant.

Les nœuds linéamentaires affectant le bassin versant de l'oued Lagreme sont le résultat de recoupement d'au moins trois directions linéamentaires différentes. Ils représentent en général une zone de tension maximale.

Selon (Amireche, H. 2002), ces nœuds jouent certains rôles sur les plans suivants :

- Géodynamique : c'est-à-dire dans la compréhension de certains faits sismiques.
- Géomorphologique : la compréhension de l'évolution des formes géomorphologiques.
- Hydrogéologique : ils correspondent aux zones de concentration des eaux souterraines.

II.6.2. Caractéristiques linéamentaire bassin versant d'Oued Kissir

L'identification des lineaments sur terrain, est un travail pénible à cause de plusieurs obstacles recensés dans la zone d'étude. La photo-aérienne devient un outil très efficace pour le déchiffrement des linéaments. La localisation et l'extraction des linéaments du bassin versant d'Oued Kissir ont été établies à partir de l'abaque linéamentaire (Hobbs WH, in O'leary et al, 1976).

❖ **Répartition spatiale des linéaments du bassin versant d'oued Kissir**

La cartographie des différents linéaments déchiffrés dans la zone d'étude est basée sur le traçage direct sur le réseau hydrographique, à l'aide du logiciel Arc Gis.

Il peut exister plusieurs causes naturelles à l'origine d'un linéament : ligne de crête topographique, contact entre formation de lithologie différente, lignes de fracture ou de faille, etc. Ils peuvent être identifiés visuellement par leur effet sur le paysage. On peut citer, entre autres, un changement ou une anomalie dans le couvert végétal, la géométrie des rives d'un plan d'eau, la forme du réseau de drainage ou des oueds inexplicables dans les cours d'eau principaux. (Ngugen and H, O, 1988 ., Fraipont, P et Hirsch, 1984).

La carte linéamentaire figure 25 ci –dessus développée par la méthode de Rasskatov à l'aide du logiciel ArcGis, du bassin versant de l'oued Lagreme, nous permet de déterminer les principaux linéaments affectant le bassin versant.

La superposition de la carte linéamentaire et la carte géologique du bassin versant d'oued Lagreme, montrent que les linéaments géologiques ressentent dans la zone d'étude (tableau.8.), sont constitués principalement de linéaments liés aux accidents tectoniques et à la lithologie :

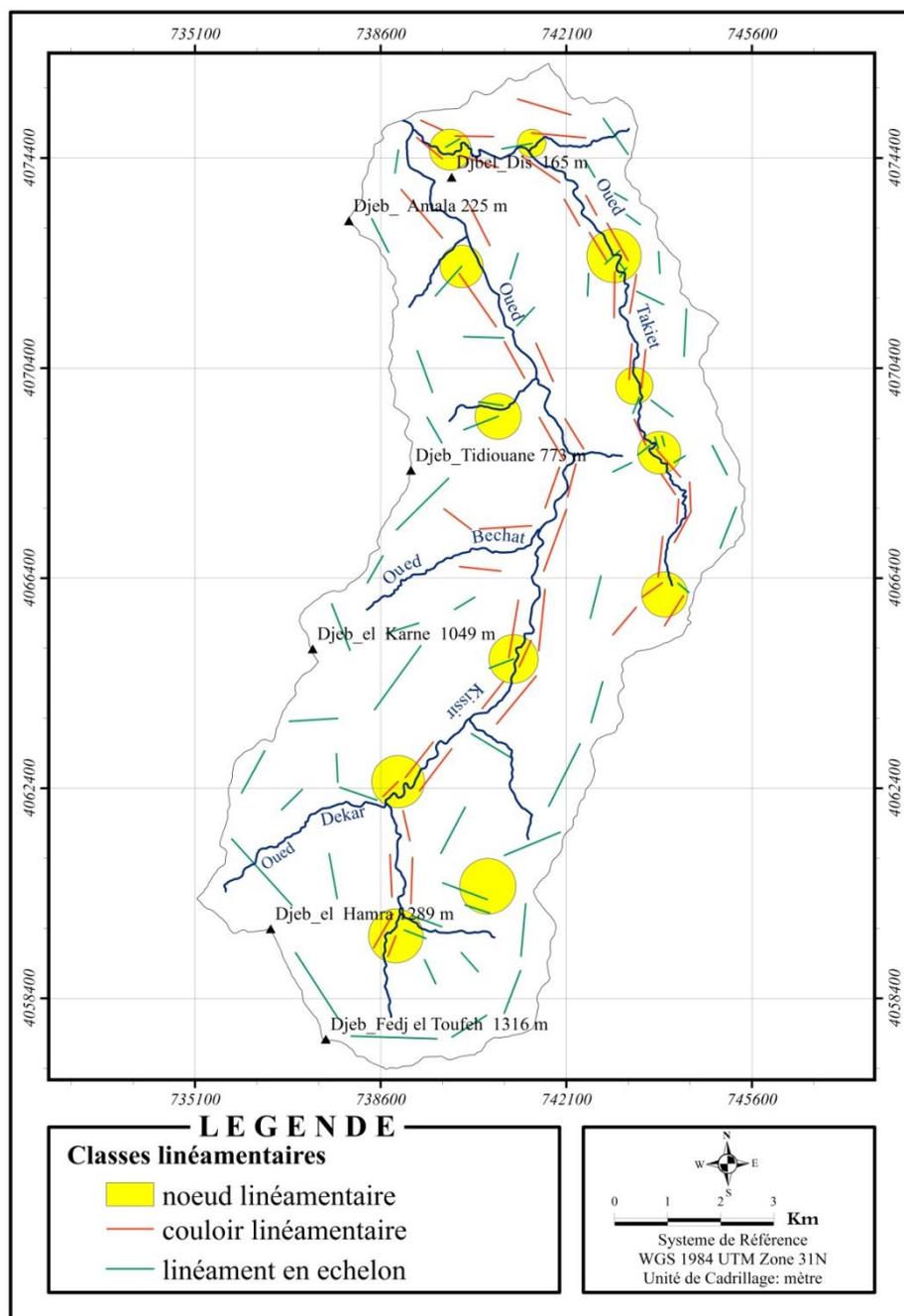


Figure 25. Bassin versant d'oued Kissir : *Linéaments*

Selon la figure 24 diagramme rosace statistique linéaire ci-dessus du bassin versant oued Kissir, on constate que les linéaments du bassin versant de l'Oued Kissir s'organisent selon trois directions principales :

- ✓ Une direction : NE – SW → (N- 40 à 70°)
- ✓ Une direction : N - S → (N- 80 – 90°)
- ✓ Une direction : NW- SE → (N -110- 120°)

Tableau 8. Bassin versant d'oued Kissir : *Classement par ordre d'angle croissant linéamentaire*

	Angle ∅ en degré	Nbrs linéament	Les formations géologiques affectées	%	Requête
1	0° > 10°	3	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	2.6	Angle∅ ≤ 10
2	10 -20	1	nappe numidienne (grés dur)	0.87	Angle∅ > 10 and angle ∅ ≤ 20
3	20 - 30	5	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	4.35	Angle∅ > 20 and angle ∅ ≤ 30
4	30-40	5	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	4.35	Angle∅ > 30 and angle ∅ ≤ 40
5	40-50	7	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	6.08	Angle∅ > 40 and angle ∅ ≤ 50
6	50-60	8	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	6.96	Angle∅ > 50 and angle∅ ≤ 60
7	60-70	9	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)- éboulis des pentes	7.83	Angle∅ > 60 and angle∅ ≤ 70
8	70-80	8	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	6.96	Angle∅ > 70 and angle ∅ ≤ 80
9	80-90	13	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	11.3	Angle∅ > 80 and angle ∅ ≤ 90
10	90-100	4	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	3.48	Angle∅ > 90 and angle ∅ ≤ 100
11	100-110	3	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	2.6	Angle∅ > 100 and angle∅ ≤ 110
12	110-120	15	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)- Flysch (gréso-micasées)	13.04	Angle∅ > 110 and angle ∅ ≤ 120
13	120-130	8	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	6.96	Angle>∅ 120 and angle ∅ ≤ 130
14	130-140	4	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	3.48	Angle∅ > 130 and angle ∅ ≤ 140
15	140-150	5	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)- Flysch (gréso-micasées)	4.35	Angle∅ > 140 and angle ∅ ≤ 150
16	150-160	6	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	5.22	Angle∅ > 150 and angle ∅ ≤ 160
17	160-170	6	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)- Flysch (gréso-micasées)	5.22	Angle∅ > 160 and angle ∅ ≤ 170
18	170-180	5	Olistostrome -nappe numidienne (grés dur)	4.35	Angle∅ > 170 and angle ∅ ≤ 180
Total		115			

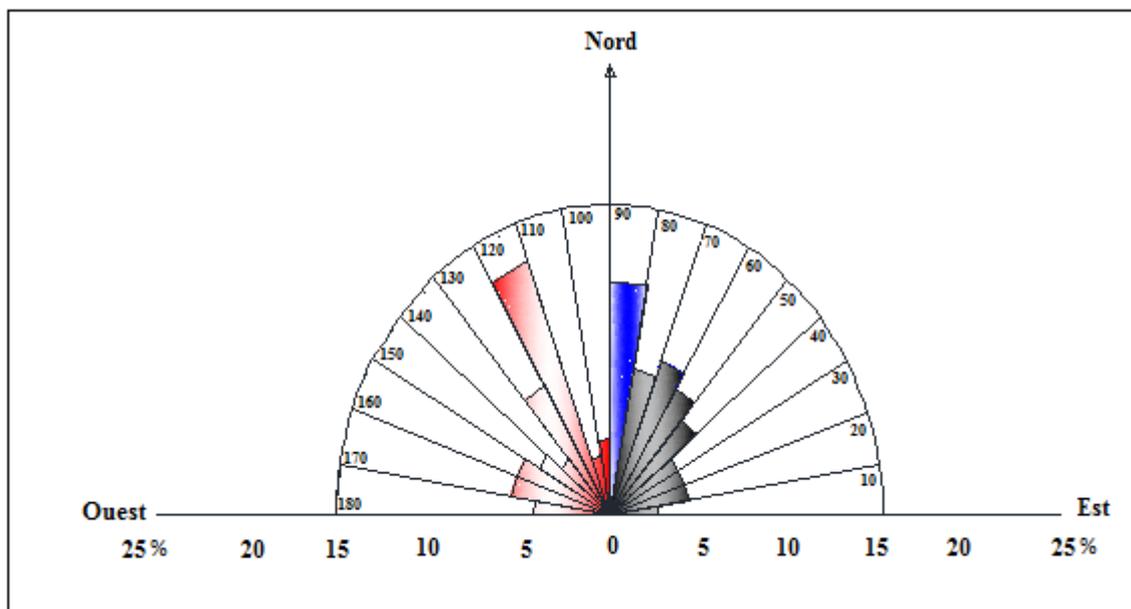


Figure 26. Bassin versant d'oued Kissir : *Diagramme « rosace »*
statistique linéamentaire

Selon la figure 26 diagramme rosace statistique linéamentaire ci-dessus du bassin versant oued Kissir, on constate que les linéaments du bassin versant de l'Oued Kissir s'organisent selon trois directions principales :

- Une direction : NE – SW → (N- 40 à 70°)
- Une direction : N - S → (N- 80 – 90°)
- Une direction : NW- SE → (N -110- 120°)

L'interprétation de la carte des linéaments (figure. 26) du bassin versant de l'oued Kissir a permis de grouper ces derniers d'après leurs dispositions en trois familles :

- a) **Les couloirs linéamentaires** : leur présence s'étend du Nord au Sud du bassin comme les localités suivantes : Bousemel au sud, Djamaa sidi el Cheria, la zone de Dar Batah et Mazghitane au Nord.
- b) **Les linéaments en échelons** : les linéaments en échelons les plus significatifs, se rencontrent généralement du côté nord-Ouest et sud –Ouest du bassin versant, affectant principalement les formations lithologiques de la nappe mauretanienne gréseuse.
- c) **Les nœuds linéamentaires** : Selon la carte linéamentaire figure .25 on dénombre neuf nœuds linéamentaires s'organisant comme suit :

- **La première zone (comportant quatre nœuds) :** est situé aux lieux dits Djebel ed Dis, El Akhnak, Harrouche, et Kendoula).
- **La deuxième zone (à trois nœuds) :** sont visibles à l'ouest du bassin versant zone de Ksir Moussa, Zaouia et Bou yassa).
- **La troisième zone (à double nœuds) :** située aux lieux dits El Goubia, Chidene, Achira, et Bou semlel).

Conclusion

L'analyse statistique des linéaments des bassins versants de l'oued Lagreme et oued kissir nous a permis de classer ces derniers selon leurs disposition spatiale (longueur, direction et densité) en trois principaux ensembles.

Les linéaments du bassin versant de l'Oued Lagremer s'organisent selon trois directions principales allant de (N- 40 à N - 170°). Tandis que les linéaments du bassin versant de l'Oued Kissir s'organisent selon trois directions principales allant de (N- 40 à N - 120°).

Chapitre: III

Processus et facteurs de l'érosion

Chapitre III. Processus et facteurs de l'érosion

Introduction

L'érosion hydrique dans un bassin versant reste un phénomène géomorphologique irrégulier et diffère d'un bassin à un autre. Il constitue un grave problème environnemental tant agricole que social qui affecte et menace d'immenses espaces du pays. Parmi les conséquences les plus gravement remarquables, on note la baisse de la fertilité des sols agricoles, la pollution des eaux, l'impact des coulées boueuses sur les zones urbaines, l'envasement des barrages et des retenues collinaires et une désertification du milieu naturel (FAO, 1980).

Le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural estime que 14 millions d'hectares en zones de montagne au nord (soit 6 % du territoire national) sont touchés par l'érosion hydrique, 32 millions d'hectares en zones steppiques (soit 13 % de la surface globale du pays) sont directement affectés et/ou menacés par la désertification et 4,1 millions d'hectares de forêts (environ 2 %) soumises aux menaces des effets des changements climatiques (Mostephaoui et al. 2013).

Les différentes études sur les fonctionnements de l'érosion indiquent que ce phénomène lié à de nombreux facteurs, telles que la lithologie, la pente, la végétation, les précipitations, ... etc. Le vocable « dégradation » signifie destitution d'un certain nombre d'éléments, ou atténuation de leur fonction, c'est-à-dire une altération, un décalage d'éléments d'un ensemble structuré et d'un niveau admis. Il réfère par conséquent à un déséquilibre dans le fonctionnement des éléments d'un écosystème, ceux du biotope et de la biocénose ; c'est-à-dire que ce vocable renvoie en fait à un rapport de dysharmonie de l'ensemble en question. Les facteurs en présence dans le champ d'investigation, la nature de leur interaction et de leur évolution, permettent de prévoir les conditions de déclenchement des processus érosifs et de mieux préciser leur future étape (Amireche, H. 2009).

La dégradation du sol est le processus qui décrit un phénomène induit ou déclenché par l'homme en diminuant systématiquement la capacité actuelle ou future du sol à supporter la vie humaine » (Oldeman, L, R et al. 1991).

Le phénomène d'érosion se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les fines particules des terres fertiles. Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace, l'érosion de versant diffuse ou en rigoles parallèles et l'érosion linéaire ou concentrée de talweg (Le Bissonnais, Y et al. 2004).

III.1. Les facteurs de dégradations du sol dans la zone d'étude

D'après (Roose, E. 1994), on peut différencier trois (3) types de dégradation des sols, physique, chimique et biologique.

- ❖ **La dégradation physique** : elle se révèle par trois (3) phénomènes (Hein, F, G. 1995) :
 - La batance : du à l'action mécanique des gouttes de pluies sur le sol (Hoogmed, W, G et et Stroosnijda. 1984., Casenave, A et Valentin, C. 1989).
 - La dislocation structurale : généralement ce phénomène est lié à la diminution du taux de matière organique du sol qui peut provoquer un effondrement des agrégats argilo-humiques (Le Bissonnais, Y. 1989 / 1990).
 - Le compactage : qui se traduit par une réduction de la porosité et qui rend l'enracinement difficile (Valentin, C. 1981).
- ❖ **La dégradation chimique** : c'est le résultat de l'appauvrissement des sols en éléments nutritifs suite à l'exploitation continue et sans cesse.
- ❖ **La dégradation biologique** : est une réduction de la diversité des espèces végétales et animales qui font vivre le sol (Boughalem, K. 2013).

De nombreux auteurs, ont remarqué que le défrichement des terres entraîne une dégradation rapide des propriétés chimiques et physiques des horizons superficiels et l'ont interprété comme une conséquence de l'agressivité du climat, de la fragilité des sols, de la minéralisation rapide des matières organiques entraînant une accélération des pertes par érosion et drainage (Beirmaert.1941., Fauck et al. 1969-77., Godefroy. 1974., Roose, E. 1972-82., LAL, 1982).

Dans les processus d'érosion, plusieurs auteurs spécifient généralement trois stades différents :

- désagrégation du matériel rocheux (ablation du matériel).
- transport.
- sédimentation de particules transportées.

En effet, les processus d'érosion des sols les plus importants, sont représentés en figure (27) ci-après :

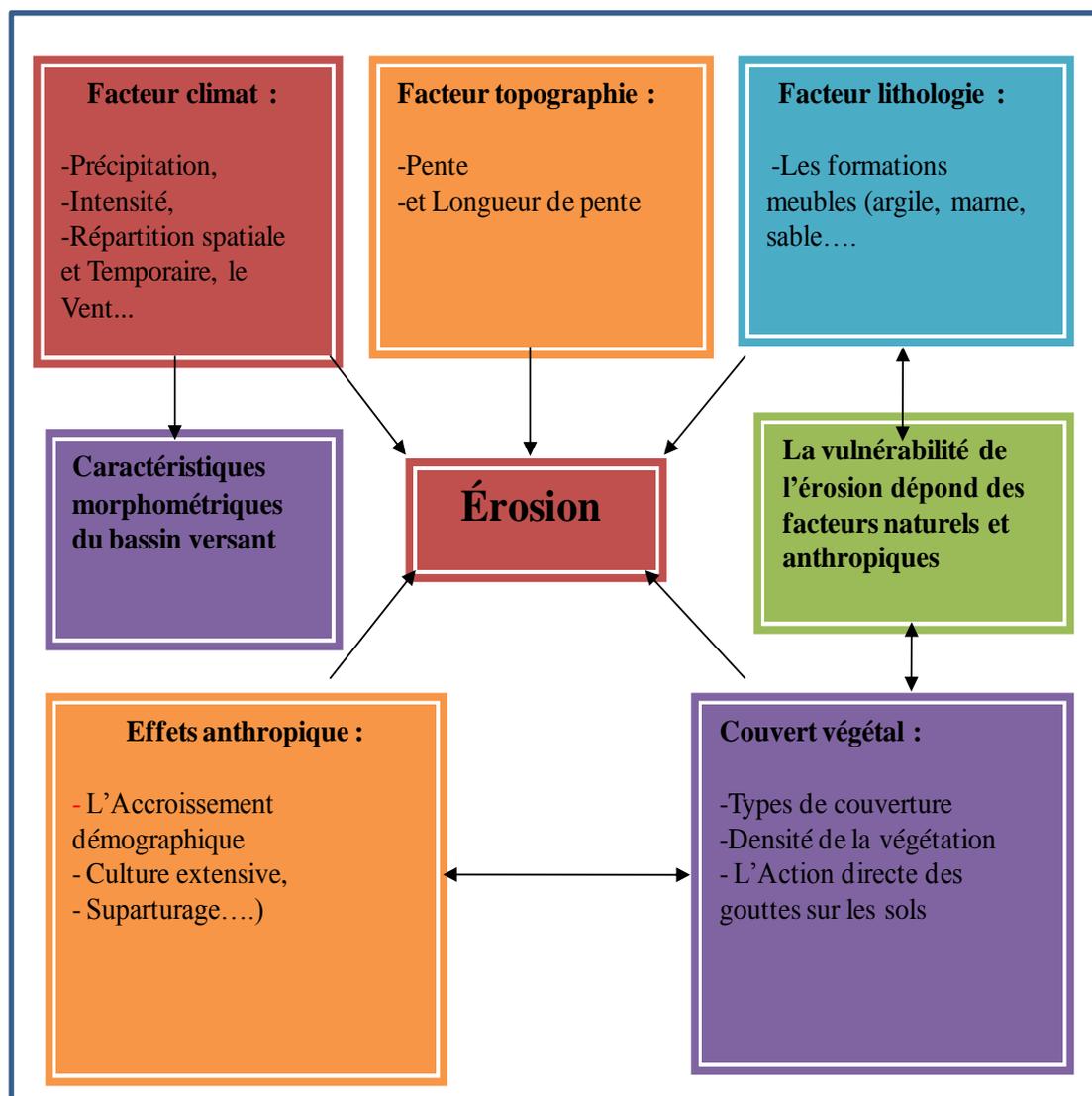


Figure 27. *Principaux facteurs de l'érosion*

A- Le facteur « climat »

Le climat de la région d'étude est caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de septembre à mai et un été sec et ensoleillé.

L'Atlas Tellien d'altitude moyenne de 1000 mètres environ joue le rôle d'un rempart qui provoque la condensation et les précipitations d'une partie de la vapeur d'eau amenée par les vents soufflant de la mer. L'altitude entraîne une diminution générale de la température. (Bouanani, A. 2004.). Les bilans d'érosion concordent beaucoup plus avec les variations spatio-temporelles de l'écoulement qu'avec celles des précipitations. (Bourouba, M. 2002).

Donc le facteur précipitation est la composante primordiale dans l'équation érosion hydrique affectant les bassins versants des oueds Lagreme et Kissir.

La pluviométrie des régions Méditerranéennes est caractérisée non seulement par une irrégularité interannuelle des quantités tombées, mais aussi par une mauvaise répartition des pluies dans l'espace et dans le temps. Cela conduit à des sechresses recurrentes et à des productions agricoles aléatoires (Albergel, J et al, 1995).

Selon plusieurs auteurs, l'intensité des pluies et le principal paramètre qui entraînent une dégradation rapide de la structure des sols en surface (Guillobez, S et Zougmore, R. 1991).

Les sols cultivés de la région méditerranéenne notamment la région d'étude sont donc particulièrement sensibles à l'érosion au cours des saisons d'automne et d'hiver.

La pluie est reconnue depuis longtemps comme un agent essentiel de l'érosion des sols (Ellison, W, D .1944 et Ekern, P, C. 1950). Le potentiel érosif de la pluie est désigné par le terme général d'érosivité (Bergsma, E. et al.1996). L'érosivité des pluies dépend d'une part de l'intensité des précipitations et, d'autre part des caractéristiques des gouttes de pluie comme la taille, la vitesse, la forme, l'angle d'impact (Riezebos, H, T et Epema, G,F. 1985 ; Salles,C et al., 2000., Erpul, G et al., 2002). Généralement, le détachement par les gouttes de pluie (splasch) est exprimé en fonction de leur énergie cinétique « $E_c = \frac{1}{2} m.v^2$ » (Quansah, C. 1981 ; Poesen, J. 1985).

B- Le facteur « lithologie »

L'étude géologique et lithologique permettent de caractériser les diverses formes, et structures géologiques et leur conséquences sur le comportement de la lame écoulee et infiltrée dans le bassin versant objet d'étude.

La carte lithologique du bassin versant de l'oued lagreme, montre que ce dernier presente une large superficie occupée par les formations meubles du bassin néogène de Jijel.

Dans l'autre bassin de l'oued Kissir formé de matériaux imperméables mais érodables notamment les formations molassiques présente une densité de drainage élevée, augmentant le taux de ruissellement des eaux superficielles et par conséquent l'érosion intense (ravinement élevée).

C- Le facteur «pente »

Les bassins versants des deux oueds objets d'étude sont caractérisés par des reliefs accidentés, et des classes de pente très variées.

L'influence de la pente est complexe. Le plus souvent, l'érosion augmente avec celle-ci. Il se développe une érosion en rigole dix fois plus agressive que l'érosion en nappe (Roose E.1988).

L'étude détaillée des différents paramètres morphométriques des aires d'études permettent de définir les différentes relations entre les formes du terrain et leurs positions spatiales.

L'inclinaison de la pente est certainement le facteur déterminant dans l'apparition des rigoles (Savat, Davat Depley, J. 1982), mais ce facteur varie en fonction de la texture du sol (Maurer, G. 1968).

D- Le facteur « végétation »

Dans la plupart des bassins versants, l'absence du couvert végétal expose le sol à l'action directe des gouttes de pluie. Donc dans toutes les études de l'érosion dans le bassin versant, la couverture végétale est un facteur important qui entre en jeu dans tout type d'analyse pour évaluer le degré de risque d'érosion.

Dans notre cas, le couvert végétal dans la partie amont du bassin versant d'oued Lagreme joue un rôle important dans l'écroulement des pluies, et dans le stockage des eaux en absorbant une quantité importante de la lame précipitée, afin de réduire la vitesse du courant.

Selon plusieurs auteurs, le couvert du sol est considéré comme efficace contre l'érosion par absorption de l'énergie cinétique des gouttes de pluie (Roose, E. 1994 et Duchaufour, P. 1970), (Kayser, B. 1957), et protège le sol, surtout dans la période de l'année où les précipitations sont les plus intenses. Cela signifie que l'efficacité du couvert végétal contre l'érosion hydrique n'est pas toujours identique partout dans l'aire des bassins (Duchaufour, P. 1970).

Les forêts jouent le rôle d'un écran protégeant le sol contre l'intensité des précipitations et permettant de réduire le décapage des horizons superficiels du sol (Veyret, Y et al. 2002).

Dans les forêts denses (pins, chênes), où le sol est protégé toute l'année, la sensibilité à l'érosion et le ruissellement sont faibles (Neboit, R. 1991 ; Veyret, Y 1998), à l'exception de certains endroits où la pente est forte (exemple la forêt de Guerrouche pour Kissir).

E- Le facteur « socio-économique »

Depuis plusieurs années, les actions anthropiques (techniques culturales, pâturage, extension des terres de culture, incendie et déboisement...) ont intensifié la dégradation des milieux physiques, notamment dans les bassins versants nord algérien.

L'érosion hydrique des sols résulte de l'interaction entre les facteurs statiques et les facteurs dynamiques. Les facteurs statiques sont reliés à la vulnérabilité des terrains. Celle-ci représente une caractéristique propre du milieu dépendante de la nature de terrain et indépendante des facteurs dynamiques. Ces derniers sont des agents de pression qui peuvent être soit naturels (climat et couverture végétale) soit humaines (Roose, E. 1994).

En montagne, la population rurale dans la plupart du temps joue un rôle destructif pour le milieu physique, notamment la dégradation du couvert végétal.

L'érosion dans les bassins versants des oueds Lagreme et Kissir est donc fréquemment liée à plusieurs phénomènes. L'inventaire et l'analyse des différentes formes d'érosion dans la zone d'étude montre que les ravins sont les formes géomorphologiques les plus répandues dans le bassin versant de l'oued Lagreme. Ce type occupe largement la partie aval du bassin versant de l'oued Lagreme, affectent essentiellement les formations marneuses, Olistostrome, argile d'altération, et l'arène (socle très altère).

Les causes anthropiques sont multiples (l'accroissement démographique, culture extensive, surpâturage...) et aussi complexes que le comportement humaines. Elles sont fondamentalement liées à une pression accrue sur les écosystèmes qui excède leur capacité de résilience (Beguing, G et Lanly, 2010).

III.2. Les principales formes de l'érosion hydrique

Les études récentes sur la vulnérabilité aux changements climatiques dans la région méditerranéenne indiquent une tendance à un accroissement de l'aridité qui accélère l'érosion hydrique (Shaaban, A et al. 1998).

De ce fait on peut distinguer plusieurs types d'érosion hydrique :

- **L'érosion en nappe** : celle-ci représente le stade initial de la dégradation des sols. Après quelques pluies, les terres fines sont entraînées par les pluies, soit par drainage en profondeur, soit par érosion sélective, tandis que les cailloux (sols squelettiques) trop lourds pour être emportés s'accumulent à la surface du sol (Poesen, J. 1990).

- **L'érosion linéaire** : lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, il se forme d'abord des flaques, ensuite ces flaques communiquent par des filets d'eau et lorsque ces filets d'eau vont atteindre une certaine vitesse de 25 cm par seconde d'après (Hjulström, F.1935), ils acquièrent une énergie d'écoulement propre qui va créer une érosion linéaire limitée dans l'espace.

Plusieurs systèmes érosifs se manifestent selon l'état de surface, la morphologie des sols et l'intensité des pluies. Un sol ameubli soumis à une pluie intense donne de l'érosion diffuse (Le Bissonnais, Y. 1996).

Sur les terrains dénudés caractérisés par un substratum meuble (marne et argile), le ruissellement concentré donne naissance à des formes d'érosion de différentes tailles :

- **Les griffes** : sont des micros formes courtes, leur profondeur est inférieure au lit de semence, leur largeur n'excède guère 10 cm et leur longueur ne dépasse le mètre que lorsqu'elles s'allongent parallèlement aux rangs et aux inters rangs. En fait, elles ne représentent vraisemblablement, et malgré leur caractère diffus qu'une part modeste de l'ensemble des pertes en terre globales (Boiffin, J et al. 1986) même si leur évaluation est négligée car difficilement quantifiable (Auzet, A, V. 1987).
- **Les sillons** : sont des formes rectilignes, généralement parallèles les unes aux autres dans le sens de la pente de versant. Cette forme d'érosion est appelée érosion en rigole ou inter-rigole. Ce type d'érosion apparaît généralement l'occasion des pluies d'orages de forte intensité. La surface de collecte du ruissellement nécessaire à l'incision est généralement réduite et située juste en amont des rigoles (Heusch, B. 1988).
- **Les ravins** : ce type érosion par ruissellement concentré ou érosion de talweg peut se produire même dans des régions à faible pente (de l'ordre de 1% dans les talwegs et 2% sur les versants qui les alimentent) et pour des épisodes pluvieux de faible intensité (Souchère, V. 1995). Leur dynamisme augmente avec les pluies en zone semi-aride, atteint un maximum en zone semi-humide, pour diminuer quand la végétation envahit tout le paysage. Mais dès que l'on défriche ces zones (par exemple pour créer un jardin ou une zone d'habitation), le ravinement peut se manifester très brutalement (en fonction du volume des pointes de ruissellement) et créer des ravines très profondes en milieu urbain (Tchotsua, M et Bonvallot, 2000).

Les ravines acquièrent des tailles impressionnantes lors des événements exceptionnels (Castro, N et al. 2000).

Dans un bassin versant, généralement toutes les formes d'érosion citées précédemment peuvent se combiner.

La lutte contre la dégradation des sols dans les bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir, nécessite une bonne compréhension des facteurs ayant impact sur l'érosion afin de bien mettre en évidence une stratégie antiérosive adéquate.

L'exécution des mesures efficaces de conservation de sol doit d'abord être précédée par une identification et une évaluation dans l'espace du risque d'érosion (Moussa, R et al, 2002. Souchère, V et al., 2005).

- L'érosion par ravinement est la forme prépondérante observée dans la zone d'étude de l'érosion du sol. Les ravines sont spectaculaires, mais leur activité est très variable dans le temps et dans l'espace. (Sari, 1977., Laouina et al., 2000). Généralement toutes interventions de l'homme augmentent le ruissellement et les risques de ravinement. La masse du ruissellement varie en fonction des paramètres tels les pluies, la lithologie, le couvert végétal, et la vitesse du ruissellement (Roose, 1994).

L'évolution des ravines se révèle du bas vers l'amont des versants par une morphologie dite (érosion régressive). Cette forme d'érosion peut transformer le paysage en (badlands). Cette morphologie, est variable dans l'espace et dans le temps suite à la variabilité des paramètres physiques et naturels qui régissent l'accroissement des ravins (Sfar, Fet al., 1989).

D'après (Roose, et al 1986), les ravines se développent sur les versants en relation avec leur fonctionnement :

- **Les ravines en (V)** se développent sur des matériaux homogènes comme les altérites d'argilite, de schiste et de marne. Une fois la couverture pédologique décapée, le ravinement progresse en deux temps.
- **Les ravines en (U)** se développent sur matériaux hétérogènes comme les couvertures pédologiques types croûtes calcaires.
- **Les ravines en tunnel** se forment dans des matériaux riches en argiles gonflantes ou en sels solubles (cas des marnes gypseuses).
- **Les ravines en relation avec des mouvements de masse.** (Si le ruissellement domine, les ravines marqueront l'évolution des versants. Par contre si l'infiltration domine, les risques de glissement augmentent).

Conclusion

Les principaux facteurs de dégradation des sols sont multiples. Il s'agit des facteurs naturels (climat, topographie, lithologie, végétation) et anthropique.

Les facteurs morphologiques, lithologiques, climatiques bio-géographiques, et anthropiques, jouent un rôle majeur dans la dégradation des sols au niveau des bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir.

L'étude géologique et lithologique de la zone d'étude, notamment le bassin versant de l'oued Lagreme, montre que ce dernier affiche une vaste superficie caractérisée par les formations meubles (marnes, molasse et arène gneissique d'environ 95,58 % de la totalité du bassin) et un couvert végétal très peu dense. L'eau ruisselée puise son énergie cinétique sur les descentes abruptes du socle kabyle qui limite le bassin versant.

Les bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir ; objet de notre étude connaissent des dégradations et des pertes de sol notamment durant les périodes pluvieuses.

Ceci nous amène à bien mettre en relief les processus les plus énergiques sur le risque de l'érosion occasionné par les deux bassins.

Chapitre : IV

Contexte socio-économique des bassins versants des oueds Lagreme et Kissir

Chapitre IV. Contexte socio-économique des bassins versants des oueds Lagreme et Kissir

Introduction

L'analyse et le traitement des données socio-économiques permettent de mettre en relief les différents éléments qui caractérisent fortement l'occupation humaine et économique des bassins versants des deux oueds Lagreme et kissir. L'étude socio-économique a pour objet de déterminer les différents éléments démographiques, ses répartitions spatio-temporelles, les activités économiques et leurs impacts sur la dynamique de l'occupation des sols des bassins versants en question.

Les changements climatiques et des paysages sous l'influence de la pression démographique et l'extension des cultures d'exploitation, ont contribué à l'exposition accrue des terres au processus de ruissellement, et par conséquent, à la dégradation des sols par l'érosion (Vezena, K et Boon, F., 2006).

IV.1. Contexte socio-économique du bassin versant d'oued Lagreme

IV.1.1. Population

Le bassin versant de l'Oued Lagreme fait partie de la commune de Texenna wilaya de Jijel. Au dernier recensement (RGPH) du 31/12/2011, la population de la commune de Texenna est estimée à 16495 habitants figure 28, avec 8307 habitants pour l'agglomération chef lieu, 3072 habitants pour l'agglomération secondaire et finalement les zones éparses avec 5116 habitants.

Tableau 9. Commune de Texenna : *Evolution de la population* (année 2008-2011)

Année	RPGH 2008	RPGH au 31/12/2008	RPGH au 31/12/2009	RPGH au 31/12/2010	RPGH au 31/12/2011	Sup (Km²)	Densité hab/Km²
Population	15.682	15.845	16.003	16.248	16.495	125,79	131

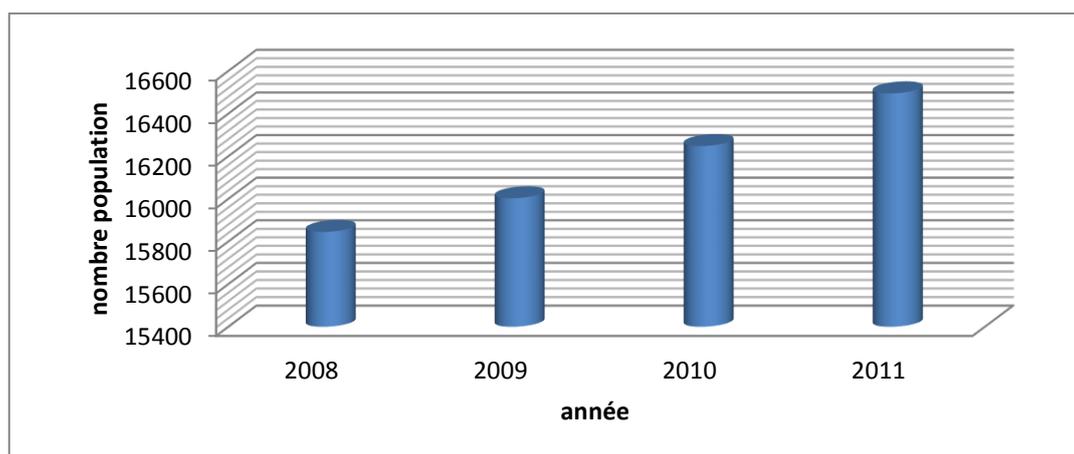


Figure 28. Commune de Texenna : **Evolution de la population** (année 2008- 2011) DPAT jjjel

La population de la commune de Texenna tableau 9 compte environ 15.845 habitants, au cours de l'année 2008. Ce chiffre a atteint en 2011 le nombre de 16495 habitants, avec un taux de croissance pendant cette période de l'ordre de 4.01%.

D'après le RFPH au 31/12/2011 présenté dans les tableaux (10), (11) et (12) ci-dessous, on peut distinguer :

- plus de 50% de la population de la commune de Texenna, est regroupé dans l'agglomération chef lieu (figure.28).
- 18,62% de cette population est regroupée dans des agglomérations secondaires.
- Alors que 31,02% de cette population est dispersées (figure.29).

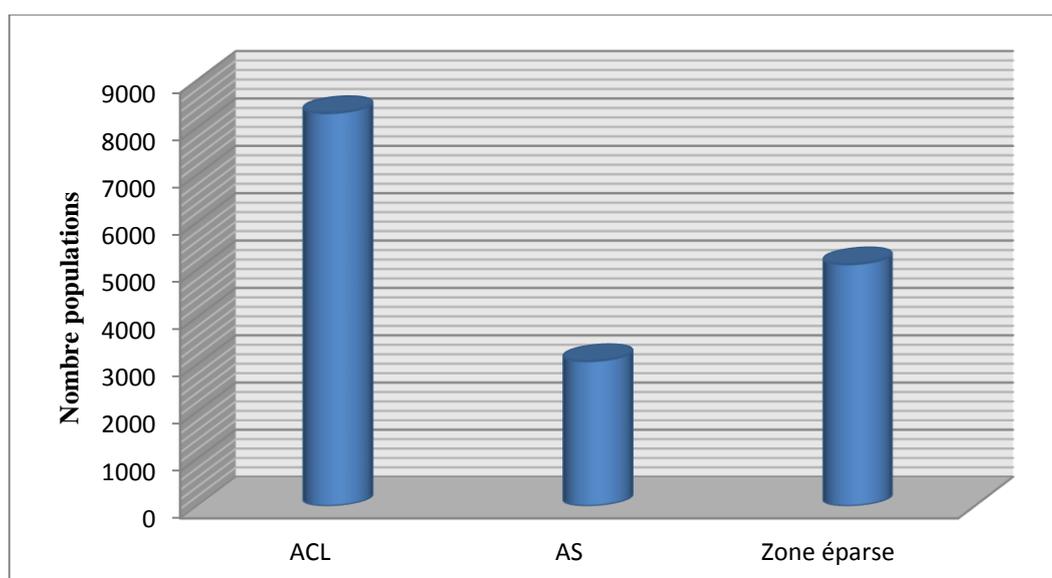


Figure 29. Commune de Texenna : **Répartition de la population résidante** au 31/12/2011 (DPAT jjjel)

Tableau 10. Commune de Texenna : *Evolution de la population résidente des ménages ordinaires et collectifs*, selon les communes de résidence et la dispersion

Année	zone	Population total	Population par région					
			ACL	%	A.S	%	Z.Eparse	%
2008	Commune Texenna	15682	4923	31.39	2907	18,54	7852	50.07
	Wilaya de Jijel	636948	388119	60.93	145573	22,45	103256	16.62
Au 31/12/2009	Commune Texenna	16003	8058	50.35	2981	18.63	4964	31.02
	Wilaya de Jijel	653272	398074	60.93	149338	22.86	105860	16.21
Au 31/12/2011	Commune Texenna	16495	8307	50.36	3072	18.62	5116	31.02
	Wilaya de Jijel	673415	410389	60.94	153944	22.86	109082	16.2

❖ **Population résidente par commune, sexe et taux d'accroissement annuel moyen (1998-2008 au 31/12/2011).**

Tableau 11. Commune de Texenna : *Population par sexe* (2008- 2011) (DPAT Jijel)

	Année	Population total	Population		Taux d'accroissement
			Masculin	Féminin	
Commune de Texenna	2008	15682	7872	7810	05.18%
	2011	16495	8316	8179	/
Wilaya de Jijel	2008	636948	320820	316128	05.73%
	2011	673415	339564	333851	/

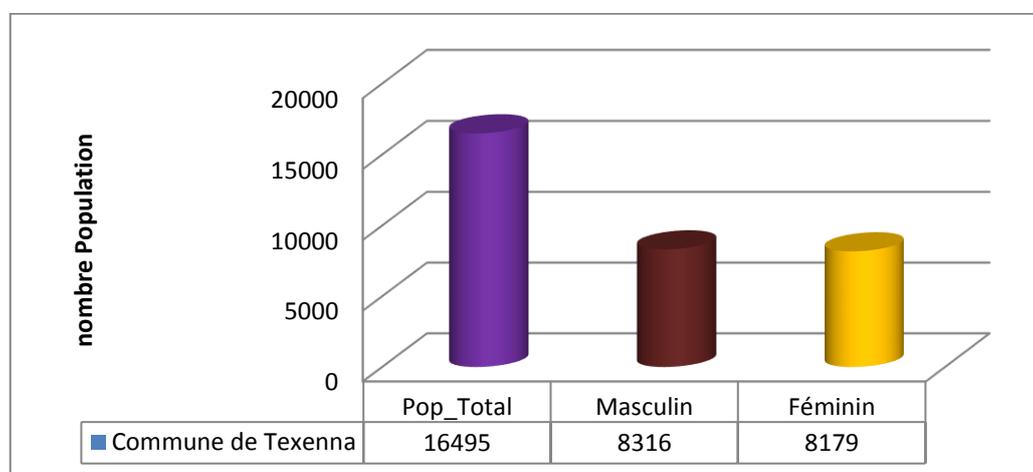


Figure 30. Commune de Texenna : *Population par sexe* (année 2011, DPAT jijel)

❖ Les ménages

Tableau 12. Commune de Texenna : *Effectifs et taille moyenne des ménages* (DPAT jjjel)

Ménage	Total	Dont		
		ACL	A.S	Z.Eparse
Effectif	2340	1143	433	764
%	100	48,85	18,50	32,65
Taille moyenne	6.7	6.9	6.7	6.4

Selon les figures 31 et 32, la plupart des ménages dans le bassin versant de l'oued Lagrme sont regroupés dans l'agglomération chef-lieu, avec plus de 48 %.

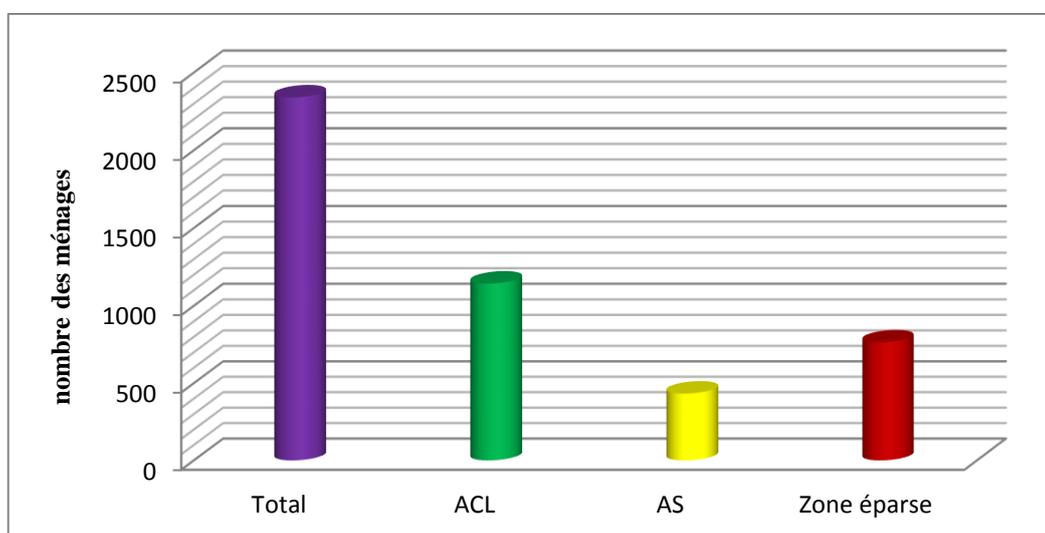


Figure31. Commune de Texenna : *Nombre des ménages* (DPAT jjjel, année 2011)

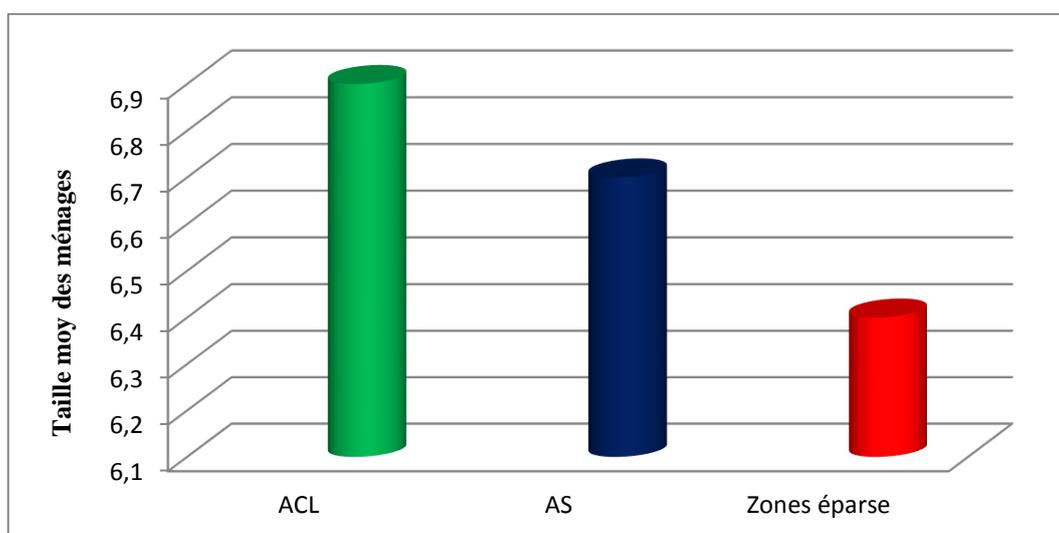


Figure 32. Commune de Texenna : *Taille moyenne des ménages* (DPAT jjjel, année 2011)

Généralement la population dans la zone étudiée, mène des activités des revenus, notamment dans les domaines de l'agriculture (avec 24.37%), services (33.42%) et de BTPH (Bâtiment, travaux publics et hydrauliques) (17.33%).

❖ **Répartition de la population active**

Selon le dernier recensement (RGPH) au 31/12/2011, la population active de la commune de Texenna (figure.33) est estimée à 7958 soit 48,24 % de la population totale.

La population dans le bassin versant de l'oued Lagreme se trouve concentrée en grande partie dans le sud, c'est-à-dire en amont du bassin versant (Texenna et Ghariana).

Tableau 13. Commune de Texenna : *Population active et en chômage* (RGPH, au 31/12/2011)

	Population Totale	Population active	%	Population occupée	%	Pop.en chômage	%
Commune de texenna	16495	7958	48.24	7321	91.99	637	8.01
Wilaya de Jijel	673415	317695	47.17	287927	90.63	29768	9.37

Selon le tableau (13) ci-dessus le pourcentage de la population occupée, et la population en chômage dans la commune de Texenna sont respectivement de 91.99%, 8.01%.

❖ **Emploi**

La commune de texenna compte au 31/11/2011 une population active figure 33 de l'ordre de 7958 personnes dont 7321 personnes actives, soit un taux de 91,99%.

Tableau 14. Commune de Texenna : *Evolution de la population occupée par secteur*, (31/11/2009 au 31/11/2011)

Année	Pop. active	Pop. occupée	Agriculture	BTPH	Indus	Services	Admin.	Autres	Total
Au 31/11/2009	6191	5679	1384	984	174	1898	725	514	5679
		91,73	24,37	17,33	3,06	33.42	12.77	9.03	100%
Au 31/11/2011	7958	7321	1997	1352	236	761	978	1997	7321
		91.99	27.28	18.47	3.22	10.39	13.36	27.28	100%

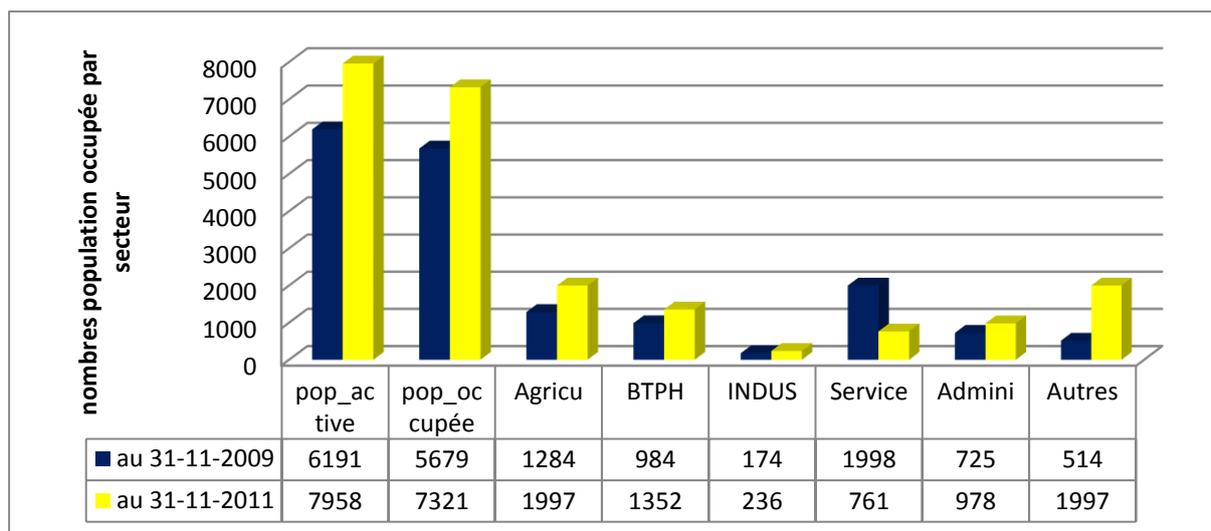


Figure 33. Commune de Texenna : *Evolution de la population occupée par secteur* (année 2011, DPAT jijel)

Selon le RGPH au 31/11/2011 :

- Le secteur de l'agriculture procure une activité à plus 27% de la population occupée.
- Le secteur Industriel, les services, et l'administration fournit un pourcentage faible, grâce à la forte concentration ou activités économique dans les (3) trois principaux centres urbains (Jijel- Taher et El-Milia).

Dans l'ensemble, entre octobre 2009 et octobre 2011, l'évolution de la population occupée par secteur est distribuée comme suit :

- L'agriculture est passée d'une proportion de 24.37 % à 27.28 %.
- Les services sont passés d'une proportion de 33.42 % à 10.39 %.
- L'industrie est passée d'une proportion de 3.06 % à 3.22 %.
- L'administration quant à elle est passée de 12.77 % à 13.36 %.

IV.1.2. L'habitat

Le nombre a progressé de 2130 en 2009 à 2392 constructions au 31/12/2011, soit une évolution bisannuelle de 262 constructions.

Tableau15. Commune de Texenna : *Répartition de logements habités selon le type de construction* (DPAT jijel)

Année	Nombre de construction	Construction précaire + traditionnelle	Maison individuelle	Immeubles
2009	2130	902	862	366
Au 31/11/2011	2392	/	/	/

Cette éminente progression tableau (15) est remarquée principalement dans l'agglomération chef lieu (A.C.L), et la zone d'El-Ghariana.

IV.1.3. Équipements

- **Éducation**

Le secteur éducatif de la commune de Texenna compte plusieurs infrastructures de l'enseignement des trois cycles.

La répartition des différents établissements à travers le territoire de la commune de Texenna est présentée dans le tableau (16) ci-dessous :

Tableau 16. Commune de Texenna : *Répartition des différents établissements et encadrement* Selon le RGPH au 31/11/2011

Type d'établissement	Nombre d'établissement	Nombre d'élèves	Encadrement
Primaire (école)	15	1292	85
Moyenne (CEM)	3	1077	68
Secondaire et technologie (lycée)	1	859	41
Total	19	3228	194

Selon le tableau (16) ci-dessus, la commune de Texenna renferme 19 établissements. Ces derniers sont fréquentés par 3228 élèves, et 194 enseignants.

IV.1.4. Les infrastructures de base

Selon le tableau 17 et figure 34 ci-dessous la répartition sur le bassin versant de l'oued Lagreme :

- Le réseau routier caractérise à lui seul les infrastructures de base.

- La route nationale N° 77, (9.21 km) qui traverse le bassin versant (rive gauche de l'Oued Lagreme).
- Un réseau routier revêtu secondaire, occupe une partie importante de l'amont du bassin versant, avec (38.79 km).
- Les pistes sillonnant la totalité du bassin avec 62.98 km.

Tableau 17. Bassin versant d'oued Lagreme : *Répartition des réseaux routiers* (image satellitaire année 2017)

Infrastructure	Unité	Valeurs	%
Bati	km ²	0.32	0.85
Route_W_N°77	km	9.21	-
Route revetus	km	38.79	-
Piste	km	62.98	-

Le cadre bâti occupe la partie sud et sud-ouest du bassin, avec une superficie totale de l'ordre de 0.32 km². Donc on constate que le bâti occupe une grande partie du sud relative aux lotissements de chef-lieu de la commune de Texenna, et au sud –ouest aux agglomérations d'El Gharina.

IV.1.5. Le secteur économique

L'agriculture constitue l'activité économique de premier ordre de la wilaya de jijel. L'activité agricole dans le bassin versant de l'oued Lagreme (tableau.18.) est orientée dans la totalité vers Cereale, maraichage et arboriculture.

- **Agriculture** : Selon le recensement 2011 la production agricole par groupe de culture dans la commune de texenna est présentée dans le tableau.18. ci dessous :

Tableau 18. Commune de Texenna : *Production agricole par groupe de culture* (Selon le RGPH au 31/11/2011)

	Cereale (ha)	Legumes (ha)
Texenna	7	5

Le nombre de la population et la croissance démographique élevée dans le bassin versant de l'oued Lagreme posent le problème de l'équilibre écosystème. La gravité des conséquences anthropiques notamment la dégradation du domaine forestier (déboisement) pour les besoins agricoles en zone de pente avec des techniques traditionnelles non contrôlés et l'extension urbaine anarchique vers les zones sensibles.

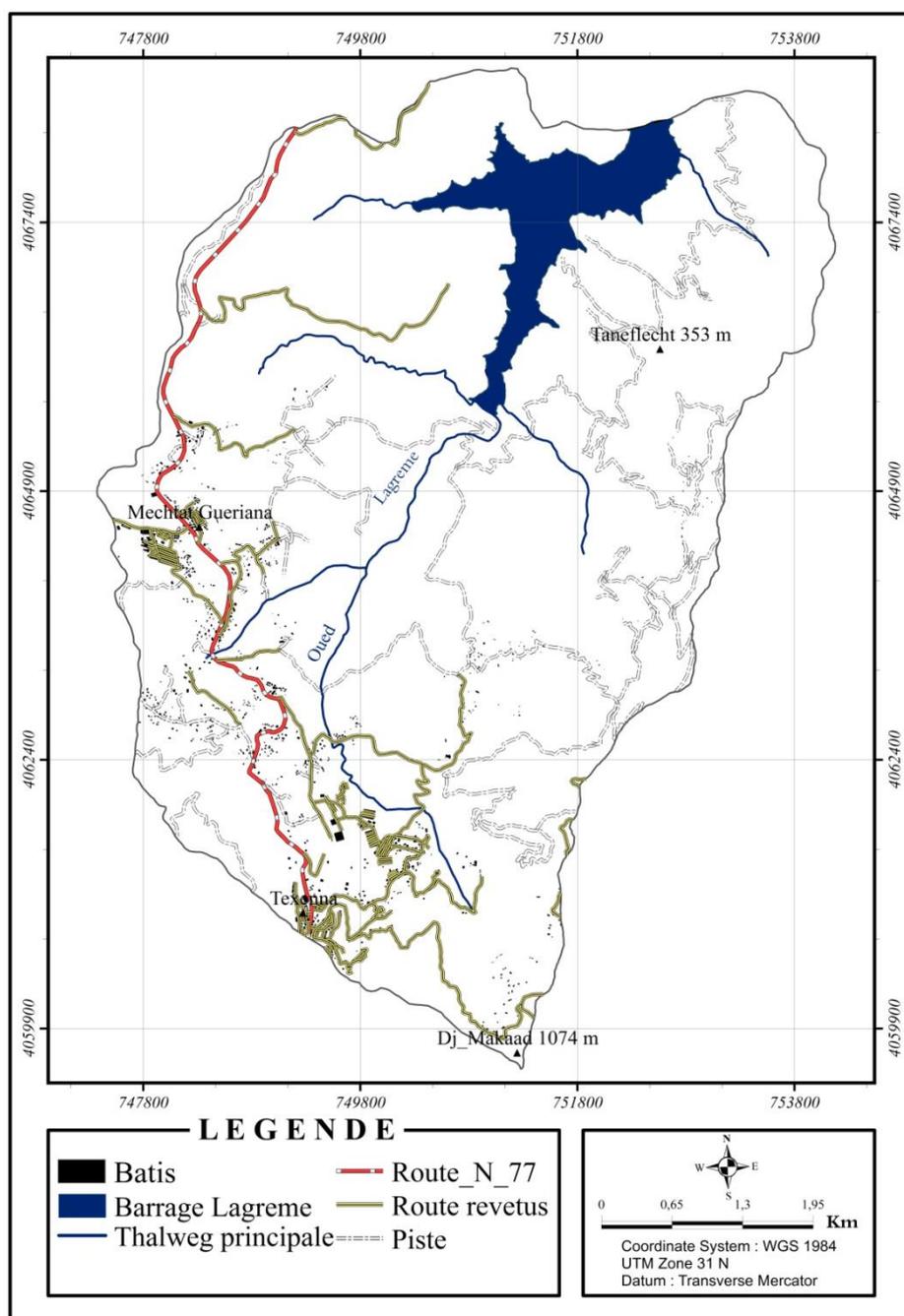


Figure 34. Bassin versant d'oued Lagreme : *Les infrastructures*

(source image satellitaire, 2017)

Élevage : l'effectif du cheptel bovin dans la commune de Texenna est estimé à 2492 têtes. Alors que le cheptel ovin a pour effectif 11430 têtes tandis que l'effectif des cheptels caprin est estimé à 3967 têtes. Ce type d'élevage est très important du fait de sa relation directe avec la dynamique du milieu (effet dramatique sur les ressources du milieu naturel).



Photo16. Bassin versant d'oued Lagreme : *Extention urbaine vers les zones sensibles*

Les modifications entraînées par l'homme sur les bassins versants souvent jouent un rôle capital en termes d'hydrologie.



Photo17. Bassin versant d'oued Lagreme : *Dégradation de la forêt de chêne liège*

Généralement la surface des terrains impermeables (urbanisés), photos (16) et (17) augmentent le ruissellement, diminuent l'infiltration, et par conséquent baissent le temps de concentration pour un bassin versant naturel.

IV.2. Caractéristique socio-économique de bassin versant d'oued Kissir

L'ensemble du bassin versant de l'oued Kissir présente une particularité de l'absence totale des agglomérations importantes. Seul le hameau de Hamza comptant quelques habitations éparses sont présentes sur les lieux.

Selon la figure 35 ci-dessous, on constate que le bassin versant de l'oued Kissir est moins peuplé par rapport au bassin versant de l'oued Lagreme.

Tableau 19. Bassin versant d'oued Kissir : *Répartition du cadre bâti et réseaux routiers* (image satellitaire, année 2017)

Infrastructure	Unité	Valeurs
Bati	Km ²	0.09
Route_N_poids lourd	km	3.98
Route revetus	km	19.59
Piste	km	113.62

Diverses sortes d'activités humaines, pratiques agricoles, exploitations forestières, pâturages, construction des routes et bâtiments tendent à modifier les phénomènes d'érosion (Wachal, D, J et al 2007.



Photo18. Bassin versant d'oued Kissir : *Bâti épars*

Les zones éparses de bassin tableau 19 et photo 18 comptent un cadre bâti occupant une superficie de l'ordre de 0.09 km².

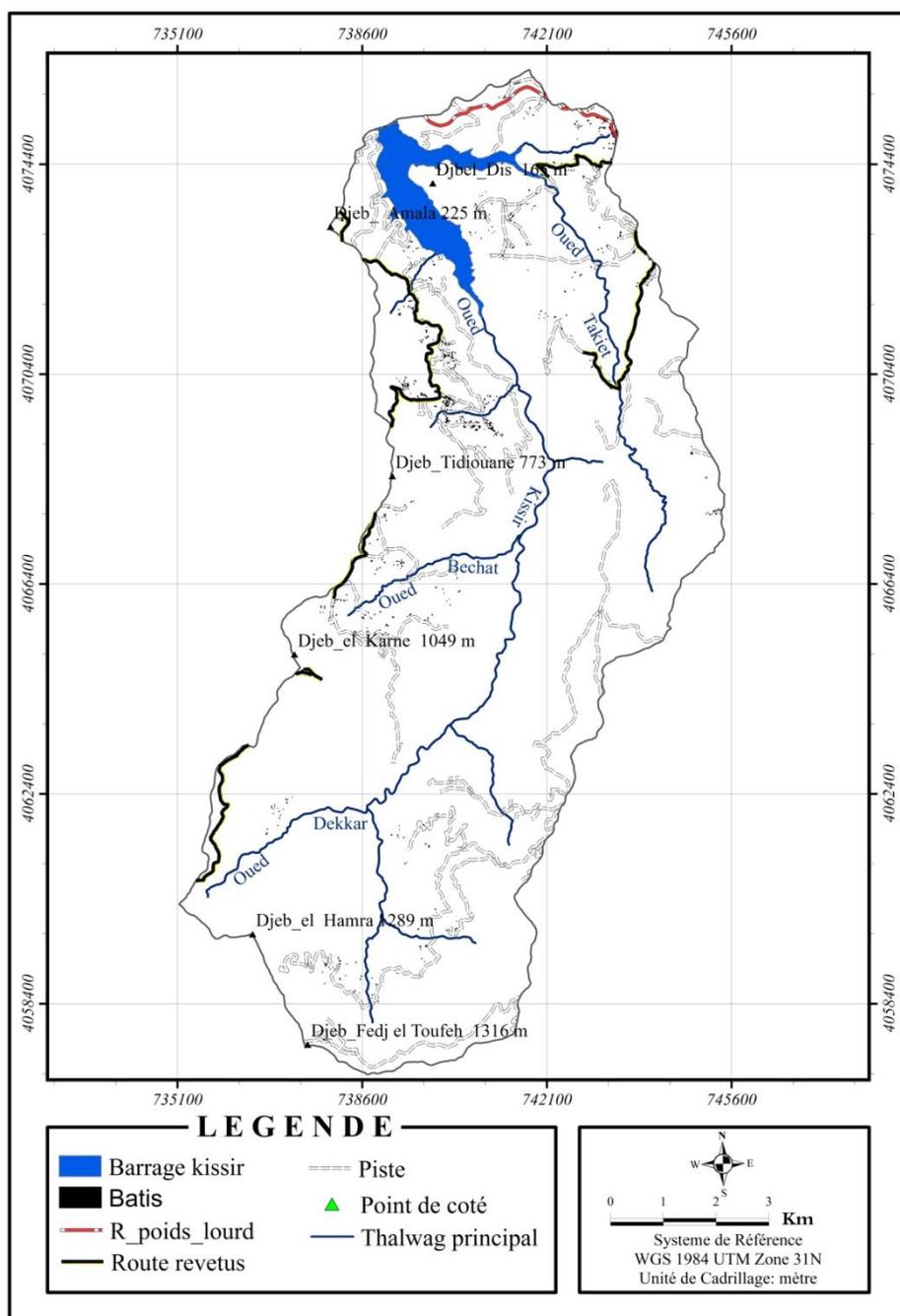


Figure 35. Bassin versant d'oued Kissir : *Les infrastructures* (image satellitaire, année 2017)

Selon le RGPH aux 31/11/2011 la population des petits douars ont connu durant les années 90 des fortes émigrations vers les grandes agglomérations. Donc la population de bassin versant de l'oued Kissir a connu une évolution négative.



Photo 19. Bassin versant d'oued Kissir : *Oléiculture* (année 2017)

L'Oléiculture photo 19 constitue l'activité économique remarquable dans le bassin versant de l'oued Kissir. Dans l'ensemble l'activité agricole dans le bassin versant de l'aoud kissir est orientée dans la totalité vers l'arboriculture notamment l'olivier, autres arbres fruitiers.

Conclusion

L'érosion hydrique dans un bassin versant est profondément liée au mode d'occupation des sols notamment le couvert végétal et l'activité agricole. Le facteur anthropique reste le processus le plus important dans l'équation générale de risque érosion hydrique. Le pourcentage élevé de l'habitat rural dans la zone d'étude notamment le bassin versant de l'oued Lagreme, présente une pression sur le milieu naturel. Les conséquences actuelles sont inquiétantes (dégradation du couvert végétal, extensions urbaines vers les zones sensibles, érosion hydrique...).

La totalité de la population dans le bassin versant de l'oued Lagreme se trouve concentrée en grande partie dans la zone sud, c'est-à-dire en amont du bassin versant (Texenna et Ghariana).

Pour le bassin versant d'oued Kissir, généralement l'activité agricole est orientée dans sa totalité vers l'arboriculture notamment l'oléiculture.

Deuxième partie

Analyse hydro-climatologique et morphométrique

Chapitre :V

Caractéristiques climatiques

Chapitre V. Caractéristiques climatiques

Introduction

Les risques liés aux phénomènes d'érosion hydrique dans les bassins versants ont lieu durant les périodes pluviales (averses, orages, pluies torrentielles) et/ou, lors de la fonte des neiges et de glace selon le régime d'écoulement et que des facteurs plus subtils peuvent entrer en jeu. Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques, et biogéographiques, les conditions climatiques d'un bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche, M. 1963).

Parmi les difficultés rencontrées sur le terrain qui sont assez contraignantes pour la réalisation d'un suivi rigoureux de l'évolution de l'état des bassins étudiés on peut citer :

- Le manque et l'insuffisance des équipements climatiques et hydrométriques du bassin de la zone d'étude
- Le manque de documentation spécialisée et des données sur la région
- Les longues séries d'observation sont rares surtout pour les données hydrométriques

Cependant, nous allons tenter de faire procéder les différentes propriétés du climat de l'aire d'étude, à partir des données disponibles. De ce fait, cette étude sera nécessairement réservée à tout ce qui a trait à :

- L'étude de toutes les données pluviométriques.
- L'examen du facteur température et de sa combinaison aux données pluviométriques.

La compréhension de tous ces éléments sera en fin de compte simplifiée par un bilan hydrographique.

Par sa position en Afrique du Nord, l'Algérie correspond à la zone de contact entre les masses d'air d'origine ou d'affinités polaires et arctiques d'une part et les masses tropicales d'autre part (Seltzer, P. 1946). Les averses orageuses de forte intensité ont particulièrement fréquentes en automne lorsque le couvert végétal est absent (Arabi, M et Roose, E, 1989).

V.1. Les précipitations

Sur le plan morphologique, la zone d'étude est limitée au sud par une chaîne de montagne caractérisée par des reliefs très accidentés de la chaîne numidique.

L'aire d'étude qui fait partie de l'Atlas Tellien et caractérisé par un climat tempéré et humide distingué par un été sec et chaud et un hiver doux et humide avec des précipitations annuelles variant entre 900 et 1200 mm.

D'après la carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien, figure 36 établie par M.Côte - 1998, le bassin versant de l'Oued Lgreme appartient à l'étage bioclimatique humide.

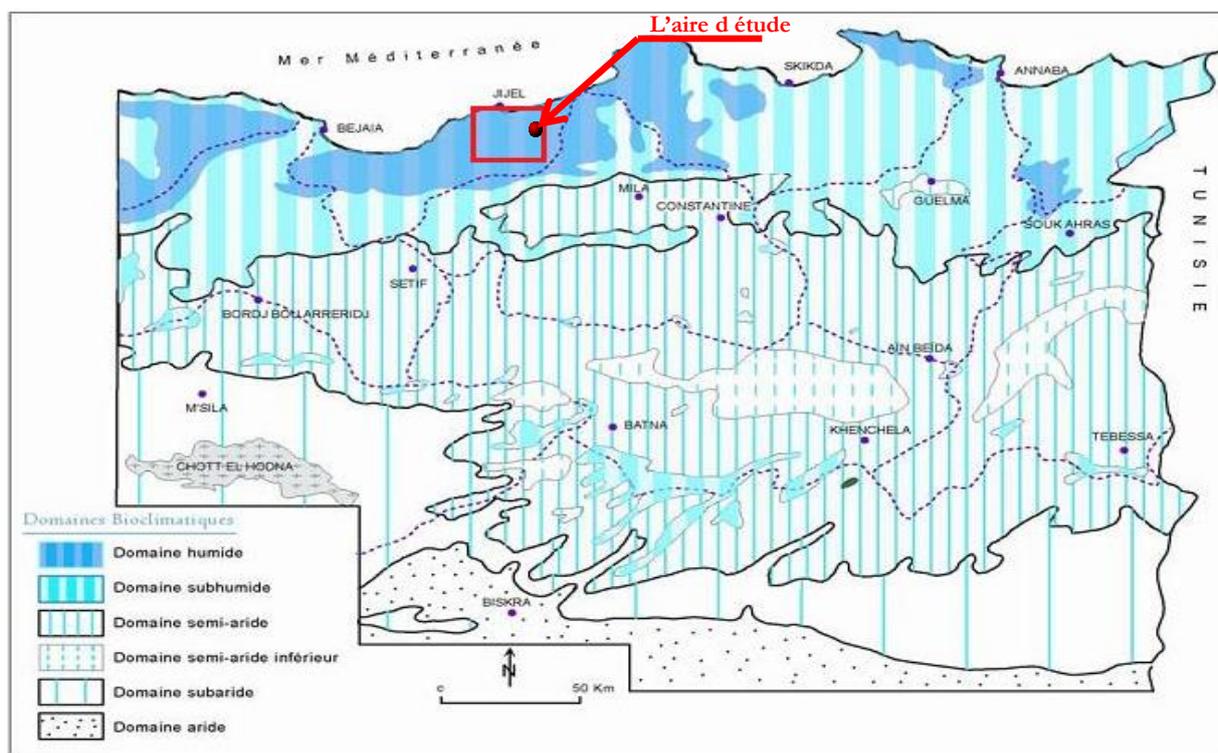


Figure 36. Est algérien : *Zones bioclimatiques* (Côte M., 1998)

Deux groupes de facteurs, géographiques (éloignement par rapport à la mer, altitude, exposition des versants par rapport aux vents pluvieux du Nord-Ouest) et météorologiques (déplacement des masses d'air polaire océanique, froid et humide, des masses d'air tropical chaud et humide de l'Atlantique Sud et enfin des masses d'air tropical continental ou anticyclone saharien) influencent la répartition spatiale des précipitations mais aussi les structures des régimes pluviométriques (Chaumont M. et Paquin C., 1971).

La cartes pluviométriques (données moyennes de 60 ans, périodes de 1 septembre 1921 au 31 Août 1960, et de 1 septembre 1968 au 31 Août 1989), montrent que les précipitations dans le nord-est Algérien diminuent du nord vers le sud du pays. La zone d'étude est cernées dans leurs bordure Nord figure 37 par l'isohyète 1200 mm et au Sud par l'isohyète 1400 mm. Pendant les périodes pluvieuses, l'écoulement dans la zone d'étude peut atteindre des valeurs extrêmes.

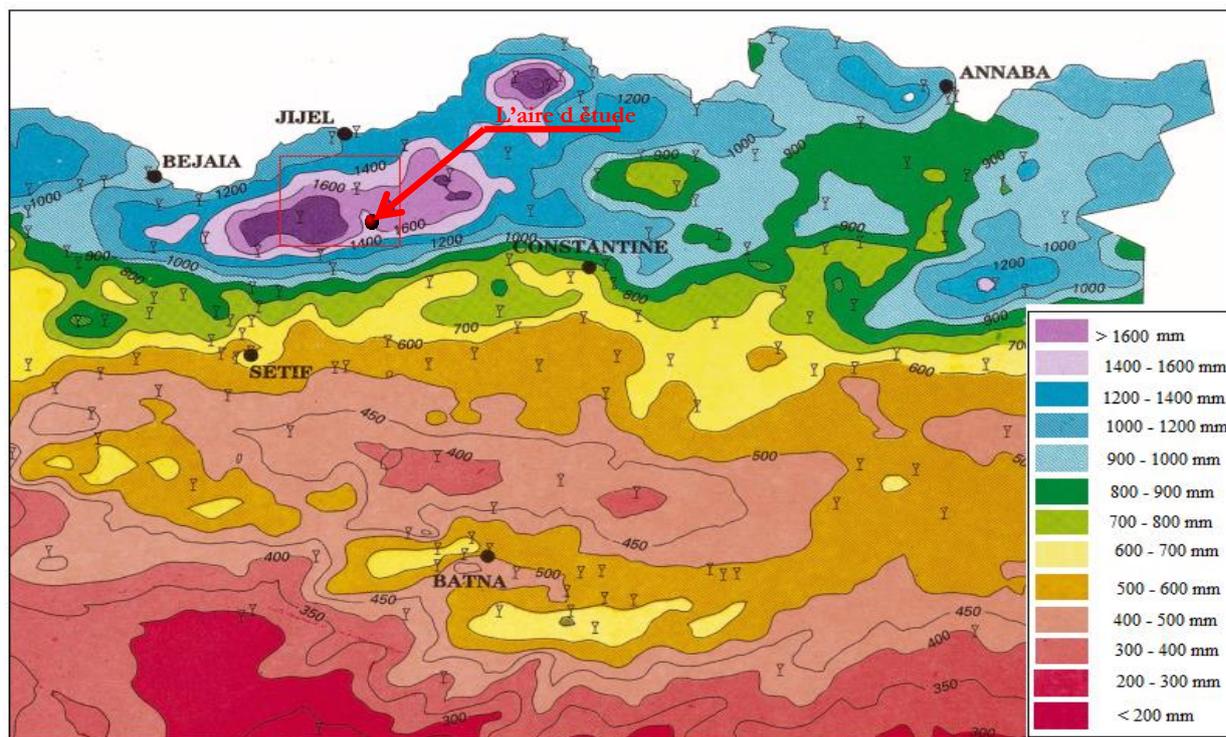


Figure 37. Nort-est algérien : *Hauteurs pluviométriques annuelles 1965_2002 ANRH*

La carte des hauteurs pluviométriques annuelles dépassées en moyenne une année sur dix (pluies annuelles « décennales humides) 1965_2002 ANRH (données moyennes de 37 ans, montrent que les hauteurs pluviométriques décennales humides pour cette période dans le nord-est Algérien diminuent du littoral vers l'intérieur de pays. L'aire d'étude est caractérisée par une dominante hauteur pluviométrique pendant cette période qui franchit le 1600 mm.

Tableau 20. Zone d'étude : *Positionnement spatiales des stations pluviométriques* (voisine)

Nom de la station	Code	Altitude(m)	Longitude	Latitude
Texenna	03.03.02 30302	725	547 E 776.2	3639 N 377.8
Col de Fedoulès	10.02.07	843	557 E	3633 N
Taher Aéroport F.Abbès	03.05.04 30504	8	553E 785.6	3648N 390.5
ANRH Port -Jijel	30301	6	773.9	396.1
Lgreme Chadia	30312	94	779.4	386.5

L'étude et l'analyse des valeurs des précipitations des différentes stations (tableau.20) Achouat (Taher aéroport), Texenna, ANRH (Jijel port), Lagreme (Chadia), nous ont permis de connaître et d'apprécier les caractéristiques climatiques des deux bassins versants Oued Lagreme et Oued Kissir, et de déceler leurs variations ayant affecté le climat de cette région.

Dans cette étude, le choix des séries s'étalent sur une longue durée. Cette longue durée nous permet de définir le régime pluviométrique des milieux en question avec précision, et d'identifier la nature de la manifestation des années sèches de celles plus humides.

L'examen des précipitations moyennes annuelles et mensuelles s'est effectué à partir des données de la série ancienne P.Seltzer (1913-1938) des stations de Taher (aéroport), Texenna, ANRH(Jijel),Chadia (Lagreme) et Col Fedoules et des séries récentes qui s'étend de (1971-2008), 1985-2013.

Pour les données climatiques des deux séries anciennes et récentes, et en raison de l'absence des stations professionnelles aux niveaux des bassins versants objet d'études nous avons pris en considération les stations répondant approximativement aux mêmes conditions, et les mêmes régimes climatiques des différentes périodes d'études.

A- Série ancienne : P.SELTZER (1913-1938)

Le tableau (21) ci-dessous montre les moyennes mensuelles des précipitations des périodes anciennes 1913-1936 station Aéroport Ferhat Abbas -Taher :

Tableau 21. *Moyennes mensuelles des précipitations* pour la période (P. Seltzer1913-1938 en mm, station de Taher aéroport)

Mois	Sep	O	N	D	Jan	Fev	Mar	Av	M	Ju	JL	A
Précipitation (mm)	86	125	192	22	193	143	107	82	57	27	03	07
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Précipitation (mm)	403			548			246			37		

Selon Seltzer, 1946, le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été sec et ensoleillé.

D'après le tableau 22 ci-dessus, on remarque que les précipitations moyennes mensuelles les plus élevées (pour la période de Seltzer) station de Taher, sont observées durant les mois d'Octobre, Novembre, Janvier, Février, et Mars avec, 125, 192, 193, 143 et 107 mm respectivement. Par contre les moyennes mensuelles figure 38 les plus basses sont enregistrées durant le mois de Juillet avec 3 mm, et le mois d'août avec 7 mm.

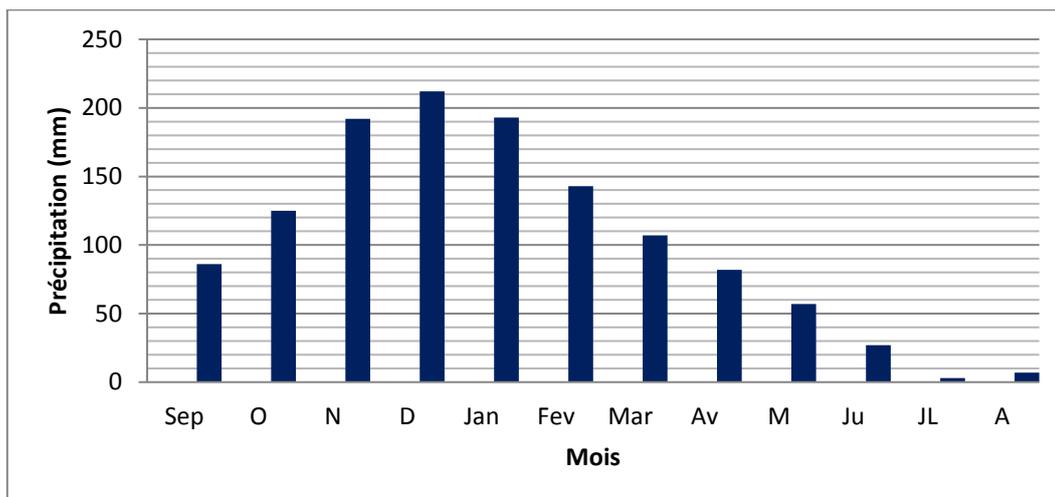


Figure 38. *Moyennes mensuelles des précipitations* pour la période 1913-1938 en (mm), station de Taher (aéroport)

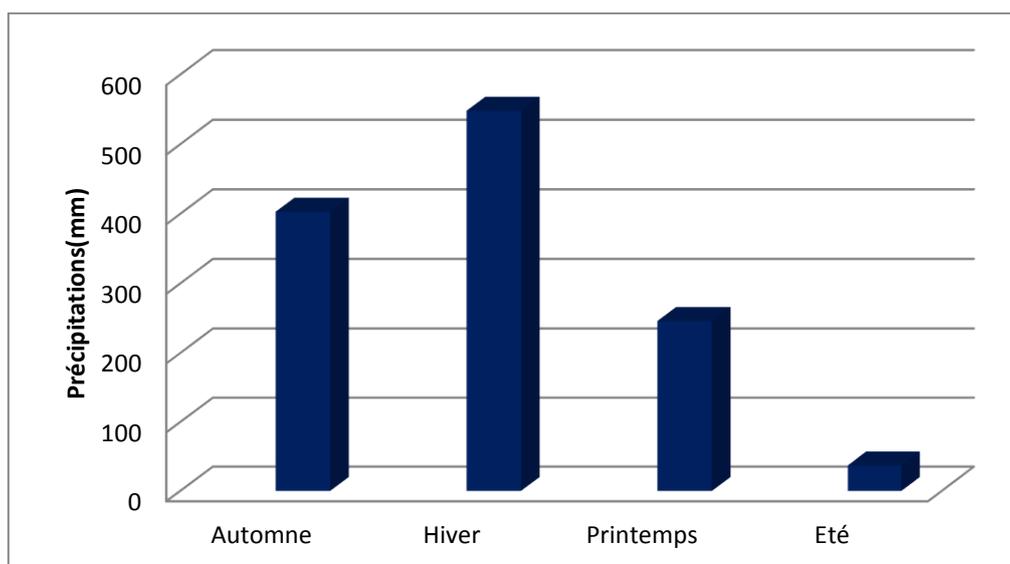


Figure 39. *Moyenne saisonnière des précipitations* pour la période 1913-1938 en (mm), station de Taher (Aéroport)

D'après les résultats reportés dans les tableaux ci-dessus et figure 39 série ancienne : P.Seltzer (1913-1938), nous remarquons que l'hiver et l'automne sont les saisons les plus pluvieuses, par contre l'été est la saison la plus sèche.

- **Pluies torrentielles**

Pour mieux comprendre le comportement des écoulements superficiels dans le bassin versant objet d'étude, et leurs effets sur les diverses phases des crues, notre étude prend en considération l'analyse des précipitations journalières et les pluies torrentielles (tableau.22).

Tableau 22. *Nombres de jours des pluies torrentielles* pour la période (P.SELTZER 1913-1938, stations de Taher et Texenna)

Stations	Répartitions annuelle												Répartition par intensité (mm /24h)			
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JI	A	30/50	50/70	70/100	+100
Taher	12	36	35	39	36	13	15	15	12	06	01	01	181	42	15	03
	Total = 241												Hauteur maximal observé (mm/24h) = 136			
Texenna	17	27	40	55	64	52	26	31	21	05	00	02	231	75	31	03
	Total = 340												Hauteur maximal observé (mm/24h) = 133			

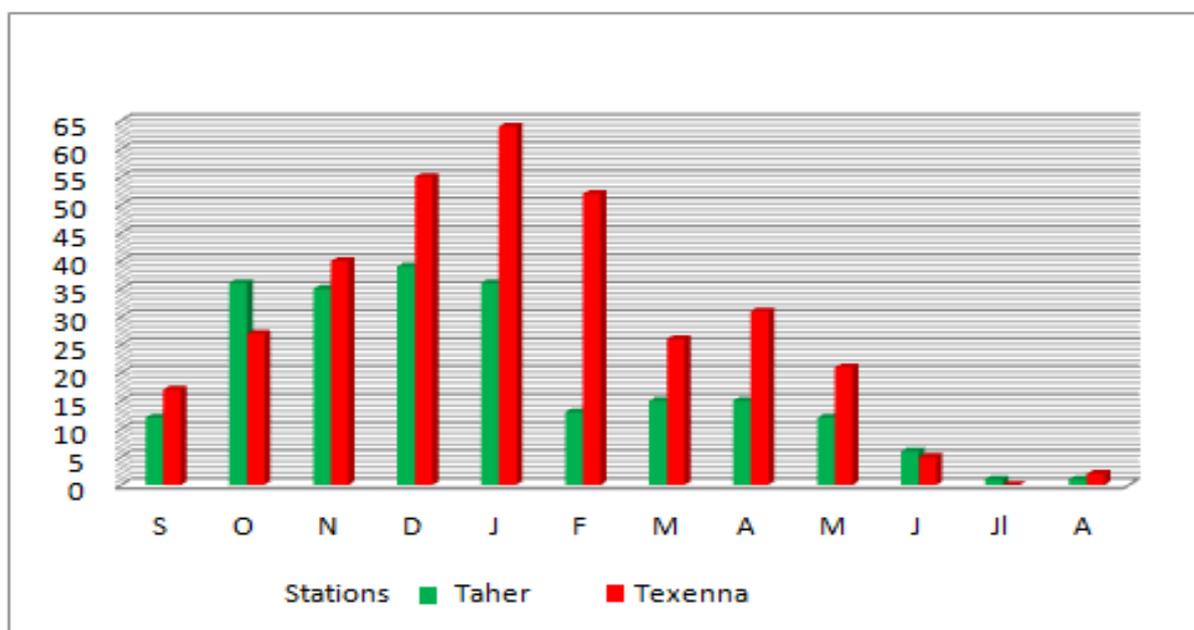


Figure 40. *Nombres de jours des pluies torrentielles* pour la période (Seltzer.P 1913-1938), stations de Taher et Texenna

De la partie avale du bassin versant de L'oued Lagreme représenté par la station de Taher jusqu'à la partie amont représentée par la station de Texenna le nombre de jours des pluies torrentielles pour la période de Seltzer 1913-1938 (figure 40) augmente selon l'altitude, et la fréquence la plus élevée est enregistrée pour les deux stations au mois de janvier.

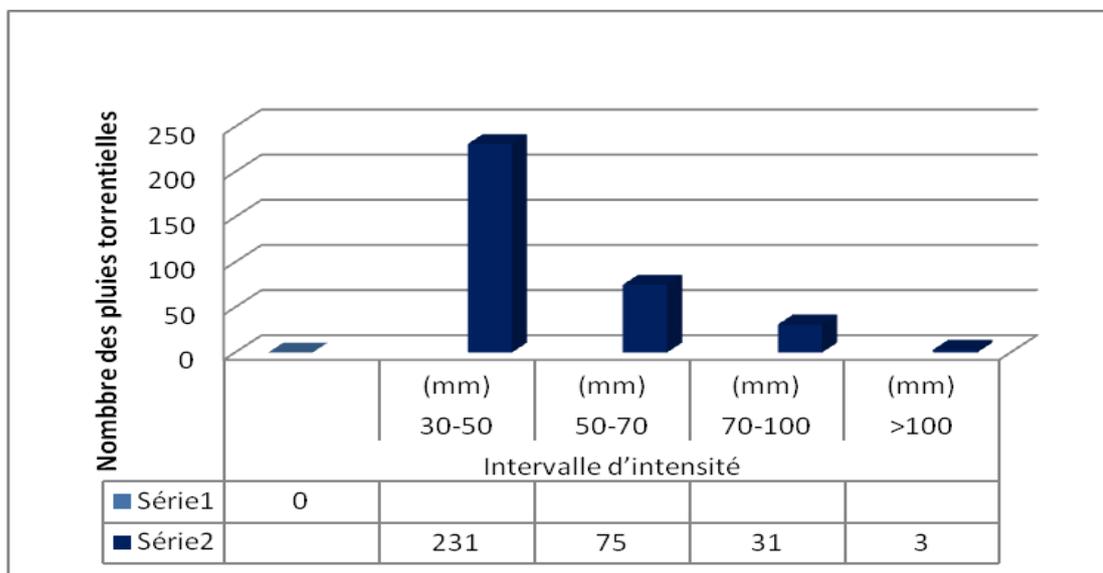


Figure 41 : *Nombre des pluies torrentielles* (mm/24h)
Période Seltzer.P, 1913-1938(Station de Texenna)

Pour la répartition des pluies torrentielles par intensité (mm/24 h) figure 41, les hauteurs maximales observées en 24 heures sont quasiment pareilles pour les deux stations (amont_aval) avec une moyenne de l'ordre de 134.5 mm/24 heures.

Les mois de décembre et janvier étant les plus pluvieux dans les deux stations et les fréquences des plus hautes pluies torrentielles enregistrées correspond avec ces deux mois.

- ❖ **Pour les précipitations solides** : le tableau (23) ci-dessous montre le nombre moyen des jours de la gelé blanche pour la période (Seltzer. P 1913-1938 des stations de (Aéroport Ferhat Abbas –Taher et Texenna).

Tableau 23. *Nombre moyen des jours de la gelée blanche pour* la période (Seltzer.P, 1913-1938 des stations de (Aéroport Ferhat Abbas –Taher et Texenna)

Stations Mois	Taher	Texenna
Sep	00	00
Oct	00	0,1
Nov	00	0,3
Dec	0,1	2,1
Jan	0,3	3,6
Fev	1,7	1,9
Mar	00	0,6
Avr	00	0,4
Mai	00	00
Jui	00	00
Jul	00	00
Aout	00	00
Moyenne annuelle	2,1	9,0

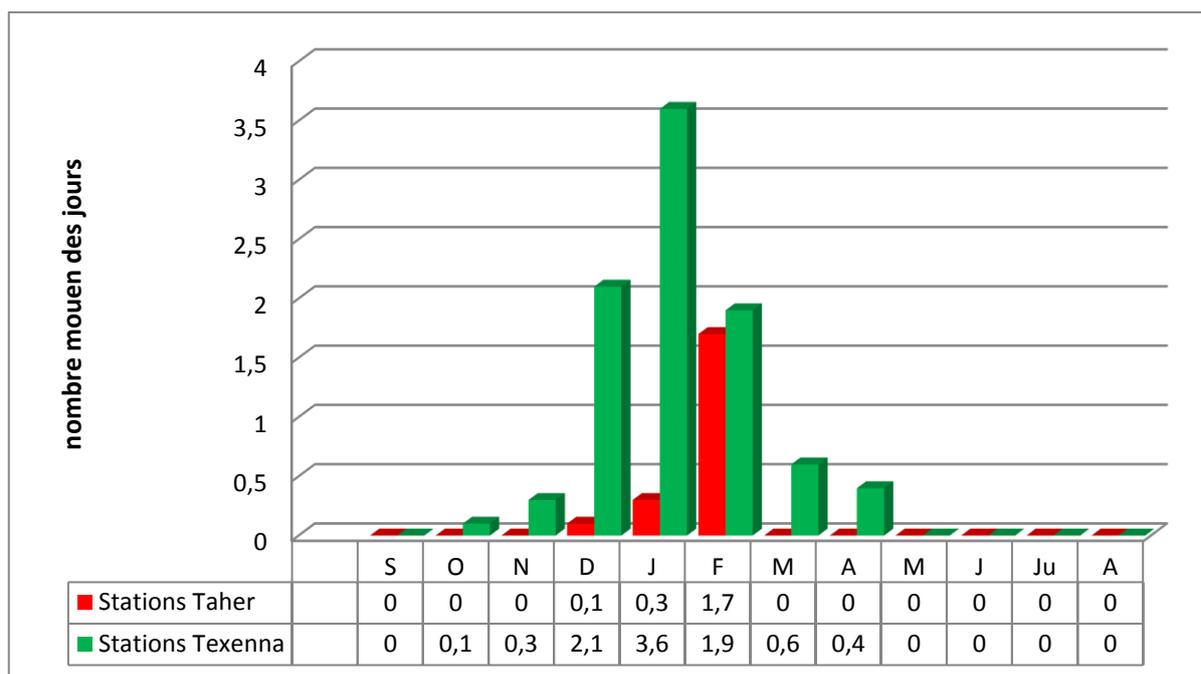


Figure 42. *Nombre moyen des jours de la gelée blanche pour la période* (Seltzer.P, 1913-1938 en (mm) des stations de (Aéroport Ferhat Abbas –Taher et Texenna

D'après la figure 42 ci-dessus, la gelée enregistrée dans la station de Texenna pour la période (Seltzer.P, 1913-1938 atteint neufs (9) jours par contre ne dépasse pas 2.1 pour la station de Taher. Donc les précipitations solides sont fréquentes dans la partie amont de l'air d'étude.

B- Série récente

❖ Les précipitations

L'étude des précipitations moyennes mensuelles s'est effectuée à partir des données récentes des séries qui s'étendent de 1961- 1991 pour les stations : Taher Aéroport Ferhat Abbas, Texenna, Erraguène, et Col Fedoulès et la période de 1988 / 2007 des stations ANRH, Lagreme et Taher (aéroport).

- Variations mensuelles

Tous les auteurs qui ont étudié la pluviométrie en Algérie ont montré que la répartition de la pluie subit trois influences, celle de l'altitude (conditions topographiques), de la longitude et enfin celle de l'éloignement à la mer. (Bouanani, A. 2004).

- **Précipitations moyennes mensuelles des stations : Achouat aéroport, Texenna, Erraguene, et Col de Fedoules période 1961- 1991 :**

La zone d'étude s'inscrit dans la zone climatique méditerranéenne, caractérisée par un hiver humide et un été chaud.

Tableau 24. *Moyennes mensuelles des précipitations*, période 1961- 1991 (Stations de Taher, Texenna, Erraguene et Col de Fedoules)

Stations Mois	Taher (Aéroport)	Texenna	Erraguene	Col de Fedoules
	Précipitations (mm)			
Sep	37,2	40,1	65,3	48,2
Oct	79,3	137,5	210,6	201,6
Nov	180,1	221,6	240,6	231,5
Dec	269,7	264,4	301,6	296,6
Jan	153,4	169,7	200,5	181,2
Fev	94,1	119,2	139,7	139,4
Mar	74,6	109,9	115,5	112,9
Av	52,9	77,5	87,6	94,7
Mai	21,5	60,5	53,2	56,5
Jui	11,2	15,7	10,5	16,2
Jul	3,9	8,1	9,4	9,3
Aout	3,3	5,2	6,3	6,9
Annuel	981,2	1229,4	1440,8	1395

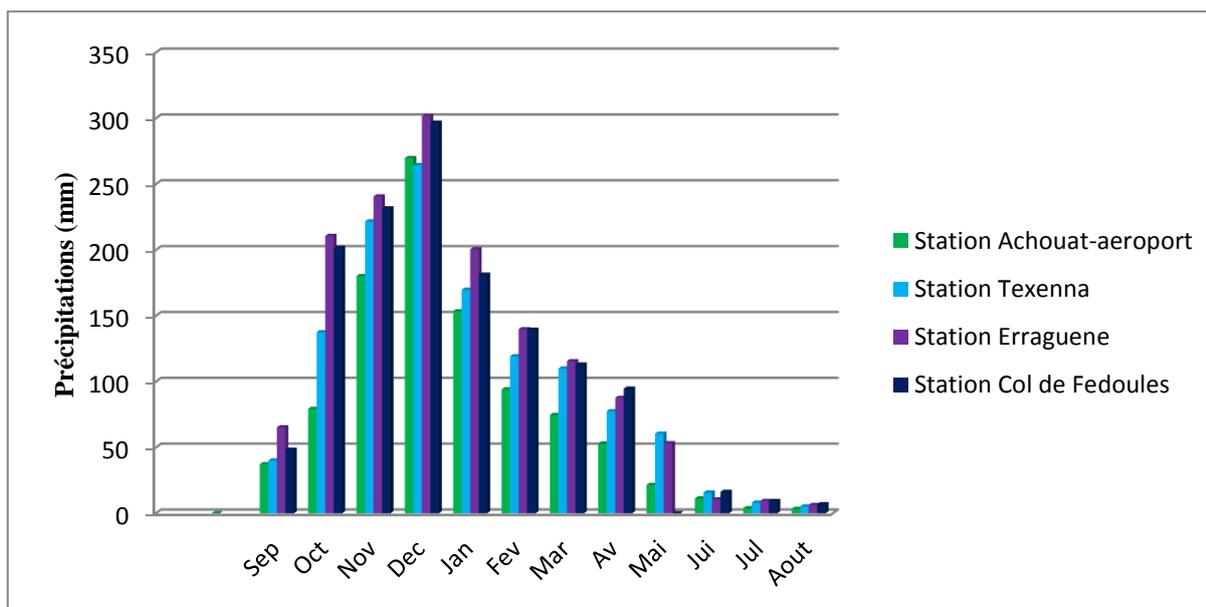


Figure 43. Moyennes mensuelles des précipitations, période 1961- 1991 (Stations de Taher, Texenna, Erraguene et Col de Fedoules)

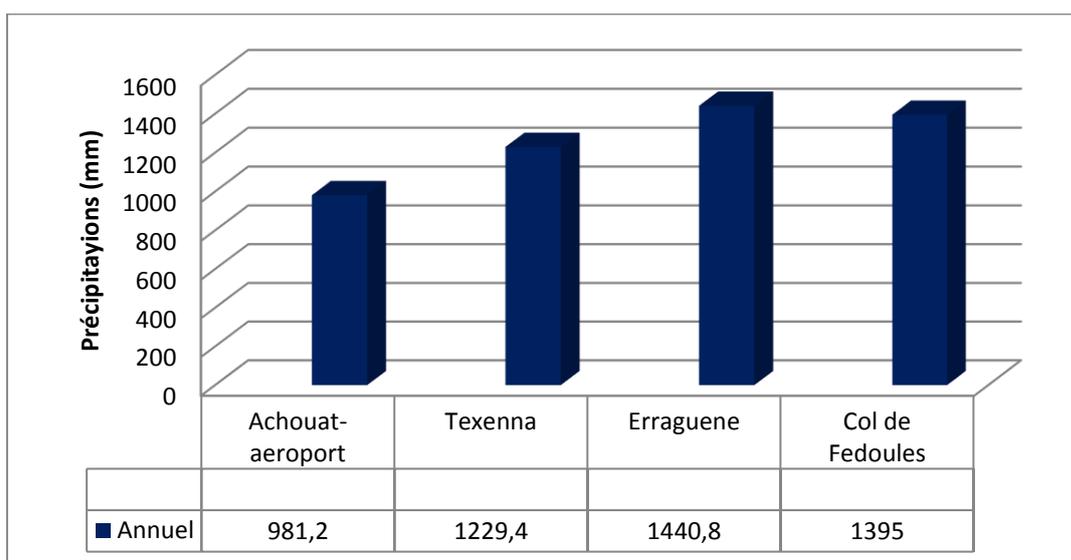


Figure 44. Moyennes annuels des précipitations, période 1961- 1991(Stations de Taher, Texenna, Erraguene et Col de Fedoules)

Selon les figures 43, 44 et tableau 24 ci dessus, les données pluviométriques ne sont pas homogène dans les différentes stations (Achouat aéroport, Texenna, Erraguene, et Col de Fedoules) pour la période 1961-1991), elles dépendent de la situation géographique de chaque station (altitude et exposition). On remarque que la station d'Erraguene tableau (25) reçoit le maximum de précipitations avec une moyenne annuelle de l'ordre de 1440.80 mm, Col de Fedoules avec 1395 mm, Texenna 1229.4 mm, et station d'Achouat aéroport avec 981.2 mm.

• **Précipitations moyennes mensuelles stations : Achouat aéroport, période 1988- 2007**

Les précipitations moyennes annuelles et mensuelles de la série la plus récente qui s'étend de 1988-2007 pour les stations : Taher Aéroport Ferhat Abbas, sont enregistrées dans le tableau(25) ci-dessous.

Tableau 25. *Moyennes mensuelles des précipitations* pour la période 1988-2007 en (mm) (Station de Taher (Aéroport))

Précipitation (mm)	Sep	O	N	D	Jan	Fev	Mar	Av	M	Ju	JL	A
Mensuelles (mm)	59,6	83,3	154,3	204,6	133	107,3	76,9	88,4	47,6	14,5	3	12
Saisonnière (mm)	297,2			444,9			212,9			29,5		
Annuel (en mm)	984,5											

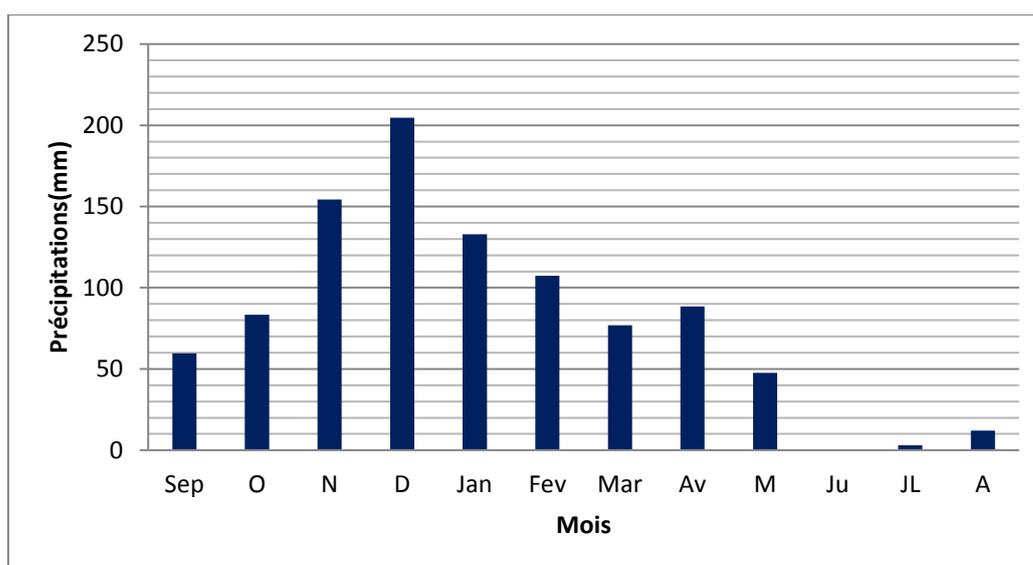


Figure 45. *Distribution des Précipitation moyennes mensuelles* (année 1988-2007, Station de Taher (Aéroport))

Les données pluviométriques relatives à la période (1988- 2007), figure 45 et figure 46 expliquent et traduisent les variations mensuelles et saisonnières dans les bassins versants objet d'étude. De ce fait, on peut différencier deux stades différents :

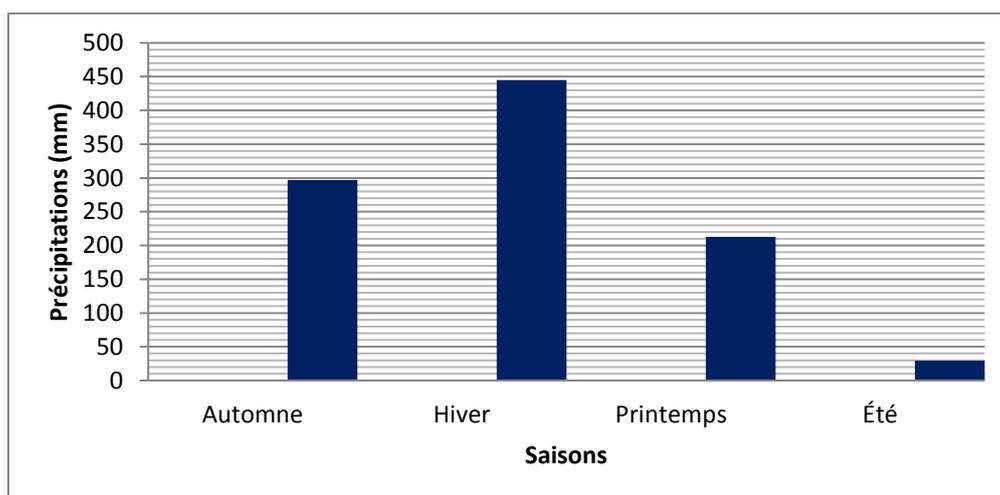


Figure 46. *Moyennes saisonnières des précipitations* pour la période 1988-2007(station de Taher (Aéroport))

- Un stade sec qui correspond aux mois de (juin, juillet, août), définie par une insuffisance pluviométrique.
- Une période humide qui coïncide avec les mois de (septembres, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril, et Mai).

Tableau 26. *Précipitations moyennes mensuelles et saisonnière* période 1995- 2005, Stations de Taher (Aéroport), Jijel port (ANRH), Barrage Lagreme

mois Stations	Automne			Hiver			Printemps			Été			Année
	Sep	O	N	D	Jan	Fev	Mar	Av	M	Ju	JL	Aout	
Jijel ANRH	50,31	62,85	188,77	171,41	154,47	110,9	53,59	77,89	39,89	10,96	1,98	12,36	935,41
	301,95			436,78			171,37			25,31			
	32,28%			46,69%			13,32%			2,71%			
Achouat aéroport	66,5	71,72	172,54	182,3	156,72	116,2	55,62	80,42	50,01	1,38	3,17	14,93	985,5
	310,75			455,22			186,05			33,48			
	31,53			46,19			18,88			3,4			
Barrage Lgreme	56	71	184	192	197	139	61	100	53	12	08	14	1087
	311			528			214			34			
	28,62			48,57			19,68			3,13			

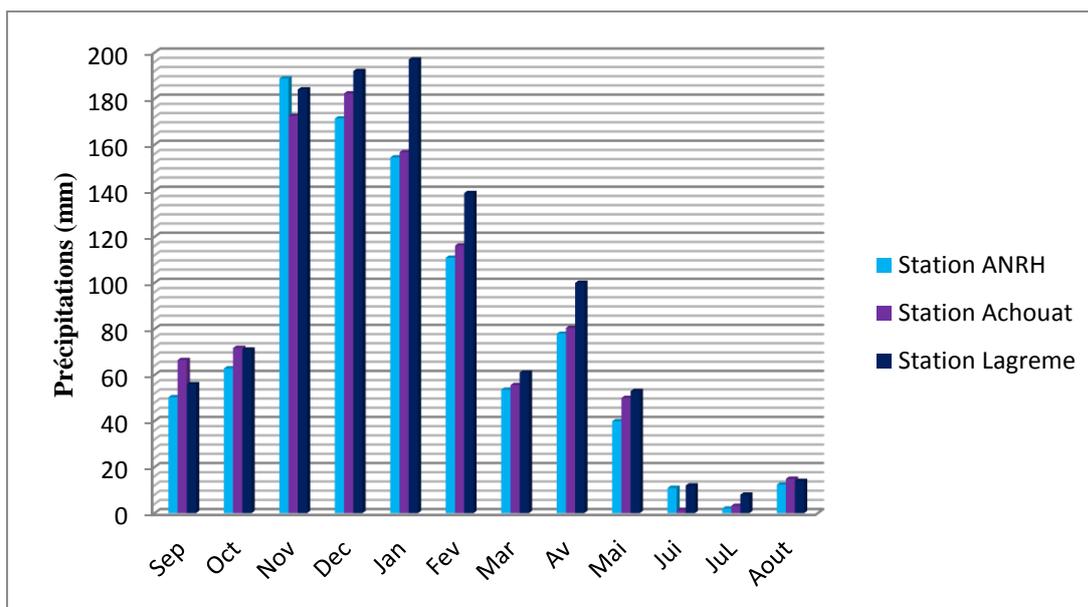


Figure 47. *Précipitations moyennes mensuelles et saisonnière* période 1995- 2005 (Stations de Taher (Aéroport), Jijel port (ANRH), Barrage Lagreme)

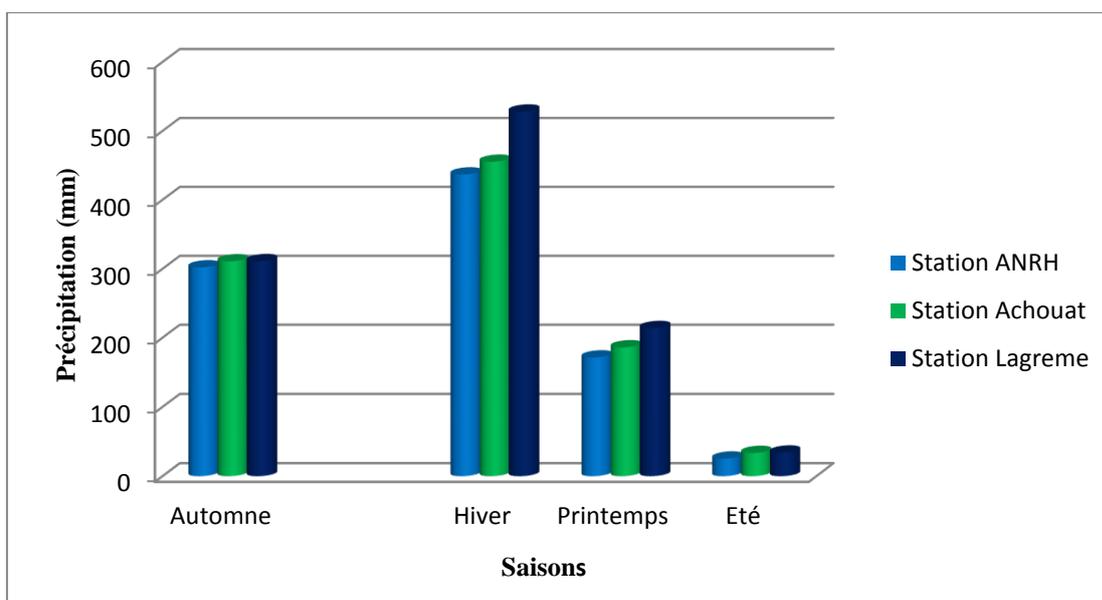


Figure 48. *Précipitations moyennes saisonnière* période 1995- 2005 (Stations de Taher (Aéroport), Jijel port (ANRH), Barrage Lagreme)

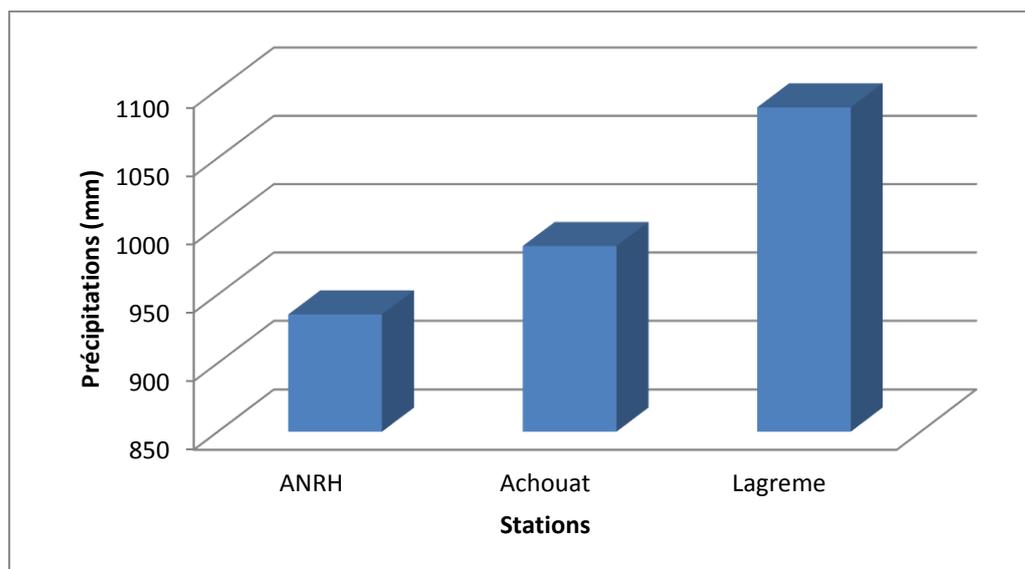


Figure 49. *Précipitations moyennes annuelles* pour la période 1995- 2005 (Stations de Taher, Jijel port (ANRH), Barrage Lagreme)

L'examen et la prospection aux niveaux des stations pluviométriques de Jijel port (ANRH), Achouat aéroport, barrage Lagreme, ainsi que celle de Texenna à l'amont du bassin figures 47 , 48 et 49 ont permis de dégager un certain nombre de remarques :

Dans les trois stations (tableau. 26) les mois de novembre, décembre, et Janvier reste les mois les plus pluvieux de l'année.

Ainsi nous avons, deux saisons qui se partagent le maximum, l'hiver où le total des pluies pour les différentes stations : varie entre 528 mm pour la station de Lagreme, 455,22 mm la station d'Achouat -aéroport, et finalement la station de L'ANRH avec 436,78 mm. Pour L'automne les valeurs sont comprises entre 311 mm pour la station de Lagreme, 310,75 mm pour la station d'Achouat –aéroport, et finalement 301,95 mm pour la station de L'ANRH port de Jijel.

V.2. Les températures

La température constitue avec les précipitations l'élément primordial qui caractérise le climat d'une région. Elle constitue un facteur très fondamental qui intervient dans le calcul de l'évapotranspiration.

C'est bien évident que les contrastes importants de température (écart considérable de température) entre le jour et la nuit à un effet négatif sur le comportement des sols et des roches. En effet, les contrastes importants de température (gel dégel et cryoclastie) entraînent la décomposition physique des roches.

Tableau 27. *Moyennes mensuelles des températures maximale, minimale et moyenne* pour la période 1988-2007 (Station de Taher (Aéroport))

Mois	m(C°)	M(C°)	(M+m)/2(C°)
Septembre	18,3	28,5	23,4
Octobre	16,1	25,6	20,85
Novembre	10,8	20,4	15,6
Décembre	8,1	17,1	12,6
Janvier	6,7	16,17	11,44
Février	6,5	16,3	11,4
Mars	8,1	18,31	13,21
Avril	9,6	19,9	14,75
Mai	12,9	23,3	18,1
Juin	16,5	27,5	22
Juillet	19	30	24,5
Aout	20,3	31,3	25,8
Année	12,74	23,47	17,80

* **m** = Température moyenne des minima du mois

* **(M+m)/2** = Température moyenne du mois

* **M** = Température moyenne des maxima du mois

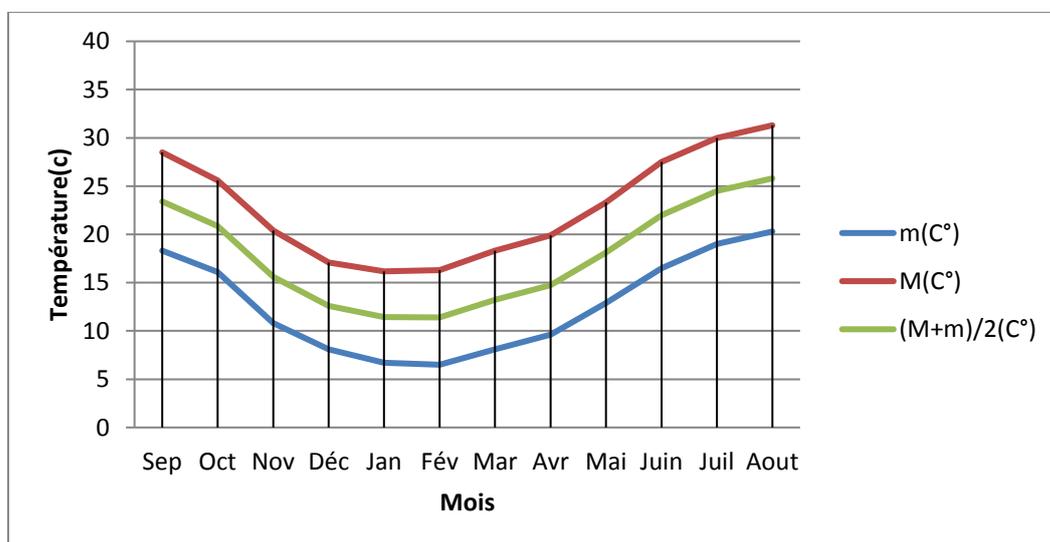


Figure 50. *Moyennes mensuelles des températures max et min et moyenne* pour la période 1988-2007 (Station de Taher (Aéroport))

Selon le graphe ci-dessus figure 50, la saison chaude s'étend de juin à septembre, mois pendant lesquels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle 17.80°C, alors que la

saison froide s'étale du mois d'octobre à Mai. Le maximum de température (tableau.27.) est atteint en mois d'août avec une moyenne de 25.8°C, tandis que le minimum d'environ 11.40°C et enregistré pendant le mois de février.

V.3. Précipitations solides (station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1996-2006))

L'altitude joue un rôle très important sur les chutes de neige. Jusqu'à 1500 mètres, la neige commence à fondre aussitôt tombée (Seltzer.P. 1946) sur les sommets, la fusion est retardée ou interrompue momentanément par la gelée.

Tableau 28. *Nombres des jours de grêle* (période 1996-2006, station de Taher (Aéroport))

Mois	Sep	Oc	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Av	Mai	Ju	JL	Aout
Nombres de jours	0,1	0,1	0,5	1,3	2,1	2,1	1,3	0,3	0,2	0,1	00	00

L'examen de tableau 28 ci-dessus, montre que la période de gelée blanche débute au mois de septembre, et s'étale jusqu'au mois de juin. Le mois de janvier est le plus significatif avec 2,1 nombre de jours durant cette période.

V.4. Valeurs moyennes de l'humidité relative de l'atmosphère (station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1996-2006))

Parmi les paramètres utilisés pour caractériser le climat dans ce chapitre, l'humidité relative de l'atmosphère.

Dans le tableau suivant nous consignons les valeurs moyennes de l'humidité.

Tableau 29. *Valeurs moyennes de l'humidité relative de l'atmosphère* (période 1996-2006)

Station de Taher (Aéroport)

Mois	Sep	Oc	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Av	Mai	Ju	JL	Aout
Humidité (%)	78	69,6	51,5	44,7	47,9	40,5	55,7	55,1	57,3	83,9	88,4	87,6

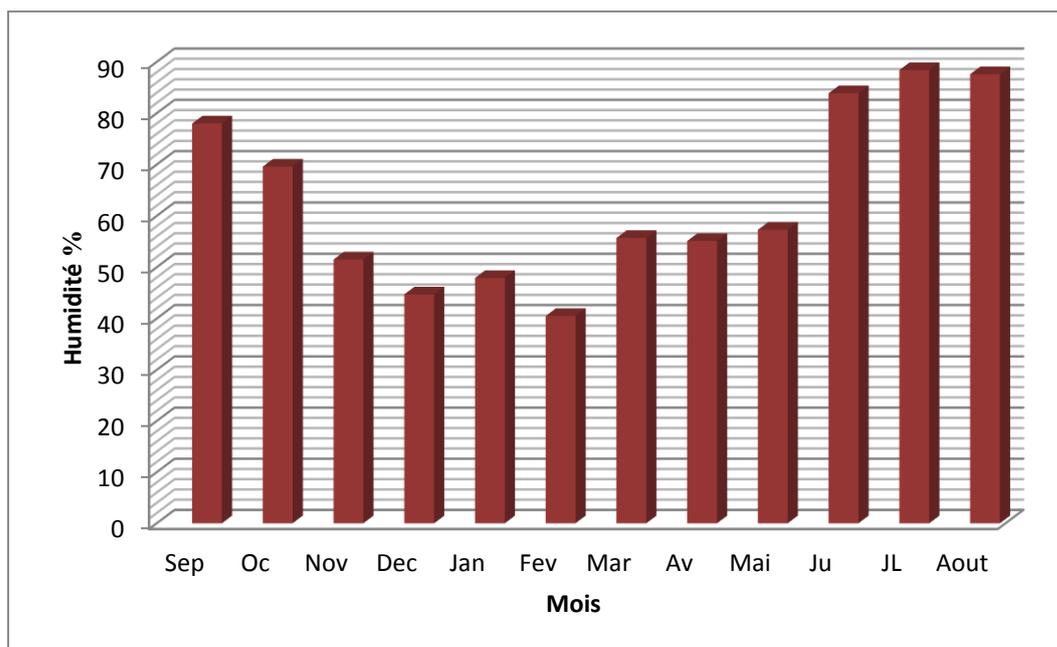


Figure 51. Valeurs moyennes de l'humidité relative de l'atmosphère, période 1996-2006(Station de Taher Aéroport)

L'examen du tableau 29 et figure 51 ci-dessus indiquent que :

- les mois les plus humides sont (juin, juillet, aout, septembre, et octobre (83.9, 88.4, 87.6, 78 et 69.6%) respectivement, tandis que les mois les moins humides sont enregistrés durant les mois de (novembre, décembre, janvier, février, mars, avril et mai).

V.5. vitesses moyennes mensuelles des vents (m/s) station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1997-2010)

Les mesures du vent en vitesse et en direction (tableau 30 et figure 52) sont établies souvent dans des stations météorologiques. Dans notre cas les valeurs obtenues sont celle de la station de Jijel.

Tableau 30. Vitesses moyennes mensuelles des vents (m/s), (période 1997-2010) (station de Taher (Aéroport))

Mois	S	O	N	D	Jan	F	M	Av	Mai	Ju	JL	Aou
Vitesse (m/s)	2,3	2,1	2,1	5,3	2,2	2,3	2,5	2,1	1,9	2,1	2,1	2,2

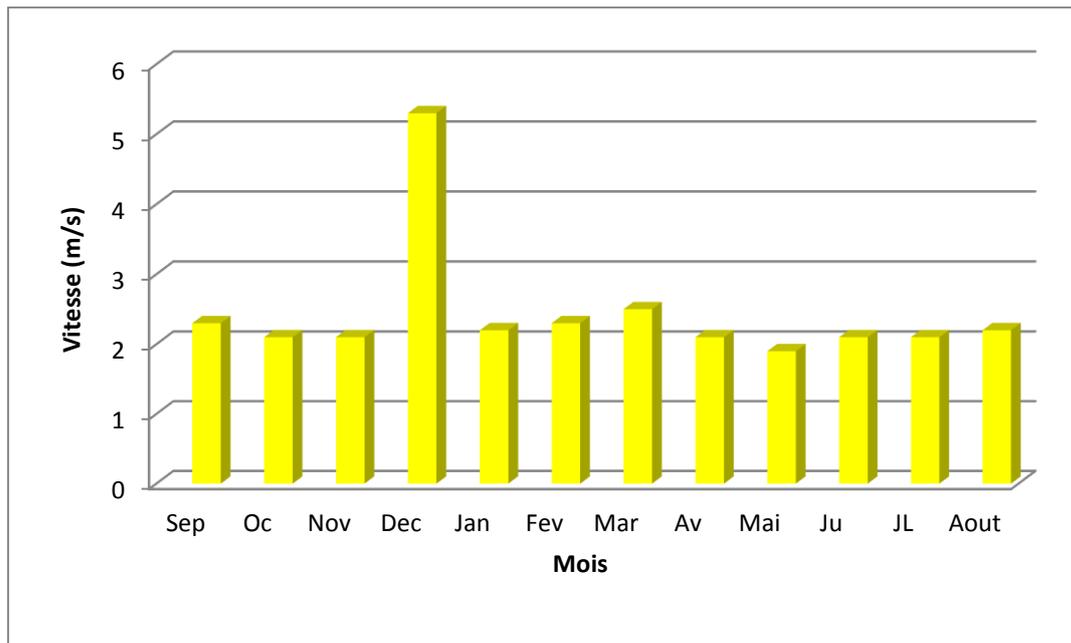


Figure 52. *Vitesses moyennes mensuelles des vents* (m/s), (période 1997-2010)

Stationde Taher (Aéroport)

D'après le tableau 30 ci-dessus, on remarque que :

- la vitesse mensuelle moyenne est élevée et atteint son maximum durant le mois de décembre avec 5.6m/s.
- La variation de la vitesse mensuelle moyenne pendant les autres mois de l'année est faible ($1.9 < V < 2.5$ m/s).
- Le minimum est enregistré durant le mois de mai avec $V = 1.9$ m/s.

V.6. Combinaison des facteurs thermiques et pluviométriques (station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas)

Un mois sec est défini selon Gaussen et Bernulet comme celui ayant un total de précipitations égal ou inférieur au double de la température moyenne du même mois ($P \leq 2T$).

Tableau 31. *Précipitations moyennes mensuelles et températures moyennes mensuelles* (graphe de Gaussen $P=2T$) période 1988-2007) (Station de Taher (Aéroport))

Mois	Précipitations (mm)	Température(C°) 2T
Septembre	59,6	46,8
Octobre	83,3	41,7
Novembre	154,3	31,2
Décembre	204,6	25,2
Janvier	133	22,88
Février	107,3	22,8
Mars	76,9	26,42
Avril	88,4	29,5
Mai	47,6	36,2
Juin	14,5	44
Juillet	3	49
Aout	12	51,6
Année	984,5	-

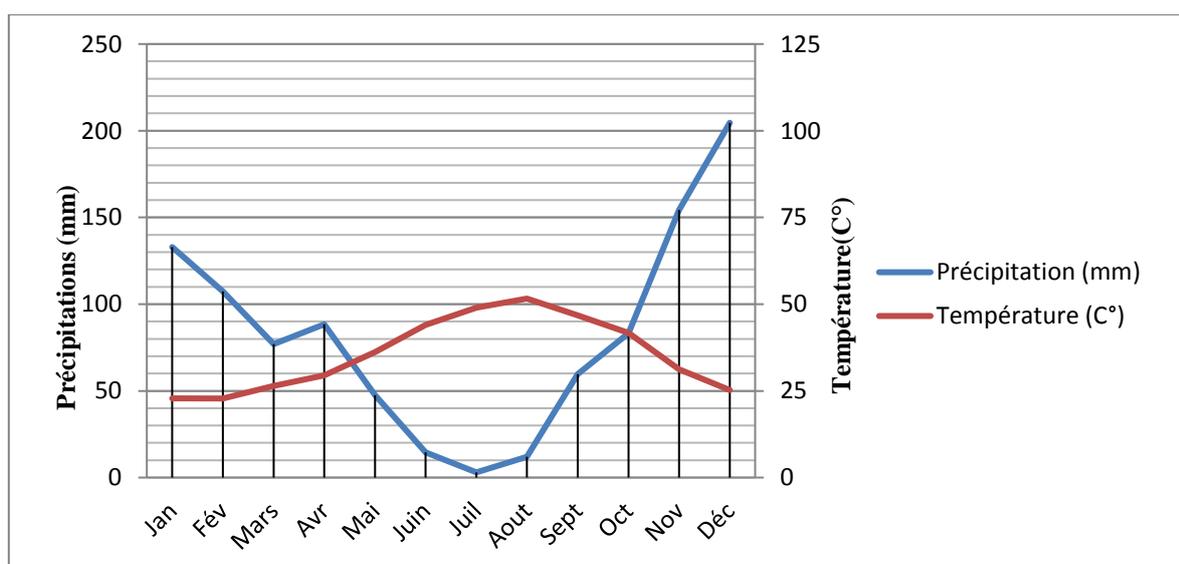


Figure 53. *Graphe Ombro-Thermique* Période 1988-2007 (Station de Taher Aéroport)

Selon les graphes ombro-thermiques ci-dessus (figure 53 et tableau 31) établis selon la règle de Gaussen ($P=2T$) on remarque que :

- Le climat de la zone d'étude est caractérisé par un été sec et chaud et un hiver doux et humide.
- La période sèche s'étale de début du mois de mai au mois d'octobre, tandis que la période humide s'étale de mois d'octobre à la fin du mois d'avril.

V.7. L'aridité (station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas, période 1988 -2007)

L'indice d'aridité d'E. Martonne, est exprimé par la formule :

$$I = \frac{P_{\text{moy}}}{T_{\text{moy}} + 10} \quad \text{Avec : } I : \text{Indice d'aridité de E. Martonne.}$$

P_{moy} : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T_{moy} : Température moyenne annuelle ($^{\circ}\text{C}$).

Cet indice permet de déterminer le degré d'aridité d'une région :

$$I = \frac{948.5}{17.80+10} = 35.41$$

Un type de climat et caractérisée par un intervalle de valeurs de (I). Pour notre zone d'étude la valeur de (I) est comprise entre $30 < I < 40$. Donc le climat est très humide.

V.8. L'indice d'Emberger des zones bioclimatiques, station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 -2007)

Emberger à précisé cinq (5) étages bioclimatiques : humide, sub humide, aride, semi aride, et saharien, et 4 variantes climatiques : froid, frais, tempéré, chaud.

- Hiver froid $m < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Hiver frais $0 < m < 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Hiver doux ou tempéré $3 < m < 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Hiver chaud $m < 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$

L'indice d'Emberger est exprimé par :

$$Q = \frac{1000 \cdot P}{(M+m)/2 (M-m)} = \frac{1000 \cdot P}{(M^2 - m^2) / 2}$$

- P : précipitation moyenne annuelle = 948.5 mm
- m = moyenne des minima du mois = $6.5 + 273.2 = 279.7 \text{ k}$
- M = moyenne des maxima du mois = $31.3 + 273.2 = 304.5 \text{ k}$

$$Q = \frac{1000 \times 948.5}{(92720.25 - 78232.09)/2} = 130.93$$

Donc d'après les données calculées :

$Q = 303.45$ (L'indice d'Emberger).

$m = 6.50^\circ\text{C}$ (moyenne des minima du mois).

Selon la figure 54 ci-dessous, la station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas durant la période étudiée est située dans un climat : sub humide a humide et Hiver tempéré.

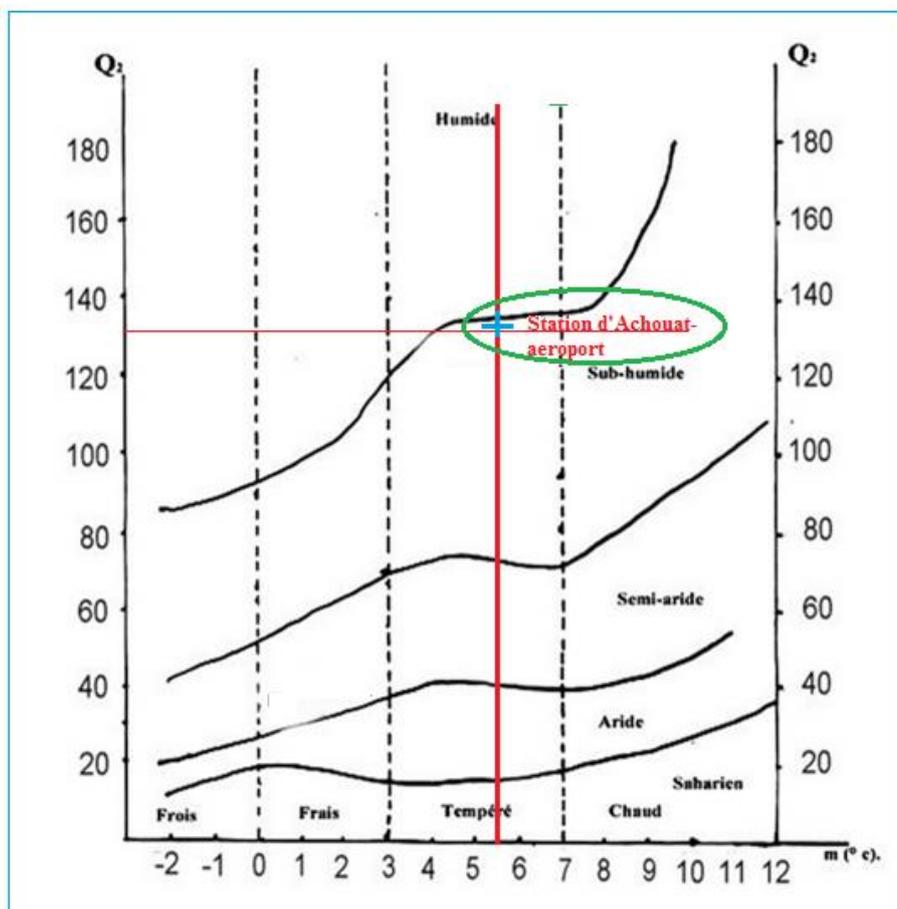


Figure 54. Climat de l'aire d'étude (indice d'Emberger)

(Période 1988 -2007, station de Taher (Aéroport))

V.9. Coefficient pluviométrique relatif (H) : (coefficient d'hydraulicité)

Le coefficient pluviométrique relatif (H) (Annexe.1) pour une station donnée est défini par l'équation ci-dessous :

$$H = \frac{P}{P_{\text{moy}}}$$

Avec : H : coefficient pluviométrique, ou coefficient hydraulité
 P : hauteur annuelle de pluie de l'année considérée, en mm
 P_{moy} : pluviométrie moyenne, en mm

❖ **Remarque :**

- l'année est excédentaire lorsque le coefficient pluviométrique (H) > 1
- l'année est déficitaire lorsque le coefficient pluviométrique (H) < 1

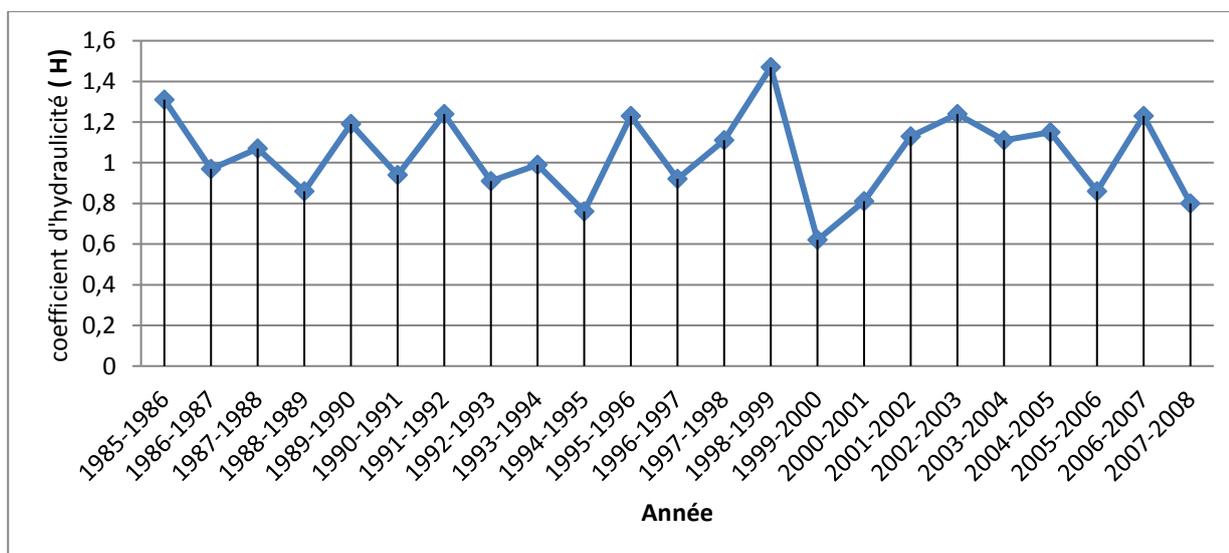


Figure 55. Coefficient *pluviométrique annuel* (86-2008, station de Taher (Aéroport))

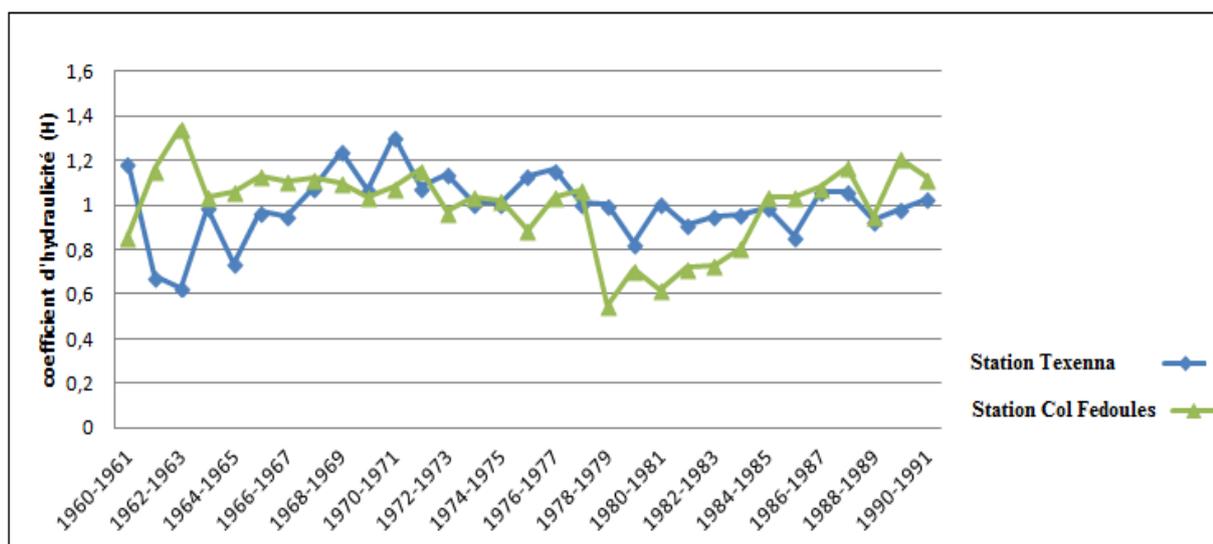


Figure 56. *Coefficient pluviométrique annuel* (1961/1991, stations Texenna et Col Feldoules)

D'après les figures 55 et 56, ci-dessus on remarque :

- **Pour la station de Texenna :** Les années exédentaires (avec $H > 1$), sont enregistrées durant les périodes (1969-1961), (1967-1978) ; 1980-1981) ; 1986-1988), et finalement l'année (1990-1991). Donc 21 années exédentaires sur 31.
- **Pour la station de Col Fedoules :** Les années exédentaires (avec $H > 1$), sont enregistrées durant les périodes (1961-1972), (1973-1975) ; 1976-1978) ; 1984-1988), et finalement (1989-1991). Donc 17 années exédentaires sur 31.
- **Pour la station de Taher :** Elles sont observées durant les périodes (1985-1986), (1987-1988) ; (1989-1990) ; (1991-1992), (1995-1996), (1997-1999), (2001-2005), et finalement (2006-2007). Donc 12 années exédentaires sur 23.

V.10. Appréciation du bilan hydrologique pour la station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1988-2007)

L'établissement d'un bilan hydrologique est essentiel dans les études hydromorphologiques. Il est donné par la formule suivante (G. Réménieras, 1980) :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

I : Infiltration (mm).

R : Ruissellement (mm).

Wa : variation des réserves (souvent négligeable).

❖ Cartographie de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

La cartographie des ETP dans le Nord-est Algérien (ANRH, 2003) figure 57, est un outil supplémentaire à fin d'éviter le recours à des calculs par le biais de formules empiriques. Elle offre l'avantage de connaître en tout point de l'espace les valeurs mensuelles et annuelles moyennes de l'évapotranspiration potentielle.

La cartographie des ETP dans le Nord-est Algérien (ANRH, 2003) donne les valeurs annuelles moyennes de l'évapotranspiration potentielles de manière générale c'est-à-dire, pour le site étudié nous avons remarqué l'imprécision des valeurs présentées sur la carte.



Figure 57. Nord-est Algérien : *Évapotranspiration potentielle* annuelle moyenne ANRH (1965 – 2002).

Dans la zone d'étude, pendant le mois de janvier les valeurs de l'ETP sont en général au plus bas.

En revanche pendant le mois d'Aout, l'ETP présente des valeurs maximales. La carte de l'ETP annuelle moyenne montre que les iso-valeurs annuelles moyennes de la région d'étude sont comprise entre 900 et 1200 mm.

❖ **Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) , station de station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 -2007)**

L'évapotranspiration potentielle (ETP) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour satisfaire l'évaporation d'une quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques. A cet effet, Thornthwaite a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration potentielle mensuelle. La formule utilisée pour le calcul d'ETP selon Thornthwaite est donnée comme suit :

$$ETP = 16 [10.T / I]^a$$

Avec : ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré exprimé en °C.

I : Indice thermique annuel égal à la somme des indices mensuels des 12 mois de l'année.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Avec : } i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.514} ; a = 0.016 \cdot I + 0.5$$

RFU = 100 mm.

$$ETP \cdot C = ETP \times K$$

Avec : ETPC : Évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée ;

K : Coefficient de correction.

Le tableau(32) ci-dessous montre la répartition de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle durant la période 1988-2007 stations de station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas.

Tableau 32. *Répartition de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle* durant la période 1988-2007, station de Taher (Aéroport)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	JL	A	Total (An)
T	23.4	20.85	15.6	12.6	11.44	11.4	13.21	14.75	18.1	22	24.5	25.8	-
i	10.35	8.69	5.6	4.05	3.48	3.5	4.35	5.12	7.01	9.42	11.09	11.99	I=84.67
ETP	105.42	85.1	49.69	33.44	27.95	27.78	36.50	44.78	65.46	94.02	114.8	126.35	-
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	-
ETPC	108.58	82.55	42.73	28.09	24.32	23.61	37.60	49.26	79.21	114.7	142.35	146.57	879.56

D'après les données de la station de station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 - 2007) et les calculs réalisés sur les valeurs du tableau précédent on note :

$$I = 84.67 \text{ et } a = 1,85$$

❖ **Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 -2007)**

- Si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle ETR = ETP.
- Si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle

$$ETR = \sum P_i + RFU ; \text{ celle-ci est supposée mobilisée comme suit :}$$

- Si RFU antérieure est assez forte pour combler l'insuffisance de précipitation (P) ; $ETR = ETP$.
- Si RFU est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'ETR reste inférieure à celle-ci et est égale à la somme des précipitations du mois et des RFU.

❖ **Cartographie de l'écoulement dans l'aire d'étude (ANRH_ 2005)**

La carte des écoulements moyens annuels sur le Nord-est de l'Algérie, donne une estimation des lames d'eau moyennes annuelles écoulées en surface au sein des bassins versants de superficie inférieure à 1500 Km². Elle est basée sur l'utilisation d'un modèle hydrologique calé sur les observations de 70 stations de jaugeage. Ce modèle a ensuite été utilisé pour reconstituer à partir des pluies, les débits à l'échelle mensuelle sur la période 1965-2002.

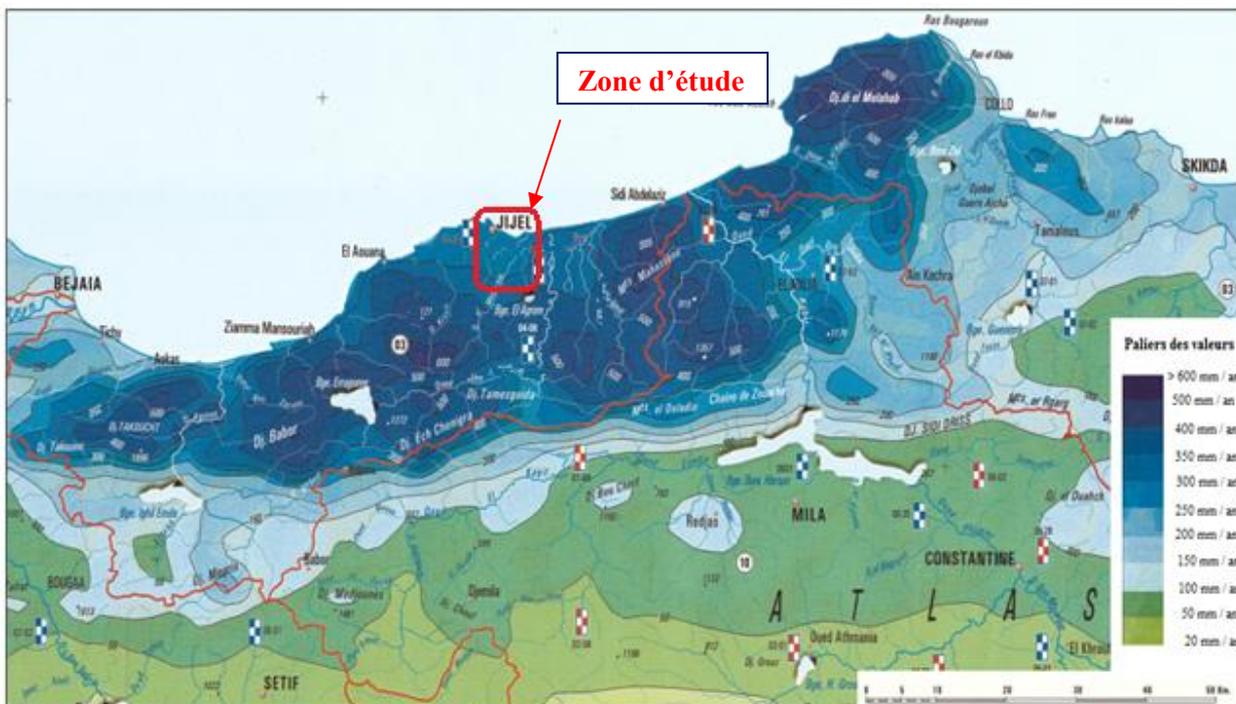


Figure 58. Nord-est de l'Algérie : *Écoulements moyens annuels* (ANRH), année 1965 -2002

Selon la figure 58, la lame d'eau moyenne annuelle écoulée de la zone d'étude est comprise entre 400 et 600 mm.

❖ **Estimation du ruissellement (R) station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 - 2007)**

Selon Romantchok(1974), pour une lame d'eau précipité supérieure à 600 mm cas de notre zone d'étude, le ruissellement est défini par la formule suivante :

$$R = \frac{P^3}{3} \quad \text{avec : } P = m \quad ; \quad ETPc = 876.37 \text{ mm} \Rightarrow R = \frac{(0.9845)^3}{3}$$
$$\Rightarrow R = 0.318 \text{ m} \Rightarrow R = 318 \text{ mm}$$

$$R (\%) = \frac{R(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})} \Rightarrow R = \frac{318 \times 100}{984.5} \quad R = 32.3 \%$$

Donc le ruissellement représente 32.3 % des précipitations.

❖ **Calcul de l'infiltration (I) station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 -2007)**

L'infiltration est exprimée par la formule ci-dessous :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

Considérons: $Wa = 0 \Rightarrow P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - ETR - R =$

$$I = Ex - R \Rightarrow I = 459.65 - 318 = 141,65 \text{ mm} \Rightarrow I = 141,65 \text{ mm.}$$

$$I (\%) = \frac{I(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})} \Rightarrow I = \frac{141.65 \times 100}{984.5} = 14.39 \% \Rightarrow I = 14.39 \% \text{ des précipitations.}$$

Les données de bilan hydrique de la station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 -2007) sont regroupées dans le tableau (33) ci-dessous :

Tableau 33. **Bilan hydrique** (période 1988-2007, station de Taher (Aéroport))

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	JL	Aout	Total
P	59,6	83,3	154,3	204,6	133	107,3	76,9	88,4	47,6	14 ,5	03	12	984.5
T(C)	23.4	20.85	15.6	12.6	11.44	11.4	13.21	14.75	18.1	22	24.5	25.8	-
I	10.35	8.69	5.6	4.05	3.5	3.48	4.35	5.14	7.01	9.42	11.09	11.99	I=84.67
ETP	105.42	85.1	49.69	33.44	27.95	27.78	36.50	44.78	65.46	94.02	114.8	126.35	-
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	-
ETPC	108.58	82.55	42.73	28.09	24.32	23.61	37.6	49.26	79.21	114.7	142.35	146.57	879.56
ETR	59.6	82.55	42.73	28.09	24.32	23.61	37.6	49.26	79.21	82.89	3	12	524.85
RFU	0	0.75	100	100	100	100	100	100	68.39	0	0	0	-
EX = P - ETR	0	0	12.31	176.51	108.68	83.69	39.3	39.14	0	0	0	0	459.65
DA (ETPC – ETR)	48.98	0	0	0	0	0	0	0	0	31.82	139.35	134.57	354.71

Avec :

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré exprimé en C°.

I : Indice thermique annuel égal à la somme des indices mensuels des 12 mois de l'année.

ETP : Évapotranspiration potentielle en mm.

K : Coefficient de correction.

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm.

RFU : Réserves facilement utilisables en mm.

ETR : Évapotranspiration réelle en mm.

DA : Déficit agricole.

Ex : Excédent d'eau.

A partir des données consignées dans le tableau (34) concernant (P) (L'ETPC) et (l'ETR) nous avons établi le graphe du bilan hydrique figure 59.

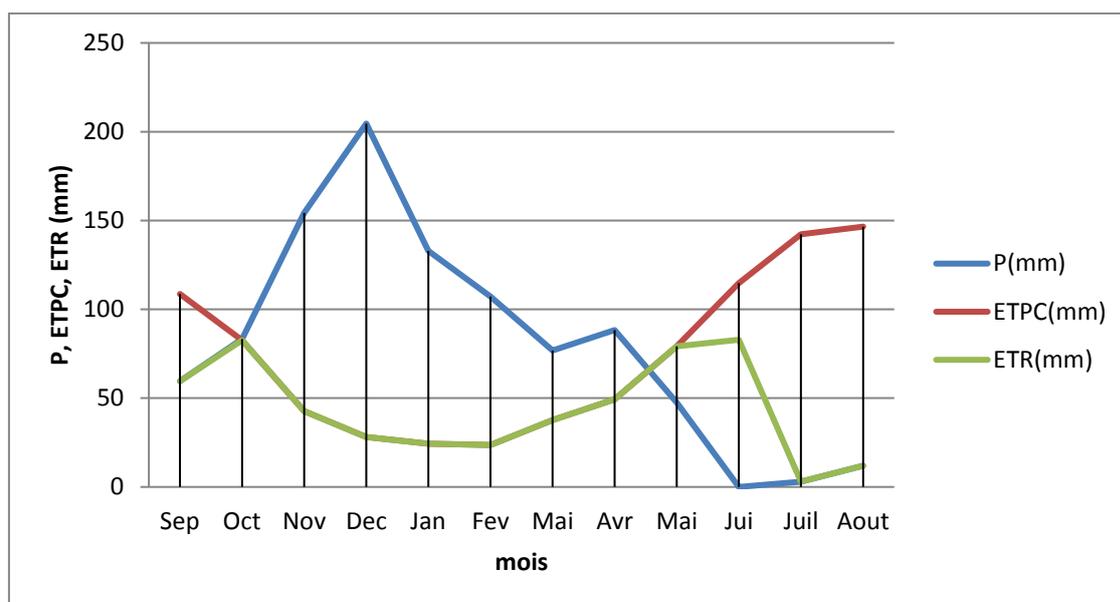


Figure 59. *Représentation graphique du bilan hydrologique* (période 1988 -2007, station de Taher Aéroport)

❖ **Calcul du bilan hydrologique pour la station de Texenna (période 1996 -2011)**

Le diagramme ombrothermique de Gausson a été développé par Henri Gausson et F. Bagnouls pour mettre en lumière les stades de sécheresse désignée par une courbe des précipitations se repérant en dessous de la courbe des températures. Ce diagramme (figure 60) permette d'examiner les climats de différentes zones. Les données de Paramètres du diagramme Ombro-thermique (station de Texenna, période 1996/2011) sont rassemblées dans le tableau 34 ci-dessous :

Tableau 34. Bassin versant d'oued Lagreme: *Paramètres du diagramme Ombro-thermique*, Station de Texenna période 1996/2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	71,9 4	73, 6	180,4 8	230,5 8	146,4 7	125, 8	99,5 5	115,4 4	71,9 8	17,4 3	7,2	9,8
T (°C)	23,6 3	21, 3	16,41	11,99	11,27	11,8 9	13,6 1	15,76	18,2 4	23,3 5	26,4 1	26,6 5

D'après le tableau précédent :

La période sèche s'étale de la mi-mai au début du mois de septembre, tandis que la période humide s'étale de début de mois de septembre au mois de mai pour la même station.

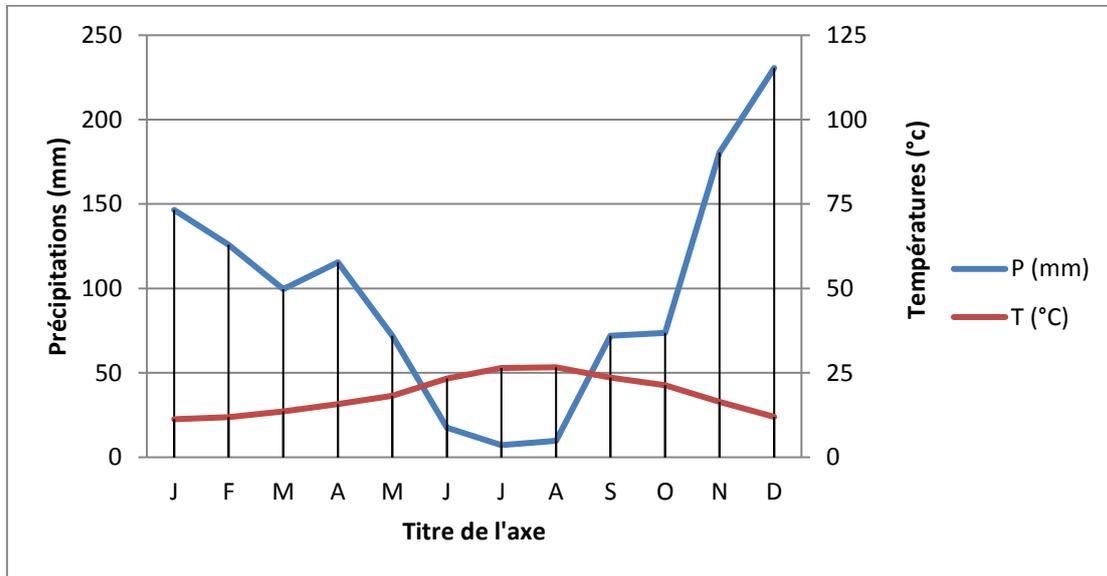


Figure 60. Bassin versant d'oued Lagreme: *Diagramme ombrothermique*, station de Texenna (période 1996/2011)

❖ **Estimation du ruissellement (R) station de Texenna (période 1996 -2011).**

Selon Thornthwaite : Le ruissellement est exprimé par :

$$R = \frac{P^3}{3} \quad \text{Avec : } P = m \quad \text{et} \quad \text{ETPc} = 910.62 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow R = \frac{(1.15027)^3}{3} \Rightarrow R = 0.507 \text{ m} \Rightarrow R = 507 \text{ mm}$$

$$R (\%) = \frac{R(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})} \Rightarrow R = \frac{507 \times 100}{1150.27} \quad R = 44.08 \%$$

Donc le ruissellement représente **44.08 %** des précipitations.

❖ **Calcul de l'infiltration (I) station de station de Texenna (période 1996 -2011).**

L'infiltration est exprimée par la formule ci-dessous :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

Considérons: $Wa = 0 \Rightarrow P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - ETR - R$

$$I = Ex - R$$

$$I = 594.19 - 507 = 87,19 \text{ mm} \Rightarrow \mathbf{I = 87,19 \text{ mm.}}$$

$$I (\%) = \frac{I(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})} \Rightarrow I = \frac{87.19 \times 100}{1150.27} = 7.58 \% \quad \mathbf{I = 7.58 \% \text{ des précipitations}}$$

La lame ruissilée au niveau de la station de Jijel Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 - 2007) est de l'ordre de 318 mm soit 32.3 % de la lame précipité, ainsi que l'infiltration et de l'ordre de 141.65 mm soit 14.39 %.

Tandis que le rapport de ruissèlement au niveau de la station de Texenna (période 1996 - 2011) est de l'ordre de 507 mm soit 44.08 %, ainsi que l'infiltration et de l'ordre de 87.19 mm soit 7.58 %.

La situation fatale du ruissèlement durant la période humide, rend l'érosion dans la zone d'étude très importante.

Le tableau ci-dessous renferme les différents paramètres du bilan hydrique de la station de Texenna, période 1996/2011)

Tablau 35. Bassin versant d'oued Lagreme: **Bilan hydrique**, station de Texenna période 1996/2011

Station de Texenna (1996-2011)													
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mai	Avr	Mar	Jui	Juil	Aout	Tot.
P (mm)	71,94	73,6	180,48	230,58	146,47	125,8	99,55	115,44	71,98	17,43	7,2	9,8	1150,27
T (°C)	23,63	21,3	16,41	11,99	11,27	11,89	13,61	15,76	18,24	23,35	26,41	26,65	-
ETP	104,66	85,70	51,87	28,34	25,21	27,89	36,17	47,98	63,58	102,29	129,66	131,94	-
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	-
ETPC (mm)	107,8	83,13	44,61	23,81	21,93	23,71	37,26	52,78	76,93	124,79	160,78	153,05	910,62
ETR (mm)	71,94	73,6	44,61	23,81	21,96	23,71	37,26	52,78	76,93	112,48	7,20	9,80	556,08
RFU (mm)	0	0	100	100	100	100	100	100	95,05	0	0	0	-
EX (mm)	0	0	35,87	206,77	124,51	102,09	62,29	62,66	0	0	0	0	594,19
DA	35,86	9,53	0	0	0	0	0	0	0	12,31	153,58	143,25	354,54

Avec :

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré exprimé en C°.

I : Indice thermique annuel égal à la somme des indices mensuels des 12 mois de l'année.

ETP : Évapotranspiration potentielle en mm.

K : Coefficient de correction.

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm.

RFU : Réserves facilement utilisable en mm.

ETR : Évapotranspiration réelle en mm.

DA : Déficit agricole.

Ex : Excédent d'eau.

Les données enregistrées dans le tableau (35) concernant (P) (L'ETPC) et (l'ETR) nous ont permis de tracer le graphe du bilan hydrique figure 59.

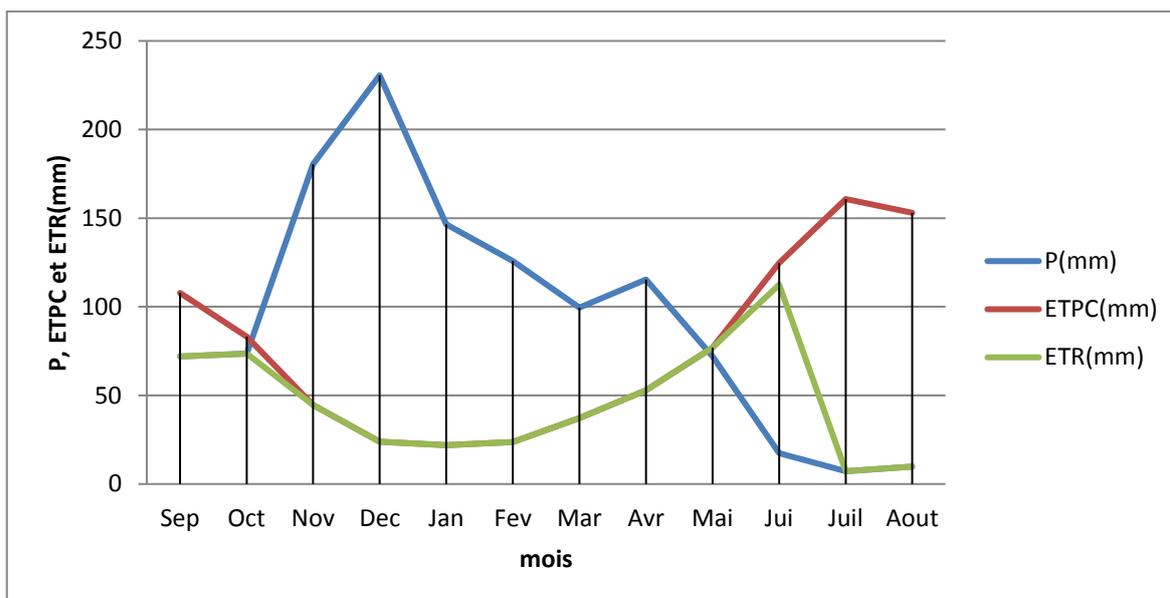


Figure 61. Bassin versant d'oued Lagreme: *Représentation graphique du bilan hydrologique*, station de Texenna (Période 1996 -2011).

❖ Interprétation des bilans hydrologiques de la zone d'étude :

L'examen des données résumées dans les tableaux 34, 36 ci-dessus et figures 60, 61 précédents, permettent de déduire les observations suivantes :

- Les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre (204.6mm) station Ferhat Abbas et (230.58mm) station de texanna, période durant laquelle l'évapotranspiration potentielle (ETPC) atteint son minimum au mois de janvier avec (24.3mm) pour la station de Ferhat Abbas et (21.87mm) pour la station texanna.
- l'évapotranspiration potentielle (ETPC) atteint son maximum (145.87mm) au mois d'aout station Ferhat Abbas et (159.96 mm) au mois de juillet station Texanna.
- L'excédent d'eau est marqué du mois d'octobre à la mi-avril pour la station Taher, tandis que pour la station de Texenna il est noté du mois d'octobre au mois de Mai.
- Le déficit agricole s'étale sur la durée sèche de l'année, du mois de mi-mai au mois d'octobre pour la station de Texenna, par contre il s'étale de mois mi-Avril au mois d'octobre pour la station de Taher.
- L'épuisement d'eau s'étale du mois de mi-avril au mois de juillet pour la station de Taher, tandis qu'il s'étale de mois de mai au mois de juillet pour la station de Texenna.
- La recharge du sol en eau commence à partir de mois d'octobre jusqu'en novembre pour la station de Texenna.

Conclusion

Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans l'équation générale du bilan hydrique et régissent par conséquent l'érosion hydrique dans un bassin versant.

L'analyse et le traitement des données climatiques de plusieurs stations notamment la station de Taher Aéroport Ferhat Abbas (période 1988 -2007), et la station de Texenna (période 1996/2011), nous ont permis de constater que les critères météorologiques sont les principaux facteurs qui agissent fortement sur l'érosion hydrique.

Cette étude nous permet de considérer que les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir disposent dans l'ensemble d'un climat humide, caractérisé par une pluviométrie assez importante.

Les quantités importantes des précipitations enregistrées dans la zone d'étude, jouent un rôle fondamental dans l'accroissement du risque « érosion hydrique » notamment dans la partie amont des bassins versants des deux oueds. Elles contribuent à la genèse de ruissellement et par la suite l'érosion hydrique particulièrement pendant les crues exceptionnelles.

Chapitre: VI

Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude

Chapitre VI. Caractéristiques hydrologiques

Introduction

L'hydrologie joue un rôle capital dans le domaine de l'aménagement hydraulique et des sciences environnementales. Elle concerne aussi bien les mécanismes d'écoulement des eaux dans le système naturel (bassin versant/ ou zones industrielles ou urbanisées que le dimensionnement des ouvrages hydrauliques utiles à l'exploitation et à la gestion des eaux. Elle permet également de mieux comprendre et simuler le comportement dynamique des eaux dans les zones où elles se répandent et de mieux saisir les impacts des aménagements hydrauliques sur l'environnement. (André Musy, et al.1998).

Il existe plusieurs méthodes pour examiner et estimer les débits. Dans ce travail on peut mentionner la méthode présentée par (Lang, M et al. 2007) concernant :

- Le traitement par ajustement statistique pratiqué sur les échantillons de débits observés pour déterminer des débits de périodes de retour données.
- Les formulations empiriques basées sur les échantillons de débits observés pour déterminer le volume et la durée. En Algérie, la loi de Gumbel a été, pour longtemps, utilisée pour estimer les quantiles des débits maximum (Achite, A. et al. 2004., Belagoune, F. 2012). En périodes humides, on utilise exclusivement cette loi sus-mentionnée.

D'autres lois ont été utilisées pour différentes régions du monde : la loi des valeurs extrêmes généralisée (GEV) en Grande Bretagne, la loi Lognormale en Chine, la loi Log-Pearson type III (LPIII) aux Etats-Unis (Bobée et al. 1999), et la loi Gamma au Maroc (Riad, 2006) et en Espagne (Lopez, J et al. 2012).

VI.1. Variation des débits annuels moyens de l'oued Lagreme (station Chaddia, 1972 – 1984).

L'écoulement moyen annuel ou l'abondance annuelle est une notion fondamentale en hydrologie. C'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à la sortie d'un bassin. Le module brut ou absolu est généralement exprimé en m^3/s (Bouanani, A. 2004). Dans ce travail, nous disposons d'une série de données hydrométriques assez moyenne représentant 12 ans d'observation (station chadia) oued Lagreme. Ces bases de données utilisées dans cette étude contiennent des séries d'observations des débits moyens annuels pour la série (1972- 1984) obtenues auprès des services de l'ANRH (tableau 37).

Tableau 36. Bassin versant d'oued Lagreme: *Apport moyen*, station de Chadia (oued Lagreme) (année 72-1984).

Année	Débit m³/s	Coefficient d'hydraulicité
72-1973	1.18	+ 0.519
73-1974	0.26	- 0.401
74-1975	0.68	+ 0.019
75-1976	0.76	+ 0.099
76-1977	0.43	- 0.231
77-1978	0.50	- 0.161
78-1979	0.63	- 0.031
79-1980	0.88	+ 0.219
80-1981	0.81	+ 0.149
81-1982	0.82	+ 0.159
82-1983	0.59	- 0.71
83-1984	0.39	- 0.271
Moyenne	0.661	-

Les variations interannuelles des débits (tableau 36 et fig 62) montrent une importante lame d'eau écoulée enregistrée au niveau de la station de Chadia pour l'année (1972-1973), où le bassin versant a connu importantes précipitations (1401 mm, station Texenna).

Les valeurs du module international, maximales et minimales enregistrées au niveau de la station de Chadia période 1972 / 1984 sont regroupées dans le tableau 37 ci-dessous.

Tableau 37. Bassin versant d'oued Lagreme: *Apport moyen, minimal et maximal*, station de Chadia (oued Lagreme) (année 72-1973)

Station	Année (72-1973)		
	Moyenne m³/s	Max (m³/s année	Min (m³/s année
Chadia	0.661	1.18	0.26

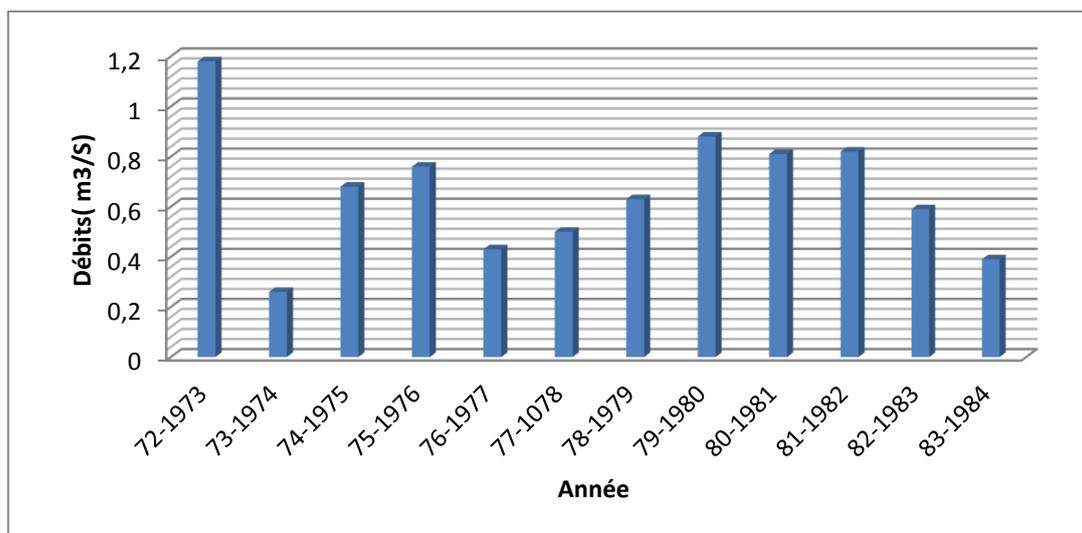


Figure 62. Bassins versant d'oued Lagreme: *Variations des débits annuels moyens*, station de Chadia (oued Lagreme) (73-1984)

Tableau 38. Station de Chadia (oued Lagreme) : *Coefficient d'hydraulicité*

Année	72-1973	73-1974	74-1975	75-1976	76-1977	77-1978	78-1979	79-1980	80-1981	81-1982	82-1983	83-1984
C.H	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-
	0.519	0.401	0.019	0.099	0.231	0.161	0.031	0.219	0.149	0.159	0.071	0.271

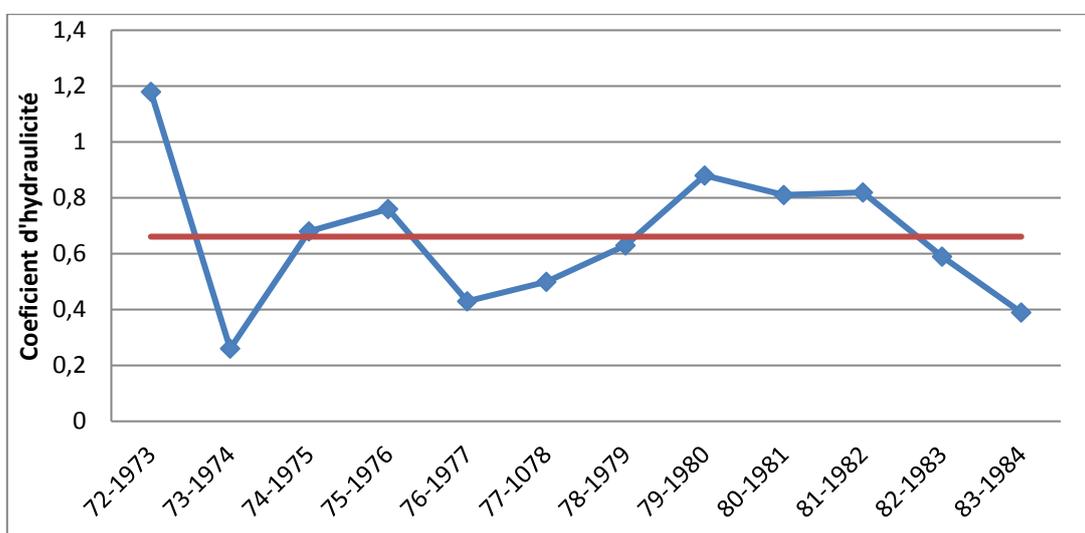


Figure 63. Bassin versant d'oued Lagreme: *Coefficient d'hydraulicité*, station de Chadia (oued Lagreme), année 1973-1984

Pour un cours d'eau bien défini, l'hydraulicité est le rapport de son débit annuel comparé à sa moyenne interannuelle.

D'après le tableau 38 et figure 63 ci-dessus on constate que :

- les années (73-1974, 76-1977, 77-1978, 78-1979, 82-1983, 83-1984) présentent des valeurs inférieures à la moyenne interannuelle (coefficient d'hydraulicité). Tandis que les années (72-1973, 74-1975, 79-1980, 80-1981, 81-1982), présentent des valeurs supérieures à la moyenne interannuelle notamment l'année (72-1973) dont le coefficient de l'hydraulicité est supérieur à 1. Cette situation est liée directement aux événements climatiques durant l'année 72-1973 caractérisant la zone d'étude.

VI.2. Apport fréquentiel de l'oued Lagreme (station Chadia)

Parmi les lois de distribution, la loi normale du Gauss permet d'ajuster statistiquement les débits moyens annuels pour une série quelconque. Les bases des données utilisées dans notre travail possèdent des valeurs de débits moyens annuels pour la station de Chadia oued Lagreme, pour la série 1972-1984.

Ainsi nous avons appliqué deux (2) modèles statistiques pour évaluer les débits fréquents (quantiles et centiles) relatifs aux périodes sèches et périodes humides.

VI.2.1. Ajustement d'une loi de Gauss pour une année humide

La loi de Gauss offre une répartition symétrique figure 64 de part et d'autre de la moyenne, qui est en même temps la médiane et le mode. Selon .Roche, M.1963 cette loi trouve son application en hydrologie et en climatologie pour représenter la répartition statistique de valeurs moyennes (par exemple : pluies annuelles ou débits moyens annuels). C'est la loi normale la mieux connue et la plus étudiée des lois de probabilités usuelles. Elle s'écrit selon la formule (O.R.S.T.O.M) suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

La probabilité des valeurs d'un échantillon des séries s'écrit comme suit :

$$\text{avec } u = \frac{x - x_0}{\sigma}$$

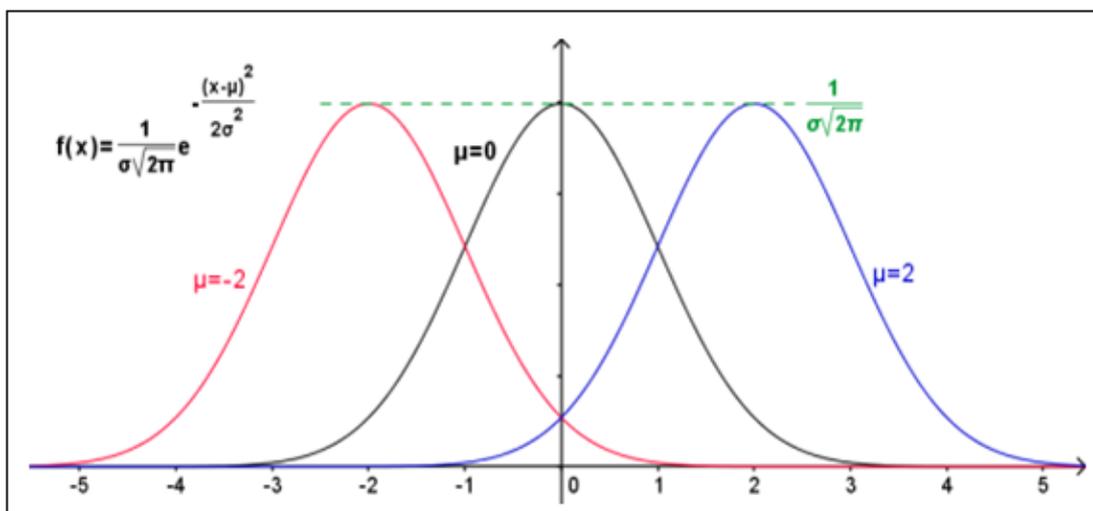


Figure 64. Loi de Gauus : *Propriétés géométriques*

Tableau 39. Bassin versant d'oued Lagreme: *Précipitations moyenne annuel et apports moyens annuels* Station de Chadia (1972-1984)

Année	Station Chadia	
	Précipitation moyenne annuel (mm)	Débit m ³ /s
72-1973	653	1.18
73-1974	942	0.26
74-1975	1332	0.68
75-1976	1082	0.76
76-1977	538	0.43
77-1978	697	0.50
78-1979	732	0.63
79-1980	1116	0.88
80-1981	1089	0.81
81-1982	1414	0.82
82-1983	1018	0.59
83-1984	1391	0.39

Le régime d'écoulement superficiel dans le bassin versant de l'oued Lagreme est assez irrégulier, l'analyse et le traitement des données hydrométriques de l'ANRH (tableau.39), nous permet de déduire que le maximum des débits annuels enregistrés durant l'année 72-1973 est de l'ordre de 1.18 m³/s.

a- détermination des paramètres statistiques

1. La moyenne arithmétique

$$\varphi^- = \frac{\sum \varphi}{n} = \frac{8.20}{12} = 0.6833 \Rightarrow \varphi^- = 0.6833$$

2. La variance

$$f^2 = \frac{\sum (\varphi - \varphi^-)^2}{n} = \frac{0.72269}{12} = 0.0602 \Rightarrow f^2 = 0.0602$$

3. L'écart type $\sqrt{f^2} = \sqrt{0.0602} \Rightarrow \sqrt{f^2} = 0.245$

4/ Coefficient de variation (CV).

$$CV = \frac{\text{l'écart type}}{\varphi^-} \Rightarrow cv = \frac{0.245}{0.6833} \quad cv = 0.3585$$

Les paramètres statistiques déduit de loi de Gauss concernant notre sont regroupés dans le tableau 40, ci-dessous :

Tableau 40. Bassin versant 'oued Lagreme: *Paramètres statistiques de la série des débits moyens annuels* Station de Chadia (oued Lagreme) (72/1984)

Paramètres	Formules	l'Oued Lagreme
Moyenne (m ³ /s)	$\varphi^- = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Qi$	0.6833
Variance	$\delta^2 = \frac{1}{n} (\varphi^{-2} - Q^2)$	0.0605
Ecart type (m ³ /s)	$\sigma = \sqrt{\delta^2}$	0.245
CV	$C_v = \frac{\sigma}{\varphi^-}$	0.3585

b- Estimation de l'erreur d'échantillonnage sur la moyenne de l'échantillon au niveau de confiance 80%, 90%, 95%.

Pour la période humide l'équation qui définit l'estimation de l'erreur d'échantillonnage est définie comme suit :

$$\bar{X} - \frac{tx}{2} \left(\frac{f}{\sqrt{n}} \right) < x < \bar{X}$$

❖ **Ajustement à une loi de Gauss pour notre échantillon**

Dans cette étude, nous avons ajusté les débits moyens annuels tableau (41) de la station hydrométrique de Chadia pour une série d'observations de 12 ans.

Cette démarche nous permet d'estimer les valeurs des débits de différentes fréquences de retour tableau 41.

Tableau 41. Bassin versant d'oued Lagreme: *Apports moyens et fréquentiels* (loi normale) Station de Chadia (oued Lagreme) (année 1972/ 1984)

Rang	Module	Fréq. empirique : $F = \frac{i}{n+1}$
1	1.18	0.0769
2	0.88	0.1538
3	0.86	0.2307
4	0.82	0.3076
5	0.81	0.3846
6	0.76	0.4615
7	0.68	0.5384
8	0.63	0.6153
9	0.50	0.6923
10	0.43	0.7692
11	0.39	0.8461
12	0.26	0.9230

$$\bar{x} - \frac{tx}{2} \left(\frac{f}{\sqrt{n}}\right) < x < \bar{x} + \frac{tx}{2} \left(\frac{f}{\sqrt{n}}\right)$$

1. Pour la période humide

✓ **l'erreur d'échantillonnage sur la moyenne de l'échantillon au niveau de confiance 80% est de :**

$$\alpha = 80\% \Rightarrow \frac{tx}{2} = \frac{0.8}{2} = 0.4$$

$$\varphi^- = \text{ dans la table on lit : } 0.5 - 0.4 = 0.1$$

Le degré de liberté étant de $12 - 1 = N-1=11$.

Sur la table on lit :

$$\frac{tx}{2} = 1,796$$

$$\begin{array}{l} \rightarrow 0,1 \\ | \\ 11 \end{array}$$

⇒ Donc on peut écrire :

$$\varphi^- - \frac{tx}{2} \left(\frac{\xi}{\sqrt{n}}\right) < \varphi < \varphi^- + \frac{tx}{2} \left(\frac{\xi}{\sqrt{n}}\right) \quad ; \quad \text{Avec } \frac{tx}{2} = 1,796$$

$$\varphi^- = 0,683 \quad ; \quad \sqrt{\xi} = 0,245$$

$$0,6833 - 1,796 \left(\frac{0,245}{\sqrt{12}}\right) < \varphi < 0,6833 + 1,796 \left(\frac{0,245}{\sqrt{12}}\right)$$

Donc on trouve pour un intervalle de confiance de 80 % que l'écart type vrai peut être compris entre :

$$0,6833 - 0,1269 < \varphi < 0,6833 + 0,1269$$

- **On obtient pour un intervalle de confiance à 80% la valeur de débits**

$$\mathbf{0,5564 < \varphi < 0,8102}$$

- ✓ **L'erreur d'échantillonnage sur la moyenne de l'échantillon au niveau de confiance 90% est de :**

$$\frac{tx}{2} = \frac{t \cdot 0,9}{2} = t \cdot 0,45$$

Dans la table on lit : $0,5 - 0,45 = 0,05$

Le degré de liberté est toujours $12 - 1 = 11$

Sur la table on lit : $\frac{tx}{2} = 2,201$; $\varphi^- = 0,6833$; $\sqrt{\xi} = 0,245$

Donc on peut écrire :

$$\mathbf{0,6833 - 2,201 \left(\frac{0,245}{\sqrt{12}}\right) < \varphi < 0,6833 + 2,201 \left(\frac{0,245}{\sqrt{12}}\right)}$$

On trouve pour un intervalle de confiance de 90 % que l'écart type vrai peut être compris entre :

$$0,6833 - 0,1556 < \varphi < 0,6833 + 0,1556$$

- **pour un intervalle de confiance à 90% la valeur de débits :**

$$0,5277 < \varphi < 0,8409$$

- ✓ **L'erreur d'échantillonnage sur la moyenne de l'échantillon au niveau de confiance 95 % est de**

$$\frac{tx}{2} = \frac{0,95}{2} = 0,475$$

Dans la table on lit : $0,5 - 0,475 = 0,025$

Selon la table de STUDENT, 0,002 proche de la valeur 0,0025.

Sur la table on lit :

0.025 proche de 0.05 $\begin{array}{l} \longrightarrow 0,025 \\ \downarrow \\ 11 \end{array}$

Donc

Pour 0.03 \longrightarrow 0.456

0.005 \longrightarrow 0.076

Donc F 0.025 \longrightarrow 2.642 Donc on peut écrire :

$$0,6833 - 2,642 \left(\frac{0,245}{\sqrt{12}} \right) < \varphi < 0,6833 + 2,642 \left(\frac{0,245}{\sqrt{12}} \right)$$

- On obtient finalement pour un intervalle de confiance à 95% la valeur de débits

$$\Rightarrow 0,4965 < \varphi < 0,8701$$

Nous avons $\varphi = \varphi^- + \xi \cdot u$; $\varphi^- = 0,6833$ écart type : 0.245

$$\varphi = 0,6833 + 0,245 \xi$$

Cette démarche consiste à représenter graphiquement les résultats sous forme de droite Gauss (figure 65) :

- 1) $U_1 = 0 \Rightarrow \varphi_1 = 0,6833$
- 2) $U_2 = 1 \Rightarrow \varphi_2 = 0,1283$
- 3) $U_3 = -1 \Rightarrow \varphi_3 = 0,6833 - 0,245 = 0,4383$
- 4) $U_3 = -1 \Rightarrow \varphi_3 = 0,4383$

Les points reportés sur le graphe sont :

1/ premier point : $\varphi = 1,18$; F = 0.0769

2/ deuxième point : $\varphi = 0,8$; F = 0.1538

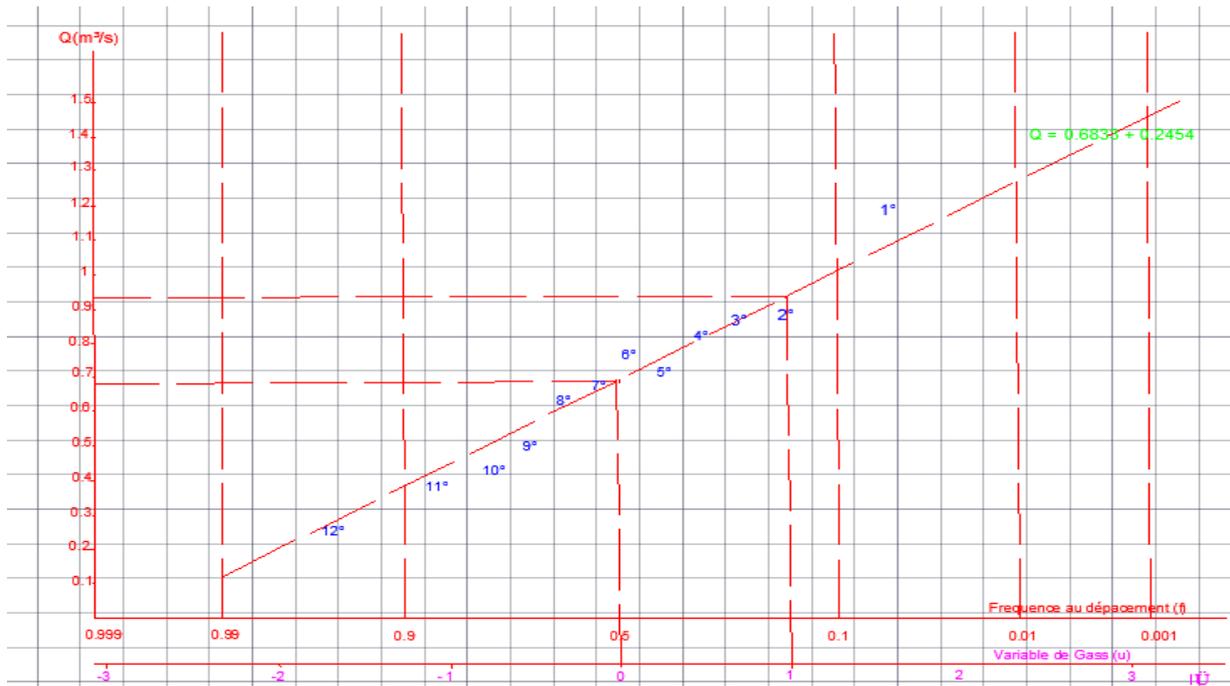


Figure 65. Bassin versant d'oued Lagreme: *Ajustement de l'apport moyen annuel (droite de Gauss, loi normale)*, Station de Chadia (oued Lagreme) période (1972/ 1984).

c- Estimation de débit annuel de fréquence centennale et millénaire

1/ débit centennale

$F = \frac{1}{F} = F = \frac{1}{T} = \frac{1}{100} = F = 0.01$: d'après la table de distribution de Gauss, on obtient une valeur de débits de fréquences $\varphi_f(c) = 1.25 \text{ m}^3/\text{s}$

2/ pour un débit millénaire

$T = \frac{1}{F} = F = \frac{1}{T} = \frac{1}{1000} = F = 0.001$, d'après la table de distribution de Gauss, on obtient une valeur de débits de fréquences $\varphi_f(c) = 1.25 \text{ m}^3/\text{s}$ $\varphi_{f(m)} = 1.45 \text{ m}^3/\text{s}$

L'analyse hydrologique désignée par l'application de l'ajustement de la loi de Gauss pour une année humide a permis d'obtenir des débits de fréquences selon différentes périodes de retours allant de (1.25 m³/s à 1.45 m³/s).

VI.2.2. Ajustement d'une loi de Gumbel

La loi de distribution de Gumbel exprime à la statistique généralement pour les estimations des valeurs extrêmes. La distribution de Gumbel s'écrit par la formule suivante : $\mu = -\text{Lim}(-\text{Lu F}_i)$, u étant la variable de Gumbel ; le terme (g) représente la pente de la droite d'ajustement bien souvent est surtout pour les pluies, on appelle g « le Gradex » contraction de gradient de l'exponentielle (Meylan, P et Musy, A. 1999).

Tableau 42. Bassin versant d'oued Lagreme: *Apport moyen annuel et précipitations moyennes annuels* pour la période (Stations de Chadia, oued Lagreme) et Texeanna 1972-1984

		Station Chadia	Station Texenna
Année	n	Débit (m ³ /s)	Précipitations (mm)
72-73	1	1.18	1296
73-74	2	0.26	1190
74-75	3	0.68	1122
75-76	4	0.76	1237
76-77	5	0.43	1318
77-78	6	0.50	1394
78-79	7	0.63	1362
79-80	8	0.88	1136
80-81	9	0.81	1369
81-82	10	0.82	961
82-83	11	0.59	686
83-84	12	0.39	686

Dans toutes les études hydrologiques, la probabilité des valeurs d'un échantillon observées (tableau. 42) est déterminée par la formule de Hassen.

$$F(xr) = \frac{i-0.5}{n}$$

D'où (n) est la taille de l'échantillon et xr la valeur de rang (i). Ainsi pour chaque valeur triée de rang (i), nous pouvons y faire correspondre la fréquence associée.

a. Calcul des paramètres statistiques

- les variances (σ^2) =

$$\sigma^2 = \frac{\sum(\varphi - \bar{\varphi})^2}{n} = \frac{0.72269}{12}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum(\varphi - \bar{\varphi})^2}{n} = \frac{0.72269}{12} \Rightarrow \sigma^2 = 0.0602$$

- L'écart type = $\sqrt{\sigma^2} = \sqrt{0.0602} = \sigma = 0.245$

- **coefficient de variation = (cv)**

$$cv = \frac{\text{l'écart type}}{\bar{\varphi}} = cv = \frac{0.245}{0.6833} \qquad cv = 0.3585$$

❖ **Calcul de l'apport moyen annuel (VA)**

$$VA = Q \times 31.536 \Rightarrow VA = 0.6833 \times 31.536 \Rightarrow VA = 21.55 \text{ km}^3/\text{an}$$

b. Classement des valeurs observées par ordre croissant en regard de la fréquence expérimentale ($\frac{n-0.5}{N}$)

L'ajustement des données de l'apport moyens est fréquentiel tableau 44, de la station de Chadia (oued Lagreme) durant la période 1972-1984, nous a permis d'estimer les débits fréquents décennaux et centennaux ainsi que leur intervalle de confiance.

L'apport moyen et fréquentiel (loi log normale) de l'oued Lagreme pour la série 1972/1984 est présenté dans le tableau 43 ci-dessous.

Tableau 43. Bassin versant d'oued Lagreme: *Apports moyens annuels et fréquents* (loi log normale), Station de Chadia (oued Lagreme) année 1972/ 1984).

N° ordre	Débit (m ³ /s)	Fréquence ($\frac{n-0.5}{N}$)	(x - x̄)²
1	0.26	0.416	0.1791
2	0.39	0.1250	0.086
3	0.43	0.2083	0.0641
4	0.50	0.2916	0.03359
5	0.63	0.3750	0.0028
6	0.68	0.4583	0.00001
7	0.76	0.5416	0.00588
8	0.81	0.6250	0.016
9	0.82	0.7083	0.0186
10	0.86	0.7916	0.03122
11	0.88	0.8750	0.03869
12	1.18	0.9583	0.2467
ε Q	820	-	0.72269

Selon la formule de Hassen cité précédemment, la probabilité des valeurs d'échantillon observées sera donc :

$$F = \frac{n-0.5}{N} \text{ avec : } N = 12 ; \quad \text{Donc on peut écrire : } F_1 = \frac{1-0.5}{12} = 0.0416$$

$$F_2 = \frac{2^{-0.5}}{12} = 0.125 ; \quad F_{12} = \frac{12^{-0.5}}{12} = 0.9583$$

- La Moyenne arithmétique (Q) : $Q^- = \frac{\sum Q}{n} \Rightarrow Q^- \frac{8.20}{12} \Rightarrow Q^- = 0.6833$

c. Apport fréquentiel et estimation des débits fréquentiels décennaux et centennaux ainsi que leurs intervalles de confiances % d'après la loi de Gumbel.

- Q^- = (moyenne arithmétique = 0.6833

- L'écart type ($\sqrt{f^2}$) = 0.245

❖ Donc on peut écrire :

$$Q_f = Q_o + US$$

$$S' = 0.78 \Rightarrow S\sqrt{f^2} = 0.78 \times 0.245 = S = 0.1911$$

$$Q_o = Q - 0.45 S \Rightarrow Q_o = 0.6833 - 0.45 (0.245) \Rightarrow \quad \mathbf{Q_o = 0.57305}$$

La droite de l'équation de la loi limite de Gumbel sera donc : $Q_f = 0.57305 + 0.1911 \times U$

$$F e^{-e^{-u}} \Rightarrow \mu = - \text{Lim} (Lu F) \quad \Rightarrow \quad \mu = 0 \Rightarrow \varphi_F = \varphi_o$$

- **1^{er} point : $U = - \text{Lim} (Lu F)$**

$$\varphi_F = 0.57305 + 0.1911U$$

$$\mu = 0 \Rightarrow Q_f = Q_o \quad ; \quad Q_f = 0.573050 ; \quad P_1(0 ; 0.573050)$$

- **2^{ème} point : $U = 02$**

$$\varphi_f = 0.57305 + 0.1911(2) = 0.95525$$

$$P_2(2 ; 0.95525)$$

❖ **L'intervalle de confiance**

- **Pour 100 ans:** $F = \frac{1}{T} = \frac{1}{100} = 0.01$

$$F_1 = 1 - F = 1 - 0.01 = 0.99 \Rightarrow F = 0.99$$

$$\text{Avec, } U = - \text{Lim} (-Lu F_1) \Rightarrow U = - \text{Lim} (-Lu 0.99) \Rightarrow \mu = 4.6$$

$$\Rightarrow Q_f = 0.57305 + 0.1911 (4.6) \Rightarrow Q_f = 1.452$$

Donc on peut écrire: $Q_f - T_2 \cdot \xi < Q_F < Q_f + T_1 \cdot \xi$. Avec : $\xi = 0.245$

- **Détermination de T_1 et T_2 pour 100 ans selon l'intervalle de confiance**

$$T_1 = 1 \quad ; \quad T_2 = 0.9$$

$$\varphi_F - T_2 \cdot \xi < \varphi_F < \varphi_F + T_1 \cdot \xi. \quad \Rightarrow 1.452 - (0.9) 0.45 < Q < 1.452 + 1 \times 0.245$$

$$1.047 < Q < 1.695$$

- **Pour 10 ans : $F = \frac{1}{T} = F \frac{1}{10} = 0.1$**

$$F_1 = 1 - 0.1 = 0.9 \Rightarrow F_1 = 0.9$$

$$U = - \text{Lim} (-\text{Lu } F_1) \Rightarrow \mu = - \text{Lim} (-\text{Lu } 0.9) \Rightarrow \mu = 2.25 \quad \text{Donc on peut écrire :}$$

$$Q_{f1} = 0.57305 + 0.1911U \Rightarrow Q_f = 0.57305 + 0.1911 (2.25) \Rightarrow Q_f = 1.00325$$

Le débit fréquentiel décennal d'après l'intervalle de confiance (pour 10 ans) égal

$$T_1 = + 0.64 \quad ; \quad T_2 = - 0.41$$

$$1,0.32 - (0.41/0.245 < Q < 1,0.25 + 0.64 (0.245) \Rightarrow \mathbf{0.9028 < Q < 1.1625}$$

- **Pour 20 ans : $F = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0.5$**

$$F_1 = 1 - 0.5 = 0.5 \quad \Rightarrow \quad U = - \text{Lim} (-\text{Lu } 0.5) \Rightarrow \mu = 0.36 \quad \text{Donc on a :}$$

$$Q_f = Q_o + US' \Rightarrow Q_F = 0.57305 + 0.1911 (0.36) \Rightarrow Q_f = 0.6418 \Rightarrow Q_f = 0.6418$$

Selon l'intervalle de confiance

$$T_1 = + 0.25 \quad ; \quad T_2 = - 0.22 \quad ; \quad \text{Donc on peut écrire}$$

$$0.6418 + (-0.22)0.245 < Q < 0.6418 + 0.25(0.245) \Rightarrow \mathbf{0.5879 < Q < 0.70305}$$

L'analyse hydrologique désignée par l'application de l'ajustement de la loi de Gumbel pour une année humide a permis d'obtenir des débits de fréquences selon différentes périodes de retours allant de (0.5879 m³/s à 1.695 m³/s).

VI.2.3. Ajustement d'une loi de Gauss pour une année sèche

L'application de l'ajustement de la loi de Gauss pour une année sèche tableau 44 a permis d'obtenir des débits de fréquences selon différentes périodes de retour.

Tableau 44. Bassin versant d'oued Lagreme: *Précipitations moyennes annuelles et apports moyens annuels* (Stations de Chadia et Texenna) pour la période 1972/ 1984

N°	Station Chadia			Station Texenna
	Année	P (mm)	Débit m ³ /s	P (mm)
1	72-73	653	1.18	1296
2	73-74	942	0,26	1190
3	74-75	1332	0,68	1192
4	75-76	1082	0.76	1237
5	76-77	538	0.43	1318
6	77-78	697	0.50	1394
7	78-79	732	0.63	1362
8	79-80	1116	0.88	1136
9	80-81	1089	0.81	1369
10	81-82	1414	0.82	961
11	82-83	1018	0.59	686
12	83-84	1391	0.39	686

Selon le tableau 45 ci-dessus, la moyenne interannuelle de l'apport liquide sera donc :

$$\bar{Q} = \frac{\varepsilon\varphi}{n} = \frac{8,20}{12} = 0,6833$$

a- Détermination de l'apport fréquentiel

Les données de l'apport moyen et fréquentiel (loi normale) du bassin versant de l'oued Lagreme, année 1972/ 1984, (période sèche) sont regroupées dans le tableau. 45 ci-dessous.

Tableau 45. Bassin versant d'oued Lagreme: *Apports moyens annuels et fréquentiel* (loi normale) Station de Chadia (oued Lagreme) (année 1972/ 1984)

<i>i</i>	Qm ³ /s	$F = \frac{i - 0,5}{N}$	F%	Q ³ (m ² /s)	(x-x ⁻) ²
1	0.26	0.041	4,1	0.0676	0.1791
2	0.39	0.125	12,5	0.1521	0.086
3	0.43	0.208	20,8	0.1849	0.0641
4	0.50	0.2916	29,16	0.250	0.03359
5	0.63	0.371	37,1	0.3969	0.0028
6	0.68	0.458	45,8	0.4624	0.00001
7	0.76	0.541	54,1	0.5776	0.00588
8	0.81	0.625	62,5	0.6561	0.016
9	0.82	0.708	70,8	0.6724	0.0186
10	082	0.7916	79,16	0.7396	0.03122
11	0.88	0.875	87,5	0.7744	0.03869
12	1.18	0.958	95,8	1.3924	0.2467
Σ	8,20			6,3264	0,72269

b- Les paramètres statistiques

1- La moyenne arithmétique

$$\bar{Q} = \frac{\sum \varepsilon_Q}{n} = \frac{8,20}{12} = 0,6833 \quad \Rightarrow \quad \bar{Q} = \mathbf{0,6833}$$

2- La variance

$$s^2 = \frac{\sum (\varepsilon_Q - \bar{Q})^2}{n} = \frac{0,72269}{12} = 0,0602 \quad \Rightarrow \quad s^2 = \mathbf{0,0602}$$

3- L'écart type.

$$\sqrt{s^2} = \sqrt{0,0602} \Rightarrow \quad \sqrt{s^2} = \mathbf{0,245}$$

4- Coefficient de variation : (C^f) : $CV = \frac{\text{l'écart type}}{\bar{Q}} \Rightarrow CV = \frac{0,245}{0,6833} \Rightarrow CV = \mathbf{0,3585}$

c- Apport fréquentiel : Pour la période sèche (Fo, 8) avec un intervalle de confiance α = 70%

❖ **Loi de Gauss** : la loi de Gauss est exprimée par la formule suivante :

$$Q_F = f \times u + \bar{Q}$$

Apport fréquentiel Fo,8 (Q_F)

Fo,8 ⇒ complément Fo,2 ⇒ selon table de distribution de Gauss μ = 0,84

❖ **pour l'année sèche**

$$\mu = -0,84 \quad ; \quad Q_F = (-0,84)(0,245) + 0,6833 \Rightarrow Q_F = 0,4775 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Calcul de l'intervalle de confiance α = 70%

$$F = 1 - \frac{1 - \alpha}{2} \Rightarrow F = 1 - 0,15 \Rightarrow F = 0,85$$

Le complément : F = 0,85 (en non dépassement)

F = 0,15 (en dépassement)

D'après la table de distribution de Gauss ; Fα = 0,15 ⇒ μα = 1,04

F 0,2186 ⇒ μ = 0,8 ; F 0,18406 ⇒ μ = 0,9

✓ **Détermination des paramètres : μ et F 0,2 ?**

• **pour les années sèches :**

$$\mu = -0,85 \quad Q = 0,6833 + (-0,85)(0,245)$$

$$Q = \bar{Q} + \mu \cdot s \quad Q = 0,47505 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Calcul de l'intervalle de confiance : $\alpha = 70\%$**

$$T = \frac{1}{1-F} \Rightarrow F_{0.9} \Rightarrow T = \frac{1}{1-0.9} = T = 10 \text{ an}$$

$$F_{0.8} \Rightarrow T = \frac{1}{1-0.8} = T = 5 \text{ an}$$

$$\alpha = 70\% \Rightarrow \mu\alpha \text{ en non dépassement} = F_{0.85}$$

$$\Rightarrow \text{en dépassement} = F_{0.15}$$

$$\text{D'après la table de distribution de Gauss : } F = 0.15 \Rightarrow U_\alpha = 1.06$$

Donc l'intervalle de confiance (IC) :

$$IC = \mp \left[\frac{F}{\sqrt{2n}} \right] \sqrt{u^2 F + 2} \quad \mu\alpha \%$$

$$\mu F = F = 0,02 \quad \Rightarrow \quad \mu F = (-0,85) ; \text{ avec}$$

$$- \mu_\alpha = 1,06$$

$$\mu = 12$$

$$IC = \frac{0,245}{\sqrt{2\mu}} (\sqrt{(-0,85)^2 + 2} \times 1,06) \Rightarrow IC = (0,05) (\sqrt{2,7225} \times 1,06)$$

$$IC = (0,05)(1,749) \Rightarrow \quad \mathbf{IC = \pm 0,08745} \quad ; \quad \mathbf{F_{0.8} \rightarrow Q = 0,4775 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$Q_1 = Q_0 - IC = 0,4775 - 0,08745 = 0,39005 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = Q_0 + IC = 0,4775 + 0,08745 = 0,56495 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_1 < Q_0 < Q$$

Finalment on peut écrire :

$$\mathbf{0,39005 < Q < 0,564950} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{0,39005 < 0,4775 < 0,56495}$$

L'application de l'ajustement de la loi de Gauss pour une année sèche a permis d'obtenir des débits de fréquences selon différentes périodes de retours allant de (0.39005 m³/s à 0.56495 m³/s).

VI.2.4. Ajustement pour une loi de Galton

Selon (Roche, M. 1963), dans les études d'hydrologie, on peut généraliser la loi de Gauss et la rendre dissymétrique, par des changements de variable appropriés. Le plus connu de ces changements de variable consiste à prendre comme variable gaussienne le logarithme ou une fonction linéaire du logarithme de la variable étudiée. On obtient ainsi la loi de Galton, dite aussi loi de Gibrat-Gauss (Roche, M. 1963).

Cette loi s'écrit sous la forme mathématique suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} dz$$

$$z = a \log(x - x_0) + b$$

Les données de l'apport fréquentiel introduire dans l'ajustement de la loi de Galton sont arrangé dans le tableau .46 ci-dessous.

Tableau 46. Bassin versant d'oued Lagreme : *Apport fréquentiels* (loi Log normale), station de Chadia (oued Lagreme) année 72/1984)

<i>i</i>	Qm ³ /s	f= $\frac{i-0.5}{n}$	F(%)	Log (Q)	(X - \bar{X}) ²	(X - \bar{X}) ²
1	0.26	0.041	4,1	-0.585	[-0.585)-(-0.198)] ²	0.0966
2	0.39	0.125	12,5	-0.4089	[-0.4089)-(-0.198)] ²	0.0445
3	0.43	0.208	20,8	-0.3665	[-0.3665)-(-0.198)] ²	0.0284
4	0.5	0.2916	29,16	-0.301	[-0.301)-(-0.198)] ²	0.01061
5	0.63	0.371	37,1	-0.2006	[-0.2006)-(-0.198)] ²	0.00000676
6	0.68	0.458	45,8	-0.1675	[-0.1675)-(-0.198)] ²	0.00093
7	0.76	0.541	54,1	-0.1192	[-0.1192)-(-0.198)] ²	0.00621
8	0.81	0.625	62,5	-0.0915	[-0.0915)-(-0.198)] ²	0.01134
9	0.82	0.708	70,8	-0.0862	[-0.0862)-(-0.198)] ²	0.01249
10	0.86	0.7916	79,16	-0.0655	[-0.0655)-(-0.198)] ²	0.01756
11	0.88	0.875	87,5	-0.0555	[-0.0555)-(-0.198)] ²	0.0203
12	1.18	0.958	95,8	0.07188	[0.07188)-(-0.198)] ²	0.07284
Σ	8.20	-	-	- 2, 3755	-	0.2252

❖ **Détermination des paramètres statistiques**

- la moyenne arithmétique

$$\text{Log } \bar{Q} = \frac{\sum \text{Log} Q}{n} = \frac{-2.3755}{12} = -0.198 \quad \Rightarrow \quad \text{Log } \bar{Q} = -0.198$$

- La variance $f^2 \Rightarrow f^2 = \frac{\sum (\log Q - \text{Log } \bar{Q})^2}{n} = \frac{0.2252}{12} \Rightarrow f^2 = 0.0188$

- L'écart type. : $\sqrt{f^2} = \sqrt{0,0188} \Rightarrow \sqrt{f^2} = 0,137$

• **Coefficient de variation : (Cv)** : $CV = \frac{\text{l'écart type}}{x} \Rightarrow CV = \frac{0.137}{-0.198} \Rightarrow CV = -0.692$

❖ **Application de la loi de Galton** pour l'estimation des débits de fréquences selon différentes périodes de retour

$\text{Log } Q_f = \xi \cdot \text{Log } Q \cdot U + \text{Log } \bar{Q}$; la loi de Galton sera donc:

$\text{Log } Q_f = 0.137 \cdot U + \text{Log } \bar{Q}$, Avec :

$\xi \cdot \text{Log } Q = 0.137$,

et $\text{Log } \bar{Q} = -0.198$

$$\text{Log } Q_f = 0.137 \cdot U + (-0.198)$$

Donc l'apport fréquentiel égal :

F0,8 → $U = -0,84$ d'après le tableau de Gauss :

$$\text{Log } Q_f = 0.137 \times (-0,84) + (-0.198) = -0,3131$$

$$\text{Log } Q_f = -0,3131 \Rightarrow Q_f = e^{-0,3131} \Rightarrow Q_f = 1/10^{0,3131}$$

$$Q_f = 1/2,056 \Rightarrow Q_f = 0,486 \text{ m}^3/\text{s}$$

L'application de l'ajustement de la loi de Gauss pour une année sèche extrême a permis d'obtenir la valeur de débits de fréquence $Q_f = 0,486 \text{ m}^3/\text{s}$.

Conclusion

Les résultats obtenus par différentes lois d'ajustement (Gauss, Gumbel et Gualton) en général mènent à des résultats semblables. Les ajustements statistiques étant admissibles par la loi de Gumbel, les valeurs obtenues par cette loi notamment les apports probalistes seront donc retenues pour toutes bases de données pour le bassin versant de l'oued Lagreme.

VI.3. Approche déterministe : Estimation de l'apport moyen annuel

VI.3.1. Relation débit spécifique et surface

La disparité des caractères physico-climatiques des bassins qui s'ajoutant à la gamme étendue de leurs surfaces, ne permet pas d'obtenir une liaison statistique significative synthétisant pour l'ensemble de l'est Algérien, l'évolution du débit spécifique selon la surface drainée (Mebarki, A. 2005).

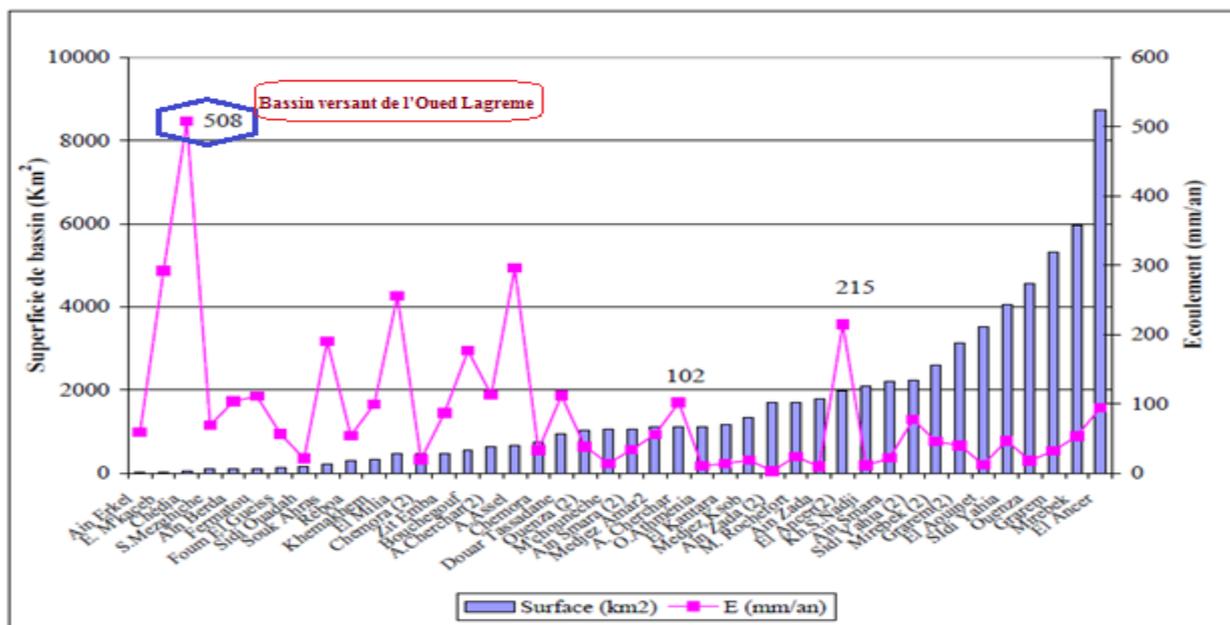


Figure 66. Bassins versants l'est Algérien: *Lame annuelle moyenne écoulée et superficie classées* de 42 unités hydrologiques observées (Mebarki, A.2005)

La figure 66 ci-dessus, montre que le débit spécifique tend à se réduire lorsque la surface accroit. L'écoulement annuel d'un petit bassin serait donc, à pluie égale, plus fort que celui d'un grand bassin, cas de bassin versant de l'oued Lagreme dont la lame annuelle moyenne écoulée est de l'ordre de 508 mm avec une superficie minimale de l'ordre de 39.57 km².

VI.3.2. Répartition des lames écoulées annuelles moyennes

Pendant les années pluvieuses, l'écoulement peut atteindre des valeurs nettement plus fortes figure 67, dépassant 1000 mm dans les bassins des côtières de Jijel. C'est le cas de l'année 1984/85 ; dans le bassin de Lagreme à chadia, les crues de décembre 1984 et mars 1985 ont permis de cumuler une lame annuelle écoulée de 1190 mm ; la hauteur des précipitations enregistrées pendant cette année a atteint deux(2) mètres (Mebarki, A. 2005).

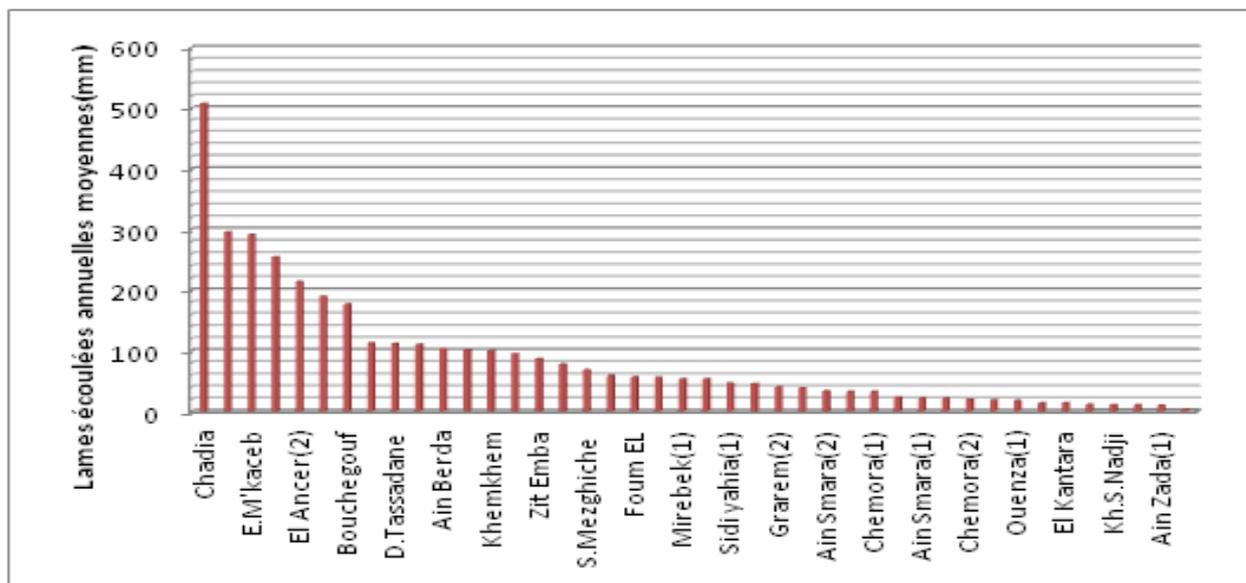


Figure 67. Bassins versants l'Est Algérien : *Répartition par ordre croissant des lames écoulées annuelles moyennes* (Mebarki, A.2005.)

- **Coefficient d'écoulement (C%)**

S'expriment par la formule ci-dessous : $C\% = \frac{\text{écoulement}}{\text{précipitation}} \times 100$

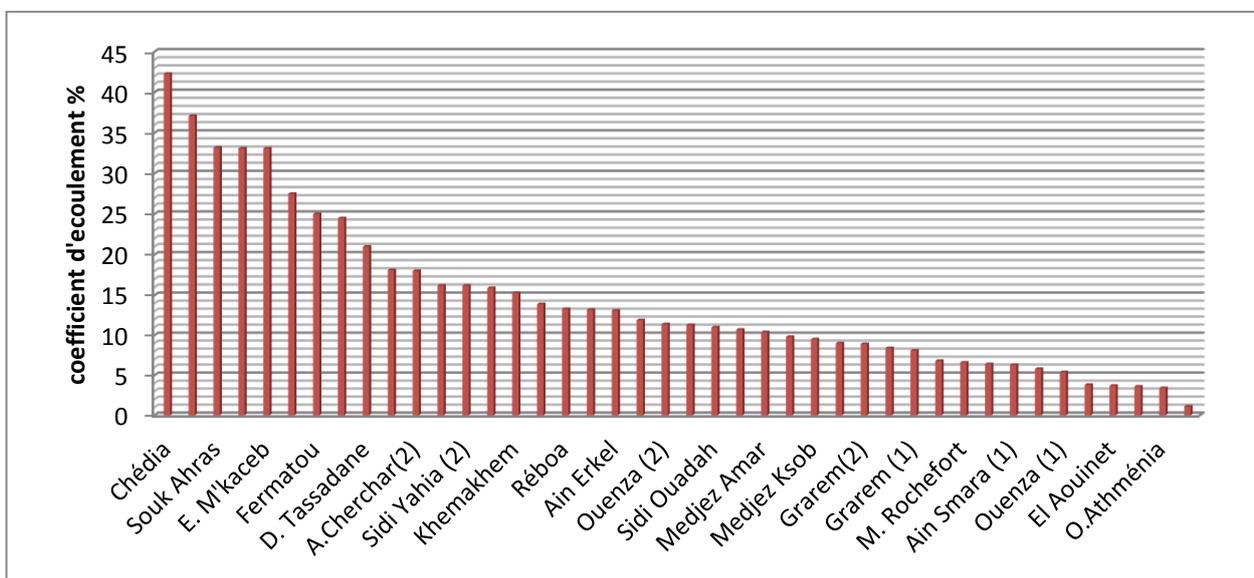


Figure 68. Bassins versants l'Est Algérien : *Coefficient d'écoulement annuel moyen* (Mebarki, A.2005.)

Le Coefficient d'écoulement (C%) est un paramètre qui définit et précise la formule générale du bilan hydrologique d'un bassin versant.

L'analyse des résultats de calcul du coefficient d'écoulement pour 42 stations hydrologiques observées figure 68, montre une variation croissante des valeurs de C dans un intervalle compris entre 1% (Oued Boussellem) et 42% (Oued Lagreme à Chadia).

VI.3.3. Estimation de l'apport moyen annuel selon les formules empiriques, bassin versant de l'oued Kissir

Aucune station hydrométrique ne se trouve à l'intérieur du bassin versant de l'Oued Kissir. À défaut d'information hydrométrique sur le bassin versant de l'oued Kissir, nous avons déterminé les différents paramètres hydrologiques (écoulement, apport liquide, crues..) par les méthodes ci-dessous énoncées:

- Analogie
- Formule empirique

a- Formule de SAIME : elle s'écrit comme suit

$$Le = \bar{p}_0^2 (293 - 2,2\sqrt{S}) \text{ Hm}^3, \quad \text{Avec}$$

Le = lame d'eau écoulée (mm)

\bar{p}_0 = précipitations moyennes annuelles en (m)

S = superficie du bassin versant de l'Oued Lagreme

- **Station Erraguene**

$$Le = 1,4408 (293 - 2,2\sqrt{106,83}) \Rightarrow Le = 1,4408 (270,26) \Rightarrow \text{Le} = \mathbf{389,39 \text{ mm}}$$

L'apport liquide sera donc :

$$A = Le \cdot S \cdot 10^{-3} (\text{Hm}^3). \text{ Avec}$$

Le : lame d'eau écoulée (m), et S = superficie du b.v en (Km²)

$$\bar{A} = (106,83 \times 10^{-3}) (0,389) \times 10^{+3} \Rightarrow \bar{A} = \mathbf{41,56 \text{ Hm}^3}$$

b- Formule dite Algérienne : elle s'exprime par l'équation suivante :

$$Le = P_0 (1 - 10^{-K \cdot P_2})$$

Avec pour paramètres :

Le = lame d'eau écoulée (m)

\bar{p}_0 = précipitations moyennes annuelles

K = coefficient dépendant de la surface du b.v

$$K = 0,18 - 0,01 \text{Log}_{10}(s).$$

S = superficie du b.v en (Km²)

- **Station Erraguene**

Donc : $K = 0.18 - 0.01 \text{Log}_{10}(106.83) \Rightarrow K = 0.1597$

La lame écoulée sera donc

$Le = (1 - 10^{-0.1597 \times 1.4408^2}) = Le = 0.770 \text{ m} = 770 \text{ mm}$

Donc l'apport sera :

$\bar{A} = 0.77 \times 106.83 \times 10^{-3} \times 10^{+3} \Rightarrow \bar{A} = 82.26 \text{ Hm}^3$

c- Formule de Mallet – Gauthier :

$$Le = 0.6 p_0 (1 - 10^{-0.36 \cdot P_0^2})$$

avec P_0 = précipitation moyenne annuelle (m)

Le = lame d'eau écoulée (m)

- **Station Erraguene**

Pour la lame d'eau écoulé : $Le = 0.6 (1.4408)[1 - 10^{-0.36(1.4408)^2}] \Rightarrow Le = 0.709 \text{ m} = 709 \text{ mm}$

L'apport liquide sera donc : $\bar{A} = Le \cdot S \cdot 10^{-3} = 0.709 \times 106.83 \times 10^{-3} \times 10^{+3} \Rightarrow \bar{A} = 75.74 \text{ Hm}^3$

Les résultats retenus dans cette analyse sont rassemblés dans le tableau 47 ci-dessous.

Tableau 47. Bassin versant de l'oued Kissir : **Bilan d'estimation de l'apport moyen annuel et lame d'eau écoulée** selon les formules utilisées (stations Texenna et Erraguene)

Bassin versant	Station	Formule	Lame d'eau écoulée (mm)	Apport annuel (Hm ³)
Oued Kissir	Erraguene	SAMIE	389.39	41.56
		ALGERIENNE	770	82.26
		MALLET-GAUTHIER	709	75.74
		Moyenne	622.80	66.52

L'application de certaines formules pour l'estimation de l'apport liquides pour le bassin versant d'oued Kissir, ont permis de définir les observations suivantes :

- L'analyse statistique menée par l'application des formules de SAMIE et Algérienne, pour le bassin de l'oued Kissir (tableau 47), a permis d'avoir une lame d'eau ruisselée allant de 389.39 mm à 770 mm et un apport moyen annuel compris entre 41.56 à 82.26 Hm³ respectivement.

VI.4. Étude des crues

La crue dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie, son évolution obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse. Sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la densité de drainage, le rapport de confluence, par la pente des talwegs et la forme du lit (Cosanday, C et Robinson, M. 2000). En général, l'estimation des crues se situe à trois niveaux d'appréciation issus : de mesure, d'enquêtes et de calculs. Elle dépend également d'autres critères, telle la fréquence d'apparition ou le temps de retour (André Musy, et al 1998).

Pour le cas de notre zone d'étude, seul l'oued Lagreme sera considéré et ce pour disponibilités des données de deux crues (5/1/1973 et 25/9/1973).

VI.4.1. Études des crues de 5/1/73 et 25/9/1973 station Chadia (Oued Lagreme)

Les crues enregistrées dans l'oued de Lagreme sont principalement d'origine pluviale. Le régime pluvial du Nord Algérien est caractérisé par des fortes averses notamment en automne, ainsi que les caractéristiques géo-géomorphologiques et morphométriques du bassin offrant un milieu assez favorable au développement des crues exceptionnelles.

Ces crues, généralement enlèvent et emportent dans leurs déplacements une grande quantité des sédiments, notamment les particules fines et en suspension.

À propos de ce sujet, nous disposons de deux séries d'observations obtenues auprès des services de l'ANRH tableau 48 et 49 ci-dessous.

- La crue de date de 5/01/1973 figure 67, caractérisé par un débit de pointe de l'ordre de 92 m³/s.
- La deuxième c'est le cas de la crue de date de 25/09/1973 figure 68 caractérisé par un débit de pointe de l'ordre de 192.5 m³/s.

Tableau 48. Oued lagreme : *Propriétés de la crue* du 5/01/1973 (ANRH)

Heure	Débit m³/s	Durée de la crue	Date
00 :00	4.10	0.42 mn	5/1/1973
01 :00	7.55	1.42	5/1/1973
02 :00	8.00	2.42	5/1/1973
03:00	8.10	3.42	5/1/1973
04 :00	12.10	4.42	5/1/1973
05 :00	32.00	5.42	5/1/1973
06 :00	83.00	6.42	5/1/1973
06 :40	92.75	7.22	5/1/1973
07 :00	60.10	7.42	5/1/1973
08 :00	39.20	8.42	5/1/1973
09 :00	25.00	9.42	5/1/1973
10 :00	18.10	10.42	5/1/1973
11 :00	14.60	11.42	5/1/1973
12 :00	12.50	12.42	5/1/1973
13 :00	10.00	13.42	5/1/1973
14 :00	09.10	14.42	5/1/1973
15 :00	7.90	15.42	5/1/1973

Tableau 49. Oued Lagreme : *Période de la crue* du 25/09/1973 (ANRH).

Heure	Débit m³/s	Durée de la crue	Date
01:00	5.00	0.15	25/9/1973
02 :00	190.0	1.15	25/9/1973
02.05	192.5	2.20	25/9/1973
03.00	82.0	3.20	25/9/1973
04.00	38.80	4.20	25/9/1973
05.00	16.50	5.20	25/9/1973
06.00	10.20	6.20	25/9/1973
07.00	05.90	7.20	25/9/1973
08.00	02.75	8.20	25/9/1973
09.00	00.90	9.20	25/9/1973
10.00	00.80	10.20	25/9/1973
11.00	00.70	11.20	25/9/1973
12.00	00.60	12.20	25/9/1973

Les données statistiques regroupées dans les tableaux 50 et 51, nous ont permis de tracer l'hydrogramme de crues des dates de (5/01/1973 et 25/09/1973) figure 69 et 70 ci-dessous :

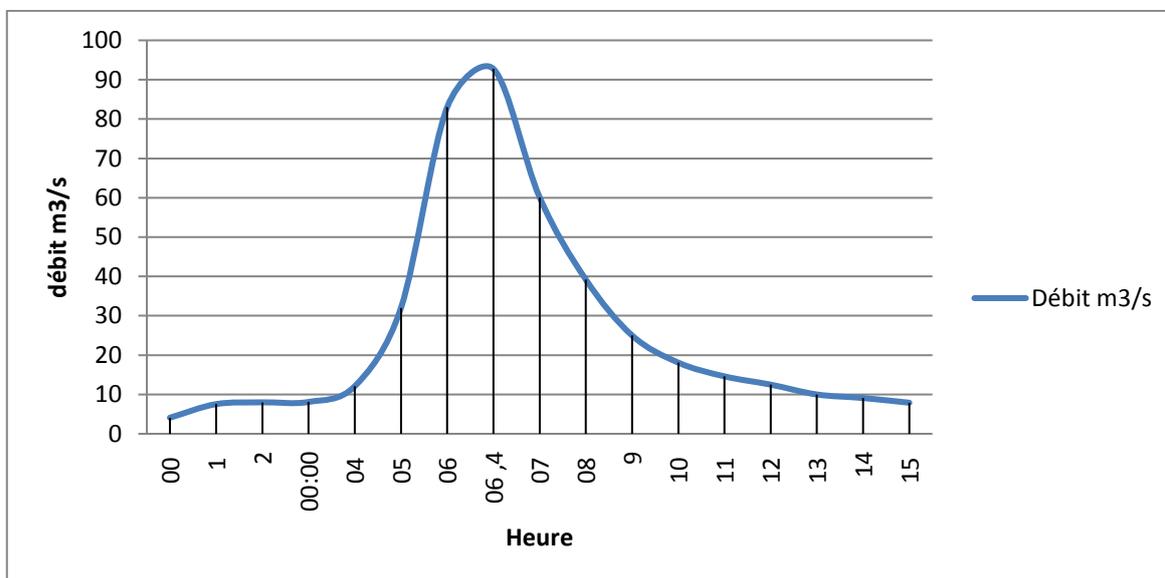


Figure 69. Oued lagreme : **Hydrogramme de crue** , date de (5-1-1973)

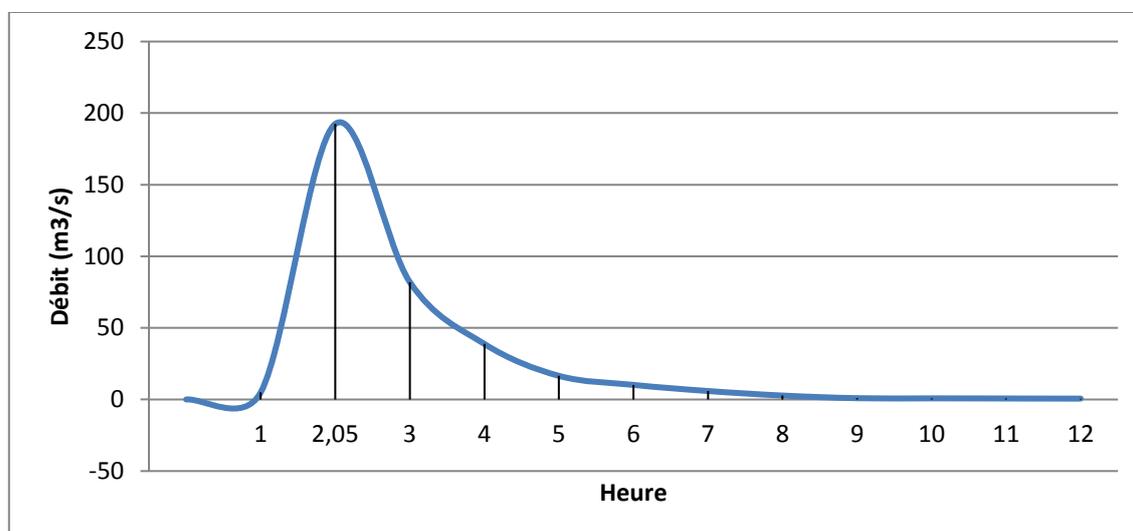


Figure 70. Oued Lagreme : **Hydrogramme de crue**, date de (25-9-1973)

D'après l'hydrogramme de la crue du 5/1/1973, le débit atteint son maximum de $92,75 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant un temps ssez long de concentration. Par contre l'hydrogramme de la crue du 25/09/1973, le débit atteint son maximum de $192,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant un très court temps de concentration. A partir de ces observations on déduit que le bassin versant objet d'étude a bénéficié d'une pluviométrie très importante qui dépasse $1200 \text{ mm}/\text{an}$.

Cette irrégularité et cette spécificité des débits max des crues résultent des pluies torrentielles très rapides enregistrées dans le bassin versant durant l'année 73- 1974.

Enfin cette particularité des deux hydrogrammes de crue, évidemment qu'il soit due à des averses ayant des durées de récurrence différents.

On remarque que les pics des deux hydrogrammes de crue montrent clairement la variation saisonnière des débits et que le stade des hautes eaux (averses importantes) est inscrit durant la saison d'automne (mois d'octobre).

L'augmentation des débits pendant le mois d'octobre est dû aux averses orageuses à la fin de la saison sèche, ce qui produit d'importants phénomènes érosif au niveau du bassin versant de l'Oued Lagreme en cette période de l'année.

- **Puissances des crues**

Plusieurs critères peuvent caractériser la puissance d'une crue : sa cote maximale, son débit journalier maximal, son volume et son coefficient « e » de Meyer-Coutagne-Pardé, qui constitue un bon élément d'approche dans le cadre d'une analyse comparative de crues entre des bassins de tailles différentes (Bouanani,A. 2004).

$$P = Q / S^{1/2}$$

Avec :

Q : débit maximal instantané (m³/s)

S : surface réceptrice du bassin.

a- puissance de la crue du 5/1/1973

$$p = \frac{Q}{S^{1/2}} = \frac{92,75}{(39,82)^{1/2}} = \frac{92,75}{6,29} \Rightarrow P = 14.75$$

b- puissance de la crue du 29/9/1973

$$p = \frac{Q}{S^{1/2}} = \frac{192,5}{6,29} \Rightarrow P = 30.60$$

Les valeurs de (p) calculées pour les crues maximales de la période chaude (automne) et de la période froide(Hiver) (date du 29/09/1973 et du 5/01/1973 de l'Oued Lagreme permettent de noter de fortes changement de la puissance des (2) crues.

VI.4.2. Calcul des débits de pointe de bassin versant de l'oued Kissir

Généralement la détermination des débits de pointe probables a pour but de calculer certains ouvrages, dont les dimensions sont définies par l'estimation des débits et volume probable maximum.

Pour le présent travail les débits de pointe probable sont donc considérés comme des indications et des paramètres pour mieux connaître l'aspect érosif et le transport solide spécifique de bassin versant d'oued Kissir objet d'étude.

Dans cette étude, nous avons utilisé des formules universelles adaptées pour la détermination des débits de pointes probables.

1- Formule de MALLET et GAUTIER

S'exprime comme suit :

$$\varphi_{\max p\%} = 2.K.\log \left(1 + A \bar{p} \times \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log^5} \right)$$

Avec: $\varphi_{\max p\%}$ = débit maximum de crue de fréquence (p) m³/s

K = constante comprise entre 1 et 3.

\bar{p} = précipitation moyenne Interannuelle en (m).

S = surface du bassin versant en Km².

L = longueur du talweg principal en km.

T = période de retour (ans).

(A et K) : coefficients topographiques, avec K= 30 et K = 2

▪ Station Erraguene :

Pour T= 50 ans, le débit max probable sera donc :

$$\varphi_{\max} = 2 \times 30 \log \left[1 + 3(1,4408) \frac{106.83}{\sqrt{22.69}} \sqrt{1 + 4 \log 50 - \log^5} \right]$$

$$\varphi_{\max} = 60 \log (233.78) \quad \Rightarrow \quad Q_{\max} = 142.13 \text{ m}^3/\text{s}$$

• Détermination analogique de débit max :

Nous utiliserons dans ce qui suit les débits de pointes (max) enregistrés dans la station de Chadia date de 5-1-1973 (tableau. 52) avec un débit max égal 92.5 m³/s et la crue de 25-9-1973 avec un débit max égal 192.5 m³/s.

Pour cela nous avons utilisé la formule ci-dessous

$$Q_1 = Q_2 P_1 \cdot S_{bv1} / P_2 \cdot S_{bv2}$$

Avec : Q1 : débit max bassin versant Oued Kissir

Q2 : débit max bassin versant Oued Lagrme

P₁ : précipitation moyenne annuelle station Texenna

P₂ : précipitation moyenne annuelle station Erragunne

S_{bv1} : superficie bassin versant Oued Kissir

S_{bv2} : superficie bassin versant Oued Lagreme

a- Pour Q₂ = 92.75 m³/s

$$Q_1 = Q_2 P_1 \cdot S_{bv1} / P_2 \cdot S_{bv2} \Rightarrow Q_1 = 92,75 * 106,83 * 1440,8 / 1229,4 * 39,57$$

$$\underline{Q_1 = 293.46 \text{ m}^3/\text{s}}$$

b- Pour Q₂ = 192.5 m³/s

$$Q_1 = Q_2 P_1 \cdot S_{bv1} / P_2 \cdot S_{bv2} \Rightarrow Q_1 = 192,5 * 106,83 * 1440,8 / 1229,4 * 39,57$$

$$\underline{Q_1 = 609.07 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Les débits de pointe enregistrés et calculés selon les formules utilisées (station Texenna Erraguene) bassin versant oued Kissir sont présentés dans le tableau 50 ci-dessous :

Tableau 50. Bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir : *Débits de pointes enregistrés et calculés selon les formules utilisées* (station Texenna et Erraguene)

Oued	Débits de pointe m ³ /s	
	Formule de MALLET- GAUTIER	Par analogie
Kissir	Station Erraguene	293.46 m ³ /s 609.07 m ³ /s
	142.13 m ³ /s	

D'après le tableau 52, on constate que :

- ✓ La formule par analogie appliquée pour le bassin versant de l'oued Kissir donne des valeurs de débits de pointe élevées avec 609.07 m³/s.
- ✓ Tandis que la formule de MALLET- GAUTIER, donne une valeur moyenne de débit de pointe de l'ordre de 142.13 m³/s.

La valeur de débit de pointe obtenu par analogie, confirme largement l'aspect érosif et le transport solide spécifique élevé du bassin versant d'oued Kissir.

VI.5. Estimation de l'érosion : les transports solides spécifiques dans les bassins versants des oueds Lagreme et Kissir

Introduction

Selon plusieurs auteurs, l'érosion, le transport solide et la sédimentation sont des phénomènes liés largement aux paramètres hydrologiques, géo-géomorphologiques provoquant des effets dramatiques sur l'environnement (perte de sol) et sur les infrastructures (envasement des barrages).

Le type de transport dépend en général de plusieurs paramètres : diamètre des matériaux transportés, et de la vitesse des cours d'eau. Il relève essentiellement du ruissellement et met en jeu diverses formes d'écoulement de l'eau dans la nature (Hug, M. 1975). Les matériaux alluvionnaires constituant le lit des cours d'eau proviennent de: (Probst, J.L et al., 1992). Le mode de transport dépend essentiellement d'un paramètre fondamental la taille du sédiment transporté.

- **Différents types de transports des particules solides**
- **La saltation**

C'est le mode de transport des éléments plus fins que les galets, c'est-à-dire les graviers et les sables grossiers, Les graviers sautent, progressent par bonds au fond de la rivière et occupent donc, dans la section, une certaine hauteur dépendant de la vitesse et des caractéristiques des grains. On explique la progression par saltation de la façon suivante: un grain glisse sur le fond du lit, puis rencontre un obstacle, il se bute alors sur cet obstacle. La différence de pression entre l'amont et l'aval du grain augmente, il bascule, puis est arraché, entraîné par le courant et, par gravité, retombe au fond où le processus. Il est évident que les composantes multiples de la vitesse, qui caractérisent la turbulence, jouent un rôle important dans la saltation (Henri, M ORSTOM).

- **Le transport par charriage**

Le transport solide par charriage, représente la progression des sédiments grossiers (sables, graviers, galets et blocs), de diamètre supérieur à 1 mm, qui se déplacent par roulement ou glissement, au voisinage immédiat du fond du cours d'eau, et parcourent des distances relativement courtes et discontinues dans le temps et dans l'espace.

Les mesures sur le terrain du transport solide par charriage sont très onéreuses à cause des perturbations de l'écoulement. De ce fait, les évaluations de ce type de transport son difficiles à

mener en l'absence de bases de données. On se contente généralement d'études sur modèles réduits pour déterminer la proportion du charriage par rapport à la suspension ou au transport total (Couvert, B. et al. 1994).

- **Le transport en suspension**

Le transport solide en suspension représente le transport de sédiments fins (argiles, limons, sables fins), de taille micrométrique, maintenues en suspension sur toute la hauteur de la masse liquide du cours d'eau, sous l'action des fluctuations turbulentes de l'écoulement. Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval.

- **Le charriage de fond**

Formée de matériaux trop gros pour être mis en suspension compte tenu de leur densité et de la vitesse du courant. Ils roulent sur le fond ou se déplacent par translation. Entre le transport par charriage sur le fond et le transport par suspension, on définit parfois le transport par saltation qui correspond à un déplacement des matériaux par bonds successifs (Nouvelot, 1992).

VI.5.1. Étude des transports solides en suspension dans le bassin versant oued Lagreme

Les mesures de transport solides spécifiques en suspension dans le bassin versant de l'oued Lagreme (tableau. 54) ont été établies à l'aide des calibres effectuées sur les teneurs en suspension dans la station de Chadia durant la période 78/1986. Ces données nous ont été fournies par les services hydrologiques de l'ANRH. L'étude est basée sur les valeurs instantanées des débits liquides (Ql), donnés en m³/s, mesurés à la station de Chadia. À chaque mesure effectuée, a été jaugé le poids du matériau en suspension obtenu à partir d'échantillons d'eau prélevés sur les rives de l'Oued au moyen d'un conteneur de 50 cl. Le récipient recueilli sur un papier-filtre est pesé après assèchement à l'étuve à 105°C pendant 30 minutes. On définit ultérieurement la charge convenant à un litre d'eau prélevée, ce qui donne à la fin une concentration, en g/l.

Selon plusieurs auteurs, le nombre des calibres effectués sur les rives des oueds dépendait de l'évolution de la hauteur de la lame d'eau écoulée. Au stade de crue, à chaque modification de 10 cm de hauteur d'eau, on effectue un prélèvement. Par contre en période régulière on préleve une fois tous les deux jours.

Le débit solide en suspension est calculé par la formule ci-dessous :

$$Q_s = C \cdot QL \quad \text{avec :}$$

Q_s : Débit solide en suspension mesure (kg/s).

QL : Débit liquide (m^3/s).

C : Concentration ou turbidité (g/l)

VI.5.1.1. Évaluation des transports solides spécifiques en relation avec les précipitations et l'écoulement

Plusieurs chercheurs ont développé des relations entre le transport solide et les facteurs géomorphologiques et climatologiques (précipitations) ainsi que l'estimation de la dégradation spécifique pour certains bassins algériens (Touaibia, B et al. 2001 ; Benkhaled, A et Remini, B, 2003 ; Demmak, A. 1982).

Le présent travail est basé sur des séries de mesures et d'observations de données climatiques et hydrométriques, mensuelles et annuelles aux stations de Chadia, Texenna situées dans le bassin versant de l'oued Lagreme.

L'utilisation des précipitations moyennes annuelles, et les apports moyens annuels, et des transports solides spécifiques ont permis de déterminer ce qui suit:

- la relation concordante entre la variation annuelle des précipitations (aux stations de Chadia et Texenna) et l'apport liquide enregistré aux stations hydrométriques pour la période 1972-1984.
- le rapport entre les variations saisonnières du transport solide spécifique de l'oued Lagreme, et l'irrégularité des précipitations.
- l'évolution annuelle et saisonnière de transport solide spécifique, station Chadia (1978-1987).
- pour les événements extrêmes, l'analyse est basée sur les données de deux crues enregistrées dans la zone d'étude durant l'année 1973 qui était exceptionnelle humide.

Le mécanisme de l'écoulement et celui des transports solides spécifiques sont favorisés par plusieurs facteurs, tels que : les reliefs, le climat, la lithologie et l'occupation des sols.

Les disparités du comportement morphologique et du fonctionnement hydrologique peuvent être mieux expliquées par les types de relation qui existent à différentes échelles dans le bassin en question entre les paramètres suivants : les pluies, l'écoulement et les transports solides spécifiques (Tatar, H et al., 2011).

❖ **Rapport pluie-débit liquide à l'échelle annuelle**

Pour déterminer la relation entre la pluviométrie et le débit liquide (tableau 51), nous avons montré sur la figure 71 ci-dessus, la relation existante entre la variation annuelle des précipitations (station Chadia, Texenna) et l'apport liquide enregistré dans la station hydrométrique pour la période 1972-1984.

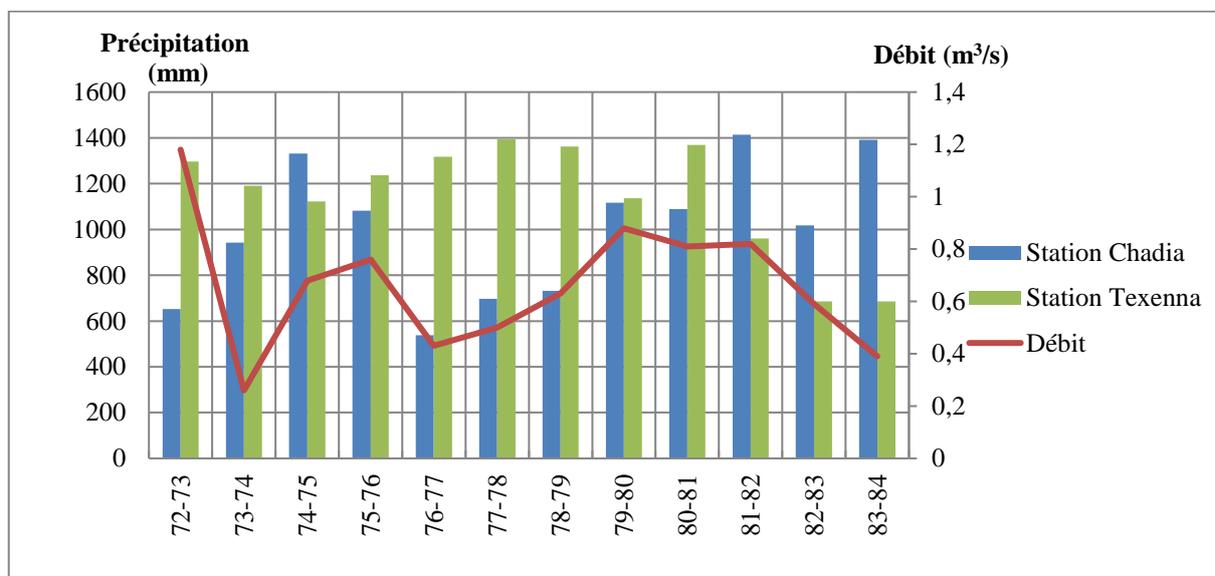


Figure 71. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Relation précipitations, débit moyen annuel*

Tableau 51. Bassin versant d'oued Lagreme: *Apports moyens et précipitations moyennes annuelles*, stations de Chadia et Texenna (année 1972/ 1984, ANRH)

Année	Chadia		Texenna
	P (mm)	Débit m ³ /s	P (mm)
72-73	653	1.18	1296
73-74	942	0,26	1190
74-75	1332	0,68	1192
75-76	1082	0.76	1237
76-77	538	0.43	1318
77-78	697	0.50	1394
78-79	732	0.63	1362
79-80	1116	0.88	1136
80-81	1089	0.81	1369
81-82	1414	0.82	961
82-83	1018	0.59	686
83-84	1391	0.39	686

Le graphe ci-dessus figure 72, montre la relation de proportionnalité entre la pluviométrie enregistrée au niveau des différentes stations pluviométriques (Chadia et Texenna) et les débits correspondants mesurés au niveau de la station hydrométrique de Chadia.

VI.5.1.2. Évaluation quantitatifs des transports solides spécifiques en relation avec les précipitations et l'écoulement

❖ A l'échelle annuelle

A cause de ses caractéristiques climatiques humides, morphologiques, lithologiques, ainsi que la dégradation du couvert végétal, la dynamique fluviale dans le bassin versant de l'oued Lagreme est très active. L'érosion, le transport solide et la sédimentation sont des phénomènes spectaculaires, générant des effets dramatiques sur l'environnement (perte de sol) et sur les infrastructures (l'envasement des barrages).

La quantification des matières transportées par les cours d'eau est une tâche délicate eu égard au caractère irrégulier du régime hydrologique et du manque de données, dû aux difficultés inhérentes à des prélèvements effectués au cours de crues violentes et brèves (El Mahi, A., Meddi, M., et Bravard, J-P. 2012). Le transport solide dans les cours d'eau établis le deuxième cycle de l'érosion hydrique.

Les différents comportements morphologiques et de fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'oued Lagreme, sont exprimés aussi par le rapport du tonnage annuel à la charge solide spécifique moyenne annuelle. Le bassin présente donc une activité morphodynamique importante qui fournit une charge moyenne annuelle (tableau. 52) estimée à 1065 t/km². Ce qui représente un tonnage énorme pour le bassin en question.

Les variations annuelles des débits liquides, et débits solides figure 72 sont directement liées à la pluviométrie. La valeur minimale des débits solides est enregistrée durant l'année hydrologique (79-1980), avec un tonnage de 310 t/km². Par contre la valeur maximale des débits solides moyens annuels est enregistrée pendant l'année hydrologique (1984-1985) durant laquelle le bassin a enregistré une charge de 3374 t/km². Cette expression fournit un premier aperçu de la variation, dans le temps, du débit solide de l'oued Lagreme.

Tableau 52. Bassin versant oued Lagreme : *Transports solides spécifiques* (t/km²/an) année (1978/1986, ANRH)

Année	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Moy
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Jul	Aout	
78-79	00	16	111	00	06	359	13	109	00	00	0	0	614
79-80	04	04	186	17	05	06	59	16	11	00	0	0	310
80-81	00	35	178	506	16	91	59	00	00	0,25	0	0	886
81-82	00	3,5	10	227	468	83	154	66	30,5	00	0	0	1043
82-83	00	105	298	498	00	00	87	00	00	00	0	0	989
83-84	00	19,5	02	06	108	146	188	02	00	00	0	0	469
84-85	19	625	17	1053	456	31,5	1157	00	5,5	00	0	0	3374
85-86	0,25	36	78	12	546	56	112	5	00	00	0	0	843
Moy	03	106	110	290	200	96	228	25	06	0,03	0	0	1065
	219			586			259			0,03			

En année hydrologique particulier 1984-1985, l'oued Lagreme draine en moyenne une charge exceptionnelle supérieure à la moyenne de l'ordre de 3374 T/km²/an.

Ce régime hydrologique du bassin versant est lié fortement au caractères des crues notamment estivales et automnales.

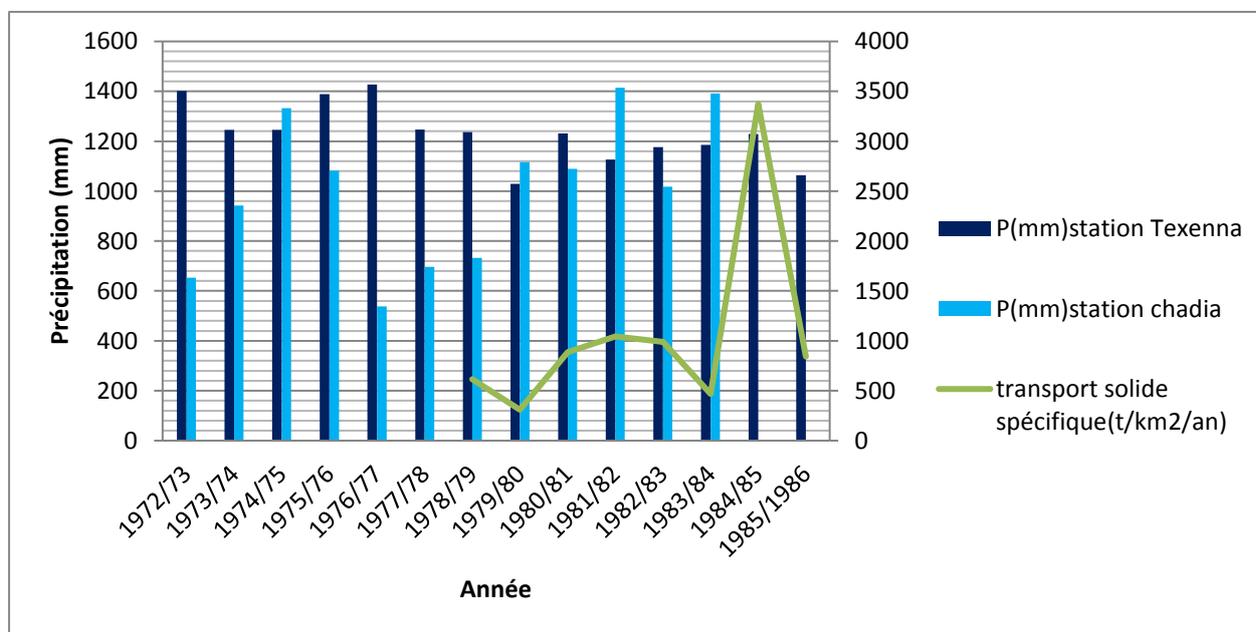


Figure 72. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Relation précipitations, transports solides spécifiques*, station Chadia (1973-1987)

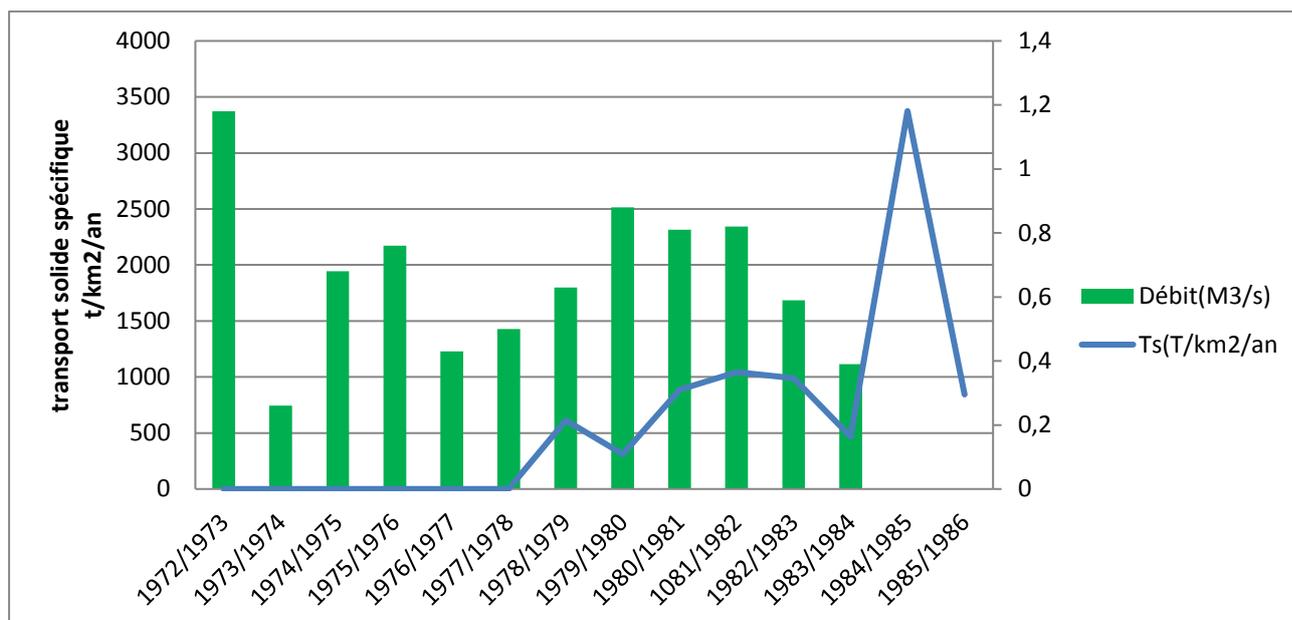


Figure 73. Bassin versant de l'oued Lagreme : **Relation débit liquide et transports solides spécifiques**, station Chadia (1973-1987)

Les variations interannuelles du transport solide spécifique et débits liquides, la figure 73 montrent une liaison entre les valeurs maximales et minimales. Le bassin est marqué par une haute valeur de transports solides spécifiques durant l'année hydrologique (1981-1982), où l'apport moyen annuel a atteint un maximum de 0.82 m³/s. Pour l'année hydrologique (1983-1984) la charge minimale atteinte est de l'ordre de 469 t/km², durant laquelle le bassin a enregistré un apport moyen annuel minimal de l'ordre de 0.39 m³/s.

❖ À l'échelle saisonnière

Les pluies saisonnières expliquent fortement les variations des transports solides spécifiques. Les variations saisonnières du transport solide spécifique figure 74 de l'oued Lagreme sont fortement liées à l'irrégularité des précipitations ainsi qu'à l'apport liquide. Les valeurs maximales des transports solides spécifiques sont enregistrées durant les saisons d'hiver au cours de la série d'études (1978-1986) ; l'année exceptionnelle (1979-1980) a enregistré un transport solide spécifique maximal en automne.

Les précipitations enregistrées durant la saison d'hiver dans le bassin en question représentent plus 43 % de la pluie totale tombée pendant cette année. Cette situation reflète fortement la forte activité morphodynamique de bassin bien marquée en hiver, où la charge a dépassé 580 t/km² (tableau 3). Tandis qu'en automne et au printemps, les valeurs des précipitations reflètent largement le comportement hydrosédimentaire du bassin en question.

De ce fait, les pluies enregistrées durant les saisons printanières mobilisent 259 t/km^2 , tandis qu'en automne, l'intensité des pluies ne mobilise que 219 t/km^2 .

Après une longue saison sèche, les pluies de l'automne tombent sur un sol desséché et raide, difficilement érodable. Le comportement hydrosédimentaire du bassin en question est donc caractérisé par une faible activité en régime pluvial régulier.

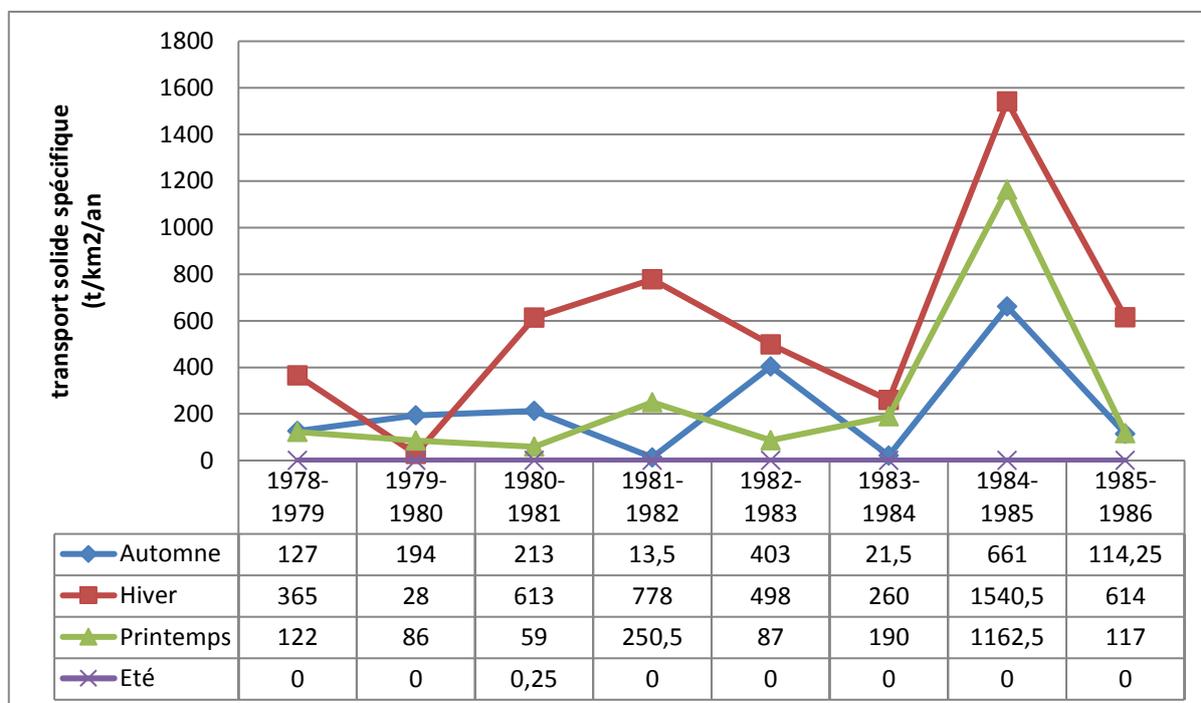


Figure 74. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Evolution annuelle et saisonnière des transports solides spécifiques*, station Chadia (1978-1987)

Par contre, les pluies torrentielles qui surviennent en octobre et novembre arracheront de grandes quantités de matières solides.

❖ A l'échelle mensuelle

La figure 75 montre que les transports solides spécifiques s'affaiblissent considérablement en été, où on remarque une absence totale de la charge durant les mois de juillet et août (avec $T_s = 0 \text{ T/km}^2$). Dès le premier orage du mois de septembre en automne, la concentration des transports solides spécifiques dans le bassin versant apparaît, et la charge atteint son maximum durant le mois de décembre avec un $T_s = 290 \text{ t/km}^2$. Cette variation est liée fortement au lessivage des pluies en début du mois de septembre après une large saison de sécheresse d'été.

L'agressivité des premières précipitations sur les sols notamment les formations marneuses est élevée dans le bassin versant. Les sols généralement en automne sont déshydratés, cette situation entraîne une aggravation de leur sensibilité à l'érosion.

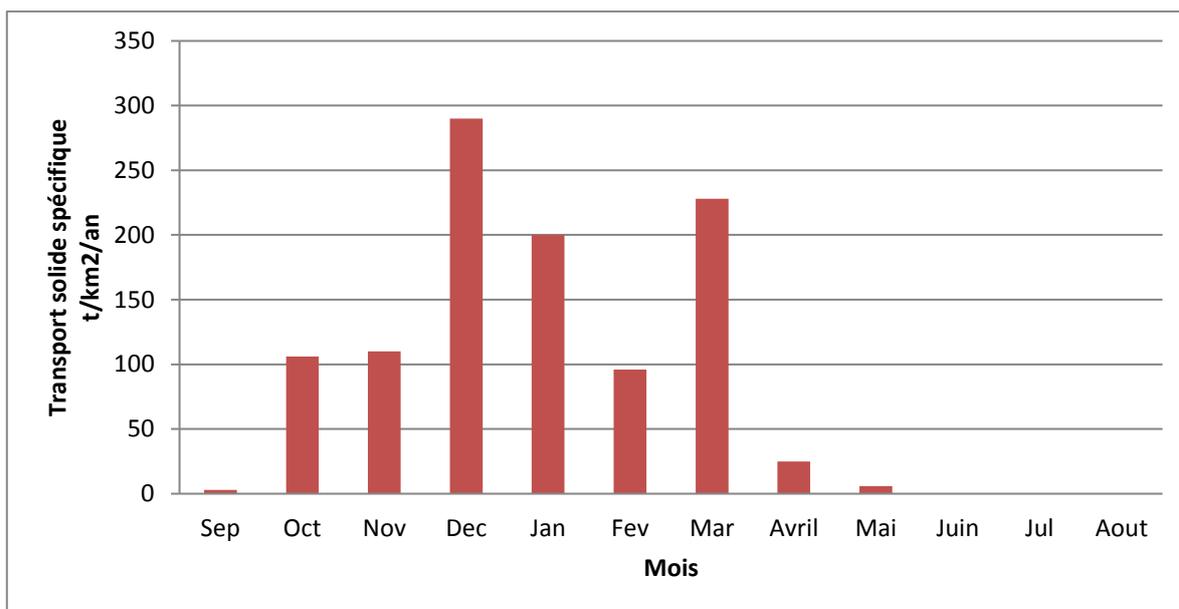


Figure 75. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Variations mensuelles des transports solides spécifiques*, station Chadia (1978-1986)

L'analyse des variations mensuelles des transports solides spécifiques notamment durant les périodes des crues, permet de déduire les observations suivantes :

- les hautes valeurs des transports solides moyennes mensuelles sont marquées durant les mois de décembre et de janvier.
- Plus de 55% des sédiments drainés vers le lacs du barrage sont enregistrés en Hiver.

Cette dynamique érosive intense affecte largement les formations lithologiques meubles : marnes et olistostrome notamment sur la rive gauche de bassin versant.

- Les hautes valeurs des transports solides spécifiques marquées durant le mois de mars et liées aux précipitations abondantes enregistrées pendant ce mois, ainsi qu'aux mouvements de masse affectant les terrains marneux et molassiques dans le bassin versant objet d'étude.

D'après (Bourouba, 1994), les bassins versants dans le Nord Algérien, présentent des comportements hydrogéomorphologiques différents et des bilans d'érosion dissemblables.

L'érosion spécifique du bassin versant de l'oued Djen djen durant les années (72/1976) « 7619 t/km²/an », est supérieure 9 fois à celle de l'oued Mellah à Bouchegouf « 853 t/km²/an » et 30 fois à celle de l'oued Ressoul à ain Berda « 252 t/km²/an ».

Pour l'oued Lagreme, la dégradation spécifique moyenne annuelle durant les années (78/1986) est de 1065 t/km²/an.

L'analyse comparative des données de la dégradation spécifiques dans les quatre stations hydrométriques : celle de Missa qui contrôle Oued Djen djen moyen (204 km²), celle de Bouchegouf et Ain Berda qui contrôlent respectivement les deux affluents de l'oued Seybouse : l'oued Melah (550 km) et l'oued Ressoul (103 km²), ainsi que de Chedia qui contrôle l'oued Lagreme (39.57 km²), montre des écarts très significatifs entre la dynamique fluviale des quatre oueds.

VI.5.2. Évaluation de l'érosion hydrique dans le bassin d'oued Kissir (formule empirique)

Le manque des mesures du taux d'érosion et des transports solides pour le bassin versant de l'oued Kissir, nous impose l'utilisation des formules de prévision par l'application des équations expérimentales.

Il existe de nombreuses expressions permettant l'évaluation de l'érosion. Dans ce travail, en se basant seulement sur les formules impliquant uniquement des facteurs significatifs tels : lithologie, pente pour quantifier le taux d'érosion.

L'ablation spécifique globale dans le bassin versant de l'oued kissir est :

a) L'indice orographique H²/S

Avec H : altitude moyen du b.v (m)

S : superficie du b.v (m²)

$$\frac{H^2}{S} = \frac{(775.5)^2}{1067830000\text{m}^2} = 0,0056$$

b) Pour l'indice de Fournier (IF)

❖ **Station d'Eraguenne :(pour une longue série 1961-1991)**

$$IF = \frac{P^2}{p} \quad \text{Avec : } P^2 : \text{Pluviométrie du mois le plus pluvieux de l'année (mm)}$$

P : Hauteur des pluies moyenne annuelle (mm)

$$\text{Donc on a:} \quad IF = \frac{(301.6)^2}{1440.8} \Rightarrow IF = 63.13$$

$$C > 20 ; \quad \frac{\overline{H^2}}{S} < 6$$

La formule adaptée pour le bassin versant de l'oued Kissir sera donc:

$$Ds = 27.12 C - 475,4 = 27.12 (63.13) - 475.4 \Rightarrow Ds = \mathbf{1236.69T/km^2/an}$$

Tableau 53. Bassin versant de l'oued Kissir : *Dégradation spécifique des sols*

Dégradation spécifique (Ds) t/km²/an	
Bassin versant	Station Erraguene
Oued Kissir	1236.69

La dégradation spécifique (tableau 53) ci-dessus, obtenu par l'application de l'indice de Fournier, montre que le bassin versant de l'oued Kissir présente une forte vulnérabilité érosive.

Conclusion

L'analyse des relations liant la pluviométrie au transport solide, nous a permis de mettre en évidence le rôle et la gravité des paramètres géo- géomorphologiques et morphométriques dans l'érosion des versants du bassin de l'oued Lagreme.

Le taux des matériaux arrachés est révélateur d'une phase d'érosion accélérée qui s'y installe. L'hiver demeure la période la plus active avec plus de 55% des sédiments drainés vers le lac du barrage. Ce processus diminue au printemps et pendant la saison d'automne.

L'oued Lagreme présente une forte vulnérabilité érosive, essentiellement l'érosion en nappe et le ravinement.

Généralement le transport solide dans les deux bassins versant objets de cette d'étude est très variable dans le temps, il est très significatif durant les périodes des crues.

Chapitre VII

Caractéristiques morphométriques des bassins versants d'oueds Lagreme et Kissir

Chapitre VII. Détermination des caractéristiques morphométriques des bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir

Introduction

Les caractéristiques morphométriques se résument dans (3) trois types d'indice pouvant aider à comprendre le comportement morphologique et à analyser le fonctionnement hydrologique des bassins versants objets d'études, les indices de relief hypsométrique, les indices morphométriques de la taille et de la forme, et les indices morphométriques de l'organisation du réseau hydrographiques. Ces paramètres aident aussi à établir une classification et une comparaison des bassins versants en fonction de leurs aptitudes vis-à-vis des processus morphologiques actuels.

La superficie d'un bassin versant est une dimension importante à connaître, car elle est la base de tous les calculs hydrologiques (bilan, module, débits spécifique,...etc.).

La mesure de cette surface suppose d'abord la délimitation du bassin par la ligne de partage des eaux qui est matérialisée par la ligne des crêtes (Nemouchi, A. 2002).

Certains facteurs topographiques, jouent un rôle dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant, surtout son orientation et son orographie.

a- L'influence de l'orientation sur les précipitations : elle s'exprime par l'inégalité des précipitations entre les versants exposés aux vents humides et pluviaux et celle qui sont à l'abri de ces derniers.

b- L'influence de l'altitude : la pluviométrie augmente avec l'altitude, ce phénomène est désigné par le gradin pluviométrique.

Les géomorphologues américains (HORTON, LEOPOLD, MILLER, STRAHLER, SCHUMP/I etc.. .) ont établi de nombreuses formules exprimant généralement des liaisons statistiques observées entre divers caractères morphologiques et physiques des lits et des bassins (Krimgold, D, B 1963 ; Hirsch, F, 1962)

L'étude physique a pour but la détermination des caractéristiques géométriques du bassin versant. On rappelle d'abord brièvement les définitions des principaux caractères physiques des bassins qu'il est nécessaire et vraisemblablement suffisant de connaître.

Les paramètres morphométriques, indice de reliefs, indices de la taille et de la forme, et les indices de l'organisation du réseau hydrographique des deux bassins versants oued Lagreme et Kissir obtenus à l'aide du logiciel Arc Gis, sont des données significatives et démonstratives.

Notre étude a pour but de confronter les bassins ainsi que les sous-bassins entre eux, pour aisément examiner et signifier chaque sous -bassin à fin de mieux caractériser le comportement inégal et extrême des sous bassins objets d'études.

Pour apprécier et comparer sur le plan « sensibilité à l'érosion » des bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir, nous avons utilisé les indices morphométriques ci-dessous.

VII.1. Les indices de relief hypsométriques

Toute transformation de pluies en écoulement superficiel ou souterrain passe par l'intermédiaire du bassin versant. Un bassin versant est défini comme : « la région qui reçoit les précipitations et suite au processus hydrologique entraînant perte et retards, les achemine jusqu'à un exutoire » (OMM. 1996). Outre les conditions climatiques qui gouvernent le fonctionnement du bassin versant, ses caractéristiques physiques influencent le volume (en terme de bilan) et la répartition temporelle (en terme d'hydrogramme des écoulements (Roche, M. 1963).

Les deux bassins versants oued Lagreme et Kissir, ont été délimités à partir des cartes topographiques nouveau découpage, échelle 1-25000, à l'aide du logiciel ArcGis.

Tableau 54. Bassin versant d'oued Lagreme : *Caractéristiques morphométriques* des sous bassins versant

Morphométrie	Bassin versant oued Lagreme	Sous bassin versant n°1	Sous bassin versant n°2	Sous bassin versant n°3
Superficie en (km ²)	39.57	16.48	12.09	11.00
Périmètre en (km)	27.91	21.04	18.28	15.22

D'après le (tableau. 54 et 55), le bassin versant de l'oued Lagreme est caractérisé par une faible superficie de l'ordre de 39.57 Km² et un périmètre de l'ordre de 27.91 km divisée en 3 sous bassins :

- Le sous bassin n°1 qui s'étend sur une superficie de l'ordre de 16.6 km²
- Le sous bassin n°2 qui s'étend sur 12.19 km².
- Finalement le sous bassin n°3 s'étend sur 11.03 km².

Tandis que, le bassin versant de l'oued Kissir est caractérisé par une superficie de l'ordre de 106.83Km² et un périmètre de l'ordre de 53.45 km divisée en quatre (4) sous bassins.

Tableau 55. Bassin versant d'oued Kissir : *Caractéristiques morphométriques* des sous bassins versants

Morphométrie	Bassin versant Oued Kissir	Sous bassin n°1	Sous bassin n°2	Sous bassin n°3	Sous bassin n°4
Superficie en (km ²)	106.83	24.50	24.17	30.25	27.91
Périmètre en (km)	53.45	32.27	24.28	23.44	24.04

Ces deux paramètres, superficie et périmètre, apportent des informations précieuses dans l'étude des bassins versants. Leurs influences se manifestent dans la nature de la relation entre le débit et le temps (Ahmed Laabidi et al., 2016).

Sur le plan morphologique, le bassin versant de l'oued Lagreme atteint 1061 m à son point culminant aux crêtes de Djebel Mkaad, tandis que le point le plus bas est situé au lieu dit Touafra situé à l'altitude 88 m.

Alors le bassin versant de l'oued Kissir exède 1524 m à son lieu culminant au sommet de Djebel M'sid ech Cheta. Tandis que le point le plus bas est situé au lieu dit Ghar Kissir à l'altitude de 10 m.

VII.1.1. Hypsométries des bassins versants

Généralement, les paramètres déterminants d'un bassin versant qu'ils soient climatiques (précipitations, températures) ou hydrologiques (ruissellement) sont fonction de l'altitude, donc, il est indispensable d'examiner l'hypsométrie des bassins versants objet d'étude (voir annexe 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10).

La courbe hypsométrique, altitude en fonction de l'aire donne un bon aperçu de la répartition altimétrique du bassin versant objet d'étude. Elle représente la répartition en kilomètre carrés ou en pourcentage de la superficie totale du bassin versant objet d'étude par tranche d'altitude. Selon « STRALER » la courbe hypsométrique est le reflet de l'état d'équilibre, dynamique, potentiel du bassin. Selon la concavité de la courbe, il y a lieu de juger de l'état du bassin versant vis-à-vis de l'érosion. La répartition des valeurs surfaces en fonction des altitudes sont regroupées dans les tableaux 61 et 62 ci-dessous.

L'orographie est aussi importante que la surface, car le relief joue un double rôle :

- Climatique d'abord, puisqu'il agit sur les précipitations et sur leurs natures qui augmentent avec l'altitude, et sur les températures qui s'abaissent avec celle-ci.

- Un rôle sur l'écoulement par le biais de la dénivellation qui commande la pente hydrologique des lits des oueds dont dépend la vitesse de l'écoulement : plus la pente dynamique est forte plus la vitesse d'écoulement est importante (Nemouchi, A. 2002).

Tous les paramètres climatiques (température, vent, évaporation...) et hydrologiques (écoulement) sont liés à la topographie et l'altitude des bassins versants..

Généralement, les courbes hypsométriques caractérisent deux types des bassins versants :

- Les bassins versants dits « jeunes » : ils sont définis souvent par une superficie assez faible par rapport au changement d'altitude élémentaire.
- Les bassins versants dits « vieux » : ce type des bassins versants sont déterminés généralement par une morphologie douce, près d'un cours d'eau, ou l'élévation est modérée malgré une superficie notable.

Cette courbe, qui porte en abscisse le pourcentage de surface (surface cumulée) du bassin qui se trouve au-dessus de l'altitude représentée en ordonnée, reflète aussi son état d'équilibre dynamique potentiel.

Elle permet aussi de juger de l'âge et du degré d'érosion des bassins versants, constitue aussi un outil de comparaison entre des sous bassins versants. En effet, la forme de la courbe hypsométrique est caractéristique de l'état de maturité du relief (jeune, en équilibre et vieux) ainsi que de sa capacité érosive (Musy, 2005). Selon Strahler (1952), l'allure de la courbe hypsométrique caractérise le cycle d'érosion du relief actuel étudié (fig. 76).

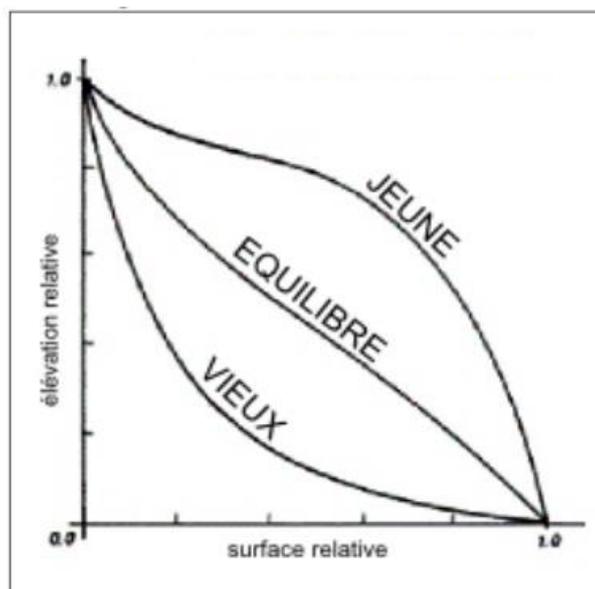


Figure 76. *Etat de maturité du relief des bassins versants*, Strahler (1952)

En effet, une courbe convexe est caractéristique d'un relief accusé et jeune où l'érosion est encore intense, tandis qu'une forme concave reflète un vieux relief non rajeuni par les soulèvements tectoniques et où l'érosion est devenue faible et stable (Bannister, 1980).

L'examen et l'analyse des différentes courbes hypsométriques des bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir (Annexes, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 et 19), nous permet de déduire les observations suivantes :

- ❖ Les bassins jeunes montrent une superficie faible par rapport au changement d'altitude initiale, ce qui est caractéristique des bassins abrupts, cas du bassin versant de l'oued Kissir et des sous bassins 3 oued Lagreme, et 4 oued Kissir.
- ❖ Les vieux bassins présentent de larges topographies pratiquement planes où l'altitude varie très peu, cas des sous bassins 1 des deux oueds Lagreme, et Kissir. Ces courbes qui ont déjà dépassés l'état de maturité et d'équilibre, et ont accédé par conséquent un cycle relativement avancé d'érosion.
- ❖ Les bassins, correspondant à la courbe du milieu, sont des bassins proches de l'état dit d'équilibre ou « mature », cas du bassin versant d'oued Lagreme, et des sous bassins 2 oued Lagreme, et sous bassins 2, et 3 oued Kissir.

• **La surface dominante des bassins versants**

L'hypsogramme et la courbe hypsométrique détermine la répartition des altitudes à l'intérieur du bassin versant et permettent, de définir notamment l'altitude la plus fréquente tableau 56 ou bien l'altitude de la plus grande surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveau successives.

Tableau 56. Bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir : *Surface hypsométrique dominante*

	Bassin versant oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir			
	Sous bassins			Sous bassins			
	1	2	3	1	2	3	4
Surface dominante (courbe m)	150 / 200	300 / 350	600 / 650	100 / 150	150 / 200	550 / 600	950 / 1000
% par rapport à la totalité du bassin	19.38	12.50	14.16	12.37	14.44	9.89	8.63

La surface dominante pour le bassin versant de l'oued Lagreme est comprise entre l'altitude 200 et 250 mètres avec 10.054% de la superficie totale du bassin versant. Pour le bassin versant de l'oued Kissir, la surface dominante est comprise entre l'altitude 150 et 200 mètres représentant 6.37% de la surface totale du bassin versant.

Pour les sous bassins : l'examen des courbes hypsométriques, annexes (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17) montrent que :

- La valeur la plus élevée des surfaces dominantes avec 19.38% de la zone étudiée, est située dans le sous bassin n° 1 oued Lagreme ; elle est comprise entre la courbe 150 et 200 mètres. Tandis que la valeur la plus faible des surfaces dominantes avec 8.63 % de la zone, est située dans le sous bassin n° 4 d'oued Kissir ; elle est comprise entre la courbe 950 et 1000 mètres.

❖ **Altitude moyenne (h)**

D'après Ahmed Laabidi et al., (2016), l'altitude moyenne d'un bassin versant est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques. Elle se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique.

L'altitude moyenne d'un bassin versant est calculée par la formule suivante :

$$h = \frac{H_{\max} - h_{\min}}{2} + h(\min), \text{ d'où}$$

(h) = altitude moyenne (m)

H max= altitude maximum du bassin versant (m)

(h) min= altitude minimale du bassin versant (m)

Donc : $h = \frac{1061-88}{2} + 88 = 574.5 \text{ metres.}$

Tableau 57. Bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir : *Altitude moyenne*

Altitude moyenne (m)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
574.5	519	525	655.5	767	480	405	750	962

L'altitude moyenne des bassins versants indiquée dans le tableau (57) ci-dessus montrent une similitude entre les deux bassins avec respectivement 574.5 et 767 mètres. Pour les sous-bassins, on remarque que l'altitude moyenne la plus élevée se trouve dans le sous bassin n° 4, d'oued Kissir avec 962 mètres, tandis que l'altitude moyenne le plus faible se trouve dans le sous-bassin n° 2, bassin oued Kissir avec 405 mètres d'altitude.

❖ **L'altitude médiane**

L'altitude médiane d'un bassin versant est lue directement sur la courbe hypsométrique au point d'intersection représentant 50% de la superficie du bassin sur l'axe de coordonnée « x ».

Tableau 58. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Altitude médiane*

Altitude médiane(m)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
450	268.5	409.5	753.25	490	284.75	287.25	599	959

Généralement la courbe hypsométrique d'un bassin versant présente une pente constante lorsque la valeur de l'altitude médiane est proche de la valeur de l'altitude moyenne, cas des sous bassins (n°3) pour le bassin de Lagreme (tableau.58), et le sous bassin n° 4 pour le bassin de Kissir.

❖ **Pente moyenne :**

Plusieurs auteurs ont affirmé que la pente moyenne d'un bassin versant est une grandeur qui a un rapport remarquable avec le ruissellement. Elle détermine largement l'étendue de ruissellement et le temps de concentration des eaux pluviales.

Elle est calculée par la formule suivante:

$$p'(m - km) = \frac{H_{max}(m) - h_{min}(m)}{\sqrt{A}(km^2)} \times 100$$
 D'où : H (max) (m) : altitude maximale du bassin versant en mètre

A (km²) : superficie du bassin versant en km². Donc on a :

$$p'(m - km) = \frac{1061(m) - 88(m)}{\sqrt{39.57} (km^2)} \times 100 = 15.47\% \text{ Soit } 154.69 \text{ m/km donc :}$$

$$p'(m - km) = 160.07 \text{ m/km}$$

Souvent, dans un bassin versant, la pente moyenne est un paramètre nécessaire pour la détermination du temps de concentration du ruissellement (Tc).

Tableau 59. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Pente moyenne*

Pente moyenne (%)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
15.47	21.23	24.43	24.43	14.49	18.99	16.06	21.82	21.29

D'après plusieurs auteurs, la pente moyenne d'un bassin versant caractérise largement la vitesse d'écoulement lors d'une crue. La valeur de la pente moyenne (tableau. 59) modérée est de 15.47 % observée dans le bassin versant d'oued Lagreme, par contre la valeur de (Pmoy) la plus élevée est enregistrée dans le sous bassin (2) et (3) oued Lagreme, avec une valeur respective de l'ordre de 24.44 % 24.42.

Généralement la pente moyenne modérée traduit la réponse lente du bassin versant aux pluies, cas da bassin versant d'oued Lagreme.

❖ Pente médiane

La pente médiane du bassin versant, objet d'étude est représentée par l'intersection du point représentant 50% de la superficie du bassin versant sur l'axe de coordonnées « x » et la courbe des pentes.

Tableau 60. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Pente médiane*

Pente médiane (%)	
Bassin versant d'oued Lagreme	Bassin versant d'oued Kissir
26	18

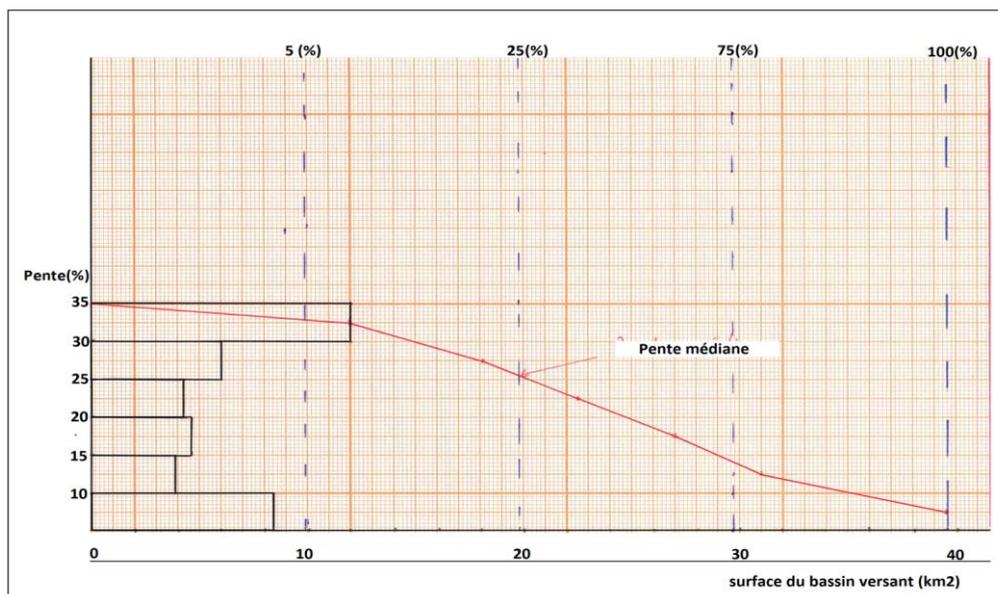


Figure 77. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Courbe et diagramme des fréquences des pentes*

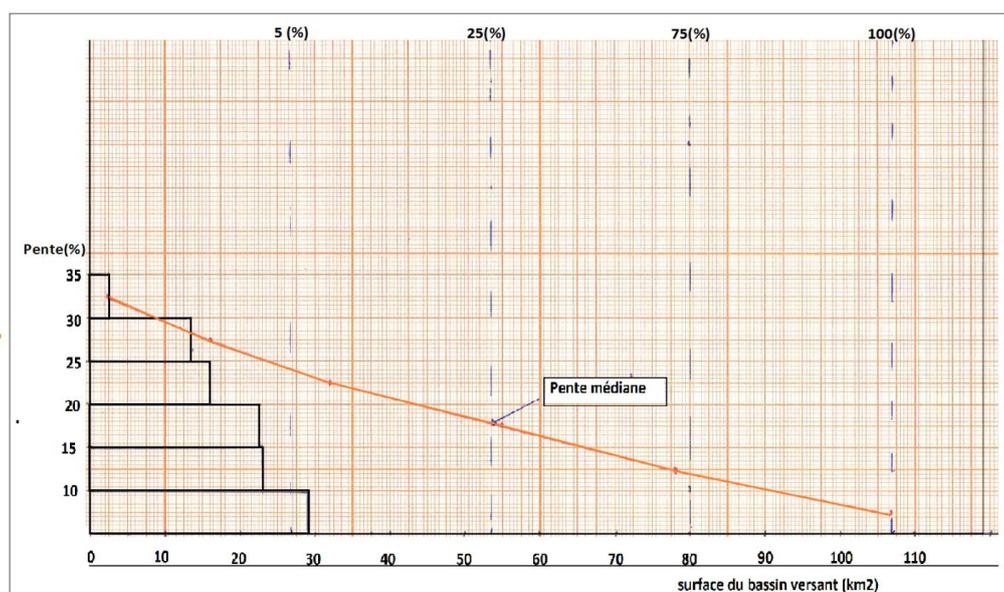


Figure 78. Bassin versant de l'oued Kissir : *Courbe et diagramme des fréquences des pentes*

D'après les figures 77 et 78 on remarque que le bassin versant de l'oued Lagrme est caractérisé par une valeur de pente médiane élevée de l'ordre de 26 % tandis que , le bassin versant de l'oued Kissir est caractérisé par une valeur de pente médiane moyenne de l'ordre de 18 %.

Donc on peut constater que la valeur élevée de la pente médiane notamment marquée dans le bassin versant de l'oued Lagreme tableau 60 est un indicateur de risque d'érodibilité.

❖ **Dénivelé spécifique**

La dénivelé spécifique (Ds) est indépendante de la surface du bassin. C'est un paramètre de calibrage des bassins versant de taille différente. Elle apparaît donc comme une correction de la dénivelé simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui rend possible la comparaison entre ces valeurs pour différents bassins (Bouanani, A. 2004).

La dénivelé spécifique du bassin versant est calculé par la formule suivante :

$$Ds(m) = \frac{h_{0,05} - h_{0,95}}{L_{tp}} \quad \text{d'ou}$$

D(s) (m) = dénivelé spécifique (m)

$h_{0,05}$: l'altitude du bassin versant représentant 5% de sa superficie sur la courbe hypsométrique.

$h_{0,95}$ l'altitude du bassin représentant 95% de sa superficie sur la dite courbe.

L_{tp} (Km) : Longueur du thalweg principal.

Avec:

$$h_{0,05} = 870 \text{ m}$$

$$h_{0,95} = 160 \text{ m}$$

$$A = 39.57 \text{ Km}^2$$

$$L_{tp} = 11,1686 \text{ km}$$

Tableau 61. Bassins versants : *Classification des reliefs selon la dénivelé spécifique « DS »*

Relief	Valeur de Ds
Relief très faible	Ds m <10
Relief faible	10 m < Ds <25
Relief assez faible	25 m < Ds <50
Relief modéré	50 m < Ds <100
Relief assez fort	100 m < Ds <250
Relief fort	250 m < Ds <500
Relief très fort	Ds > 500 m

Donc on peut écrire:

$$D(s) = \frac{870-160}{11.1686} = \frac{710}{11.1686} = 63,57 \text{ (m)} \Rightarrow$$

$$\mathbf{Ds = 63,57 \text{ (m)}}$$

Les valeurs obtenues de (DS) pour les deux bassins sont présentées dans le tableau 69 ci-après :

Tableau 62. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Dénivelé spécifique (Ds)*

Dénivelé spécifique (Ds) m								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
63.57	119.74	207.87	124.95	47.37	38.36	52.50	93.82	159.29

D'après la classification de L'ORSTOM tableau (61) ci- dessus les bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir sont marqués par des reliefs modérés.

Les sous- bassins de l'oued Lagreme (tableau.62) présentent des valeurs de (Ds) plus élevées ce qui permet de les grouper dans les classes de reliefs assez forts.

Pour les sous- bassins de de l'oued Kissir on remarque qu'un seul sous bassin présente des classes de relief assez fort (sous bassin n°4) avec une valeur de $D_s = 159.29$; par contre les sous- bassins 1, et 2 présentent des valeurs de (Ds) faible, ce qui permet de les grouper dans les classes de relief assez faible à modéré.

❖ **Indice de pente globale de Roche (I_g)**

Dans un bassin versant caractérisé par une géomorphologie homogène, la pente réduite de l'amont vers l'aval. L'indice diminue lorsque la superficie augmente. En général, (I_g) reste toujours proche de la pente du lit longitudinal (FAO, 1996).

L'équation mathématique qui définit l'indice de pente globale de Roche (I_g) d'un bassin versant est représentée comme suit :

$$I_g = \frac{h_{0.05} - h_{0.95}}{L_n} \quad d'ou$$

$h_{0.05}$: l'altitude du bassin versant représentant 5% de sa superficie sur la courbe hypsométrique.

$h_{0.95}$: l'altitude du bassin versant représentant 95% de sa superficie sur la dite courbe.

($h_{0.05}$ et $h_{0.95}$ définis précédemment.

L_n = Longueur du rectangle équivalent.

De ce fait, I_g Pour le bassin versant égal :

$$I_g = \frac{h_{0.05} - h_{0.95}}{L_n} = \frac{870 - 160}{10.04} \Rightarrow I_g = \frac{710}{10.04} \Rightarrow I_g = 70.71 \text{ m / k}$$

Soit : 0.07071 m/m Donc $I_g = 70.71 \text{ m/ km}$

Les valeurs d'indice de pente globale de Roche (I_g) permettent selon la classification de l'ORSTOM de caractériser les reliefs sont représentées dans le tableau (63) ci-dessous.

Tableau 63. Bassins versants des oueds Lagreme et Kissir : *Indice de pente globale de Roche*

Indice de pente globale de Roche (I_g) m/km								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
0.07071	0.06327	0.06857	0.09958	0.04963	0.03681	0.05567	0.09119	0.08472

L'indice de pente globale (I_g) d'un bassin versant diminue lorsque la surface augmente. Les résultats obtenus pour (I_g) (tableau. 64) ci-dessus, montrent d'après la classification de l'ORSTOM, que le bassin versant de l'oued Lagreme est défini par un indice de pente de l'ordre de 0.07071 ce qui permet de le classer dans la catégorie des reliefs forts, tandis que le bassin versant de l'oued Kissir est marqué par une valeur de l'ordre de 0.04963 ce qui permet de classer dans la catégorie des reliefs assez forts.

Tableau 64. Reliefs des bassins versants : *Classification de l'ORSTOM*

Type de relief	Indice de pente globale m/km
Relief très faible	$I_g < 0.002$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$I_g > 0.5$

Pour les sous bassins, généralement toutes les valeurs de l'indice de pente globale (I_g) se placent dans la classe des reliefs forts, avec un indice de pente (I_g) varie de 0.05567 à 0.09958, sauf le sous bassin n°1 oued Kissir notant une valeur de l'indice de pente de l'ordre de 0.03681 ce qui permet de le classer « reliefs assez forts », ce qui a un effet direct sur la vitesse d'écoulement donc sur l'énergie cinétique produite, ce qui entraînera un risque d'érosion très élevée notamment sur les terrains caractérisés par un substratum meuble.

❖ **L'indice de relief (I_n)**

L'influence du relief sur l'écoulement et l'érosion s'exprime aussi par l'indice de relief. Plusieurs paramètres varient avec l'altitude (précipitations, températures, vent, etc). Généralement le relief présente un grand effet sur l'architecture des cours d'eau.

L'indice du relief des deux bassins versants d'oued Lagreme et Kissir, est exprimé par la formule ci-dessous :

$$I_n = \frac{A \text{ (Km}^2\text{)}}{L_{\text{max}} \text{ (m)}} \quad \text{d'ou}$$

A : superficie du bassin versant (Km²)

L_{max} : Longueur maximale horizontale du bassin versant en (mètres) calculée à partir de la carte topographique, échelle 1/25000 à l'aide du logiciel ArcGis.

Tableau 65. Bassins versants des oueds Lagreme et Kissir : **Indice de relief**

Indice de relief(I _n)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
3.84	2.80	2.72	2.22	5.58	2.06	2.82	3.74	3.61

D'après les résultats exprimés dans le tableau (65) on remarque que le bassin versant de l'oued Kissir est marqué par un indice de relief élevé de l'ordre de 5.58.

Généralement les valeurs de l'indice de forme dans les sous bassins versants varient de 2.06 à 3.74.

La valeur maximum est minimum de l'indice de forme sont marquées dans les sous bassins n°4 et n°1, bassin versant oued Kissir.

VII.1.2. Les indices morphométriques de la taille et de la forme

Les indices morphométriques de la taille et de la forme d'un bassin versant ont une influence directement sur la réponse hydrologique et par la suite l'hydrogramme de crue.

Les indices morphométriques de la taille et de la forme des deux bassins versants de L'Oued Lagreme et Kissir, nous aident à analyser et comprendre l'aptitude du bassin objet d'étude vis-à-vis de la variation de l'écoulement. La taille réduite des deux bassins versants oued Lagreme et Kissir, et l'échelle de travail choisie correspondant 1/25000, ainsi que l'application du système d'informations géographiques (SIG) à l'aide du logiciel ArcGis nous permettent de bien préciser les paramètres morpho-métriques.

Les indices de la taille et de la forme (indice de compacité, indice de circulation, indice d'élongation, indice de forme.etc) d'un bassin versant jouent un rôle important dans la la genèse et l'architecture du réseau hydrographique et par la suite la propagation de l'écoulement superficiel notamment dans les crues lors des périodes pluviales et les averses.

Cette étude offre plusieurs indices morphométriques pour distinguer la forme et la taille des deux bassins.

❖ L'indice de compacité (de gravelius)(Ic)

Pour caractériser la géométrie de notre bassin versant, nous avons utilisé l'indice de compacité de gravilius.

C'est ainsi que Gravelius (1861-1938) Allemagne, a proposé en 1914 le coefficient de compacité, défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface (Roche, M. 1963., Ward, J, V .1975 . OMM. 1996).

Si le périmètre du bassin objet d'étude est noté (P) et sa surface (A), l'indice de compacité s'exprime par :

$$Ic = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

A= superficie totale du bassin versant en Km²

P= périmètre du bassin versant en Km.

De ce fait, pour le bassin de Lagreme on peut écrit :

$$Ic = 0.28 \frac{27.91}{\sqrt{39.57}} = \frac{7.848}{6.2904} = 1.24 \Rightarrow Ic = 1.25$$

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieure à 1 lorsque le bassin est de forme allongée, cas des bassins versants d'oued Lagreme et Kissir.

Tableau 66. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Indice de compacité de gravilius*(I_c)

Indice de compacité (de gravilius)(I _c)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
1.25	1.45	1.47	1.28	1.45	1.83	1.38	1.19	1.27

D'après le tableau 66 ci-dessus, on remarque que le bassin versant de l'oued Lagreme présente une forme plus compacte, avec une valeur de I_c = 1.25, tandis que le bassin versant de l'Oued Kissir montre une forme plus allongée avec I_c = 1.45.

Cette forme a pour avantage d'accélérer l'alimentation du thalweg principal en écoulement superficiel.

Pour les sous bassins : les valeurs de l'indice de compacité indiquent que les sous bassins n° 3 (I_c =1.19) et n°4 (I_c =1.27) oued Kissir, et le sous- bassin n°3 (I_c =1.28) oued Lagrme sont plus compacts.

Par contre les sous- bassins n°1 (I_c =1.83) et n° 2 (I_c = 1.38) oued Kissir et les sous- bassins n°1 (I_c=1.45) et n° 2 (I_c=1.47) oued Lagreme présentent des forme plus allongées.

Finalement on peut constater que les sous bassins n°1 et 2 oued Lagreme et le sous bassin n°1 oued Kisisr sont les plus exposés au risque érosion hydrique linéaire. D'après Ahmed Laabidi., et al., 2016, ceci favorise pour une même pluie, de faibles débits de pointe de crue à cause du retard de l'acheminement de l'eau à l'exutoire. Tandis que, les sous bassins en forme d'éventail, présentant un temps de concentration plus court, auront les plus forts débits de pointe.

❖ **Longueur du rectangle équivalent (L_n)**

Le rectangle équivalent de M. Roché est défini comme le rectangle de longueur (L) et de largeur (l), qui a la même surface (A) même périmètre (P), même indice de compacité et même hypsométrie que le bassin versant étudié. Les courbes de niveaux deviennent des droites parallèles

aux petits cotés du rectangle et l'exécutoire du bassin versant étant assimilé à l'un de ces memes cotés.

On définit les grandeurs L et l représentant respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent :

Donc les valeurs des rectangles équivalents des bassins versant étudiés, sont définies par la formule suivante :

$$Ln = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1.128)2'}{Kc}} \right]$$

D'où :

Kc= indice de compacité du bassin versant

A superficie totale du bassin versant (Km³)

$$Ln = \frac{1.25\sqrt{39.57}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left[\frac{1.128}{1.25} \right] \frac{2'}{2'}} \right]$$

Ln= (6.97) (1.44) ⇒ Ln = 10.04 Km

D'ou la longueur du rectangle équivalente (L) est égale= **10.04 Km.**

Tableau 67. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Valeurs de rectangle equivalent*

Rectangle equivalent (L) km								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
10.04	8.46	7.43	5.53	21.66	14.37	9.44	7.66	8.69

Les résultats obtenus pour les rectangles équivalents(L) tableau (67) ci-dessus, indiquent que le bassin versant de l'oued Kissir, est marqué par une longueur de rectangle équivalent moyenne avec 21.66 km. Tandis que le bassin versant de l'oued Lagrme, est représenté par une longueur de rectangle équivalent avec une valeur faible de l'ordre 10.04 km.

- Pour le bassin versant de l'Oued Lagreme (L) = 10.04 km et l = 3.94 km. Ces dimensions traduisent que la longueur est 2.55 fois plus grande que la largeur.
- Tandis ques pour le bassin versant d'oued Kissir, (L) = 21.66 km et l = 4.93 km. Donc la longueur est 4.39 fois plus grande que la largeur.

La répartition du bassin versant par tranches d'altitude, dans un rectangle équivalent, donne une importance capitale pour les études hydrologiques du fait que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont influencés par l'altitude. Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins versants entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement. Il faut noter que moins un bassin versant est allongé mieux il est drainé (Ahmed Laabidi., et al., 2016).

❖ L'indice de circularité (ICr)

L'indice de circularité (ICr) est le rapport de la surface d'un bassin à l'aire d'un cercle ayant la même circonférence que le périmètre du bassin (Miller, V-C. 1953). Il est contrôlé par plusieurs facteurs : la longueur, la fréquence des cours d'eau, la tectonique, la lithologie, le climat, la pente, et le couvert végétal du bassin (Benzougagh, B et al., 2016). Les valeurs de (ICr) sont corrélées aux stades du cycle de vie du bassin (N, S, Magesh et N. Chandrasekar. 2012).

L'indice de circularité (ICr) est représenté par la formule ci-dessous :

$$ICr = \frac{A}{SCn}, \quad \text{d'où}$$

A = superficie du bassin versant (Km²).

SCn = superficie d'un cercle ayant un périmètre Pcn=P, avec :

Pcn : Périmètre du cercle en Km.

P = périmètre du bassin versant en (Km).

A cet effet on constate que : $Pcn = 2\pi r$, avec r = rayon de cercle.

Donc on peut déduire : $P = 2\pi r \Rightarrow r = \frac{P}{2\pi}$

Pour la superficie du cercle : $SCr = \pi r^2 = \pi \left(\frac{P^2}{4\pi^2} \right) \Rightarrow SCr = \frac{P^2}{4\pi}$

Ainsi on peut écrire : $(ICr) = \frac{(\text{périmètre du bassin versant en km})^2}{4 \times 3.1416}$

La circularité du bassin est davantage influencée par la longueur, la fréquence et la pente des affluents que par la pente du bassin versant et la forme du réseau de drainage. Un rapport significatif indique le stade dendritique du bassin versant. Les valeurs faibles, médianes et élevées sont des indices du stade (jeune, mature et vieux) du cycle de vie des bassins tributaires (Sreedevi et al., 2005).

De ce fait, pour le bassin versant de l'oued Lagrme :

$$ICr = \frac{A}{Scn} \Rightarrow ICr = \frac{4A.P}{P^2} \Rightarrow ICr = \frac{12.566.A.(km^2)}{(P)^2 Km}$$

Plus la valeur de (**ICr**) est proche de la valeur (**1**) plus la forme du bassin versant tend vers la forme circulaire.

Donc l'application pour le bassin versant de l'oued Lagreme donne

$$ICr = \frac{12.566 (39.57)}{(27.9)^2} = \frac{497.24}{778.97} \Rightarrow ICr = 0.64$$

Les résultats obtenus pour (Icr) tableau 68 ci-dessous, montrent que les bassins versants de l'oued Kissir et Lagreme, sont définis par un indice de circularité élevé à très élevé avec 0.47 et 0.642.

Tableau 68. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Indice de circularité (Icr)*

Indice de circularité (Icr)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
0.64	0.47	0.46	0.6	0.47	0.30	0.52	0.69	0.61

Pour les sous bassins, généralement toutes les valeurs de l'indice de circularité sont très élevées (Icr > 0.47).

D'après (Benzougagh, B et al., 2016) ; les valeurs les plus élevées de (Icr), correspondant au stade terminal de maturité des bassins versants, notamment le bassin versant de l'oued Lagreme, et les sous-bassins n°3 et n°4 (oued Kissir).

❖ L'indice d'élongation (E)

Selon (Schumm, S, A.1956), l'indice d'élongation est défini comme étant le rapport entre le diamètre du cercle de même surface que le bassin de drainage et la longueur maximale du bassin.

L'indice d'élongation est représenté par la formule suivante :

$$E = \frac{DCr (km)}{Lmax (km)} \text{ d'où}$$

DCr : diamètre d'un cercle ayant une superficie (SCr) équivalente à la superficie du bassin versant objet d'étude.

Lmax: longueur maximale horizontale du bassin versant en (km).

La longueur maximale horizontale du bassin versant de l'oued Lagreme, a été calculée à partir de la carte topographique Texenna (Ouest) 1/25000, à l'aide du logiciel Arc-Gis (10), il est de l'ordre = 10.3016 km.

$$L_{max} = 4068518,365 - 4058217,287 = 10301,678$$

$$L_{max} = 10.3016 \text{ km}$$

Ici on constate alors que :

$$SCr = S, \quad \text{et que} \quad SCr = \pi r^2$$

$$S = \pi r^2 \quad \Rightarrow r^2 = \frac{S}{\pi} \quad \Rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad \Rightarrow DCr = 2 \times \sqrt{\frac{S}{\pi}},$$

Pour le bassin versant de l'oued Lagreme :

$$E = \frac{DCr}{L_{max}} = \frac{2 \times \sqrt{\frac{S}{\pi}}}{L_{max}} \Rightarrow E = \frac{2 \times \sqrt{\frac{39.57}{3.14}}}{10.3016} = \frac{7.1}{10.3016} \Rightarrow E = 0.69$$

Plus la valeur de E est proche de (1), plus la forme du bassin, est proche de la forme circulaire.

Tableau 69. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Indice d'élongation (E)*

Indice d'élongation (E)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
0.69	0.78	0.88	0.76	0.61	0.47	0.65	0.77	0.77

Les bilans acquis pour l'indice d'élongation (E) tableau (69) ci-dessus, indiquent que les bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir, sont décrits par un indice d'élongation moyenne à élevé avec 0.61 et 0.69.

Pour les sous-bassins, généralement toutes les valeurs de l'indice d'élongation sont très élevées proche de (1) avec $E > 0.65$, ce qui définit une forme des sous-bassins proche de la forme circulaire.

❖ **L'indice hypsométrique (Ih)**

L'indice hypsométrique (Ih) reflète le cycle d'érosion d'un bassin versant. Il est représenté par la formule suivante :

$$I_h = \frac{Hr\%}{Sr\%}, \quad \text{avec} \quad Hr\% = \frac{h(m)}{H_{max}(m)} \times 100 \quad \text{d'où}$$

h (m) : hauteur d'une courbe de niveau choisie en mètres

Hmax : hauteur maximale du bassin versant (m).

$$\text{Avec : } Sr(\%) = \frac{S'(Km^2)}{S(Km^2)} \times 100 \quad \text{d'où}$$

S' (Km²) : superficie comprise entre la dite courbe de niveau (h) et la ligne de partage des eaux.

S (Km²) : superficie du bassin versant.

Pour le bassin versant de l'oud Lagreme

- Pour calculer l'indice (hypsométrique) (Ih) du bassin versant de l'oued Lagreme, nous avons choisis la courbe de niveau 400 m.
- La superficie (S) comprise entre la courbe de niveau (400 m) et la ligne de partage des eaux, est calculée à l'aide du logiciel Arc-Gis (10), elle est de l'ordre de 21.2409 Km².

Ainsi on peut calculer :

$$Hr(\%) = \frac{400m}{1061m} \times 100 = 37.7\%$$

$$\mathbf{Hr(\%) = 37.7\%}$$

$$Sr(\%) = \frac{18.66(Km^2)}{39.57Km^2} \times 100 = 47.16\%$$

$$\mathbf{Sr(\%) = 47.16\%}$$

Et donc l'indice hypsométrique du b/v :

$$I(h) = \frac{Hr\%}{Sr\%} = \frac{37.7}{47.16} \Rightarrow \mathbf{I(h) = 0.80}$$

Les résultats des indices hypsométriques (Ih) obtenus par l'application de la formule ci-dessus des bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir sont regroupés dans le tableau (77) ci-dessous.

Tableau 70. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : **Indice hypsométrique (Ih)**

Indice hypsométrique (Ih)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
0.80	0.47	0.89	0.82	0.57	0.52	0.50	0.54	0.73

L'examen de tableau 70 ci-dessus montre que :

L'indice hypsométrique (Ih) reflète un cycle d'érosion pour le bassin versant de l'oued Lagreme qui à achevé à 20% ($1 - 0,8 = 0,2$) des transports solides livrés aux processus érosifs, c'est-à-dire que le cours d'eau de l'oued Lagreme à déjà transporté 20% du taux des transports solides du bassin versant en question.

Tandis que, cet indice reflète un cycle d'érosion pour le bassin versant de l'oued Kissir qui a abouti 43 % des transports solides livrés aux processus érosifs, c'est-à-dire que le cours d'eau de l'oued Kissir à déjà transporté 43% du taux des transport solides du bassin versant en question.

Pour les sous bassins d'oued Lagreme, 1, 2, et 3 les cours d'eau ont déjà transporté 53%, 11%, et 18% des taux de transport solides des sous bassins versants en question respectivement. Tandis que dans les sous bassins d'oued Kissir, 1, 2, 3, et 4, les cours d'eau ont déjà transporté 48%, 50%, 46%, et 27% du taux des transports solides des sous bassins versants en question respectivement.

❖ **Indice de forme (IF)**

L'indice de forme est défini comme étant le rapport de la surface totale du bassin versant et de la longueur au carrée du bassin (Horton, R, E. 1932). Pour un bassin versant parfaitement circulaire la valeur de (IF) généralement supérieur à 0.8. Il est représenté par la formule suivante :

$$IF = \frac{S(km^2)}{[Lmax (Km)]^2} \text{ avec}$$

S (km²) superficie du b/v

Lmax (km) longueur horizontale maximale du b/v

Pour le bassin versant de l'oued Lagreme : $IF = \frac{39.57 km^2 Hn\%}{(10.3016)^2} = \frac{39.82}{106.110} \Rightarrow IF = 0.373$

Les résultats des indices de forme (IF) obtenus par l'application de la formule ci-dessus, bassin versant de l'oued Kissir sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 71. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Indice de forme (IF)*

Indice de forme (IF)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
0.373	0.48	0.61	0.45	0.29	0.17	0.33	0.46	0.47

L'observation de tableau 71, ci-dessus montre que la valeur de l'indice de forme de bassin versant de l'oued Lagreme et de l'ordre de 0.373, tandis que la valeur de (IF) de bassin versant oued Kissir est de 0.29.

Pour les sous bassins on remarque que les sous bassins n°1, 2 et 3 oued Lagreme et les sous bassins n°3 et 4 oued Kissir sont moins allongés, par contre les sous bassins n° 1 et 2 de Kissir sont plus allongés.

VII.1.3. Les indices morphométriques de l'organisation du réseau hydrographique

Un réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous-affluents d'une rivière ou d'un même fleuve structurés selon une hiérarchie bien définie. Les indices morphométriques de l'organisation du réseau hydrographique nous permettent de caractériser la structure et l'organisation ainsi que le réseau du drainage de bassin versant objet d'étude.

Tous les chercheurs, montrent que le comportement hydrologique d'un bassin versant est fonction des mécanismes hydrologiques contrôlés par :

- la géométrie du bassin versant
- les formations lithologiques du sol
- l'organisation et l'architecture du réseau hydrographique.

L'ordination d'un réseau hydrographique est une façon d'arranger et classer le réseau d'un bassin versant. Plusieurs classifications différentes ont été dressées, celle de (Schumm, S, A.1956 et Strahle, A.N, 1957).

La classification établie à l'aide du logiciel ArcGis est basée sur la méthode de (Strahler, A, N. 1957) (figure 79). Particulièrement cette méthode est très utilisée dans les études hydrologiques des bassins versants.

- ❖ **Classification de Strhler 1957** : les cours d'eau ayant pour extrémité amont une source sont d'ordre (1), la confluence de deux cours d'eau d'ordre(n) en donne un ordre (n+1) et la confluence d'un cours d'eau (n) avec un ordre (n+1) donne un cours d'eau d'ordre (n+1). L'ordre du tronçon arrivent à l'exutoire est donc l'ordre maximum du bassin (Benzougah, B et al 2016).

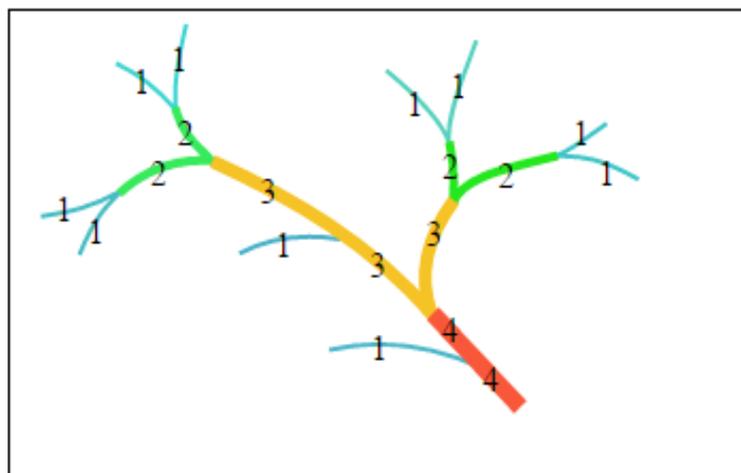


Figure 79. Bassins versants : *Classification du réseau hydrographique* selon le système de (Strahler, A, N. 1957).

- ❖ **Caractéristiques du réseau hydrographique des bassins versants**

Les caractéristiques géométriques du réseau hydrographique ont pour but de ressortir de différences majeures entre les deux bassins versants oued Lagreme et Kissir. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à 3 facteurs, lithologie, climat et topographie (pente stratigraphique). Le réseau hydrographique est une composante du système hydro-géomorphologique complexe, liés aux conditions climatiques, géologiques et morphologiques des bassins versants.

Sur le plan morphologique, l'oued Lagreme, prend sa source dans le massif de (Djebel el Makaad) ou sud- est de Texenna à 1074 m d'altitude. Tandis que l'oued Kissir prend sa source dans le massif de (Djebel Fedj el Toufeh) à 1316 m d'altitude. Généralement le réseau hydrographique dans les deux bassins est relativement plus dense.

Dans un bassin verdant, 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..etc (Messerer Y. (1999).

L'application du logiciel ArcGis, nous permettant de définir les différents paramètres morphométriques du réseau hydrographique, nombres et longueurs des affluents, densité de drainage, rapport de confluence, coefficient de torrentialité caractérise les deux bassins objets d'études.

Pour signifier le réseau hydrographique des bassins versants nous avons établi plusieurs requêtes et formules à l'aide du logiciel Arc Gis.

Le canevas du réseau hydrographique a été réalisé à partir du document de référence : carte topographique 1/25000 et l'image satellitaire de haute résolution d'où Sept (7) sous bassins par la suite ont été délimités à partir d'un MNT en utilisant logiciel ArcGis :

- trois (3) sous bassins pour l'oued de Lagreme
- et quatre (4) sous bassins pour l'oued de Kissir

L'analyse et l'examen des valeurs du réseau hydrographique ordonné des oueds de Lagreme et Kissir regroupées dans les annexes (20, 21, 22, 23 et 24) indique que le nombre total de flux pour l'oued Lagreme est de l'ordre de 895 flux, dont 52 affluents permanents, tandis que l'oued de Kissir le nombre total de flux est de l'ordre de 1115 dont 60 affluents permanents.

- Le nombre maximum de flux est marqué dans le bassin n°1, oued Lagreme avec 445 flux.
- Les valeurs minimales du nombre des flux sont enregistrées dans le sous bassin n°3 oued Lagreme avec 209 flux.
- Les longueurs des flux pour les deux bassins oued Lagreme et oued sont respectivement de 272.675 km et de 515.039 km. Ce ci reflète le nombre des flux.
- La superficie drainée par des affluents à écoulement permanent dans le bassin d'oued est de l'ordre de 6.17 km², tandis que dans le bassin versant d'oued Kissir elle est de l'ordre de 13.97km².

Pour l'ensemble des sous bassins on constate que:

- le sous-bassin n°3 oued Lagreme présente un minimum de longueur soit 70.64 km.
- on remarque particulièrement, que le nombre total du flux est réduit tandis que la longueur totale du flux accroît dans le sous bassin n°3, d'oued Kissir.

❖ Densité de drainage (Dd)

Dans un bassin versant, le réseau hydrographique est caractérisé par une densité de drainage, qui est définie comme le rapport entre la somme des longueurs des lignes de courant pour un réseau hydrographique sur la superficie du bassin versant. Elle est donnée par la formule suivante :

$$Dd = \frac{\sum Lx (km)}{S(km^2)} \quad \text{Avec,}$$

$\sum L$: Longueure total des cours d'eau du bassin versant en km.

S : superficie totale du bassin versant en km².

Plusieurs auteurs affirment généralement que la modification de l'ordre et de la grandeur des bassins versants, ainsi que les sous-bassins, est largement dependante des caractéristiques lithologiques des sols et de la pente.

Ainsi la densité de drainage permet de donner une indication détaillée sur l'érosion qui a lieu dans le passé et de l'aggravation du ruissellement actuel : plus la densité est forte, plus l'érosion antécédente est importante et plus le ruissellement actuel est fort. (Boukhier, R. 1998. 2002).

La caractérisation de la plupart des problèmes environnementaux, en particulier l'érosion hydrique des sols (Poulior et al ; 1974 ; Thomes et al ; 1996 ; De Jong et Riezebos, H.T. 1997 ; Quiton, 1977 ; Ozeden , 1998 ; Boukhier, R et al , 2001 a, b ; 2003 ; Dan Derkinj FF et al, 2002 ; Grimm et al 2003), repose sur la détermination des valeurs de différents facteurs constituant les paramètres d'entrée des modèles de la densité de drainage , définie par (Horton, R, E . 1932) , et le rapport de longueur totale des affluents par unité de surface d'un bassin versant. Elle est contrôlée par plusieurs facteurs notamment la nature géologique des terrains, la capacité d'infiltration du sol et sous-sol, les conditions climatiques et le couvert végétal du bassin versant, Humbert, J. 1990).

Pour le bassin versant de l'oued lagreme : La densité de drainge aura pour valeur :

$$Dd = = \frac{272.675}{39.57} = 6.847 \text{ km /km}^2 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Dd = 6,89 \text{ km/ km}^2}$$

Tableau 72. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Densité de drainage (Dd)*

Densité de drainage (Dd) km/ km ²								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
6,89	7.32	6.73	6.42	4.82	5.42	4.54	4.58	4.77

Les résultats obtenus pour les densités de drainage (Dd) tableau (72) ci-dessus, montrent que le bassin versant de l'oued Lagreme et caractérisé par une valeur de (Dd) élevée de l'ordre de 6.89 km/km², Cette valeur nous renseigne que le réseau hydrographique du bassin est très dense. Tandis que le bassin versant de l'oued Kissir et marqué par une densité de drainage moyenne avec Dd = 4.82km/km².

Pour les sous bassins de l'oued Lagreme, généralement toutes les valeurs de la densité de drainage sont élevées (Dd > 6.42 km/km²). Par contre les valeurs de la densité de drainage des sous-bassins de l'oued Kissir sont faibles à moyennes, notamment les sous-bassins 2, 3, et 4 avec Dd = 4.54, km/km², 4.58 km/km², et 4.77 km/km² respectivement.

L'augmentation des valeurs de la densité de drainage dans les sous bassins n°1 et 2 oueds Lagreme, indiquent que les terrains sont très imperméables (marnes et olistostrome). Par contre les valeurs faibles de la densité de drainage indiquent que les terrains des sous-bassins de l'oued Kissir sont caractérisés par un substratum lithologique perméable (grés). D'autre part le faible couvert végétal des sous-bassins n°1 et 2 oued Lagreme favorisent largement le ruissellement et par conséquent l'érosion du sol.

- **Densité de drainage permanent (Ddp)**

D'après (Bou Kheir et al., 2005), la définition de la majorité des risques hydrogéomorphologiques, en particulier l'érosion hydrique des sols repose sur la détermination des valeurs de différents facteurs constituant les paramètres d'entrée des modèles. Parmi ceux-ci, la densité de drainage permet de donner une indication précieuse sur l'érosion dans les bassins versants.

Elle est représentée par la formule ci-dessous :

$$Ddp = \frac{\sum Lxqx (km)}{Sp(km^2)} \quad \text{Avec}$$

L x p : Longueur totale des affluents avec un écoulement permanent

Sp= superficie drainée par les affluents a écoulement permanent.

Pour le bassin versant de l'oued Lagrme la densité de drainage permanent sera donc :

$$D_{ep} = \frac{52.844}{6.17} = 8.56 \text{ km/km}^2$$

Tableau 73. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Densité de drainage permanent (Ddp)*

Densité de drainage permanent (Ddp) km/ km ²								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
8.56	8.18	8.66	9.30	5.68	5.41	5.00	6.11	6.16

Le tableau(73) ci-dessus, indique que le bassin versant de l'oued Lagreme et caractérisé par une valeur de (Ddp) élevée de l'ordre de 8.56 km/km², tandis que le bassin versant de l'oued Kissir et marqué par une densité de drainage permanent (Ddp) moyenne avec Ddp = 5.68 km/km².

Pour les sous-bassins de l'oued Lagreme, toutes les valeurs de la densité de drainage permanent sont élevées (Ddp > 8.18 km/km²). Par contre les valeurs de la densité de drainage permanent des sous bassins de l'oued Kissir sont faibles à moyennes avec Ddp 6.16 km/km².

- **Densité de drainage temporaire (Ddt)**

Est représentée par la formule suivante :

$$Ddt = \frac{\sum Lxt (km)}{ST(km^2)} \text{ avec}$$

Lxt = longueur totale des affluents à écoulement temporaire.

St = superficie totale drainée par des affluents à écoulement temporaire.

Pour le bassin versant de l'oued Lagrme la densité de drainage temporaire sera donc :

Donc on à : $Ddt = \frac{219.831}{33.65} \Rightarrow Ddt = 6.53 \text{ km/km}^2$

Tableau 74. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Densité de drainage temporaire (Ddt)*

Densité de drainage temporaire (Ddt) km/ km ²								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
6.58	7.13	6.38	6.02	4.69	5.43	4.47	4.37	4.61

D'après le tableau(74) ci-dessus, le bassin versant de l'oued Lagreme se distingue par une valeur de (Ddt) élevée de l'ordre de 6.58 km/km², tandis que le bassin versant de l'oued Kissir est caractérisé par une densité de drainage temporaire (Ddp) faible de l'ordre 4.69 km/km²

Pour les sous-bassins de l'oued Lagreme, toutes les valeurs de la densité de drainage temporaire sont élevées (Ddt > 6.02 km/km²). Par contre les valeurs de la densité de drainage temporaire des sous bassins de l'oued Kissir sont faibles avec Ddt < 5.43 km /km².

Généralement plus la densité est forte, plus le ruissellement est fort et plus l'érosion est importante.

❖ **Fréquence des thalwegs (Fq)**

Il est déterminé par la formule ci-dessous :

$$Fq = \frac{N(\text{thalwegs})}{S(\text{km}^2)} \quad \text{Avec}$$

N : nombre total de drains du bassin versant.

S : superficie du bassin versant.

Pour le bassin versant de l'oued Lagrme on aura donc :

$$Fq = \frac{895}{39.82} = 22.4761 \rightarrow \mathbf{fq = 22.62}$$

Tableau 75. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Fréquence des thalwegs* (Fq)

Fréquence des thalwegs (Fq)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
22.62	27	20.01	19	10.44	13.8	9.51	9.12	9.78

L'examen des tableaux 75 ci-dessus montre que la fréquence de thalweg dans le bassin versant de l'oued Lagrme est de l'ordre de 22.62, par contre dans le bassin versant de l'oued Kissir elle est de 10,44. Pour les sous-bassins, la fréquence de thalweg est élevée notamment dans le sous-bassin n°1 oued Lagreme avec une valeur de 27, cette valeur réduit au 9.12 dans le sous-bassin n° 3 oued Kissir.

La valeur élevée de fréquence de thalweg constatée particulièrement dans le sous-bassin n°1 oued Lagreme, est liée fortement à la dominance des formations lithologiques marneuses. Par

contre la faible valeur de fréquence de thalweg notée dans le sous-bassin n°3 oueds Kissir, traduit la dominance des formations lithologiques gréseuses).

- **fréquence des thalwegs d'ordre (Fn)**

La fréquence du thalweg est exprimée par le nombre total de segments de courants de tout ordre par unités de surfaces (Horton, R, E. 1932).

La fréquence des thalwegs d'ordre (n), est le quotient du nombre de thalwegs d'ordre (n) par la surface du bassin. C'est évidemment un paramètre qui rend compte d'un effet de densité en nombre, certainement comparable à l'effet de densité en longueur que représente la densité de drainage. Généralement dans un bassin versant, (Fn et Dd) sont assez étroitement liés (Pierre, orstom, 1975).

Il est déterminé par la formule ci-dessous :

$$F_{qn} = \frac{N(\text{Thalweg})}{[S (\text{Km})]^2} \quad \text{avec}$$

Fqn = fréquence des talwegs

Nn = nombre des talwegs d'ordre (n)

S= superficie drainée par le talweg d'ordre (n) :

Pour le bassin versant de l'oued Lagreme : la fréquence des thalwegs d'ordre (n) :

$$F_{q1} = \frac{687}{27.48} = 25$$

Les hautes fréquences des thalwegs marquées dans le bassin versant de l'oud Lagreme (annexe. 25) sont fortement liées à la domination des formations lithologiques imperméables notamment les formations marneuses et molassiques.

- ❖ **Superficie de drainage moyenne par affluent, Smoy(n)**

Elle est déterminé par la formule ci-dessous :

$$S_{moy(n)} = \frac{S_n(\text{Km}^2)}{\sum N(t) \text{ thalweg}} \quad \text{avec}$$

S_n = superficie totale drainée par le talweg d'ordre (n)

$\sum Nt$ = Nombre de talweg d'ordre (n).

La superficie de drainage moyenne par affluent d'ordre (n) pour le bassin versant de l'oued Lagreme sera donc :

$$S_{moy(1)} = \frac{S_1(Km^2)}{\sum_{N1} (talweg)} = \frac{27.48}{687} = 0.04$$

Tableau 76. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Superficie de drainage moyenne par affluent*

Superficie de drainage moyenne par affluent (Smoy _n)									
(n)	Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued kissir			
		1	2	3		1	2	3	4
1	0.04	0.037	0.046	0.04	0.09	0.067	0.097	0.106	0.099
2	0.134	0.127	0.14	0.14	0.32	0.23	0.41	0.36	0.33
3	0.62	0.567	0.674	0.68	1.09	0.6	1.14	1.22	1.46
4	2.26	0.85	5.01	3.25	6.48	10.68	24.071	5.76	4.92
5	17.76	6.23	12.09	11	53.33	24.5	24.17	30.25	27.91
6	39.57	16.48	-	-	106.83	-	-	-	-

D'après les tableaux 76, et annexe 24, on remarque une valeur élevée de la superficie de drainage moyenne et la superficie drainée par affluents à écoulement permanent et temporaire marqué dans le bassin versant de l'oued Kissir, celle-ci est liée largement aux indices morphométriques de la taille et de la forme notamment le périmètre et la superficie du bassin versant.

❖ **Longueur moyenne des thalwegs d'ordre (n)**

$$L_{moy1} = \frac{\sum L1 (km)}{N1} \text{ avec}$$

$\sum L1$: Longueur totale de thalweg d'ordre (1)

$N1$: Nombre total des thalwegs d'ordre (1)

Pour le bassin versant de l'oued Lagreme :

$$- L_{moy1} = \frac{\sum L1 (km)}{N1} = \frac{166.95}{687} \Rightarrow L_{moy1} = 0,243 \text{ km}$$

Tableau 77. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir: *Longueur moyenne des thalwegs d'ordre* (n)

Longueur moyenne des thalwegs d'ordre (n)									
(n)	Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
		1	2	3		1	2	3	4
1	0.243	0.212	0.271	0.274	0.389	0.34	0.38	0.43	0.42
2	0.339	0.310	0.341	0.398	0.505	0.367	0.64	0.54	0.53
3	0.704	0.65	0.822	0.69	0.707	0.501	0.83	0.64	0.92
4	1.285	0.82	2.71	1.27	2.352	5.599	9.952	2.163	0.87
5	5.232	0.823	2.451	2.37	11.93	2.992	0.349	7.445	3.472
6	1.479	1.48	-	-	0.349	-	-	-	-

- **Longueur moyenne des thalwegs à écoulement permanent (Lmoyp)**

$$L_{moy(p)} = \frac{\sum L_p(Km)}{\sum N_p} \quad \text{avec}$$

$\sum L_p$: Longueur totale des thalwegs à écoulement permanent.

$\sum N_p$: Nombre total des thalwegs à écoulement permanent.

Pour le bassin versant de l'oued Lagreme :

$$L_{moy(p)} = \frac{52.84}{52} = 1.016 \Rightarrow \mathbf{L_{moy(p)} = 1.016 \text{ km.}}$$

Tableau 78. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Longueur moyenne des thalwegs à écoulement permanent* (Lmoyp)

Longueur moyenne des thalwegs à écoulement permanent (Lmoyp)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
1.016	0.87	1.24	0.952	1.322	1.206	1.91	1.35	1.038

- **Longueur moyenne des thalwegs à écoulement temporaire Lmoy(t)**

$$L_{(moy)t} = \frac{\sum L_t}{\sum N_t} \quad \text{avec}$$

$\sum L_t$: Longueur moyenne du thalweg à écoulement temporaire.

ΣN_p : Nombre total des thalwegs à écoulement temporaire.

Pour le bassin versant de l'oued lagreme :

$$L_{moyt} = \frac{219.83}{843} = 0.2607 \Rightarrow L \text{ (moy) } t = \mathbf{0,2607}$$

Tableau 79. Bassins versants d'oued Lgreme et Kissir : *Longueur moyenne des thalwegs à écoulement temporaire* (L_{moyt})

Longueur moyenne des thalwegs à écoulement temporaire (L_{moyt})								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
0.2607	0.231	0.28	0.297	0.4129	0.347	0.43	0.45	0.447

Selon les tableaux (77), (78) et (79) ci-dessus on remarque souvent le changement du rapport de la longueur au niveau des bassins versants ainsi que les sous bassins de l'oued Lagreme et oued Kissir. Cette anomalie est liée largement au changement brusque dans la pente et la topographie des bassins versants.

❖ Rapport de confluence (R_c)

Le rapport de confluence est égal au quotient du nombre de thalweg d'ordre (x) par rapport à celui de thalweg d'ordre (x+1). C'est le rapport entre le nombre de thalwegs de deux ordres voisins.

Il est représenté par la formule ci-dessous.

$$R_c = \frac{\Sigma N_x}{\Sigma N_{x+1}}, \quad \text{d'où}$$

ΣL_x : Nombre total des affluents d'ordre inférieur

ΣN_{x+1} : Nombre total des affluents d'ordre supérieur suivant :

Tableau 80. Bassin versant de l'oued Lagreme : **Rapport de confluence** (Rc) (fonction statistique)

Aff_ordre (x)	Nombre) aff_ (Nx)	Longueur aff_ Lx (km)	Longueur moy Lx/Nx	Log ₁₀ (Nx)
1	687	166.954	0.243	2.83
2	156	52.877	0.339	2.19
3	38	26.766	0.704	1.58
4	11	14.134	1.285	1.04
5	2	10.464	5.232	0.30
6	1	1.479	1.479	0

D'après la droite représentée dans l'annexe 26 et 27 on peut écrire :

$$P_1(2.57, 100)$$

$$P_2(4.87, 5) \quad \text{d'où}$$

$$\text{Log Rc} = (\log 100 - \log 5) / 4.87 - 2.57 = 0.5656 \quad \text{Donc } \mathbf{Rc} = 10^{0.546} = \mathbf{3.515}$$

Tableau 81. Bassins versants de l'oued **Lagreme et kissir** **Rapport de confluence** (Rc)

Rapport de confluence (Rc)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
3.515	3.24	3.55	3.54	3.68	3.98	5.89	3.55	3.8

Selon la valeur du rapport de confluence, plusieurs auteurs distinguent trois types du réseau hydrographique :

- a- Type pin pignon** : dans ce cas la valeur du rapport de confluence est faible, dont le bassin versant est caractérisé par une concentration de confluence en amont.
- b- Type Chêne**: la valeur du rapport de confluence généralement est inférieure à cinq (Rc < 5). L'architecture du réseau hydrographique est marquée par une étendue uniforme des confluences.
- c- Type peuplier** : le bassin versant est plus long, avec une valeur de rapport de confluence plus élevé (Rc > 10).

La structure et l'organisation du réseau hydrographique notamment les affluents, agit directement sur la vitesse de ruissellement.

Cette architecture provoque plus ou moins les crues, généralement l'écoulement des différents affluents dans un bassin versant réunit de manière rapide ou bien très long jusqu'à l'exécutoire du bassin.

D'après le tableau 81 et figures 86 et 87 ci-dessus : on remarque que les bassins versants de l'oued Lagreme et oued Kissir, sont marqués par des valeurs du rapport de confluence (Rc) inférieures à 3.515, ce qui confirme que les deux bassins dessinent un genre du réseau type chène. Ce type du réseau hydrographique présente des affluents marqués par un espacement régulier le long du cours d'eau principale.

Pour les sous-bassins :

Tous les sous-bassins sont notés par un rapport de confluence inférieure à 3.98, ce qui confirme que les sous bassins sont marqués par une structure du réseau hydrographique type Chène.

Le seul sous bassin n°2 d'oued Kissir, marqué par une valeur de rapport de confluence de l'ordre de 5.89 indiquant que l'architecture du réseau hydrographique de ce dernier est proche de type peuplier. C'est-à-dire, ce dernier présente une forme plus longue que lagre, et des affluents parallèles. Cette organisation généralement favorise largement les crues, et augmente par la suite l'érosion hydrique.

❖ Coefficient de torrentialité (Ct)

Le coefficient de torrentialité exprime le degré de dissection du relief à travers les cours d'eau d'ordre 1, donc l'importance du talweg en d'autres termes, il exprime l'intensité du chevelu hydrographique et fournit une image réelle de la dissection des bassins (Demmak, A. 1982). Il est exprimé par la formule ci-dessous :

$$Ct = Dd \cdot N1/S$$

Avec : Ct : coefficient de torrentialité
 Dd : densité de drainage du bassin versant
 N₁ : nombre de thalwegs d'ordre 1
 S : superficie totale drainée par le thalweg d'ordre 1

Pour le bassin versant de l'oued lagreme :

$$Ct = Dd \cdot N1/S \Rightarrow Ct = 6.847 \cdot 687 / 27.48 = 171.17 \quad \text{Donc} \quad \mathbf{Ct = 171.17}$$

Tableau 82. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Coefficient de torrentialité (Ct)*

Coefficient de torrentialité (Ct)								
Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
	1	2	3		1	2	3	4
172.25	198.88	139.02	161	53.74	80.76	49.29	43.21	47.86

Généralement l'indicateur « coefficient de torrentialité » est plus significatif que les autres paramètres indicateurs de l'organisation du réseau hydrographique d'un bassin versant.

L'observation du tableau 82 ci-dessus, montre que le bassin versant de l'oued Lagreme est déterminé par un coefficient de torrentialité (Ct) très élevé de l'ordre de 172.25, par contre le bassin versant de l'oued Kissir est noté par un coefficient de torrentialité moyenne, avec Ct = 53,74.

La valeur élevée du coefficient de torrentialité est liée largement à l'augmentation de la densité de drainage notamment dans le bassin versant de l'oued Lagreme.

Donc on peut déduire que plus la valeur de (Ct) augmente plus l'écoulement devient plus torrentiel particulièrement aux périodes des fortes précipitations, et par la suite une grande menace aux sols par l'effet de l'érosion hydrique.

Pour les sous bassins :

Les valeurs des coefficients de torrentialité dans les sous-bassins de l'oued Lagreme oscillent de 139.02 à 198.88.

On note que le sous-bassin n°1 oued lagreme est marqué par une valeur de (Ct) de l'ordre de 198.88, ceci est lié à la forte densité de drainage signalé précédemment dans ce sous-bassins avec une valeur de Dd = 7.32 km/km².

Finalement on peut déduire que les sous bassins de l'oued Lagrme présentent des valeurs de (Ct) fortes à très fortes, ceci et lié énormément à l'accroissement des valeurs de la densité de drainage.

❖ **Temps de concentration (Tc)**

Selon Roche, 1963, le Temps de concentration : Il correspond au temps nécessaire pour permettre à l'eau de ruisseler du point le plus reulé du bassin versant jusqu'à l'exutoire.

- La goutte d'eau qui tombe sur le bassin versant met un temps différent pour atteindre l'exutoire selon le point d'impact.

- C'est le temps nécessaire pour que tout le bassin versant contribue au ruissellement.

Le temps de concentration est déterminé par plusieurs formules :

Pour le bassin versant de l'oued Lagreme : on a

A- formule de ventura :

$$TC = \frac{76.3\sqrt{S}}{\sqrt{I}}$$

Tc : temps de concentration en minutes

S = superficie totale du bassin versant (km²)

I = pente moyenne du bassin versant exprimée en % est calculé par la formule suivante :

$$I = \frac{\text{Denivelé (m)}}{\text{Longueur du cour d'eau principal (km)}}$$
$$I = \frac{(1061 \text{ m} - 88 \text{ m})}{11.168 \text{ Km}} = \frac{973 \text{ m}}{11.168 \text{ km}} \Rightarrow I = 87.12 \text{ m/km}$$
$$I = 8.712\%$$

Donc : le temps de concentration est égale :

$$TC = \frac{76.3\sqrt{S}}{\sqrt{I}} = \frac{76.3\sqrt{39.57}}{\sqrt{8.712}} = 162.69 \text{ minutes}$$
$$\Rightarrow \mathbf{Tc = 2.43 \text{ heures}}$$

B- formule de Passini :

$$Tc = 64.8 \frac{\sqrt[3]{LS}}{\sqrt{I}} \text{ avec}$$

S = superficie totale du bassin versant (km²)

I = pente moyenne du bassin versant exprimée en %.

L= Longueur du cours d'eau principal en (Km).

Donc on a :

$$I = \frac{\text{Denivelé (m)}}{\text{Longueur du cour d'eau principal (km)}}$$
$$I = \frac{(1061 \text{ m} - 88 \text{ m})}{11.168 \text{ Km}} = \frac{973 \text{ m}}{11.168} \Rightarrow I = 87.12 \text{ m/km}$$
$$I = 8.712\%$$

$$Tc = \frac{64.8 \times \sqrt[3]{11.168 \times 39.57}}{\sqrt{8.712}} = \frac{493.59}{2.95} = 167.12 \text{ minutes} \rightarrow \mathbf{Tc = 2.06 \text{ heures}}$$

C- formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{75 \cdot (4\sqrt{S} + 1.5 L)}{\sqrt{h}} \quad \text{Avec}$$

S = superficie totale du bassin versant en (km²)

L = Longueur du cours d'eau principal en (Km).

h = hauteur moyenne du bassin versant en (m)

$$T_c = \frac{75 \cdot (4\sqrt{39.57} + 1.5 \times 11.168)}{\sqrt{574}} = \frac{75 \cdot (4\sqrt{39.57} + 1.5 \times 11.168)}{23.81}$$

Tc = 131.19 minutes, soit **Tc = 2.11 heures.**

D- formule de Nemece :

$$T_c = \frac{L}{3.6v} \text{ avec}$$

L = longueur de cours d'eau principal du bassin versant en (km)

V = vitesse moyenne du débit de crue en m/s

$$131.19 \text{ min} = \frac{11.168 \text{ km}}{3.6 v} \rightarrow v = \frac{11168 \text{ m}}{131.19 \times 60 \times 3.6 \text{ secondes}} \Rightarrow v = 03.94 \text{ m/s}$$

Les valeurs temps de concentration (Tc) des bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir, ainsi que les sous-bassins, sont regroupées dans le tableau (83) ci-dessous

Tableau 83. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : **Temps de concentration** (Tc) selon les différents formules

Formule	Temps de concentration (Tc) minutes								
	bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
		1	2	3		1	2	3	4
Ventura	162,69	70,56	45,04	57,91	306,86	144,70	133,49	104,54	81,76
passini	167,12	61,88	34,04	53,41	295,07	172,92	143,69	90,21	66,41
Giandotti	131,19	75,54	57,57	57,54	203,06	137,45	128,02	90,82	67,85
Moyenne	153.67	69.33	45.55	56.29	268.33	151.69	135.07	95.19	72.01
V _(moy) de crue	0.39	0.27	0.20	0.34	0.517	0.46	0.36	0.38	0.32

L'observation de tableau 83 ci-dessus montre que l'application des formules de Ventura, Passini, et Giandotti montre que le temps de concentration dans le bassin versant de l'oued Lagreme varie de 131.19 à 167.12 minutes, par contre dans le bassin versant de l'oued Kissir elle oscille entre 137,45 et 172,92 minutes.

À propos de la vitesse moyenne de crue :

La grande valeur de la vitesse moyenne de crue est marquée particulièrement dans le sous-bassin n°3 oued Kissir avec $V_{moy} = 0.46$ m/s, par contre la faible valeur est notée dans le sous-bassin n°2 oued Lagrme avec $V_{moy} = 0.20$ m/s. La valeur élevée de ce paramètre est proportionnelle à la topographie de site.

Conclusion

La disparité des paramètres indices de relief hypsométriques à l'échelle des bassins et sous bassins versants met en évidence des variations des intensités de ruissellement et de l'érosion.

Ces paramètres ont un effet marqué sur le ruissellement et par la suite sur l'érodibilité des sols.

Les faibles valeurs des indices de la taille et de la forme telle que l'indice de circularité, l'indice d'élongation, l'indice hypsométrique marqués dans les bassins et sous-bassins des deux oueds Lagreme et Kissir indiquent que ces derniers caractérisent une érodibilité élevée des sols. Tandis que, les valeurs les plus élevées correspondent au stade terminal de maturité des bassins versants, c'est-à-dire une érodibilité faible des sols.

Les fortes valeurs des indices morphométriques de l'organisation du réseau hydrographique exercent généralement des effets fatals sur le phénomène de l'érosion hydrique.

On peut constater couramment que les hautes valeurs des indices de l'organisation hydrographiques telles que la longueur des talwegs, le nombre des affluents, la densité de drainages caractérisant le bassin versant de l'oued Lagreme, impliquent que ce dernier est exposé à une forte vulnérabilité « érosion hydrique ».

Chapitre VIII

Hirérachisation des indices morphométriques des sous-bassins versants

selon leurs impacts sur l'érosion

Chapitre VIII. Classement des indices morphométriques des sous-bassins versants selon leurs impacts sur l'érosion

Introduction

Les caractéristiques morphométriques des bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir représentent un facteur déterminant qui favorise le ruissellement et par la suite l'érosion hydrique.

Le présent chapitre a pour but d'établir une hiérarchisation des sous bassins versant de l'oued Lagreme et oued Kissir, en se basant sur les indices indicateurs morphométriques. De ce fait le réseau hydrographique des bassins versants sus cités a été subdivisé, en sept (7) sous bassins délimités à partir de documents de référence en l'occurrence la carte topographique 1/25000 modifiée à partir d'images satellitaires de haute résolution par l'application de plusieurs logiciels tels que (Arc Gis, Easy map).

Pour déterminer précisément l'impact de chaque indicateur morphométrique sur l'érosion hydrique nous avons utilisé douze (12) paramètres indicatifs. Les différentes classes de priorisation élaborées par la suite sont le résultat de l'analyse et de traitement des moyennes des différents indices morphométriques, de reliefs hypsométriques, de la taille et de la forme, et finalement de l'organisation du réseau hydrographique

La disparité des caractéristiques morphométriques à l'échelle des sous-bassins versants met en évidence des variations des intensités de ruissellement auxquelles est associé un degré d'érosion correspondant. Les études sur les mécanismes de l'érosion et de transport solide, montrent que ces phénomènes sont regis par de très nombreux facteurs comme la morphométrie entraînant souvent des effets différents à l'échelle locale. D'autre part, ces mêmes facteurs ne font que conditionner l'érosion hydrique, tandis que les caractéristiques morphométriques notamment à l'échelle sous bassins par leurs effets spatiaux, multiples et complexes sont le fondement de l'érosion. Pour montrer cela, nous avons fait recours à une analyse spécifique très poussée afin de faire ressortir l'effet et la gravité de chacun de ces paramètres morphométriques sur l'érosion.

Le réseau hydrographique figure 80 a été établi à partir du document de référence la carte topographique 1/25000 et l'image satellitaire de haute résolution. En effet, Sept (7) sous bassins ont été délimités à partir d'un MNT en utilisant le logiciel ArcGis :

- trois (3) sous bassins dépendant de l'oued de Lagreme
- et quatre (4) sous bassins de l'oued de Kissir.

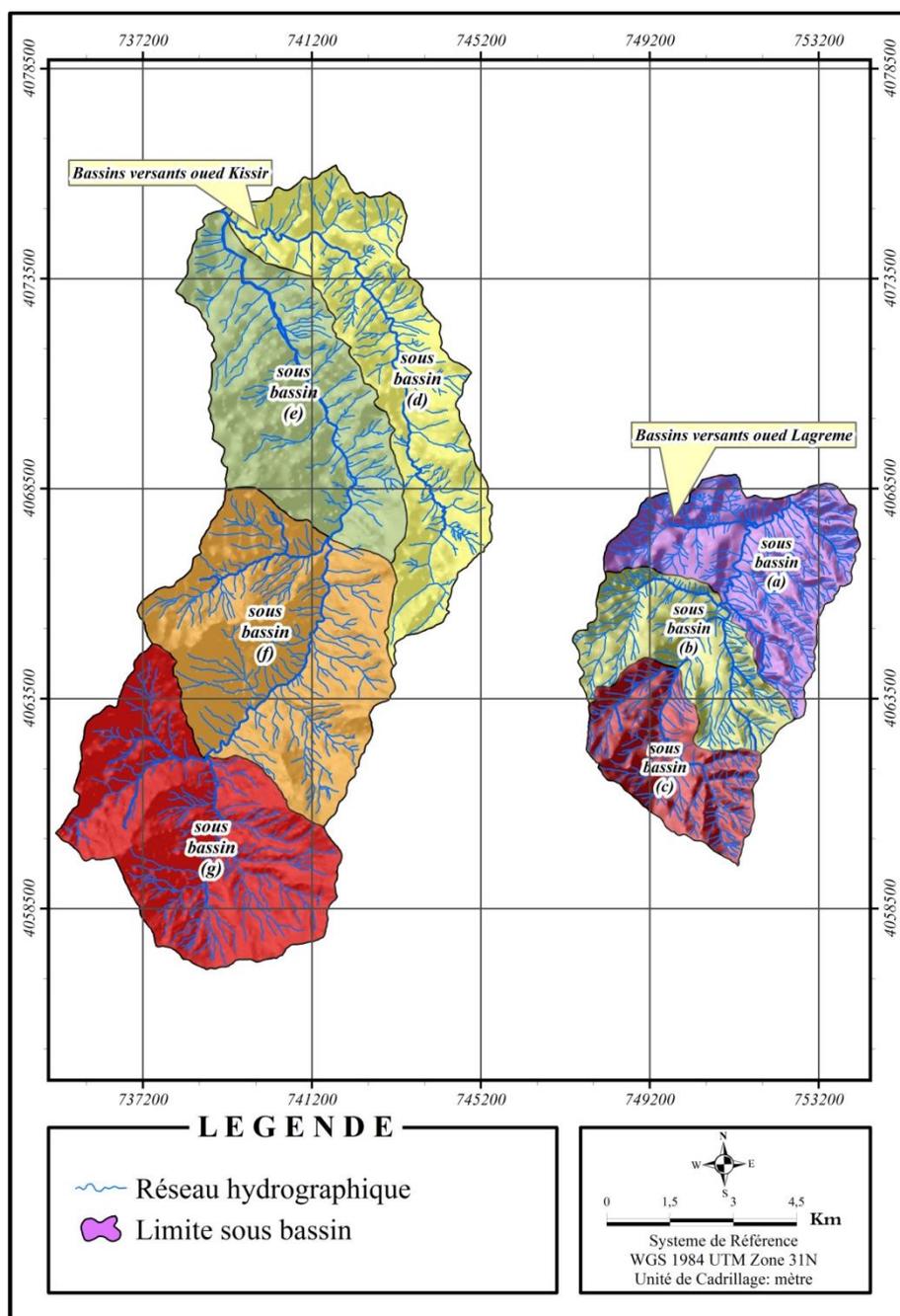


Figure 80. Bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir : **Réseaux hydrographiques**

La classification établie à l'aide du logiciel Arc Gis est basée sur la méthode d'ordination des cours d'eau de (Strahler, A, N.1957). Particulièrement cette méthode est très utilisée dans les études hydrologiques des bassins versants.

Selon le tableau (84) ci-dessous on constate que la plupart des sous bassins sont drainés par un chevelu hydrographique généralement dense sur toute la superficie du secteur notamment les sous bassins (a), (b) et (c) oued Lagreme et le sous bassins (d) de l'oued Kissir.

Tableau 84. Sous bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Caractéristiques morphométriques du réseau hydrographique*

Affluent	Sous bassins versants d'oued Lagreme			Sous bassins versants d'oued Kissir			
	a	b	c	d	e	f	g
Nombre total	445	243	209	338	230	276	273
Longueur total (km)	120.654	81.383	70.64	132.904	109.706	138.553	133.876

VIII.1. Paramètres indicateurs utilisés dans le classement des sous bassins

Les paramètres morphométriques sont considérés comme étant des paramètres d'évaluation de risque d'érosion et ont été utilisés pour hiérarchiser les sous bassins (Bidwas, S et al., 1999). Ce travail a pour but d'établir une répartition des sous bassins versant de l'oued Lagreme et oued Kissir, en se basant sur les indices indicateurs morphométriques ci-dessous :

- A- Les indices indicateurs de relief hypsométriques : pente moyenne (Pmoy), Dénivelé spécifique (Ds) et l'Indice de pente globale (Ig).
- B- Les indices indicateurs de la taille et de la forme: indice de circularité (ICr), indice d'élongation (E), indice de compacité(IC) et indice de forme(IF).
- C- les indices indicateurs de l'organisation du réseau hydrographique : densité de drainage (Dd), rapport de confluence (Rc), longueur de l'écoulement (lo), coefficient de torrentialité (Ct) et fréquence de thalweg (Fq).

A- Les indices de relief hypsométriques

Les conditions climatiques d'un bassin versant et ses caractéristiques physiques influent fortement sur le volume (en terme bilan), et la repartition temporaire (en termes d'hydrogramme des écoulements).

Tableau 85. Sous bassins d'oued Lagreme et Kissir: *Paramètres indicatifs de reliefs hypsométriques*

Paramètres indicatifs de relief hypsométriques	Sous bassins versants d'oued Lagreme			Sous bassins versants d'oued Kissir			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Pente moyenne(Pmoy)%	21,23	24,43	24,43	18,99	16,06	21,82	21,29
Indice de pente globale(Ig)	0,06327	0,06857	0,09958	0,03681	0,05567	0,09119	0,08472
Dénivelé spécifique(Ds) m	119,74	207,87	124,95	38,36	52,50	93,82	159,29

Certaines caractéristiques physiques tableau (85) notamment les indices hypsométriques de relief, pente moyenne (p_{moy}), indice de pente globale(Ig), dénivelé spécifique (Ds), jouent un rôle capital dans le fonctionnement du bassin versant.

B- Les indices indicateurs de la taille et de la forme

Les paramètres indicateurs de la taille et de la forme (Tableau 86.) et (Figure 84) comme l'indice de forme (IF), indice d'élongation (E), Indice de compacité(Ic) sont inversement proportionnels à la vigueur de l'érosion des sols (Benzougah, B et al 2016).

Tableau 86. Sous bassins d'oued Lagreme et kissir : *Paramètres indicatifs de la taille et de la forme*

Paramètres indicatifs de la taille et de la forme	Sous bassins versants oued Lagreme			Sous bassins versants oued Kissir			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Indice de circularité (ICr)	0,47	0,46	0,60	0,30	0,52	0,69	0,61
Indice d'élongation (E)	0,78	0,88	0,76	0,47	0,65	0,77	0,77
Indice de compacité (Ic)	1,45	1,47	1,28	1,83	1,38	1,19	1,27
Indice de forme (IF)	0,48	0,61	0,45	0,17	0,33	0,46	0,47

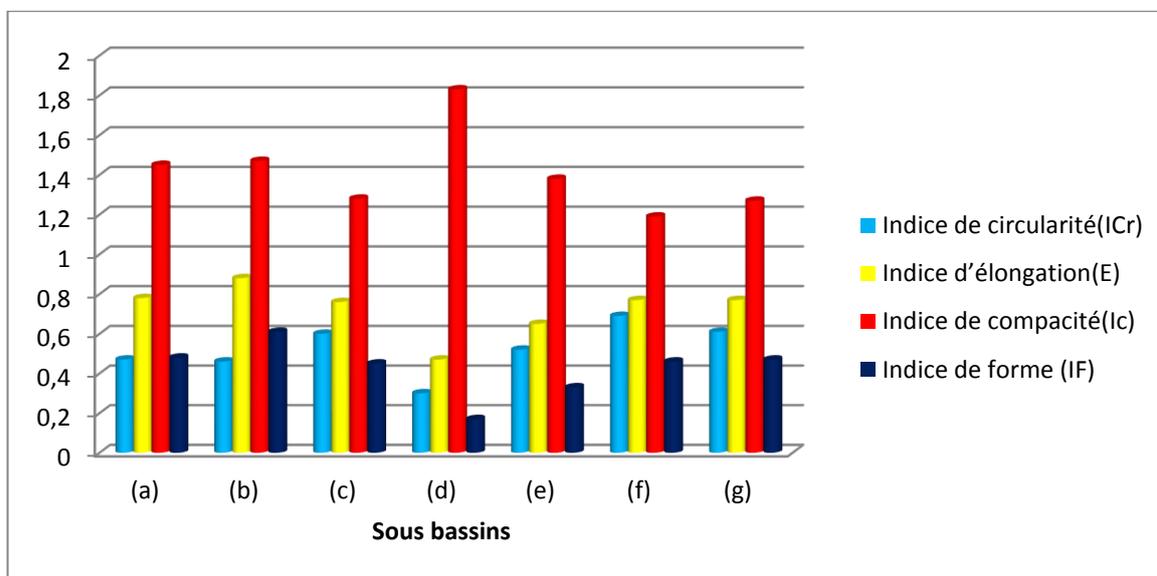


Figure 84. Sous bassins des oueds Lagreme et kissir : *Paramètres indicatifs de la taille et de la forme* (a, b, c oued Lagreme, et d, e, f, g oued Kissir)

C- Les indices indicateurs de l'organisation du réseau hydrographique

Les Paramètres indicatifs de l'organisation du réseau hydrographique calculés précédemment, et introduits dans l'analyse sont rassemblés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 87. Sous bassins versants d'oued Lagreme et kissir : *Paramètres indicatifs de l'organisation du réseau hydrographique*

Paramètres indicatifs de l'organisation du réseau hydrographique	Sous bassins versants, oued Lagreme			Sous bassins versants, oued Kissir			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Densité de drainage (Dd) km/km ²	7,32	6,73	6,42	5,42	4,54	4,58	4,77
Rapport de confluence (Rc)	3,24	3,55	3,54	3,98	5,89	3,55	3,8
Longueur de l'écoulement (l ₀)	3,66	3,36	3,21	2,71	2,27	2,29	2,38
Coefficient de torrentialité (Ct)	198,88	139,02	161	80,76	49,29	43,21	47,86
Fréquence de thalweg (Fq)	27	20,01	19	13,8	9,51	9,12	9,78

VIII.2. Méthode de classement et codification des sous-bassins versants en fonction du degré d'impact des indices morphométriques sur l'érosion

D'après (Benzougah, B et al. 2016), les paramètres indicateurs de reliefs hypsométriques et de l'organisation du réseau hydrographique d'un bassin versant, ont un impact direct et proportionnel sur l'érodibilité des sols ; plus leur valeur est élevée, plus l'érodibilité des sols est élevée. Alors que, les paramètres indicateurs de la taille et de la forme sont inversement proportionnels à l'érosion, c'est-à-dire plus les valeurs sont faibles plus l'érodibilité de sol est élevée.

Ainsi nous avons pris en considération cette disposition, pour classer et codifier les différents paramètres indicateurs de la taille et de la forme pour les sous-bassins de l'oued Lagreme et oued Kissir.

Tableau 88. Sous bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Hiérarchisation des paramètres indicateurs de relief hypsométriques*

Sous bassins		Paramètres indicateurs de relief hypsométriques					
		P(moy)	classe	Ds	classe	Ig	classe
Oued Lagreme	a	21.23	5	119.74	4	0.06327	5
	b	24.43	1	207.87	1	0.06857	4
	c	24.43	1	124.95	3	0.09958	1
Oued Kissir	d	18.99	6	38.36	7	0.03681	7
	e	16.06	7	52.50	6	0.05567	6
	f	21.82	3	93.82	5	0.09119	2
	g	21.29	4	159.29	2	0.08472	3

De ce fait, les paramètres indicateurs de relief hypsométriques et de l'organisation du réseau hydrographique tableau (88) et (89), montrent une relation proportionnelle avec l'érodibilité des sols, plus les valeurs de ces paramètres indicateurs sont élevées, plus l'érodibilité des sols est plus forte.

Tableau 89. Sous bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Hiérarchisation des paramètres indicateurs de la taille et de la forme*

Sous bassins		Paramètres indicateurs de la taille et de la forme							
		ICr	classe	E	classe	IC	classe	IF	classe
Oued Lagreme	a	0.47	3	0.78	6	1.45	5	0.48	6
	b	0.46	2	0.88	7	1.47	6	0.61	7
	c	0.60	5	0.76	3	1.28	3	0.45	3
Oued Kissir	d	0.30	1	0.47	1	1.83	7	0.17	1
	e	0.52	4	0.65	2	1.38	4	0.33	2
	f	0.69	7	0.77	4	1.19	1	0.46	4
	g	0.61	6	0.77	4	1.27	2	0.47	5

Pour les paramètres indicateurs de la taille et de la forme (tableau 90), ils ont une relation inverse avec l'érodibilité des sols, plus les valeurs de ces paramètres indicateurs sont faibles, plus l'érodibilité des sols est plus forte. Ces paramètres indicateurs sont ordonnés et arrangés par ordre croissant.

Tableau 90. Sous bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : ***Hierarchisation des paramètres indicateurs l'organisation du réseau hydrographique***

Sous bassins		Paramètres indicateurs de l'organisation du réseau hydrographique									
		Dd	classe	L ₀	classe	Ct	classe	Rc	classe	Fq	classe
Oued Lagreme	a	7.32	1	3.66	1	198.88	1	3.24	7	27	1
	b	6.73	2	3.36	2	139.02	3	3.55	4	20.01	2
	c	6.42	3	3.21	3	161	2	3.54	6	19	3
Oued Kissir	d	5.42	4	2.71	4	80.76	4	3.98	2	13.8	4
	e	4.54	7	2.27	7	49.29	5	5.89	1	9.51	6
	f	4.58	6	2.29	6	43.21	7	3.55	4	9.12	7
	g	4.77	5	2.38	5	47.86	6	3.8	3	9.78	5

L'intervalle des classes des sous-bassins a été faite de façon que :

- La catégorie forte figure dans l'intervalle des valeurs de la moyenne des facteurs entre (3.00 et 3.50).
- La catégorie moyenne figure dans l'intervalle des valeurs de la moyenne des facteurs entre (4.00, et 4.17).
- La catégorie faible symbolise la valeur moyenne des facteurs entre (4.50 et 4.58).

Pour l'analyse et la hiérarchisation des sous-bassins, ont été établies comme suit :

Les valeurs les plus élevées des paramètres de reliefs hypsométriques, et les paramètres de l'organisation du réseau hydrographiques sont indiquées comme les plus fortes valeurs de prioritaires, tandis que les valeurs les plus faibles sont considérées comme la valeur de plus faible priorité. Contrairement, les valeurs les plus faibles des paramètres morphométriques de la taille et de la forme, sont marquées comme plus forte valeurs prioritaires, tandis que les valeurs les plus fortes sont marquées comme la valeur de plus faible priorité.

❖ Résultats et discussion

L'établissement d'une carte de sensibilité (figure 85) des sous-bassins des oueds Lagreme et Kissir, a été effectué à l'aide du logiciel ArcGis. Les différentes classes des indices morphométriques élaborées (tableau 109), sont le résultat d'une analyse et d'un traitement des moyennes obtenues précédemment des différents paramètres morphométriques, indices de reliefs

hypsométriques, indices de la taille et de la forme, et indices de l'organisation du réseau hydrographique.

Tableau 91. Sous bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir : **Résultats d'analyse et de codification des paramètres morphométriques utilisées**

Sous bassins		Codification des paramètres morphométriques													
		p _{moy}	Ds	Ig	ICr	E	IC	IF	Dd	l _o	Ct	Rc	Fq	moy	Classe final
Oued Lagreme	a	5	4	5	3	6	5	6	1	1	1	7	1	3.75	fort
	b	1	1	4	2	7	6	7	2	2	3	4	2	3.42	fort
	c	1	3	1	5	3	3	3	3	3	2	6	3	3.00	fort
Oued Kissir	d	6	7	7	1	1	7	1	4	4	4	2	4	4.00	moyen
	e	7	6	6	4	2	4	2	7	7	5	1	6	4.75	faible
	f	3	5	2	7	4	1	4	6	6	7	4	7	4.67	faible
	g	4	2	3	6	4	2	5	5	5	6	3	5	4.17	moyen

La hiérarchisation des sous bassins versants de l'oued Lagerme et oued Kissir (tableau 91) a été faite sur la base de l'intervalle des valeurs des paramètres établis précédemment :

- valeurs de 3.00 à 3.75 classes d'érodibilité des sols forte (couleur rouge).
- valeurs de 4.00 à 4.17 classes d'érodibilité moyenne (couleur jaune).
- valeurs de 4.67 à 4.75 classes d'érodibilité faible (couleur vert).

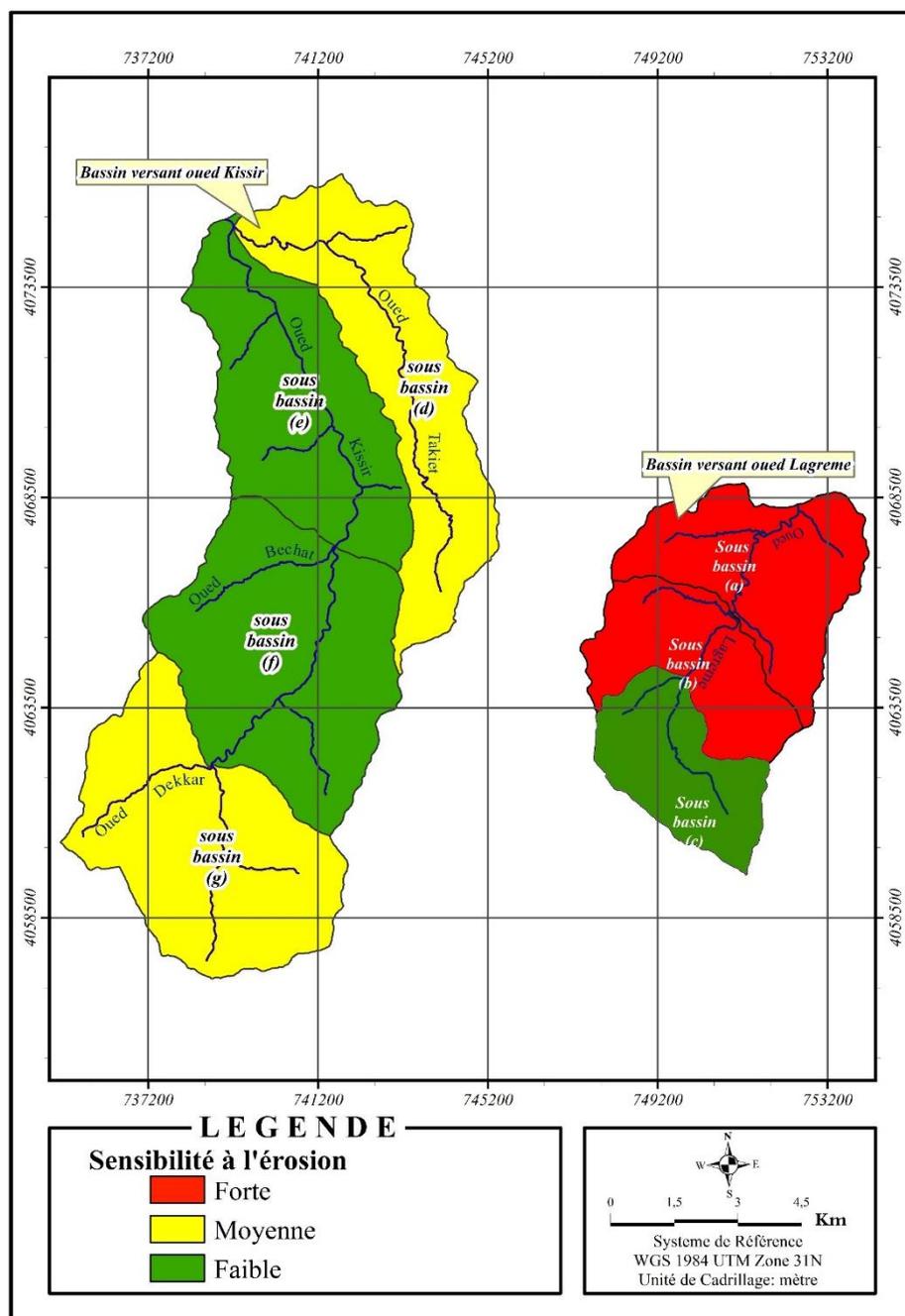


Figure 85. Sous bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir : *Sensibilité à l'érosion en fonction des paramètres morphométriques*

Cette analyse permet de regrouper les sous-bassins de l'oued Lagreme et kissir en trois catégories : classes à priorisation forte « sous bassins (a), (b), et (c) oued Lagreme ». Cette classe correspond à la zone la plus exposée aux risques d'érosion. Classe à priorisation moyenne : « sous bassin (d), et (g) oued Kissir » et enfin classe à priorisation faible « sous bassin (e) et (f) oued Kissir ».

Conclusion

Cette étude nous a permis de mettre en évidence le rôle et l'importance des paramètres morphométriques à l'échelle des sous bassins dans l'optique d'évaluer la gravité de l'érosion dans les bassins versants de l'oued Lagreme, et Kissir.

Les différents attributs d'hierarchisation et de classements effectués sont le produit de l'analyse et du traitement des moyennes des différents indices morphométriques, des reliefs hypsométriques, de la taille, de la forme et finalement de l'organisation du réseau hydrographique.

Les sous-bassins de l'oued Lagreme (a), (b), et (c) montrent une forte vulnérabilité face à l'érosion hydrique, tandis que les sous-bassins de l'oued kissir (d), (e), (f), et (g) affichent une moyenne à faible sensibilité à l'érosion.

Troisième partie

Cartographie et analyse du risque érosion par l'application des SIG

Chapitre :IX

Méthodes et outils de géotraitement

IX. Méthodes et outils d'analyse et de géotraitements

Introduction

Plusieurs définitions ont été recommandées pour le terme SIG. De façon utile « un système d'informations géographiques (SIG) est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser tous les objets géolocalisés ainsi que tous les événements qui s'y produisent.

Il représente l'outil idéal pour les chercheurs intéressés par la gestion de territoire grâce auquel il peut modéliser le monde réel, classer, observer des phénomènes et prévoir les changements futurs » ESRI 2007 (Environmental Systems Research Institute).

Concernant notre étude contrairement aux méthodes traditionnelles peu adaptées, l'application du système d'informations géographiques a pour but d'élaborer des banques de données numériques plus fiables et plus précises sur les bassins versants de l'oued Lagrme et oued Kissir.

Loin d'être considérées comme des outils permettant une production cartographique variée, les systèmes d'informations géographiques (SIG) est essentiellement un ensemble de matériels et de logiciels donnant accès à l'intégration et l'analyse spatiale des données multi-sources. Ils sont considérés, de ce fait, comme d'excellents outils de prise de décision (Mellerowics, K, T et al. 1994).

Dans cette étude le SIG nous a permis de mettre en relief le rôle et la gravité des différents paramètres : morphologiques, géologiques, climatiques, ainsi que le couvert végétale à l'échelle locale face à l'érosion dans les aires considérées. La carte de sensibilité à l'érosion a été effectuée à partir de six paramètres.

Les facteurs spatiaux de l'érosion hydrique citée précédemment sont intégrés dans un logiciel SIG (ArcGis) sous forme des couches thématiques. Les facteurs pris en compte sont: la pente, la lithologie, les linéaments, l'occupation des sols, la répartition des précipitations et l'écoulement.

La classification des différents paramètres selon leurs degrés d'impact sur l'érosion hydrique a été effectuée selon les connaissances bibliographiques (Garcia Ruizi., et al 1996).

L'érosion des versants reste un phénomène complexe et distinct d'un bassin à un autre. Elle est irrégulière à l'intérieur d'un même bassin et ce, en raison de condition géo-géomorphologique et morphométrique locale.

Les recherches sur les mécanismes de l'érosion montrent que ce phénomène a de très nombreux facteurs mais que la plupart d'entre eux, nature du sol (lithologie, végétation, relief) exercent leur influence à une échelle locale.

La cartographie de l'érosion hydrique dans les bassins versants de l'oued Lagreme et oued Kissir, impose une conception et une bonne compréhension des différents paramètres géo-géomorphologiques, climatiques, hydrologiques et morphométriques. Les différents éléments qui entraînent le phénomène de l'érosion dans les bassins versants sont nombreux (pente, lithologie, écoulement, infiltration, végétation...). Pour mieux comprendre les mécanismes des bassins versants, il est nécessaire d'aborder une étude verticale et profonde par l'application d'un système d'informations géographiques pour faciliter l'élaboration d'une carte de sensibilité au phénomène d'érosion.

Toutes les études précédentes (Boukhier, R. 2002., Girard, M, C. 2001-a. 2001-b., Shaban, A, Khawle, M., Faour, G., et al., 2001-b) montrent que, les techniques et les potentialités des systèmes d'informations géographiques sont nombreuses et diverses. L'application d'un SIG dans la gestion des risques naturels notamment dans les études hydrologiques érosions hydriques, devient aujourd'hui un instrument caractéristique et performant. Dans le but de développer et enrichir les méthodes et les approches pour traiter les empêchements et les complications liées aux risques érosion hydrique dans les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir, dans ce chapitre nous présentons les éventualités du SIG dans la détermination et la spatialisation de degré du risque érosion.

La réalisation d'un modèle cartographique de l'aire d'étude à l'aide d'un SIG consiste à localiser l'aléa ainsi les zones de forte érosion. La thématique permet aussi de présenter des outils d'analyses pour le géolocalisation de l'érosion du sol à l'échelle des bassins et sous bassins versants afin de mettre en place une disposition de conservation des sols et des techniques anti-érosives.

IX.1. Matériels utilisés

L'application des systèmes d'informations géographiques pour la détermination et la spatialisation du risque érosion hydrique dans les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir, implique l'utilisation de certains outils.

- a) **La carte topographique 1/25000** permet d'établir un modèle numérique d'altitude (MNA) de haute résolution afin d'établir des cartes de pentes et d'exposition des versants. Cette carte a été numérisée et géoréférencée en fonction du système de référence projection (UTM) WGS84.

➤ **Les cartes établies suite à cette opération :**

- Carte hypsométriques
 - Carte des pentes
 - Carte d'exposition des versants
- b) **La carte géologique** du M. Durand Dulga au 1/200000 numérisée et géoréférencée selon le système de référence projection WGS 84. Les données lithologiques obtenues sont modifiées et actualisées sur le terrain et cartographiées au 1/25000.
- c) **La carte d'écoulement** : donne une estimation des lames d'eaux moyennes annuelles écoulées en surface dans le nord-est algérien. Elle basé sur l'utilisation d'un modèle hydrologique calé sur les observations de 70 stations de jaugeages. Ce modèle a été ensuite utilisé pour reconstituer à partir des pluies les débits à l'échelle mensuelle sur les périodes allant de Septembre 1965 à Août 2002.
- d) **La carte des hauteurs des précipitations annuelles** (pluie annuelle décennale humide) du nord est algérienne. L'édition des cartes d'écoulement et des hauteurs des précipitations entre dans le cadre de la coopération algéro-allemande Mars2003). Ces cartes d'écoulements et des hauteurs de précipitations ont étaient numérisées et géoréférencées en fonction du système de référence WGS 84. Des observations et levés de terrain ont été effectués par l'interface GPS. Le GPS (Global positioning system), système de repérage par satellite permettant d'élaborer une cartographie avec une précision de moins de 2 mètres d'erreur. Cet outil nous a permis par la suite de délimiter les formations lithologiques des bassins versants de l'oued Lagreme et oued Kissir. Le GPS nous a permis aussi d'établir une cartographie et un inventaire des différentes formes d'érosions marquant la morphologie dans la zone d'étude (ravinement, bad-lands, glissements de terrain, coulée boueuse, et solifluxion).
- e) **La carte d'occupation des sols** (wilaya de Jijel) année 2007, modifiée et actualisée sur l'image satellitaire 2017 « google earth professional » à l'aide des logiciels (ArcGis et Esay map).

Une base de données numériques (GEODATABAS) de la zone d'étude a été effectué pour la création finale des couches thématiques pour la l'analyse spatiale et le géotraitement par logiciel ArcGis.

➤ **Logiciels utilisés pour la structuration des données et le géotraitement :**

Le traitement des données a été effectué par les logiciels suivants :

- Arc Gis
- Auto Cad
- Esay map

Le matériel utilisé est composé de données cartographiques liées au processus érosif structurées sous forme des couches dans un SIG.

Le traitement des données a été réalisé par le logiciel Arc Gis (2.1), numérisation des cartes, digitalisation (création des couches), et finalement le géotraitement.

Suite à cela des banques des données numérisées « GEODATABAS » sur les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir ont été établies. Leur exploitation a débouché sur la réalisation des différentes cartes thématiques nécessaires pour la mise au point de la carte finale de sensibilité à l'érosion.

Pour bien cerner la problématique du risque érosion hydrique dans les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir, nous sommes basés sur le modèle qualitatif systémique (multifactoriels).

IX.2. Evaluation et analyse de degré du risque érosion hydrique

Depuis quelques années, les techniques d'évaluation et de la cartographie de l'érosion hydrique sont associées au SIG et à la télédétection. Il est vrai qu'avec ces méthodes modernes on découvre progressivement l'intérêt de la spatialisation des méthodes de calcul, des pertes de sols et de la cartographie de l'érosion (Bonn, F. 1988).

- Le principe utilisé pour la spatialisation du degré du risque érosion est le suivant :
Les zones ayant la même formation lithologique, la même type d'occupation des sols, la même lame écoulée, la même lame précipitée, la même classe de pente, le même effet linéairementaire : expose le même degré du risque érosion.

La méthodologie utilisée est le croisement de paramètres sous forme de combinaison logique (Boukheir, R et al., 2001., B, E, N'DRI et al., 2008). Les différents paramètres physiques intervenant dans le processus érosif de la zone d'étude sont : les pentes, la lithologie, les précipitations, l'écoulement, l'occupation des sols, et finalement les linéaments. La mise en place, et l'arrangement des différents paramètres de l'érosion hydrique ainsi que leurs degrés d'impact (codification attribuée c'est-à-dire classes de la vulnérabilité des différents

paramètres en fonction de leurs sensibilités à l'érosion) ont été effectués est traité à l'aide d'un SIG.

Les facteurs influençant l'érosion hydrique peuvent être représentés par différentes variables, pouvant être déterminées à l'aide de la télédétection, SIG et de données supplémentaires (Boukhier, R et al. 2001). Ces facteurs sont déversés en deux parties, ceux qui sont quasi-statiques (infiltration, érodibilité et morphologie) et les autres qui sont variables dans le temps tels que le couvert végétal, l'utilisation du sol, l'intensité des pluies et les pratiques agricole (Roose, E et Lelon, G. 1976, Vrieling, A. 2005, Boukhier, R et al., 2006).

La classification et la répartition spatiale des différentes classes et facteurs de vulnérabilité (pente, lithologie, précipitation, écoulement, occupation des sols et linéament) ont été formés par ordre croissant, faible, moyen, fort, et très fort, selon un ordre progressif de l'érosion. Chaque classe est désignée par un code reflétant leur degré et gravité face à l'érosion : classe faible « code 1 », classe moyenne « code 2 », classe forte « code 3 » et finalement classe très forte « code 4 ».

❖ **Organigramme adopté**

Afin de mieux cerner le problème du risque érosion, la méthodologie adoptée dans ce chapitre pour la cartographie et la spatialisation du risque érosion hydrique, la figure 86 ci-dessous synthétise les différentes phases de collecte, de structuration, et de géotraitement à l'aide d'un système d'informations géographiques :

D'après le schéma représenté en figure 90 ci-dessous, la méthodologie utilisée est basée sur trois fondements principaux :

- Structuration des données
- Analyse des données
- Et finalement le géotraitement et production de l'information

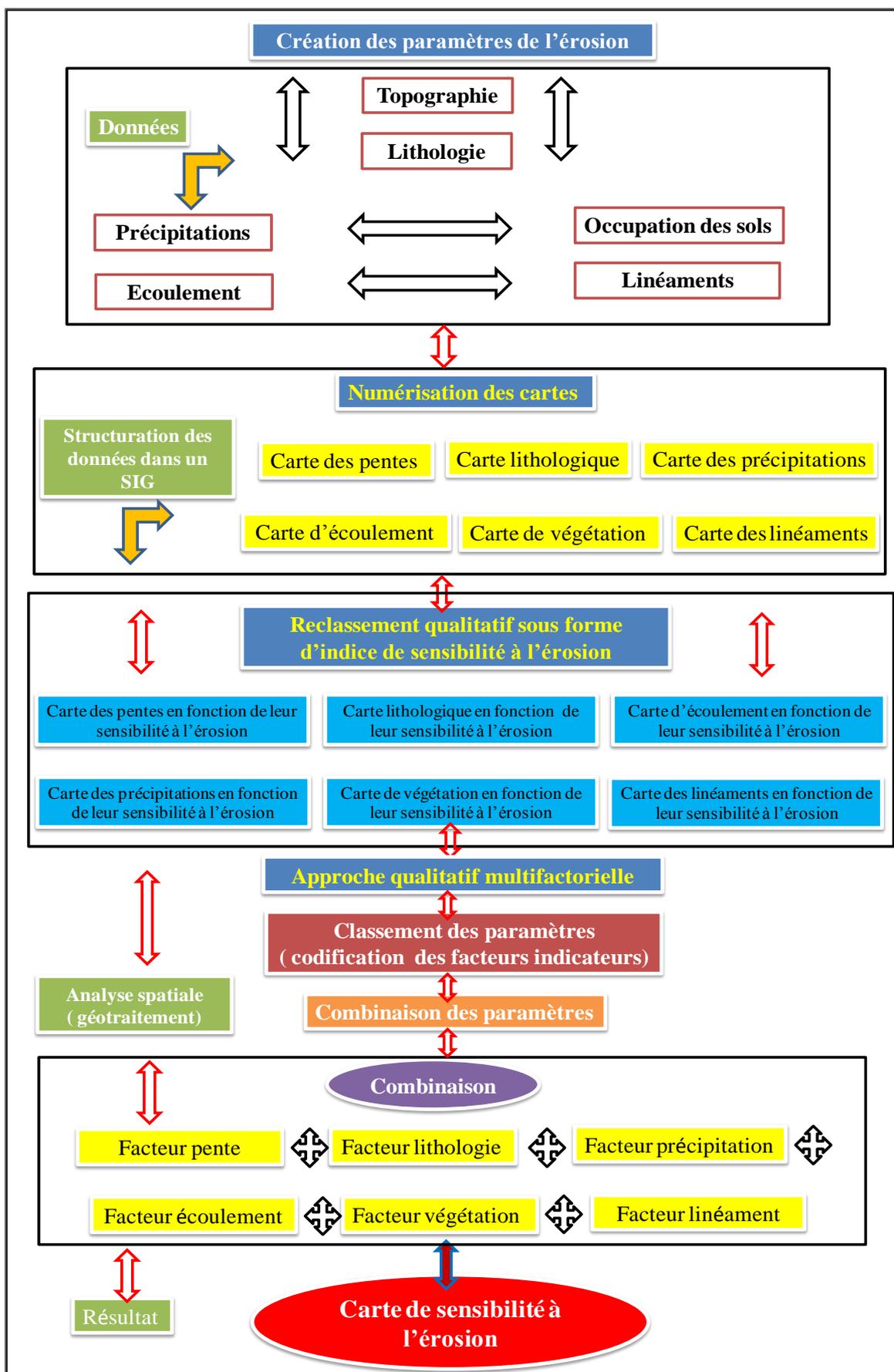


Figure 86. Bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir : *Organigramme et plan utilisé* pour l'élaboration de la carte de sensibilité à l'érosion de la zone d'étude

- a- Structuration des données :** la structuration des données, consiste à numériser les différents objets à l'aide du mécanisme de digitalisation sur le document de référence carte topographique 1/25000 notamment les courbes du niveau, et le réseau hydrographique.
- b- Analyse des données :** dans le cas de cette étude, l'analyse des données est fondé sur la transformation des données format « vecteur » en données format « raster », c'est-à-dire la rasterisation de tout fichier vecteur notamment les courbes de niveau afin d'établir un modèle numérique d'altitude (MNA). Cette étape consiste, aussi à fournir des banques de données numérisées sur les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir.
- c- Géotraitement et exécution de l'information :** comme mentionné sur l'organigramme (figure 99), cette étape consiste à fournir des cartes de renseignement sur la zone étudiée à différents niveaux d'information ; ceci afin d'établir une carte d'aide à la décision. Cette carte renferme les différentes classes de degré de la sensibilité à l'érosion dans les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir.

Les avantages de l'utilisation des SIG sont décrits par (De Roo, APG, CC et al., 1996) en tant que :

- La possibilité d'introduire plusieurs couches représentant les cartes d'entrée (pente, lithologie, écoulement,...etc.) pour l'évaluation des scénarios alternatifs de gestion des terres ;
- La possibilité d'afficher les résultats sur des cartes
- La capacité d'analyser des grands bassins versants

IX.2.1. Evaluation du risque érosion hydrique bassin versant de l'oued Lagreme

La méthode suivie dans ce travail repose sur l'utilisation des données structurées dans un SIG pour une analyse spatiale et de géotraitement des processus de l'érosion. Les facteurs qui peuvent être traités et analysés dans un SIG permettent de définir les zones d'intervention prioritaires (Boukhier, R et al. 2008).

La méthode nécessite la prise en compte des paramètres suivants :

A. Facteur « pente »

Le bassin versant de l'oued Lagreme présente une topographie caractérisée par des reliefs accidentés. Les pentes de notre cas de bassin représentent un facteur déterminant qui favorise l'érosion. Ce dernier est caractérisé par des classes de pente variant de 0-3% jusqu'à + de 35 %. Les classes de pente dans cette étude (figure 87)

sont rangées selon la problématique générale « risque érosion hydrique », notamment l'évaluation de l'érosion à différentes classes des pentes. Les classes des pentes considérées sont : 0-12.5 %, 12.5 - 25%, 25 - 35%, et + 35%.

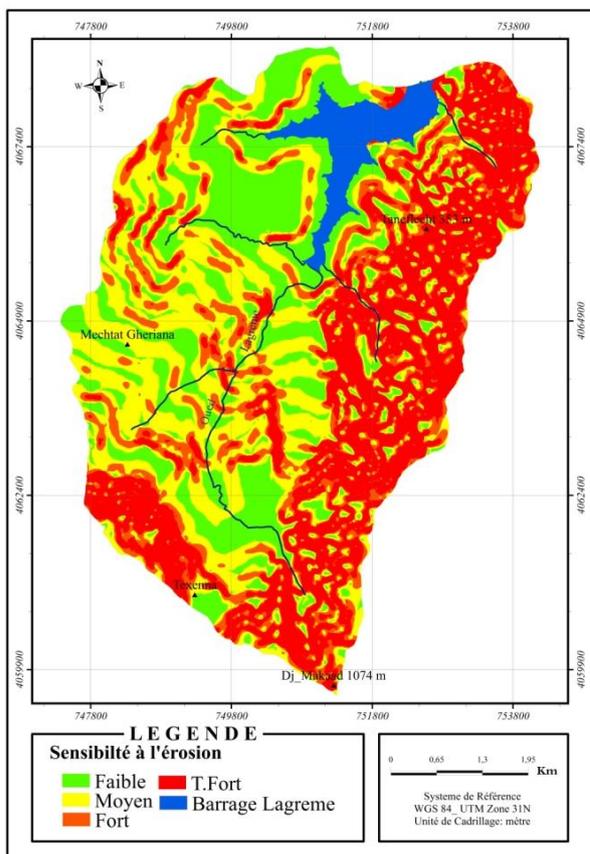


Figure 88. Bassin versant d'oued Lagreme :
Les pentes et sensibilité l'érosion

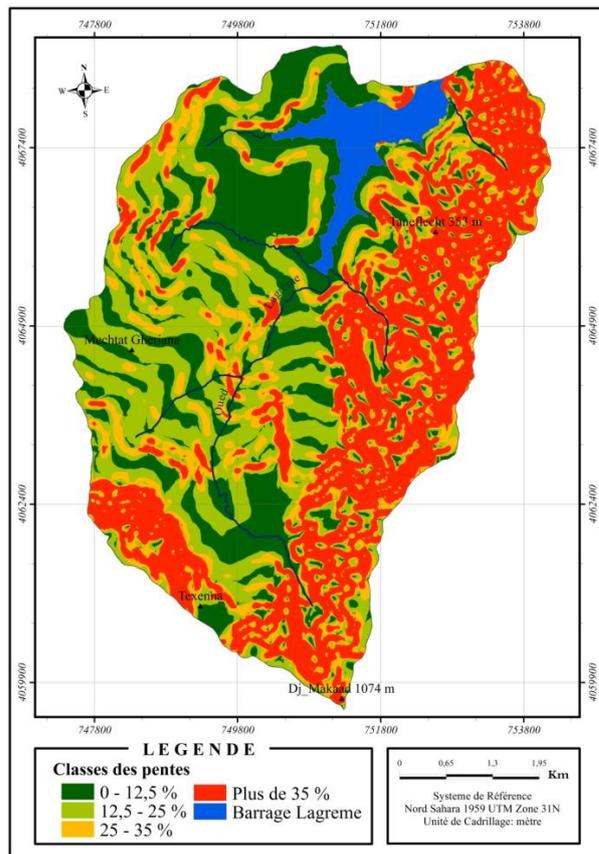


Figure 87. Bassin versant d'oued Lagreme :
Classes des pentes

D'après le tableau 112, plus de 18.06 km², soit de 47.66 % de la superficie de la zone d'étude s'étend sur des reliefs accidentés caractérisés par des pentes fortes et très fortes supérieures à 25%. Ces classes affectent pour l'essentiel la formation lithologique du socle gneissique, et les olistostromes (blocs des flyschs noyés dans une molasse marneuse).

Le facteur d'érodibilité des sols pente tableau (92) a été codifié pour faciliter l'analyse spatiale et le géotraitement à l'aide du logiciel Arc Gis. Le tableau ci-dessous montre la classification des différentes classes de pente par ordre croissant progressif de l'érosion.

Tableau 92. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classes des pentes en fonction de leurs sensibilités à l'érosion*

Classe des pentes	Superficiel (km ²)	%	Code attribué	Sensibilité à l'érosion
0 – 12.5	9,15	24,16	1	Faible
12.5 – 25	10,67	28,18	2	Moyenne
25 – 35	5,98	15,81	3	Forte
+ 35	12,07	31,85	4	Tres forte
Totalité de la zone d'étude	37.87 km²		100	

Selon la carte de sensibilité à l'érosion pente figure 88 on constate que :

La classe (12.5-25%) (Contrainte moyenne) affecte pour l'essentiel la rive gauche de l'oued de lagreme (c'est-à-dire les formations lithologiques dites Olistostrome (des blocs de grès dans une molasse marneuse) occupe une superficie de l'ordre de 10.67 km², soit 28.18 % de la totalité du bassin versant.

Tandis que, la classe des pentes 0–12.5 % (contrainte pente faible), affecte pour l'essentiel les formations lithologiques molassiques et marneuses, occupant la partie avale du bassin avec une superficie de l'ordre de 9.15 km², soit 24.16 % de la totalité de la zone d'étude.

B. Facteur « lithologie »

Les molasses et marnes qui affleurent dans la zone d'étude ont un impact direct sur l'organisation du réseau hydrographique notamment la densité du drainage et par conséquent sur l'érosion. La carte ci-dessous figure 89 regroupe les principales formations lithologiques affleurant dans la zone d'étude selon leurs degrés de résistance.

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion, et le transport solide. Les matériaux géologiques sont classés selon leurs compétences en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grés, calcaires, dolomie) (Bouanani, A. 2004).

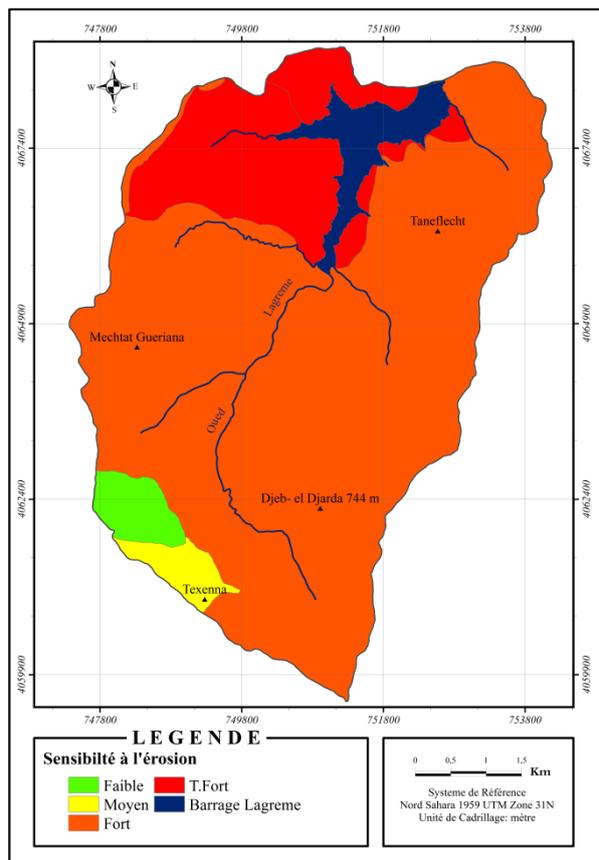


Figure 90. Bassin versant d'oued Lagreme :
Lithologie et sensibilité à l'érosion

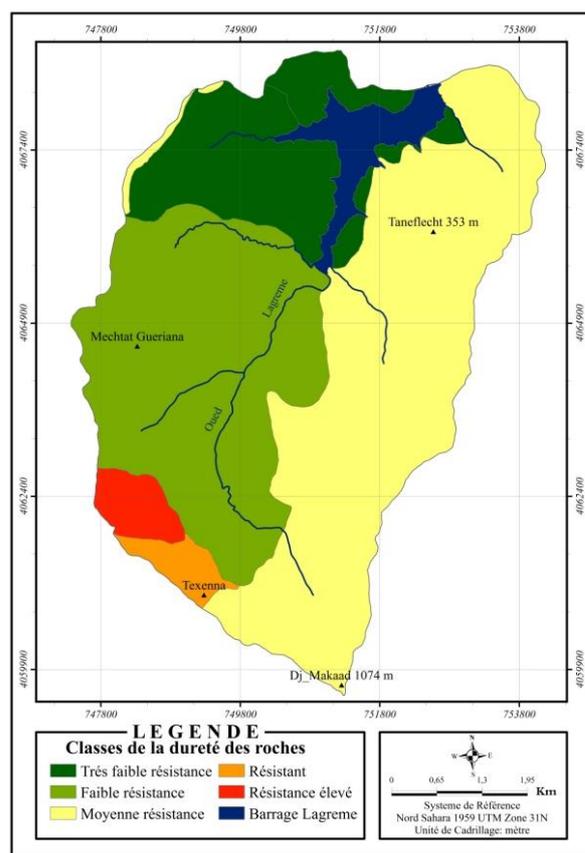


Figure 89. Bassin versant d'oued Lagreme :
Classes de la dureté des roches

Le tableau 93 ci-dessous illustre l'étendue des diverses zones à érodibilité variables de fort à faible des différentes formations lithologiques de l'aire d'étude.

Tableau 93. Bassin versant d'oued Lagreme : **Classes des formations lithologiques en fonction de leurs sensibilités à l'érosion**

Classe de la dureté des roches	Superficie (km ²)	%	Code attribut	Sensibilité à l'érosion
Schiste et gneiss	0,97	2,56	1	Faible
Calcschiste et magmatisme (cvs)	0,78	2,06	2	moyenne
Arène, conglomérat (alluvions) et Olistostrome (molasse)	29,86	78,85	3	forte
Marne bleue, marne jaune et argile d'altération	6,26	16,53	4	Très Forte
Total	37.87	100	-	-

L'examen de la figure 90 ci-dessus montre que :

- les formations lithologiques arènes, olistostrome, conglomérats, marnes, et argiles d'altérations regroupées dans le stade d'érodibilité forte et très forte, occupent une superficie de l'ordre de 36,12 km², soit 95,38 % de la totalité de la zone d'étude.
- Les formations lithologiques schiste et gneiss, calschiste et magmatisme (cvs) marqués par une érodibilité faible et moyenne occupent une superficie de l'ordre de 1.75 Km² soit 4.62% de la totalité de la zone d'étude.

Donc on déduit que la majorité de la zone d'étude montre une vulnérabilité lithologique forte à très forte face à l'érosion. Cette situation exceptionnelle constitue une source de risque érosion menaçant le bassin versant de l'oued Lagreme notamment pendant les périodes des pluies violentes.

C. Facteur « précipitation »

Les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche, M.1963). La carte des hauteurs pluviométriques annuelles dépassant en moyenne une année sur dix pluies annuelles « décennales humides » 1965/2002 ANRH (données moyennes de 37 ans, montrent que les hauteurs pluviométriques décennales humides pour cette période dans le nord-est Algérien diminuent du littoral vers l'intérieur de pays.

La figure 91 présente la répartition des hauteurs pluviométriques caractérisée par une valeur dominante supérieure à 1400 mm.

Tableau 94. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classes des précipitations en fonction de leurs sensibilités à l'érosion*

Classes des précipitations	Superficie (km²)	%	Code attribut	Sensibilité à l'érosion
1000 - 1400 mm	20.93	55.27	2	moyenne
1400 - 1600 m	16.94	44.73	3	forte

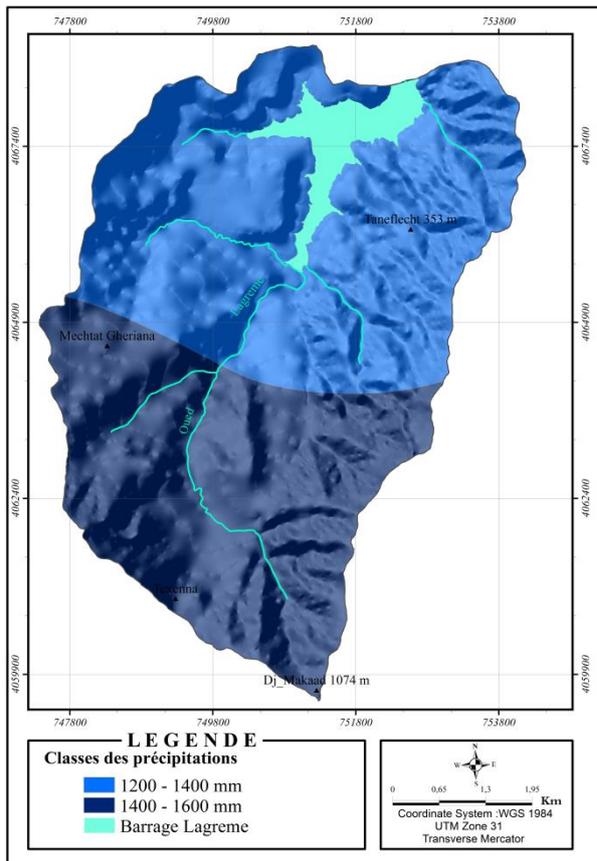


Figure 91. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classe des précipitations*

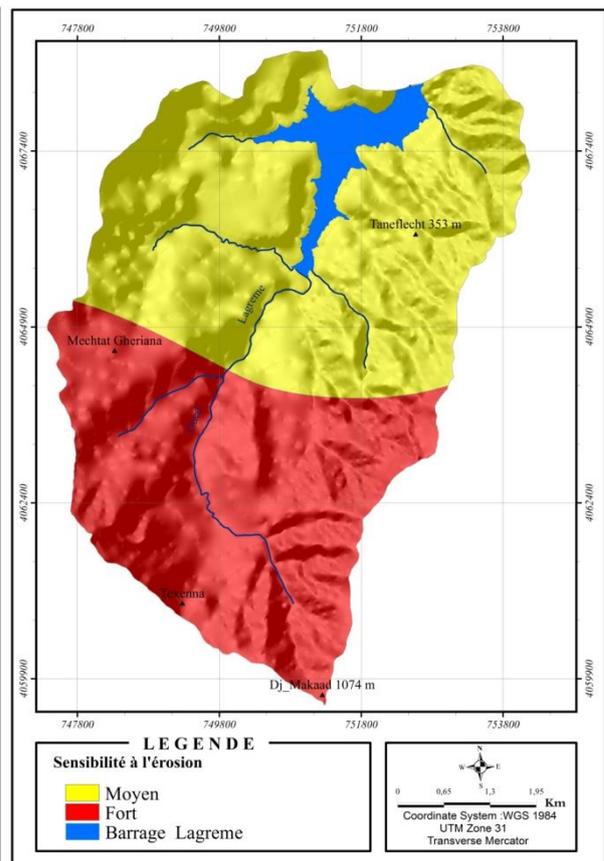


Figure 92. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Précipitations en fonction de leur sensibilité à l'érosion*

L'examen de tableau 94 et la carte figure 92 ci-dessus montrent :

- une classe des hauteurs des précipitations (1000-1400 mm) correspond à la zone de sensibilité à l'érosion moyenne, occupant une superficie de 20.93 km² soit 55.27% de terrain d'étude ;
- une classe (1400-1600 mm) convenant à la zone forte couvrant une superficie de l'ordre de 16.94 km² soit 44.73%.

D. Facteur « écoulement »

À cause des caractéristiques topographiques (pentes fortes), climatiques (pluviométrie intense) lithologiques (formation meuble) et un couvert végétal plus ou moins dégradé, le ruissellement dans le bassin versant de l'oued Lagreme est très actif.

Pendant les années pluvieuses, l'écoulement peut atteindre des valeurs nettement plus fortes, dépassant 1000 mm dans le bassin en question.

Le bassin versant de l'oued Lagreme est caractérisé par des classes d'écoulement (figure 93) varié de 300 mm jusqu'à 500 mm.

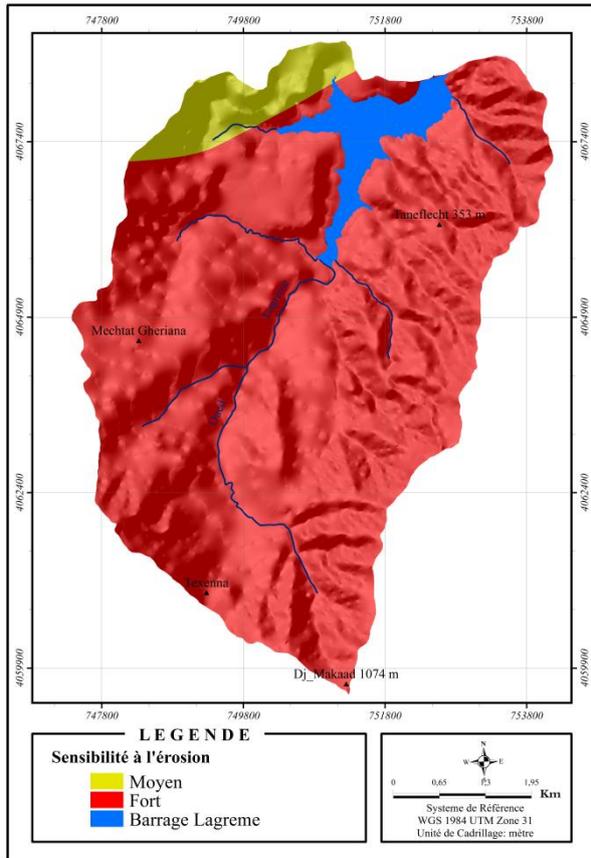


Figure 94. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Carte des écoulements en fonction de leurs sensibilités à l'érosion*

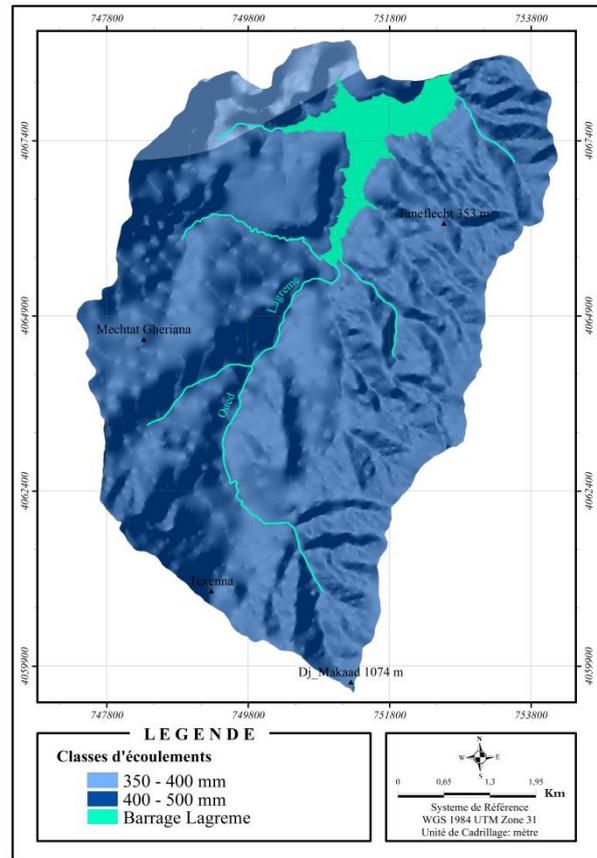


Figure 93. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classes d'écoulements*

Tableau 95. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classes d'écoulements en fonction de leurs sensibilités à l'érosion*

Classes d'écoulements	Superficie (km ²)	%	Code attribut	Sensibilité à l'érosion
350 - 400 mm	2.10	5.54	2	moyenne
400 - 500 mm	35.77	94.46	3	forte

À propos de la sensibilité écoulement face à l'érosion du bassin versant oued lagreme figure 94 on distingue deux classes :

- la classe d'écoulement moyenne au nord-ouest (tableau 95) occupe une superficie de 2.10 km² soit 5.54% de la zone d'étude.
- et 35.77 km², soit 94.46% du terrain d'étude pour la classe d'écoulement forte sur le reste du bassin.

E. Facteur « végétation »

La végétation figure (95) par leur gravité et impacts directs sur l'érosion est considérée dans cette analyse comme un facteur déterminant pour l'évaluation du risque « érosion » hydrique dans le bassin versant de l'oued Lagreme.

Généralement une végétation dense expose une vulnérabilité faible, tandis qu'un sol nu offre une sensibilité élevée.

Tableau 96. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classes d'occupation des sols en fonction de leur sensibilité à l'érosion*

Occupation des sols	Classes de la végétation	Superficie (km²)	%	Code attribut	Sensibilité à l'érosion
Maquis dense	Végétation dense	9.55	25.23	1	Faible
Forêt claire Maquis clair	Végétation moyenne densité	10.99	29.03	2	moyenne
Culture Forêt incendiée	Végétation faible densité	7.09	18.70	3	forte
Terrain nu	Terrain nu	9.92	26.20	4	Très Forte
Bati	-	0.32	0.84	-	-

D'après le tableau 96 et figure 96, la répartition spatiale des différentes classes d'occupation des sols marquées dans le bassin versant de l'oued Lagreme se présente comme suit :

- La classe faible (végétation dense) occupe une superficie de 9.55 km² soit 25.23% de la zone d'étude.
- La classe moyenne (végétation moyenne densité) occupe 10.99 km² soit 29.03%.
- Pour les classes fortes et très fortes (foret incendiée, terrain nu), l'ensemble occupe une superficie de 17,01 km² soit 44,90% de la totalité de la zone d'étude.

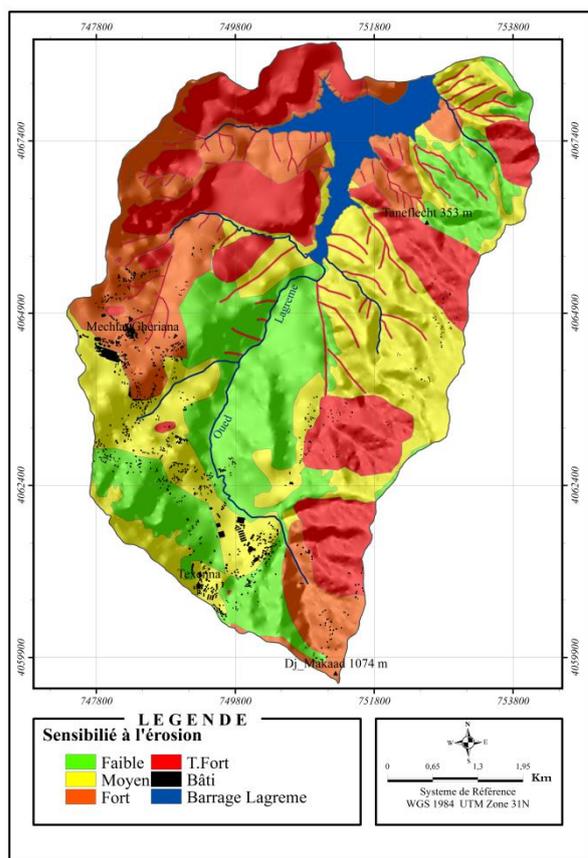


Figure 96. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Occupation des sols en fonction de sa sensibilité à l'érosion*

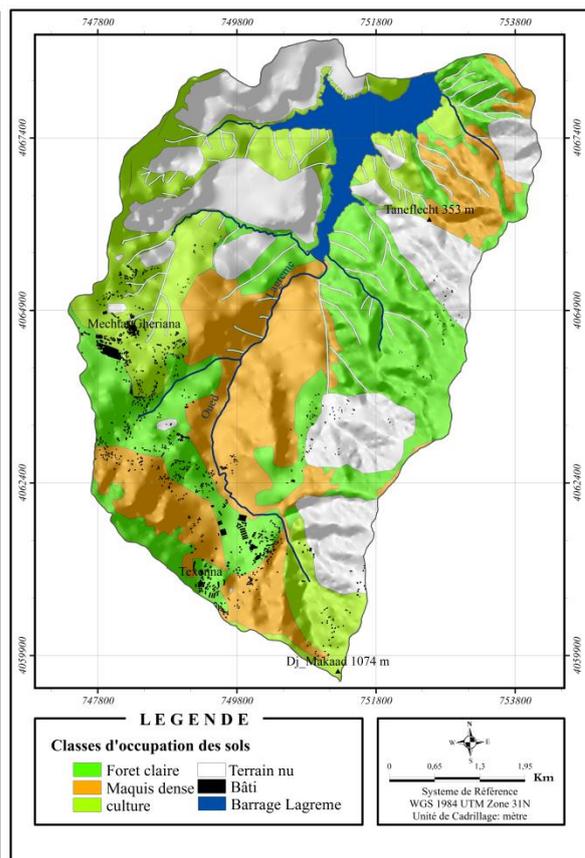


Figure 95. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classes d'occupation des sols*

Au sujet de la sensibilité « occupation des sols » face à l'érosion tableau 96 :

- les types d'occupations des sols terrain nu, ont une très forte sensibilité face à l'érosion avec une superficie de 9.92 km² soit 26.20% de terrain d'étude.
- La classe forte (végétation faible densité) occupe une superficie de 7.09 km² soit 18.70% de terrain d'étude.
- La classe moyenne (végétation à moyenne densité) occupe 29.03% de la zone d'étude
- Et finalement la classe faible (végétation dense) occupe plus 25 %.

F. Facteur « Linéamentaire »

La carte linéamentaire figure 97 ci-dessous réalisée par la méthode Rasskatov en utilisant le logiciel ArcGis, bassin versant de l'oued Lagreme, a permis de déterminer les principales classes linéamentaires affectant la zone étudiée.

Àfin d'organiser, ordonner et faciliter le géotraitement, notamment pour le paramètre linéament, un découpage de la zone d'étude en mailles régulières de (400 m) de coté a été effectué. Le travail est fondé sur les travaux de plusieurs auteurs (Abdellaoui, A et al., 2010 ; Grecu, F. 2002 et Huzui, et al., 2011).

Pour notre travail, la grille couvrant la zone d'étude comporte des mailles régulières de 400 mètres de coté.

L'estimation des classes des linéaments tableau 115 ainsi que le degré de sensibilité à l'érosion en fonction du paramètre linéament est basé sur le nombre de linéaments calculés dans chaque maille (cellule).

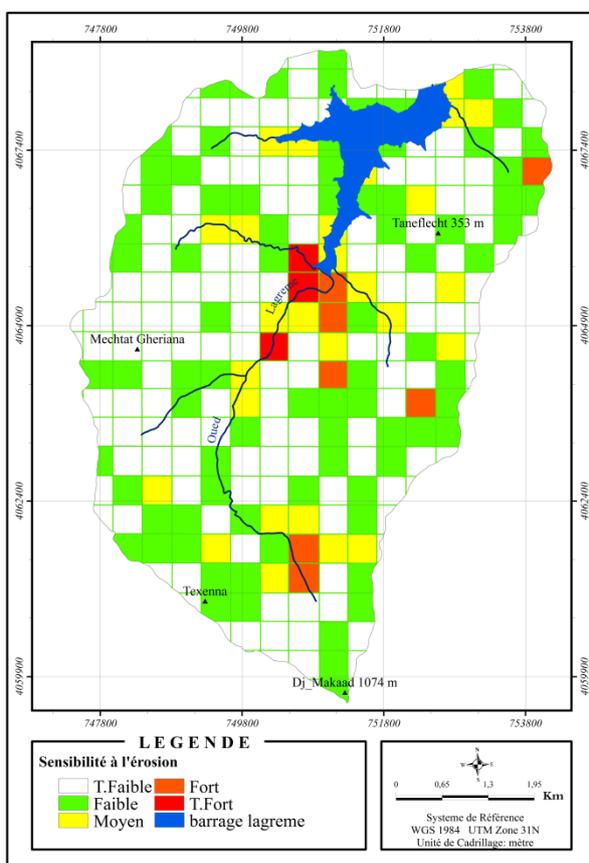
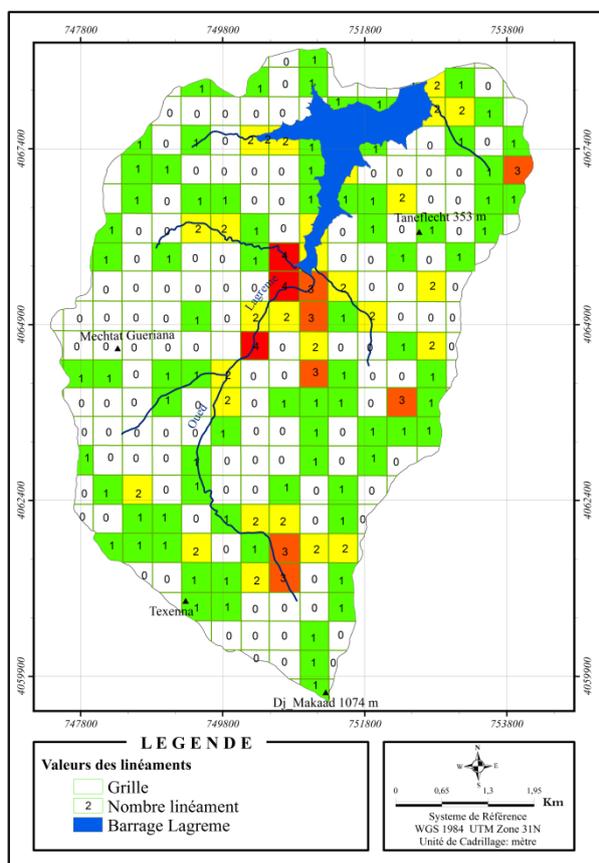


Tableau 97. Bassin versant d'oued Lagreme : *Indice attributaire en fonction du nombre des linéaments*

Nombre des linéaments	Indice attributaire
1	1
2	2
3	3
> 4	4

À propos de ce sujet, quatre classes des linéaments ont été effectués (Tableau 98) selon leurs degrés de sensibilité à l'érosion : faible, moyenne, forte et très forte.

Tableau 98. Bassin versant d'oued Lagreme : *Classes des linéaments en fonction de leurs sensibilités à l'érosion*

Nombre de linéament	Classes des linéaments	Superficie (km ²)	%	Code attribut	Sensibilité à l'érosion
1	1	12.29	32.44	1	Faible
2	2	4.09	10.80	2	Moyenne
3	3	1.19	3.15	3	Forte
Plus 4	4	0.52	1.37	4	T.Forte

D'après le tableau 98 et figure 98, on distingue le classement suivant :

- la classe linéamentaire faible s'étale sur une superficie de 12.29 km²
- la classe linéamentaire moyenne occupe une superficie de 4.09 km² soit 10.80% de la zone d'étude.
- la classe forte couvre 1.19 km².
- et 0.52 km², soit 1.37 % du terrain d'étude pour la classe des linéaments très forts.

IX.2.2. Evaluation du risque érosion hydrique bassin versant oued Kissir

Dans l'étude suivante, six paramètres déterminant le risque érosion hydrique seront considérés comme précédemment.

A) Facteur « pente »

La diversité des caractéristiques morphologiques notamment les pentes à l'échelle des bassins versants met en évidence des variations des intensités de ruissellement auquel est associé

un degré d'érosion correspondante. Le bassin versant de l'oued Kissir présente une topographie accidentée et contrastée, variant progressivement du nord vers le sud, l'altitude accroit de 10 m jusqu'à 1524 m.

Tableau 99. Bassin versant d'oued Kissir : *Classes des pentes en fonction de leurs sensibilités à l'érosion*

Classes des pentes	Superficiel (km ²)	%	Code attribué	Sensibilité à l'érosion
0 – 12.5	15.78	15.15	1	Faible
12.5 – 25	28.81	27.65	2	Moyen
25 – 35	24.72	23.73	3	Fort
+ 35	34.88	33.47	4	Tres fort
Totalité de la zone d'étude	104.19	100	-	-

Généralement, le facteur pente possède une forte gravité face à l'érosion. Le tableau 99 et figure 99 ci-dessus nous a permis de distinguer quatre classes des pentes selon leurs degrés de sensibilité à l'érosion (faible, moyenne, forte et très forte).

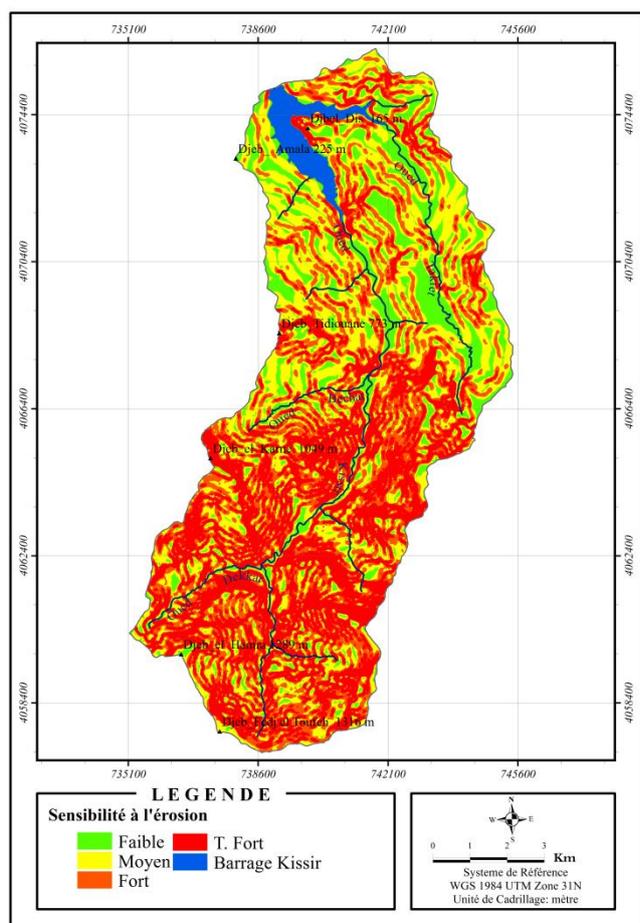


Figure 100. Bassin versant de l'oued Kissir : *Les pentes et sensibilités à l'érosion*

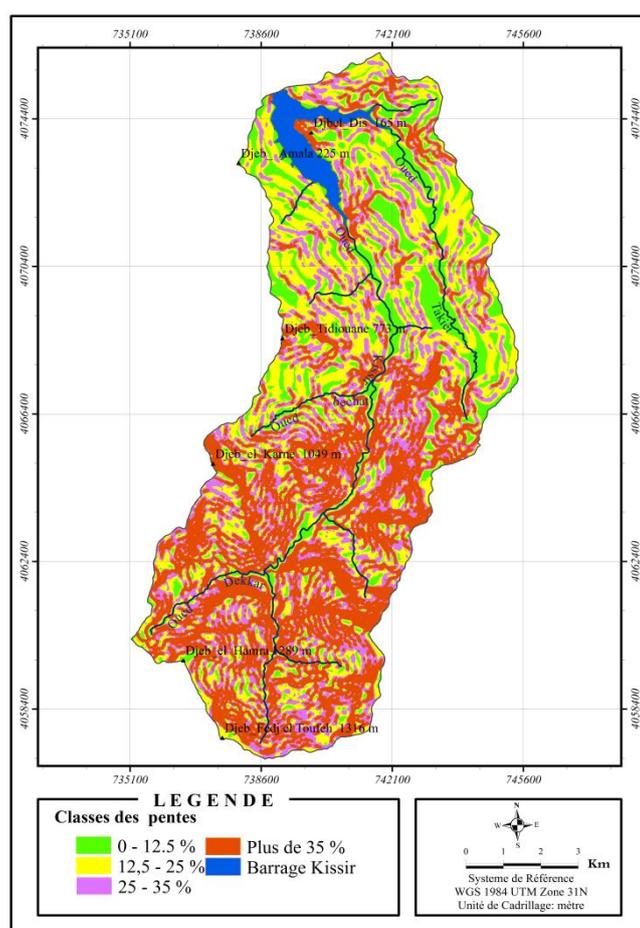


Figure 99. Bassin versant d'oued Kissir : *Classes des pentes*

La carte des pentes du bassin versant de l'oued Kissir figure 100 élaborée à partir de la carte topographique au 1/25000 à l'aide du logiciel ArcGis, indique que :

- La classe des pentes +25% (forte et très forte) couvre l'essentiel la formation lithologique « nappe maurétannienne », avec une superficie de l'ordre de 69.65 km², soit 55.83 % de la totalité du bassin versant.

Par ailleurs on distingue :

- 15.78 km² soit 15.15% de la zone d'étude pour la classe faible de 0 à 12.5%.
- 28.81 km² soit 27.65% du terrain d'étude pour la classe moyenne entre 12.5 et 25%.
- 24.72km² soit 23.73% pour la classe forte de 25 à 35%
- et finalement 34.88 km² soit 33.47% pour la classe très forte de 35 %.

B) Facteur « lithologie »

Les formations lithologiques prédominant dans la zone d'étude, sont les formations de la nappe maurétannienne (grès durs) située dans la partie sud-ouest du bassin, et les formations lithologiques à caractère olistostromiques (blocs de grés).

Les caractéristiques géologiques (lithologie, structure tectonique) du bassin versant de l'oued Kissir, ont une forte influence sur la structure et le canevas du réseau hydrographique notamment la fréquence de talweg, la densité de drainage et par conséquent le degré d'érosion.

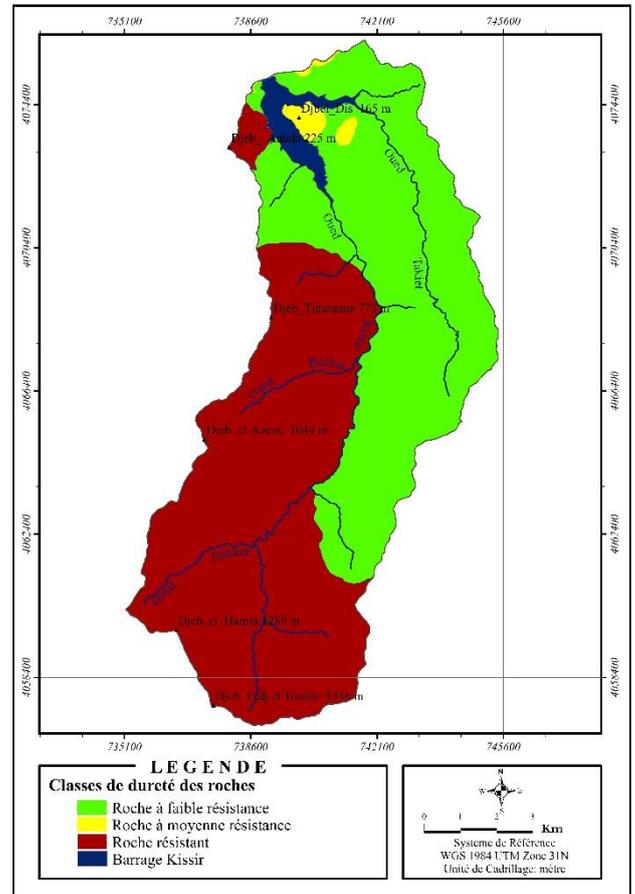
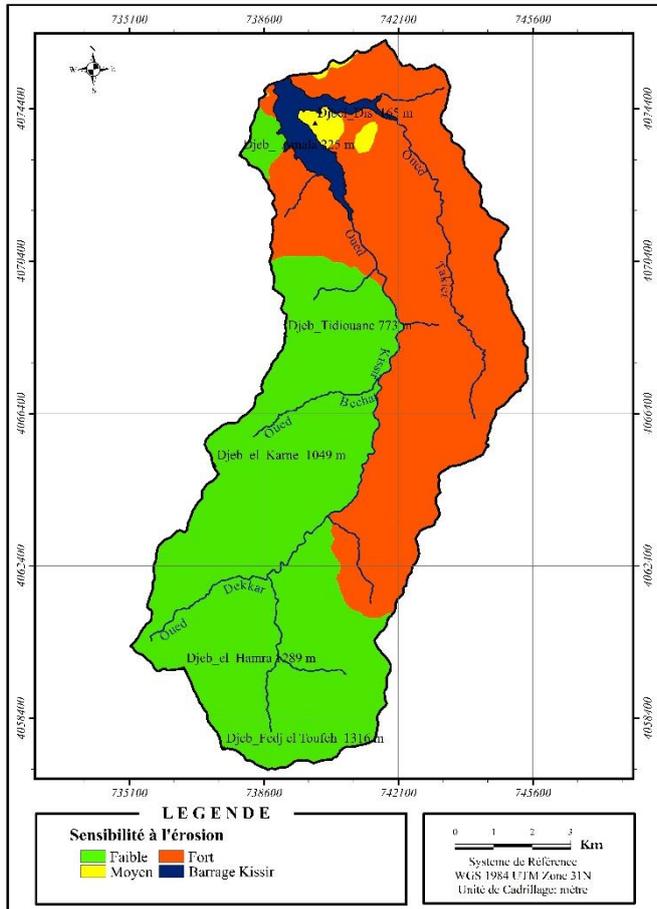
Tableau 100. Bassin versant d'oued Kissir : *Classes des formations lithologiques en fonction de leurs sensibilités à l'érosion*

Classes des formations lithologiques	Superficie (km²)	%	Code attribut (indice)	Sensibilité à l'érosion
Nappe maurétannienne (grès dur)	55.50	53.27	1	faible
Flysch grés-micacé Grés numidien	1.37	1.31	2	moyenne
Olistostrome Eboulis de pente alluvions	47.32	45.42	3	forte

D'après le tableau 100 et figure 101 ci-dessus, on distingue trois grandes sections lithologiques couvrant la zone d'étude :

- section des formations lithologiques de la nappe maurétannienne (grès dur),
- section des flyschs grés-micacés et les grés numidiens
- et finalement la section de l'olistostrome, éboulis de pente et les alluvions

L'ensemble de ces formations lithologiques nous permet de concéder un indice de sensibilité à l'érosion à chaque section ordonnant le secteur étudié. Trois classes selon une sensibilité progressive à l'érosion, faible, moyenne, et forte ont été ainsi établies.



À propos de la sensibilité des terrains en fonction des formations lithologiques qui affleurent dans le bassin de l'oued Kissir figure 102, trois classes ont été déterminées (faible, moyenne et forte).

- 53.26% de la zone d'étude pour la classe faible
- 1.32% de la zone d'étude pour la classe moyenne
- Et plus de 45 % pour la classe forte.

C) Facteur « précipitations »

Le pouvoir érosif dépend de l'intensité de la pluie, plus l'intensité est forte, plus le risque érosif est élevé (H, EL H, Hassan et al. 2015).

Les facteurs climatiques notamment les précipitations (figure 103) jouent un rôle important dans l'équation générale qui définit l'érosion hydrique dans les bassins versants. La quantité importante des précipitations enregistrées dans la zone d'étude, joue un rôle fondamental dans l'accroissement du risque érosion hydrique notamment dans la partie amont du bassin versant en question.

Tableau 101. Bassin versant d'oued Kissir : *Classes des précipitations en fonction de la sensibilité à l'érosion*

Classe des précipitations	Superficie (km²)	%	Code attribut (indice)	Sensibilité à l'érosion
1000 - 1400 mm	62.15	59.65	2	moyenne
1400 - 1600 mm	29.45	28.27	3	forte
1600 – 1800 mm	12.59	12.08	4	Très forte

Au sujet du facteur précipitation en fonction de sensibilité à l'érosion tableau (101) trois classes ont été effectuées (moyenne, forte et très forte). Ses différentes classes des précipitations nous ont permis par la suite d'établir des indices pour chaque classe :

- indice 2 pour la classe moyenne (1000 - 1400 mm)
- indice 3 pour la classe forte (1400 - 1600 mm)
- indice 4 pour la classe très forte (1600 – 1800 mm)

Selon (Anonyme. 1997), l'analyse du climat sera établie à partir de plusieurs paramètres notamment les précipitations et les températures qui représentent les facteurs les plus importants, de par leur moyenne annuelle, et leur répartition spatio-temporelle.

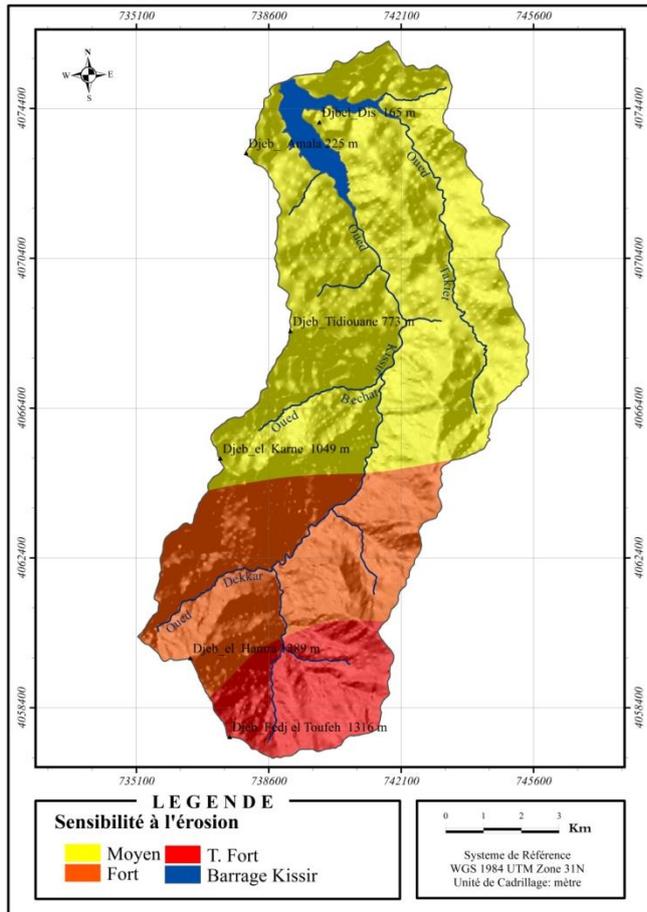


Figure 104. Bassin versant de l'oued Kissir. *Précipitations et sensibilités à l'érosion*

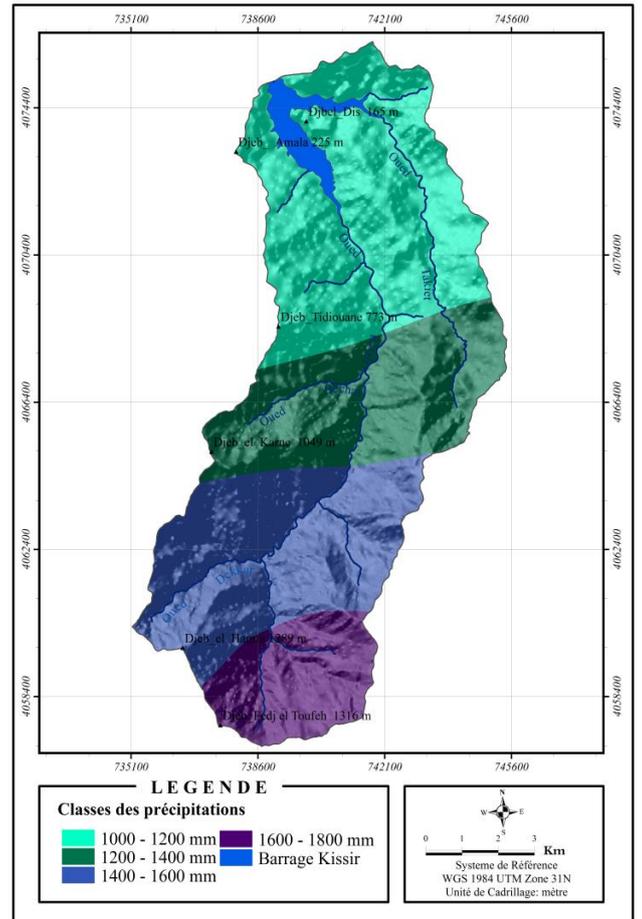


Figure 103. Bassin versant d'oued Kissir. *Classes des précipitations*

La carte de sensibilité à l'érosion figure 104 renferme trois zones :

- zone à sensibilité moyenne observée au nord, elle occupe 59.65% de la région étudiée.
- zone à sensibilité forte s'étale sur une superficie de l'ordre de 29.45 km² soit 28.27% du secteur.
- zone à sensibilité très forte est représentée dans la partie sud de la zone étudiée avec 12.08% de la région.

D) Facteur « écoulement »

La carte d'écoulement (figure 105) donne une estimation des lames d'eaux moyennes annuelles écoulées en surface dans le nord-est algérien. Elle est basée sur l'utilisation d'un modèle hydrologique calé sur les observations de 70 stations de jaugeages. Ce modèle a ensuite été utilisé pour reconstituer à partir des pluies, les débits à l'échelle mensuelle sur les périodes : septembre 1965 à août 2002.

D'après le tableau (102) ci-dessous, le bassin versant de l'oued Kissir est caractérisé par des classes d'écoulement variées de 300 mm 3% jusqu'à plus 500 mm.

Tableau 102. Bassin versant d'oued Kissir : *Classes d'écoulements en fonction de leurs sensibilités à l'érosion*

Classes d'écoulements	Superficie (km ²)	%	Code attribut (indice)	Sensibilité à l'érosion
300 - 400 mm	25.09	24.08	2	Moyenne
400 – 500 mm	31.18	29.93	3	forte
> 500 mm	47.92	45.99	4	Très forte

Selon (Roche, M. 1963 et Strahler, A. N. 1964) les conditions climatiques conditionnent les fonctionnements du bassin versant notamment ses caractéristiques physiques qui influencent les écoulements.

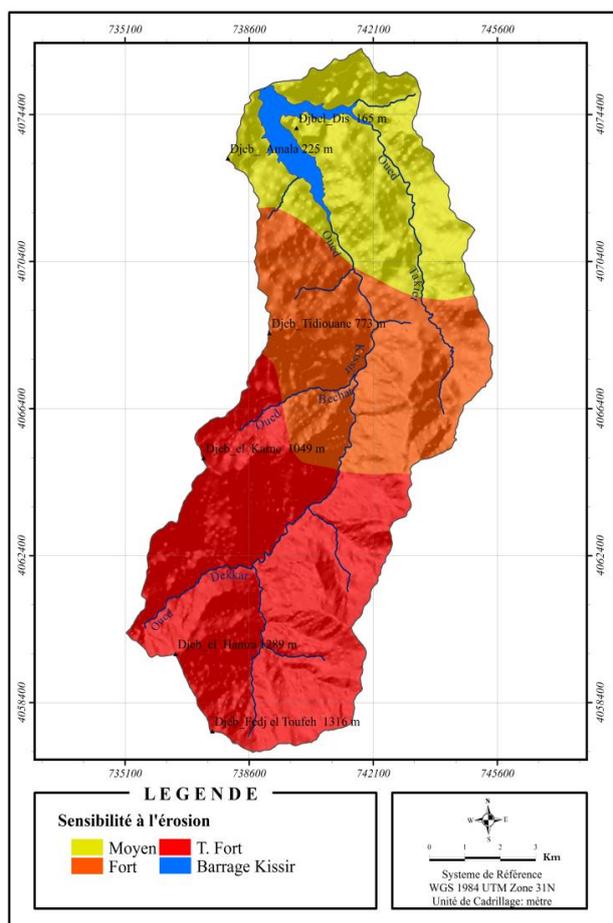


Figure 106. Bassin versant de l'oued Kissir : *Écoulement et sensibilités à l'érosion*

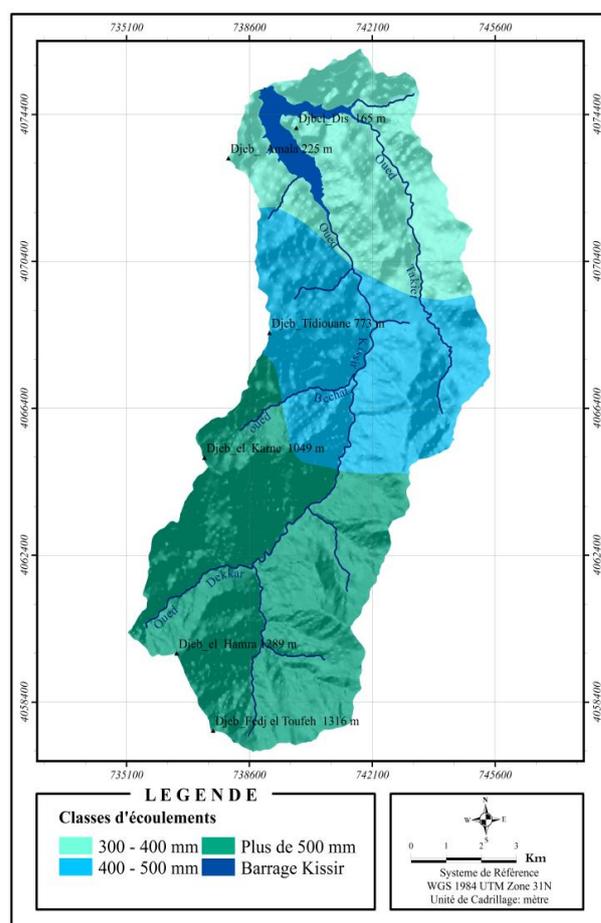


Figure 105. Bassin versant d'oued Kissir : *Classes d'écoulements*

Au sujet du facteur de l'écoulement face à l'érosion dans le bassin versant de l'oued Kissir figure 106 on peut différencier trois classes :

- la classe d'écoulement moyenne occupant une superficie de 25.09 km² soit 24.08% de la zone d'étude.
- la classe d'écoulement forte occupant une superficie de 31.18 km² soit 29.93% de la zone d'étude.
- et 47.92 km², soit 45.99% du terrain d'étude pour la classe d'écoulement tres forte.

E) Facteur « végétation »

La carte d'occupation des sols de la wilaya de Jijel modifiée et actualisée par la délimitation des nouvelles zones d'activités (terre nue, cultures, foret) figure 107 à l'aide des logiciels (ArcGis) et (Easay Map) sur l'image satellitaire google eath professional et les obsevation du terrain (GPS) par la suite, a permis d'établir quatres classes d'occupation des sols selon leurs degrés de sensibilité face à l'érosion.

- classe à faible sensibilité (indice 1) concerne les zones caractérisées par une végétation dense (Forêt de Guerrouche).
- classe à moyenne sensibilité (indice 2) représentant les maquis clairs.
- classe à forte sensibilité (indice 3) représentant les bandes de culture.
- et finalement la classe à très forte sensibilité (indice 4) caractérise les sols nus.

Tableau 103. Bassin versant d'oued Kissir : *Classes d'occupation des sols en fonction de leur sensibilité à l'érosion*

Occupation des sols	Classes d'occupation des sols	Superficie (km²)	%	Code attribut	Sensibilité à l'érosion
Foret dense Maquis dense	Végétation dense	70,43	67,60	1	faible
Forêt claire Maquis clair	Végétation à moyenne densité	19,18	18,41	2	moyenne
Culture	Végétation à faible densité	7,15	6,86	3	forte
Terrain nu	Terrain nu	7,34	7,05	4	très forte
Bati	Bati	0,09	0,08	-	-
Total	-	104.19	100	-	-

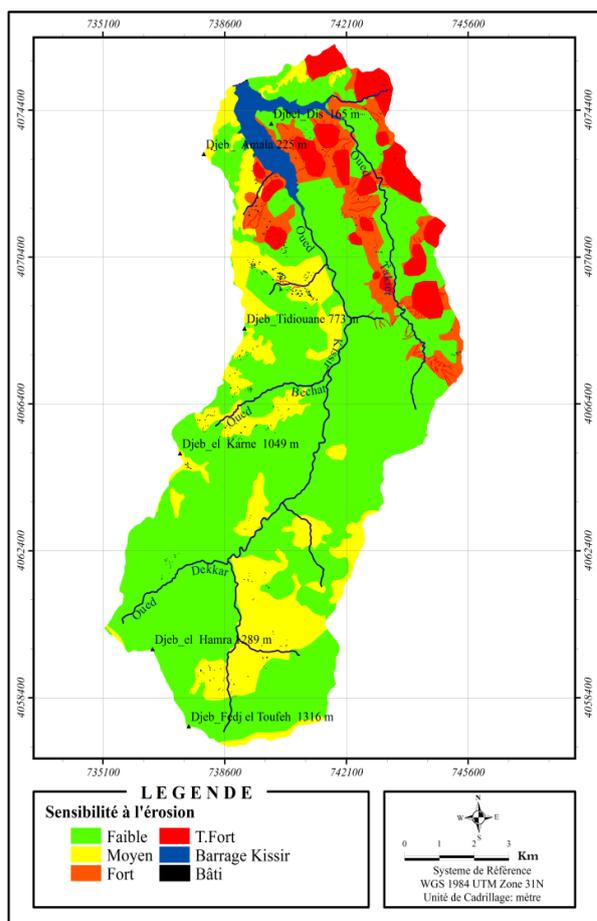


Figure 108. Bassin versant de l'oued Kissir : *Occupation des sols et sensibilité à l'érosion*

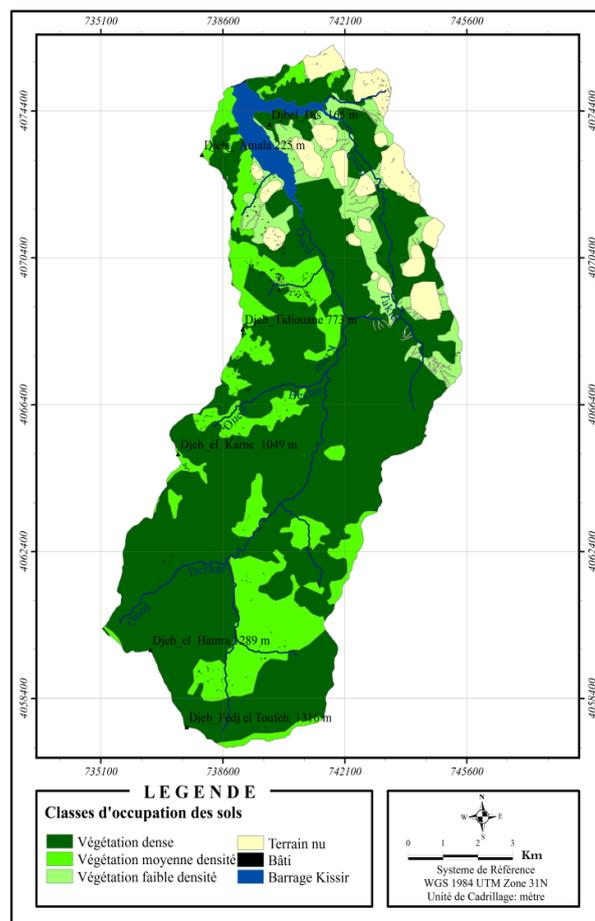


Figure 107. Bassin versant d'oued Kissir : *Classes d'occupation des sols*

L'ensemble de ces classes d'occupation des sols tableau (103), nous permet d'attribuer un indice de sensibilité à l'érosion à chaque section de classe du secteur étudié. Quatre classes suivant une sensibilité croissante à l'érosion, faible, moyenne forte et très forte ont été établies par la suite.

D'après la figure 108, quatre zones de sensibilité à l'érosion ont été distinguées :

- zone à végétation dense représentant 70.43 km² soit 67.60%. La zone de sensibilité à l'érosion très forte en fonction du facteur occupation des sols couvre l'essentiel la partie amont du secteur (forêt de Guerrouche), la végétation y est très dense diminuant suffisamment le risque « érosion » dans cette zone.
- La zone de sensibilité moyenne (indice 2) couvre 19.18 km², elle s'observe au sud et sud-oued du secteur. Cette classe englobe pour l'essentiel les maquis clairs.

- La forte sensibilité (indice 3), s'étale sur une superficie de l'ordre de 7,15 km², elle englobe généralement les aires des cultures notamment dans la partie Nord-est de la zone étudiée.
- Et finalement la zone à sensibilité très forte (indice 4), elle représente 7,05% de la zone étudiée et concerne les terrains nus caractérisés par des classes des pentes fortes et un substratum très sensibles à l'érosion (molasse).

F) Facteur « linéaire »

La carte linéaire (figure 109) ci-dessus du bassin versant de l'oued Kissir, permet d'estimer les principales classes linéaires affectant la zone étudiée. Un découpage de la zone d'étude en mailles régulières de (400 m×400 m) a été effectué. Pour notre travail, la grille couvrant la zone d'étude comporte des mailles régulières de 400 mètres de coté.

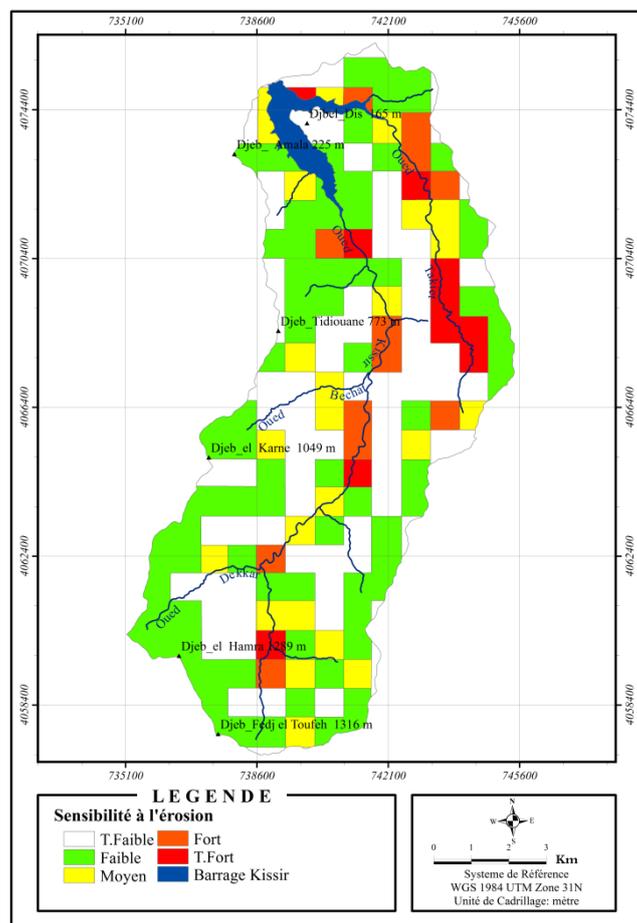
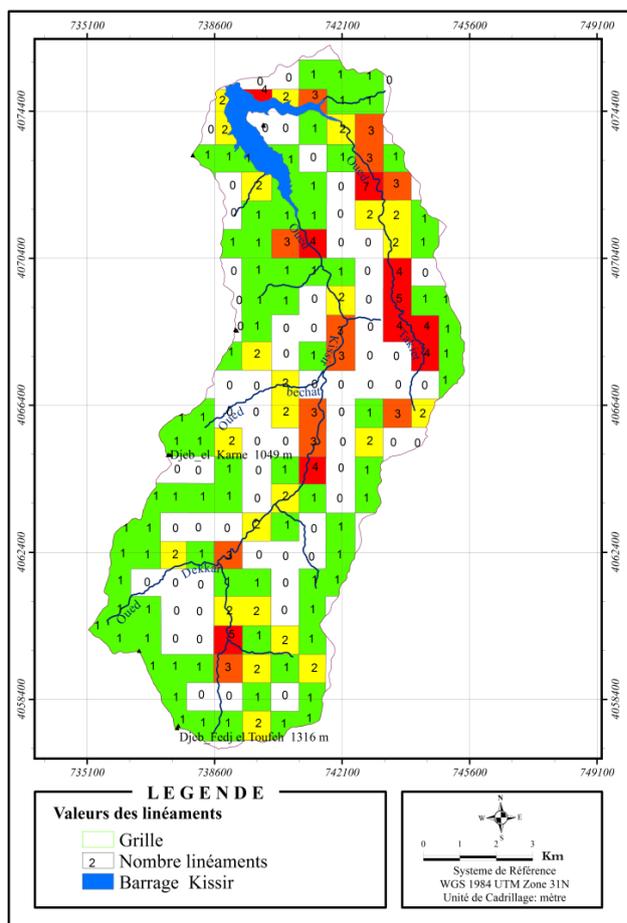


Figure 10. Bassin versant de l'oued Kissir :
Référence des valeurs et classes
linéaires sur la grille examinée

Figure 109. Bassin versant de l'oued Kissir :
Linéaments et sensibilité à l'érosion

L'estimation des classes des linéaments, ainsi que le degré de sensibilité à l'érosion en fonction du paramètre linéament est basée sur le nombre de linéaments calculés dans chaque maille (cellule).

- Pour une cellule possédant un linéament l'indice attributaire = 1
- Pour une cellule possédant deux linéaments l'indice attributaire = 2
- Pour une cellule à trois linéaments l'indice attributaire = 3
- Pour une cellule comporte plus de quatre linéaments l'indice attributaire = 4

Les différentes classes linéamentaires de la zone étudiée sont regroupées dans le tableau 122 ci-dessous :

Tableau 104. Bassin versant d'oued Kissir : *Classes des linéaments en fonction de leurs sensibilités à l'érosion*

Nombre de linéaments	Classes des linéaments	Superficie (km²)	%	Code attribut	Sensibilité à l'érosion
1	1	41.43	39.76	1	Faible
2	2	13.37	12.83	2	Moyenne
3	3	6.90	6.83	3	Forte
Plus 4	4	5.43	5.21	4	T.Forte

La carte de sensibilité à l'érosion en fonction du facteur linéaments figure 110 et tableau 104, comporte quatre zones :

- zone à sensibilité faible, elle s'observe sur l'ensemble du territoire et occupe 39.76 % de la région étudiée.
- zone à sensibilité moyenne, elle occupe 12.83% de la région étudiée.
- zone à sensibilité forte s'étale sur une superficie de l'ordre de 6.90 km² soit 6.83% de secteur étudié.
- la classe très forte couvre 5.43 km².
- la classe très faible : elle est considérée comme zone hors codification.

Conclusion

Pour accéder aux objectifs cités dans cette étude notamment la spatialisation de degrés du risque érosion dans les bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir, nous avons appliqué un système d'information géographique à l'aide du logiciel Arc Gis

De ce fait, notre travail est fondé sur six paramètres déterminants cités précédemment: pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols et linéaments.

Cette étude a permis finalement de nous renseigner sur les propriétés géomorphologiques et morphométriques telles la lithologie, la morphologie, le climat et la végétation des bassins versants des deux oueds de Kissir et Lagreme.

L'exploitation des différentes banques des données numérisées sur les bassins versants objets d'étude, a permis l'établissement de la carte finale de sensibilité à l'érosion.

Chapitre :X

Cartographie et spatialisation du degré de risque érosion

X. Cartographie du degré de risque érosion dans les bassins versant des deux oueds Lagreme et Kissir

X.1. Introduction

Le présent travail a pour but d'établir une carte de sensibilité des sols à l'érosion sur les bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir. L'équation universelle qui définit le risque s'écrit comme suit :

$$\text{Aléas} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Enjeux} = \text{Risque}$$

- **Aléas** : Probabilité d'occurrence d'un phénomène de nature et d'intensité donnée.
- **Enjeux** : ensemble des personnes, des biens, moyens, patrimoines, etc., susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.
- **Vulnérabilité** : exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux, des préjudices humains aux dommages matériels.

En réalité, la vulnérabilité des sols peut être définie comme leurs fragilités face aux agressions extérieures telles que le climat et les actions anthropiques. Elle dépend donc des facteurs intrinsèques et extrinsèques. Elle peut être hiérarchisée en fonction de degré d'exposition au risque. L'érosion des sols dépend ainsi de nombreux facteurs (Boughalem, K. 2013).

La désignation est faite en nous fondons sur des travaux liés au phénomène d'érosion (Morsli, B et al., 2004, Roose, E et al., 1996 ; Boughalem, K. 2013).

Selon Boughalem, K. (2013) pour la majorité des auteurs, les facteurs déterminants de l'érosion sont : les précipitations, lithologie, topographie et végétation. En effet, les précipitations constituent l'élément climatique essentiel par leur variabilité spatio-temporaire aussi bien annuelle que mensuelle. Ce sont les gouttes des pluies et les eaux de ruissellement sur les terrains en pente qui favorisent la fermeture du sol et la formation de croute de battance.

La cartographie des formes de l'érosion est couramment utilisée comme base pour déterminer les mesures de conservation du sol (Vog, H. 1991). Elle fournit les bases de l'évaluation des causes, de l'état actuel, de l'intensité et tendances de l'érosion, on peut également en faire un outil pour la connaissance des rapports entre les facteurs et les aléas d'érosion (okoth, P, F. 2003).

L'organigramme maintenu dans cette étude est constitué de 3 étapes :

- a) **Phase de collecte des données** : cette phase consiste à déterminer les types ainsi que la fiabilité des données exigées pour notre étude. Le tableau 105 ci-dessous renferme les différentes données et sources des données appliquées dans les différentes étapes

d'analyse thématiques et analyse spatiales des deux bassins versants oued Lagreme et Kissir.

Tableau 105. Bassin versants oued Lagreme et Kissir : *Données appliquées en analyse thématique et géotraitement*

Types des données	Caractéristiques des donnés	Source
Cartes topographiques	Echelle 1/25000 Jijel_NJ-31-VI-23-est Texenna_NJ-31-VI-41-est Texenna_NJ-31-VI-42-Ouest	INC (Alger)
Carte géologique Durand Dulga	Echelle 1/100000 Nord-est algerien (modifiée)	INC (Alger)
MNT	Efféctué à l'aide du logiciel Arc Gis	Document de référence carte topographique 1/25000
Carte d'occupation des sols	Zone de jijel (modifiée)	Conservation des forêts wilaya de jijel
Carte des hauteurs des précipitations annule	nord-est algérienne.	GTZ dans le cadre de la coopération algéro-allemande Mars2003
Carte d'écoulement	Nord-est algérienne.	GTZ dans le cadre de la coopération algéro-allemande Mars2003
Observation sur terrain	Carte d'inventaires des mouvements de masse	GPS

a) Phase d'analyse cartographique et thématique

Dans cette phase plusieurs analyses et traitements des données notamment les données cartographiques et thématiques ont été réalisé à l'aide d'un SIG. Les différentes opérations d'analyse, structuration, digitalisation sur Arc Gis, nous ont permis d'effectuer finalement des bancs des donnes numérisées et des cartes géoréférenciers suivantes :

- Carte de sensibilité à l'érosion en fonction des pentes
- Carte de sensibilité à l'érosion en fonction de la lithologie
- Carte de sensibilité à l'érosion en fonction des hauteurs des précipitations
- Carte de sensibilité à l'érosion en fonction des écoulements
- Carte de sensibilité à l'érosion en fonction de l'occupation des sols
- Carte de sensibilité à l'érosion en fonction des linéaments

b) Phase d'analyse spatiale et géotraitement

La cartographie du degré du risque érosion a été effectuée sur le principe de la superposition (Intersect) des différentes cartes élaborées précédemment à l'aide d'un système d'information géographique. Dans cette étude, nous avons utilisé un modèle qualitatif (multifactoriel). Il est appliqué à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) par la combinaison logique de différents facteurs pris dans l'ordre de leur importance vis-à-vis du phénomène d'érosion des sols, (Le Bissonnais et al., 2002).

X.2. Cartographie du degré de risque érosion dans le bassin versant d'oued Lagreme

Pour apprécier la problématique dans cette étude, la méthode adoptée dans ce notre travail est basé sur le modèle qualitatif développé par la (FAO-UNEP 1997) (Negotiating a Sustainable Future for Land. Structural and Institutional Guidelines for Land Resources Management in the 21st Century, FAO/UNEP, Rome) dans le cadre d'un plan d'action pour la Méditerranée. Cette méthode développée par les chercheurs du conseil national de la recherche scientifique-Liban (CNRS) combine différents facteurs : pente, occupation des sols, climat, etc...dont le poids peut être pondéré (Cerdan et al, 2006).

La règle de codification adoptée dans cette analyse spatiale (tableau 126) a permis de classer la sensibilité de l'érosion en 4 quatre classes : (1) faible, (2) moyen, (3) fort et (4) très fort.

La méthodologie utilisée dans cette étude est le croisement de paramètres sous forme de combinaison logique (Boukhier, R et al, 2001 ; N'dri, B, E et al. 2008). Donc le SIG nous permet de traiter de multiples données, et de guider les étapes de géotraitement et d'analyse spatiale pour les différents facteurs ayant impact sur l'érosion.

Pour ressentir les fonctions de l'érosion dans la zone d'étude, nous avons adopté la démarche suivante :

- Classification par ordre décroissant des paramètres ayant impact sur l'érosion à l'échelle spatiale selon des codes et des indices : très fort = 4, fort = 3, moyen = 2 et très faible = 1. Cette hiérarchisation est fondée sur les travaux de (Garcia, J., Ruiz, et al. 1996).
- Structuration des données sous formes des cartes thématiques dans l'outil SIG à l'ide du logiciel ArcGis.
- Combinaison des différentes cartes en appuyant sur les codes attribués pour chaque paramètre.
- L'assemblage des indices a permis finalement d'établir une carte de sensibilité à l'érosion pour la zone étudiée.

La première étape de notre étude consiste à citer les facteurs les plus représentatifs intervenant dans le phénomène de l'érosion hydrique tels l'inclinaison de la pente, lithologie, précipitation, écoulement, occupation des sols exprimée par le couvert végétal et finalement les linéaments.

L'utilité de notre démarche réside et s'appuie sur l'apport des paramètres sous forme des données localisables par l'exploitation d'un SIG, permettant de spatialiser et caractériser le degré de vulnérabilité de l'érosion hydrique dans la zone étudiée.

L'approche adoptée dans cette étude, consiste à intégrer les données numérisées précédemment citées sous forme de couches dans le SIG. Ces couches sont ensuite reclassées qualitativement sous forme d'un indicateur de sensibilité en fonction de leur contribution au phénomène d'érosion (Chevalier, P et al., 2001 ; Soti, v. 2003).

Notre travail, est basé sur une approche systémique cartographique à l'aide d'un système d'informations géographiques(SIG) qui admet la localisation du degré de risque érosion hydrique dans les deux bassins objet de cette étude.

Le tableau 106, ci-dessous synthétise les différentes valeurs des codes attribuées des six paramètres introduits dans l'analyse cartographique et le géotraitement.

Tableau 106. Bassins versants oued Lagreme et Kisisr : *Classes et codes attribuées des paramètres utilisés dans l'analyse cartographique (combinaisons des facteurs).*

pente		Lithologie		précipitations	
Classe	Code attribué	Classe	Code attribué	Classe	Code attribué
Faible	1	Faible	1	Faible	1
Moyenne	2	Moyenne	2	Moyenne	2
Forte	3	Forte	3	Forte	3
Très forte	4	Très forte	4	Très forte	4
Écoulements		Végétations		Linéaments	
Classe	Code attribué	Classe	Code attribué	Classe	Code attribué
Faible	1	Très forte	4	Faible	1
Moyenne	2	Moyenne	3	Moyenne	2
Forte	3	Forte	2	Forte	3
Très forte	4	Faible	1	Très forte	4

A- Carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie

La carte multifactorielle (combinant pente et lithologie), figure 111 a été établie par la combinaison de la carte de la sensibilité à l'érosion pentes et la carte de la sensibilité à l'érosion de lithologie. Le traitement des données (tableau 107) a été effectué à l'aide du logiciel ArcGis, notamment la numérisation des différentes cartes introduites dans le géotraitement.

Pour mieux présenter cette analyse des indices ont été introduits aux différentes classes au sein de chaque opération.

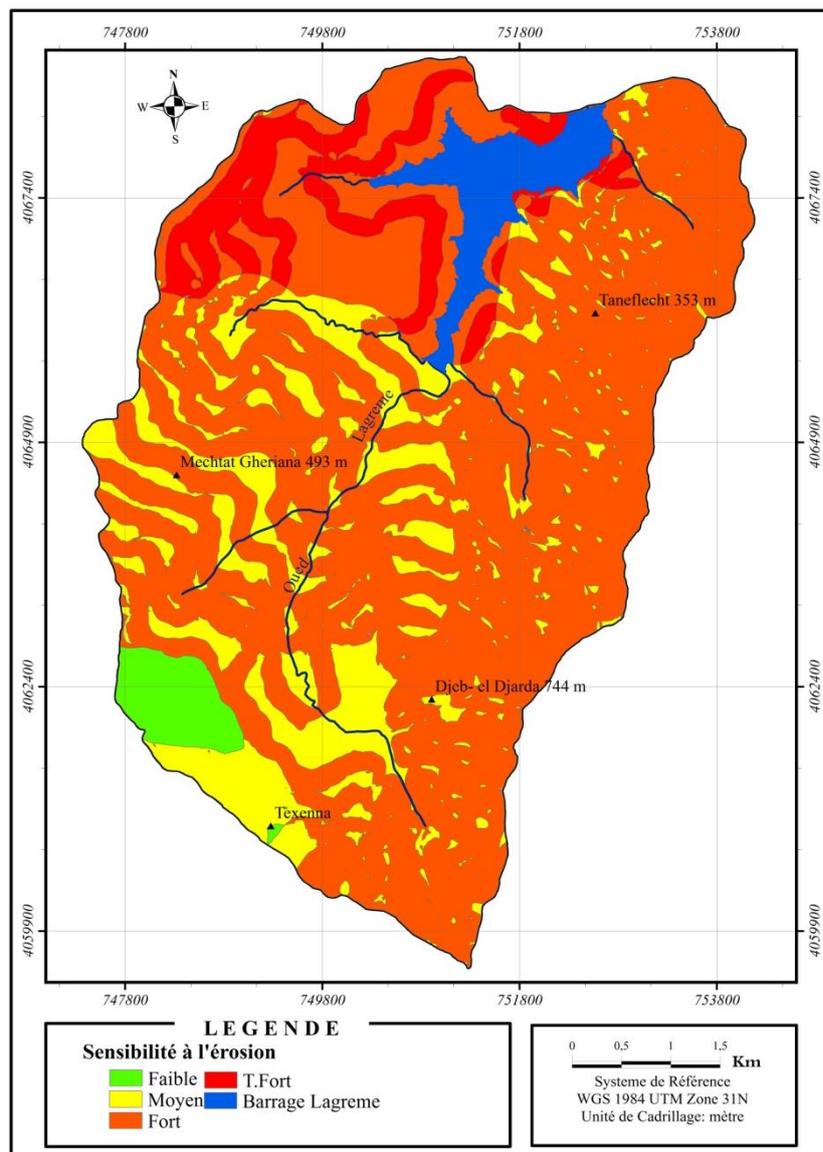


Figure 111. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie)*

Tableau 107. Bassin versant oued Lagreme : **Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie**

		Sensibilité à l'érosion pente				
		0 – 12.5	12.5 - 25	25 -35	> 35	
		faible	moyen	Fort	Très fort	
		1	2	3	4	
Sensibilité à l'érosion Lithologie	roche résistante	1	1	1	1	1
	Roche résistante moyenne	2	1	2	2	2
	Roche résistante faible	3	2	3	3	3
	Roche résistante très faible	4	3	4	4	4

L'examen de tableau 108 et figure 124, montrent que la carte multifactorielle (pente, lithologie) en fonction de leur sensibilité à l'érosion du bassin versant de l'oued Lagreme, présente quatre classes :

Tableau 108. Bassin versant d'oued Lagreme : **Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente lithologie)**

Classes de Sensibilité à l'érosion	Superficie (km ²)	%	Code attribut (indice)
Faible	0.99	02.61	1
Moyenne	06.51	17.20	2
Forte	27.46	72.51	3
T.Forte	02.91	07.68	4

- La classe faible, défavorable à l'érosion : roche résistante occupe une superficie de 0.99 km² soit 2.61% de la totalité de la zone d'étude.
- La classe moyenne, elle est légèrement favorable à l'érosion avec 6.51 km² soit 17.20 % de la totalité de la zone étudiée.

- La classe forte favorable à l'érosion, s'observe sur les classes de pentes moyennes avec un substratum arène gneissique et olistostromique. Cette classe s'étend sur 27.46 km² soit 72.51% de la zone étudiée.
- Et finalement la classe très forte très favorable à l'érosion (02.91km²); elle couvre la partie Nord-est du secteur étudié essentiellement sur des terrains à substratum marneux.

B- Carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie et précipitations

L'application des règles de décision présentées dans le tableau 109 ci-dessous a permis d'établir une carte de sensibilité à l'érosion figure 112 pour le secteur étudié.

Les indices attribués introduits dans l'analyse au sein de cette opération sont regroupés dans le tableau 126 ci-dessous.

Tableau 109. Bassin versant oued Lagreme : *Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie et précipitations*

		Sensibilité à l'érosion précipitations	
		1000 – 1400 (mm)	1400 – 1600(mm)
		Moyen	Fort
		2	3
Sensibilité à l'érosion pente_Lithologie	1	1	1
	2	2	3
	3	3	3
	4	4	4

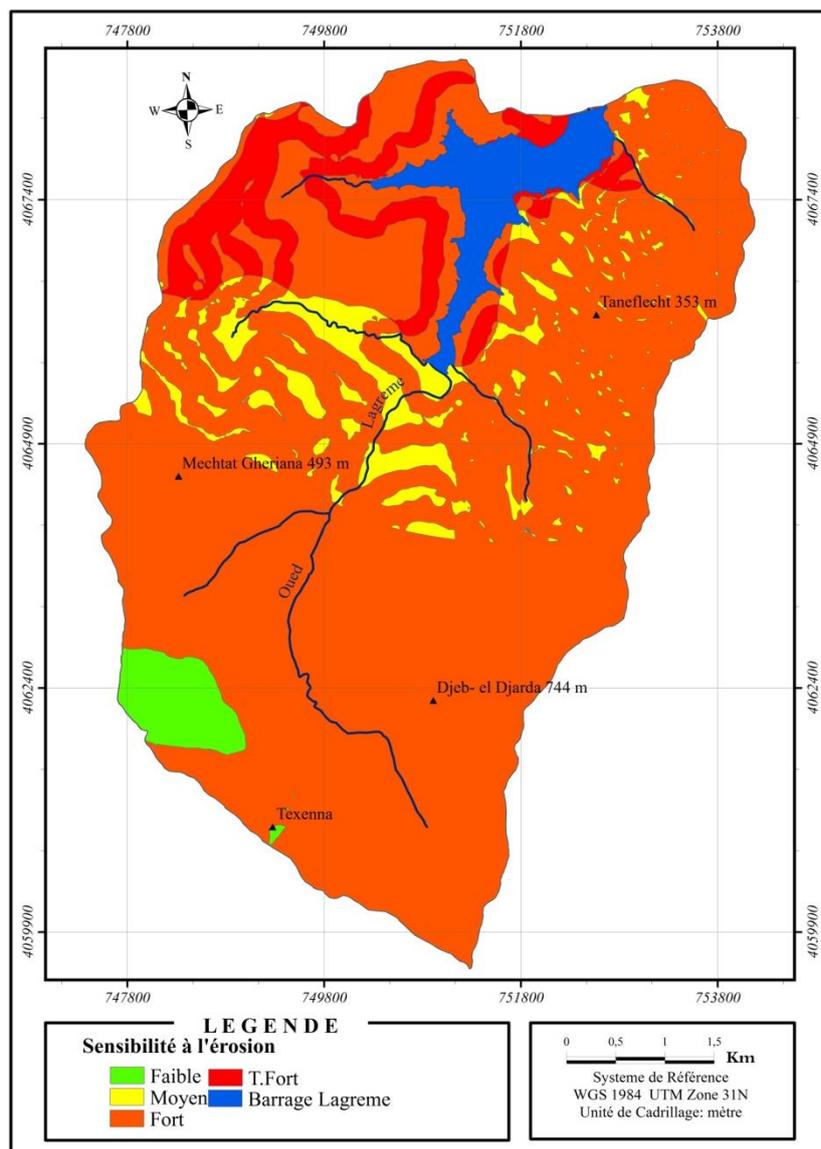


Figure 112. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie et précipitations)*

Tableau 110. Bassin versant d'oued Lagreme : *Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente lithologie et précipitations)*

Classes de sensibilité à l'érosion	Superficie (km ²)	%	Code attribut (indice)
Faible	0.99	2.62	1
Moyenne	2.45	6.48	2
Forte	31.52	83.22	3
T.Forte	2.91	7.68	4

Le tableau 110 ci-dessous montre que la carte multifactorielle (pente, lithologie, précipitation) en fonction de leur sensibilité à l'érosion distingue quatre zones :

- La zone de sensibilité faible de ces paramètres représente 2.62% de la zone d'étude et généralement concerne la partie sud-ouest du bassin versant de l'oued Lagreme.
- La zone de sensibilité moyenne couvre 6.48 % de la zone et réunit les terrains caractérisés par des pentes faibles.
- La zone de sensibilité forte englobe 31.52 km² soit 83.22 % de la zone d'étude. Elle englobe la totalité du bassin, et couvre largement les terrains caractérisés par un substratum marneux, arène gneissique très altérée et olistostrome.
- La zone de sensibilité très forte représente 27.68 % de la région et s'étale généralement sur les terrains marneux.

C- Carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements

La carte multicritères (pente, lithologie, précipitations, écoulements) en fonction de leur sensibilité à l'érosion figure 113 a été établie par la combinaison de la sensibilité à l'érosion pente, lithologie, précipitations et la carte de la sensibilité à l'érosion écoulement.

La méthode de codification adoptée dans cette analyse spatiale tableau 111 permet de classer la zone d'étude en 4 quatre classes : faible, moyen, fort et très fort.

Tableau 111. Bassin versant oued Lagreme : *Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements*

		Sensibilité à l'érosion en fonction de l'écoulement	
		300 – 400 (mm)	400 – 450(mm)
		moyen	fort
		2	3
Sensibilité à l'érosion pente_lithologie_ précipitations_	1	1	2
	2	2	3
	3	3	3
	4	3	4

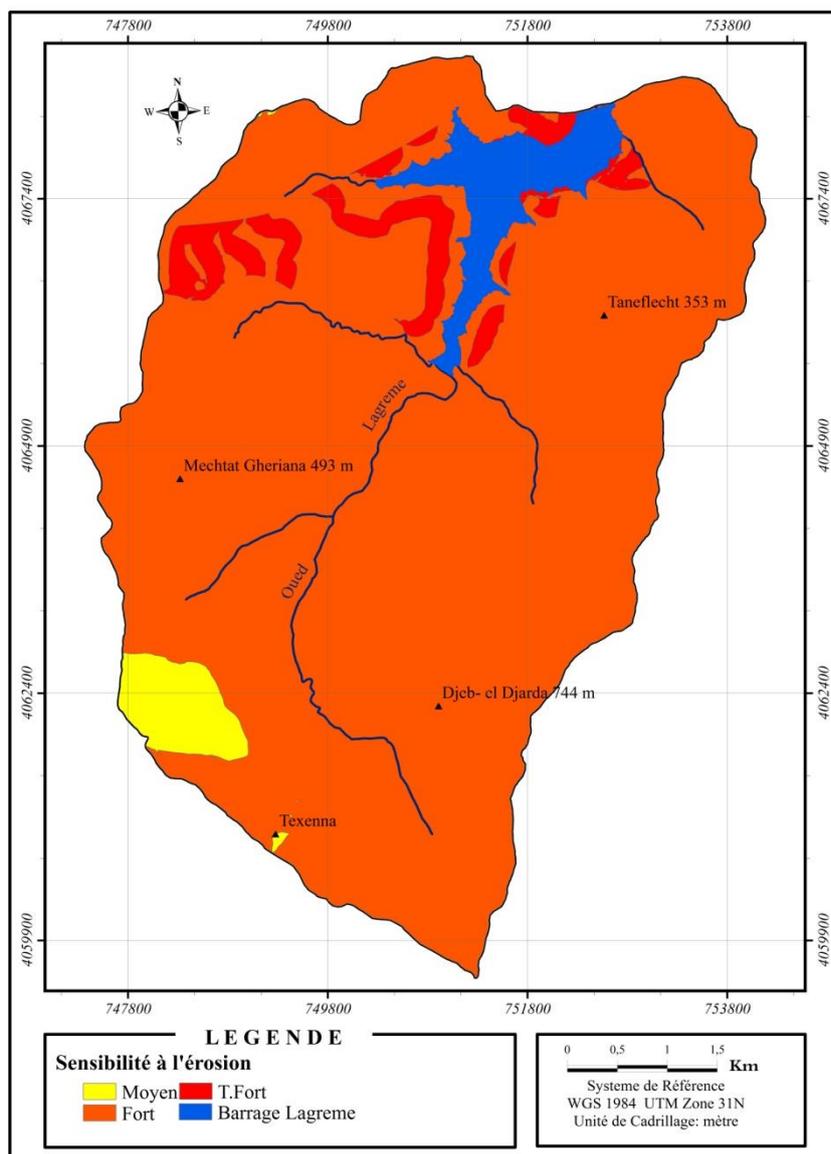


Figure 113. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements)*

Tableau 112. Bassin versant d'oued Lagreme : *Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente lithologie, précipitations et écoulements)*

Classes de sensibilité à l'érosion	Superficie (km ²)	%	Code attribut (indice)
Moyen	0.99	02.62	2
Fort	35.05	92.55	3
T.Fort	01.83	04.83	4

D'après le tableau 112 et la carte multifactorielle (pente, lithologie, précipitations, écoulement), figure 113 en fonction de leur sensibilité à l'érosion distingue trois zones :

- La zone de sensibilité moyenne en fonction de ces paramètres représente 02.62% de la zone d'étude.
- La zone de sensibilité forte occupe 35.05 km² soit 92.55% de la zone d'étude. Elle englobe la totalité de terrain d'étude.
- La zone de sensibilité très forte représente 04.83% de la région et s'étale généralement sur les terrains marneux.

D- Carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulement et occupation des sols

La carte de la vulnérabilité de risque érosion figure 114 à été établie par la combinaison de la sensibilité à l'érosion pente, lithologie, précipitations, écoulement et la carte de la sensibilité à l'érosion occupation des sols.

L'application des conventions de géotraitement citées dans le tableau (113) et (114) a permis de classer la vulnérabilité de l'érosion en 4 quatre classes : faible, moyenne, forte et très forte.

Tableau 113. Bassin versant oued Lagreme : *Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations et occupation des sols*

		Sensibilité à l'érosion occupation des sols			
		Végétation dense	Végétation à moyenne densité	Végétation à faible densité	Terrain nu
		1	2	3	4
Sensibilité à l'érosion pente_lithologie_ précipitations, écoulements	1	1	1	1	1
	2	1	2	3	2
	3	2	2	3	4
	4	2	3	4	4

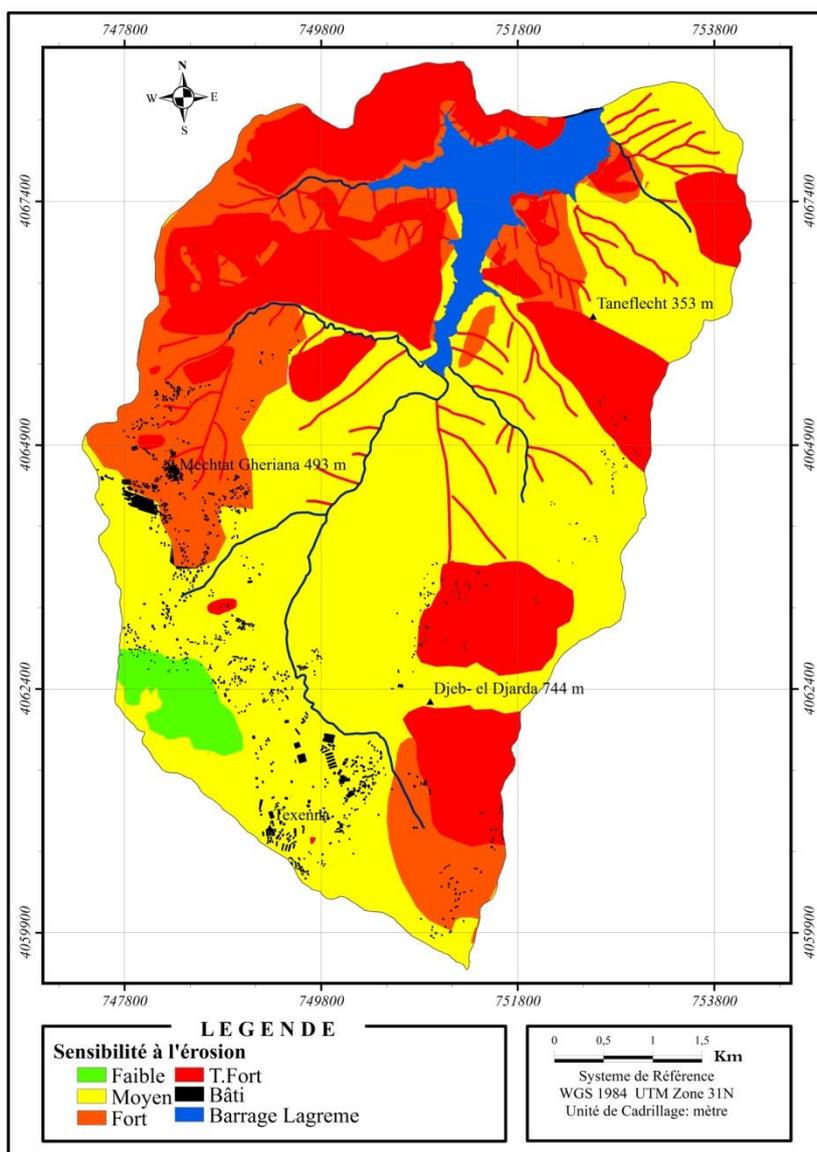


Figure 114. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitation, écoulements et occupation des sols)*

Tableau 114. Bassin versant d'oued Lagreme : *Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente lithologie, précipitations, écoulements et occupation des sols)*

Classes de sensibilité à l'érosion	Superficie (km ²)	%	Code attribut (indice)
Faible	0.81	02.14	1
Moyenne	19.71	52.04	2
Forte	6.03	15.92	3
T.Forte	11.00	29.05	4
Bati	0.32	00.85	-

La carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols, figure 114 présente quatre zones :

- La zone à sensibilité faible en fonction des paramètres pente, lithologie, précipitations, écoulement et occupation des sols s'observe pour la plupart sur les formations lithologiques de socle kabyle (gneiss non altéré). Elle occupe 2.14 % de la zone étudiée.
- La zone à sensibilité moyenne couvre 19.71 km² soit 52.04% de l'espace étudié. Elle couvre la partie Est et sud-ouest, et s'étale pour la plupart sur les formations lithologiques du socle kabyle et la molasse.
- La zone à sensibilité forte représente 15.92% de la zone. Elle s'observe sur les terrains à substratum marneux, molasse et arène gneissique.
- La zone à sensibilité très forte représente 29.05% de secteur étudié. Elle s'observe sur les terrains à substratum marneux et arène gneissique.

E- Carte de sensibilité à l'érosion : combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols et linéaments.

Le mode d'analyse spatiale tableau 115 utilisé dans cette étape repose sur le croisement des facteurs qui ont été considérés comme facteurs déterminants du risque érosion.

À propos de ce sujet, les différents types de fonctionnement érosifs introduits à ce stade d'analyse finale sont : les pentes, la lithologie, les précipitations, l'écoulement, l'occupation des sols et les linéaments.

Tableau 115. Bassin versant oued Lagreme : *Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations, occupation des sols et linéaments*

		Sensibilité à l'érosion linéaments			
		Faible	Moyen	Fort	T.Fort
		1	2	3	Plus 4
Sensibilité à l'érosion pente_lithologie_ précipitations_ écoulements_occupation des sos	1	1	1	2	2
	2	2	2	3	3
	3	3	3	3	4
	4	4	4	4	4

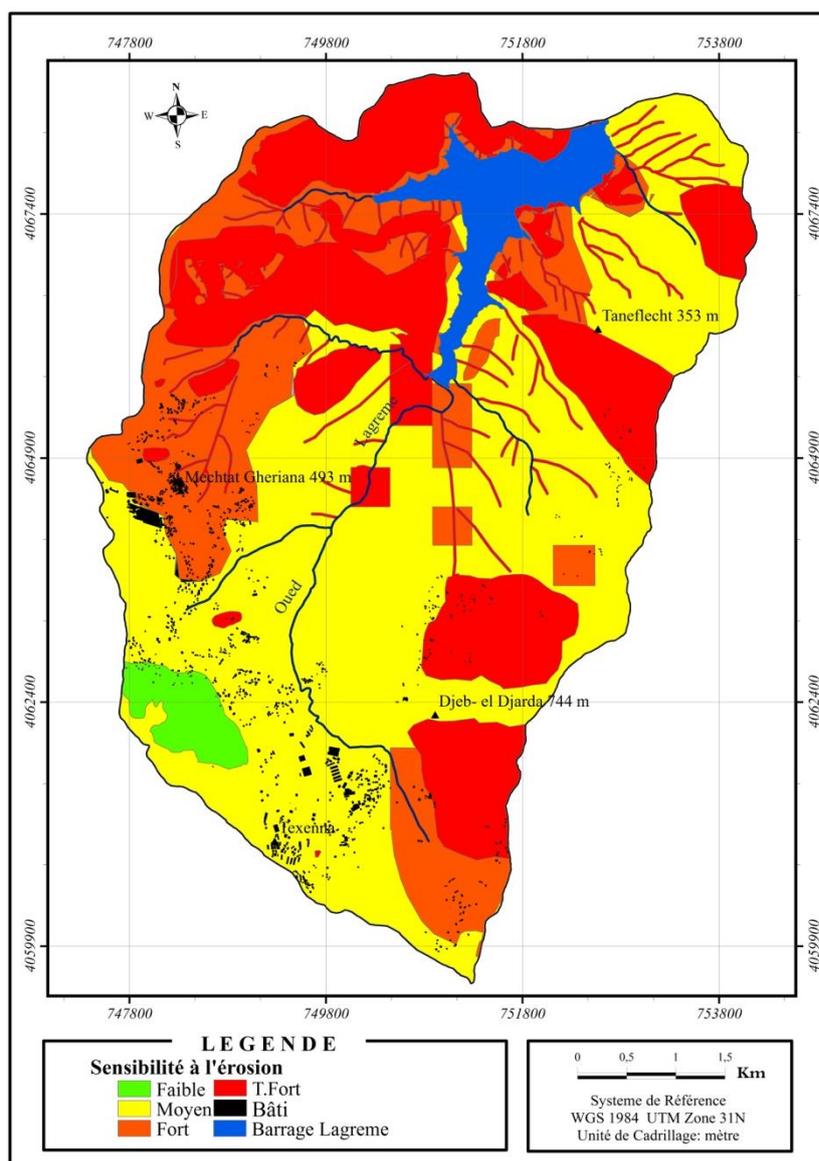


Figure 115. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements, occupation des sols et linéaments)*

Tableau 116. Bassin versant oued Lagreme : *Classes de la vulnérabilité de la carte de synthèse globale (risque de l'érosion)*

Classes vulnérabilité	Superficie (km ²)	%	Code attribut (indice)
Faible	0,80	02,11	1
Moyenne	18,67	49,30	2
Forte	6,72	17,74	3
T.Forte	11,36	30,00	4
Bati	0,32	00,85	-
Zone d'étude	37.87	100%	

D'après le tableau 116 et la carte multifactorielle (combinaison pente, lithologie, précipitation, écoulement et linéament), figure 115 en fonction de leur sensibilité à l'érosion on peut citer quatre zones :

- a) **zone à faible degré de sensibilité à l'érosion** : elle occupe une superficie de l'ordre de 0,80 km², soit 02,11% de la surface totale. Cette zone s'observe généralement sur les formations lithologiques du socle kabyle (schistes et gneiss non altérés). Elle regroupe des bandes forestières caractérisées par une végétation dense.
- b) **zone à moyen degré de sensibilité à l'érosion** : elle couvre 49,30 %, et s'observe pour l'essentiel à l'Est et au sud-ouest de la zone étudiée. Elle s'étale sur des terrains à substratum de type arène gneissique, olistostrome et complexe volcano-sédimentaire.
- c) **zone à fort degré de sensibilité à l'érosion** : représente 17,74% du secteur étudié. Elle s'étale sur des terrains caractérisés par un substratum de type marne et olistostrome (Photo 20) avec des classes des pentes fortes et très fortes notamment dans la région d'El Ghariana et l'arène gneissique à l'Est du bassin.



Photo20. Bassin versant d'oued Lagreme: *Érosion active sur des terrains à substratum olistromique*, El Ghariana

Cette zone regroupe un couvert végétal faible protégeant mal le sol. Elle rassemble généralement les mosaïques de cultures et forêt incendiée, et s'observe pour l'essentiel dans la partie nord-ouest du secteur étudié.



Photo 21. Bassin versant d'oued Lagreme) : *Érosion très active sur des terrains à substratum marneux,*

- d) La zone à très fort degré de sensibilité à l'érosion :** occupe 30 % du secteur, et s'étale sur des terrains à substratum marneux (photo 21), et arène gneissique (photo 22 et 23), avec des classes des pentes fortes supérieures à 25%.



Photo 22. Bassin versant d'oued Lagreme) : *Érosion très active sur des terrains à substratum arène gneissique.*



Photo 23. Bassin versant d'oued Lagreme) : **Érosion active sur des terrains à substratum arène gneissique** (sable d'altération).

Cette zone regroupe une mosaïque de terrains nus caractérisés par une érosion avancée. Généralement elle est marquée par un couvert végétal très dégradé toute l'année, ce qui rend la zone très sensible à l'érosion.

X.3. Cartographie du degré de risque érosion bassin versant oued Kissir

La cartographie du risque d'érosion a été effectuée par la combinaison de différentes cartes facteurs de sensibilité à l'érosion (pente, lithologie, précipitation, écoulement, occupation des sols et linéaments).

La méthode de codification adoptée dans ce type d'analyse spatiale a permis de classer la vulnérabilité de l'érosion en 4 classes : (1) faible, (2) moyen, (3) fort et (4) très fort figures (101, 103, 105, 107, 109 et 111).

A- Combinaison pente, lithologie

La première étape consista au risque érosion a été établie par la combinaison de la carte des pentes et lithologie.

Le croisement des classes obtenues par ces deux paramètres tableau (117) a permis par la suite de définir une carte de synthèse renfermant trois classes.

À ce sujet, des indices ont été désignés aux différents paramètres introduits dans l'analyse par ordre croissant de la sensibilité à l'érosion de 1 à 4.

Tableau 117. Bassin versant d'oued Kissir : *Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie*

			Sensibilité à l'érosion Pente			
			0 – 12.5 %	12.5 - 25%	25 -35%	+ 35%
			Sensibilité faible	Sensibilité moyenne	Sensibilité Forte	Sensibilité Très forte
			1	2	3	4
Sensibilité à l'érosion_ Lithologie	Roche résistante élevé	1	1	1	1	2
	roche résistante moyenne	2	1	1	2	2
	roche résistante faible	3	2	2	3	3

Tableau 118. Bassin versant d'oued Kissir : *Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente et lithologie)*

Classes de vulnérabilité	Superficie (km ²)	%	Code attribut (indice)
Faible	32 .12	30.83	1
Moyenne	50.10	48.09	2
Forte	21.97	21.08	3

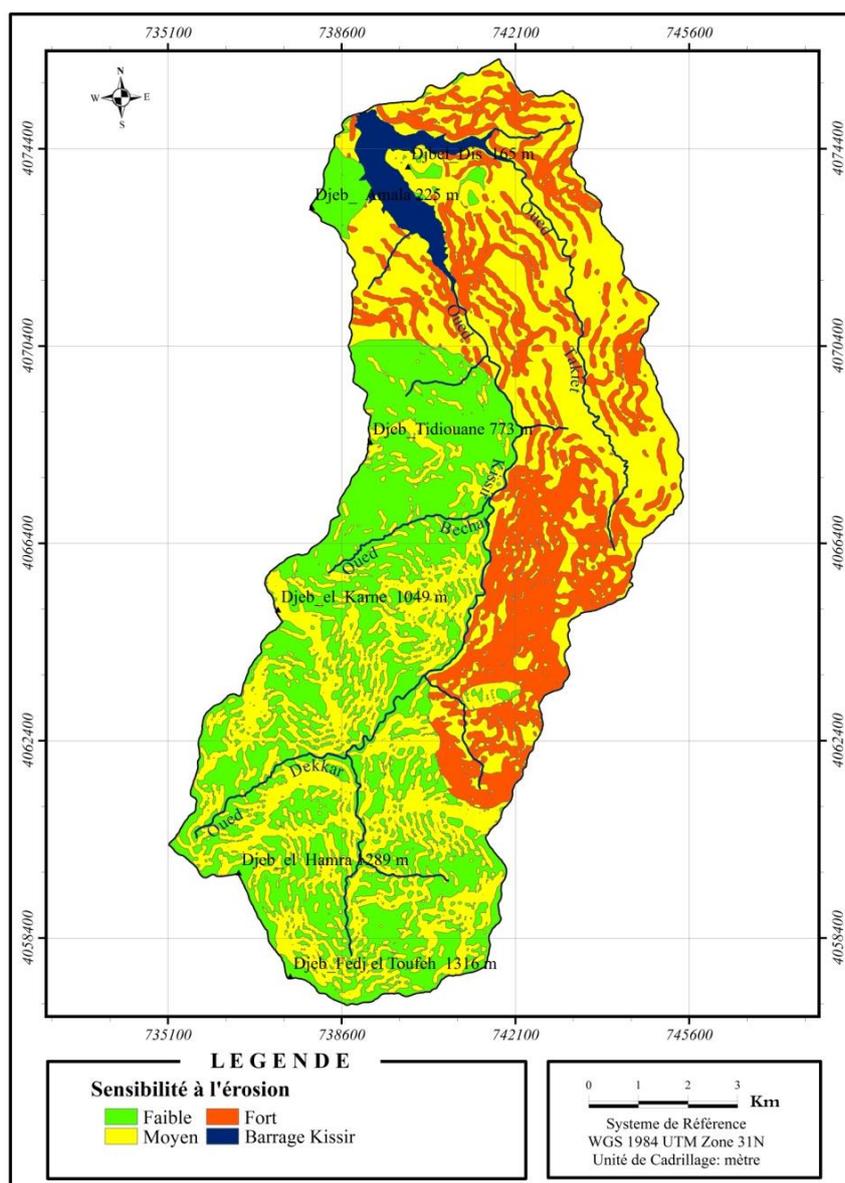


Figure 116. Bassin versant de l'oued Kissir : *Sensibilité à l'érosion*
(combinaison pente, lithologie)

L'examen de la carte de synthèse du risque érosion (combinaison pente, lithologie) figure (116) et tableau (118), montre que le bassin versant de l'oued Kissir présente trois classes:

- la classe faible occupe une superficie de 32.12 km² soit 30.83% de la totalité de la zone étudiée.
- la classe moyenne représente 48.09 % de secteur étudié. Cette classe s'étale pour l'essentiel sur les terrains caractérisés par des formations lithologiques de la nappe maurétannienne (grès dur) au sud et sud-ouest de la zone étudiée.

- et finalement la classe forte occupe 21.97 km², elle s'observe au Nord et nord-est de la zone étudiée, est s'étale sur les formations lithologiques type molassique.

B- Combinaison pente, lithologie et précipitations

La figure 117 à été établie par la combinaison de la vulnérabilité à l'érosion pente, lithologie et la carte de la vulnérabilité à l'érosion précipitations. La combinaison des trois cartes (tableau 119) a permis d'obtenir par la suite une seconde carte de synthèse relative à la zone étudiée.

Tableau 119. Bassin versant d'oued Kissir : *Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie et précipitations*

		Sensibilité à l'érosion précipitations		
		1000 - 1400 mm	1400 - 1600 mm	1600 – 1800 mm
		moyenne	Forte	Très forte
		2	3	4
Sensibilité à l'érosion pente_Lithologie	1	1	1	1
	2	2	2	3
	3	3	3	3

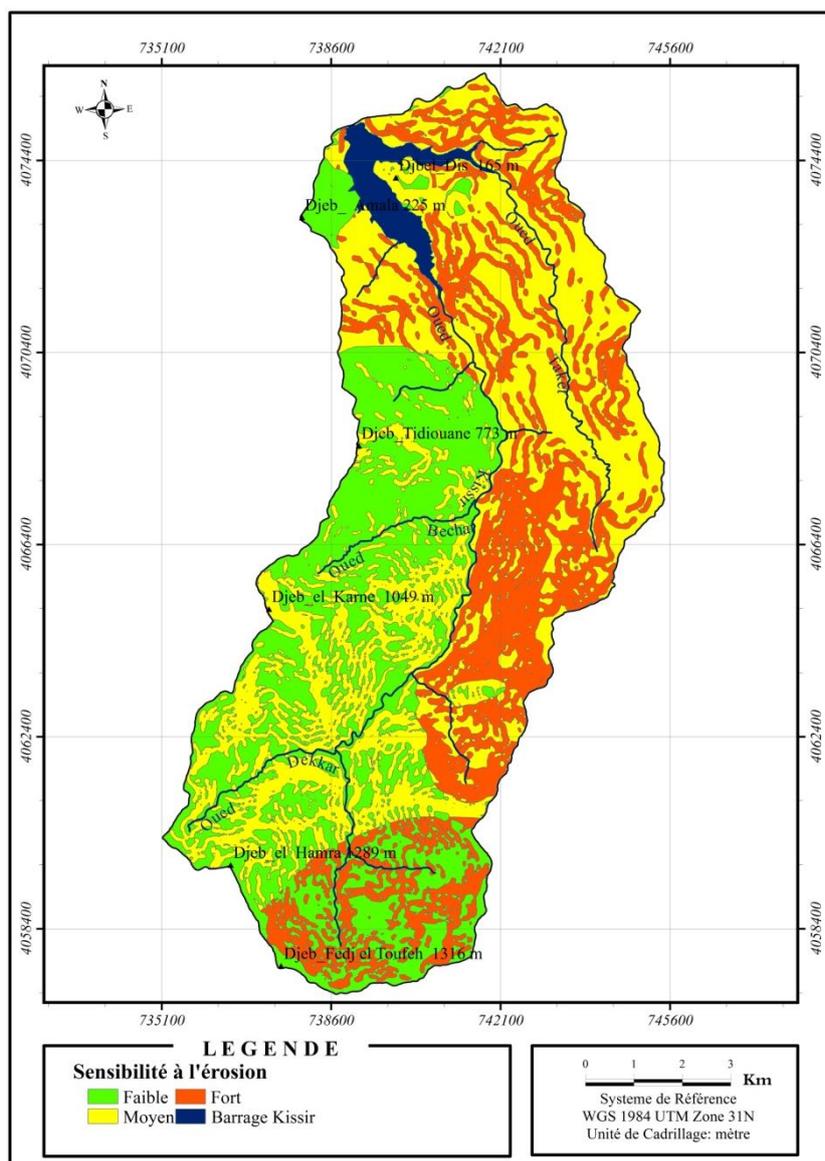


Figure 117. Bassin versant de l'oued Kissir : *Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie et précipitations)*

Tableau 120. Bassin versant d'oued Kissir : *Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie et précipitations)*

Classes de vulnérabilité	Superficie (km ²)	%	Code attribut
Faible	32.12	30.83	1
Moyenne	43.96	42.19	2
Forte	28.11	26.98	3

Le croisement des paramètres multifactoriels (pente, lithologie, précipitations) en fonction de leur sensibilité à l'érosion a permis d'établir trois classes (tableau 120) faible, moyenne et forte :

- La classe de sensibilité faible occupe une superficie de 32.12 km² soit 30.83% de la zone étudiée et s'observe au Sud et sud-ouest ; elle s'étale sur les formations lithologiques de la nappe maurétanienne.
- La classe de sensibilité moyenne représente 42.19 % de la région, elle est présentée dans tout le secteur essentiellement sur les zones caractérisées par des précipitations moyennes annuelles inférieures à 1600 mm.
- La classe de sensibilité forte couvre de 26.98% de la totalité de la zone d'étudié, elle concerne pour l'essentiel les terrains molassiques et les classes de pente supérieures à 25% avec des précipitations moyennes annuelles supérieures à 1600 mm.

C- Combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements

La carte de sensibilité des sols à l'érosion (figure 118) réalisée en appliquant les indices attributaires, indiqués dans le tableau (121), ci-dessous en fonction aussi des paramètres liés à la lithologie et aux précipitations, et de la carte de la vulnérabilité liée à l'écoulement, permet de mettre en valeur trois classes de sensibilité à l'érosion dans la zone étudiée.

Tableau 121. Bassin versant d'oued Kissir : *Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements*

		Vulnérabilité à l'érosion en fonction de l'écoulement		
		300 - 400 mm	400 - 500 mm	> 500 mm
		moyenne	forte	très forte
		2	3	4
Vulnérabilité à l'érosion pente_lithologie_ Précipitations	1	1	1	1
	2	2	2	3
	3	3	3	3

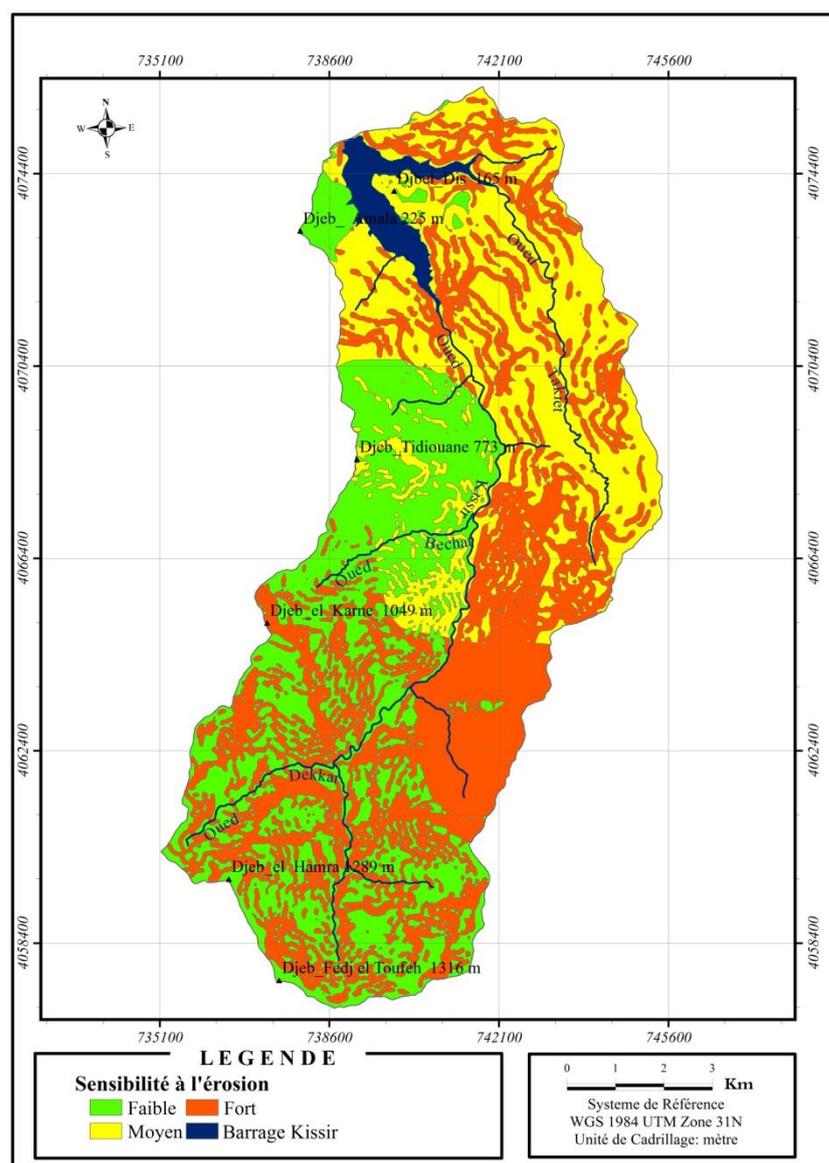


Figure 118. Bassin versant de l'oued Kissir : *Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements)*

Tableau 122. Bassin versant d'oued Kissir : *Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements)*

Classes de vulnérabilité	Superficie (km ²)	%	Code attribut
Faible	32.12	30.83	1
Moyenne	28.06	26.93	2
Forte	44.01	42.24	3

D'après le tableau 122, on remarque que la carte sensibilité des sols à l'érosion en fonction des paramètres multifactoriels (pente, lithologie, précipitations) présente trois classes, faible, moyenne et forte :

- **Sensibilité faible** : occupant une superficie de 32.12 km² soit 30.83% de la surface totale tableau (139). Cette classe regroupe l'essentiel des terrains à substratum caractérisé par des roches dures non altérées (schistes et gneiss), et affleure à l'Ouest et au sud-ouest.
- **Sensibilité moyenne** : elle occupe une superficie de l'ordre de 28.06 km² soit 26.93 % de la totalité de la zone d'étude. Elle s'observe notamment sur les zones à pentes supérieures à 12.5%.
- **Sensibilité forte** : couvrant une superficie de 44.01 km² soit 42.24% de la totalité de la zone. Elle s'étale sur les formations lithologiques olistostromiques caractérisées par des pentes supérieures à 25%.

D- Combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulement et occupation des sols

La carte de sensibilité au risque érosion (figure.119) a été établie par la combinaison de la carte de synthèse figure(118) et la carte de la vulnérabilité à l'érosion occupation des sols.

Quatre classes de sensibilité des sols à l'érosion (tableau 123) par la suite ont été définies dans la zone étudiée, faible, moyenne, forte et très forte.

Tableau 123. Bassin versant d'oued Kissir : *Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements et occupation des sols*

		Sensibilité à l'érosion occupation des sols			
		Végétation dense	Végétation à moyenne densité	Végétation à faible densité	Terre nue
		Moyen	Fort	Fort	T.Fort
		1	2	3	4
Sensibilité à l'érosion pente_lithologie_ précipitations_ écoulement_	1	1	1	1	1
	2	1	2	2	2
	3	2	2	3	4
	4	1	2	4	4

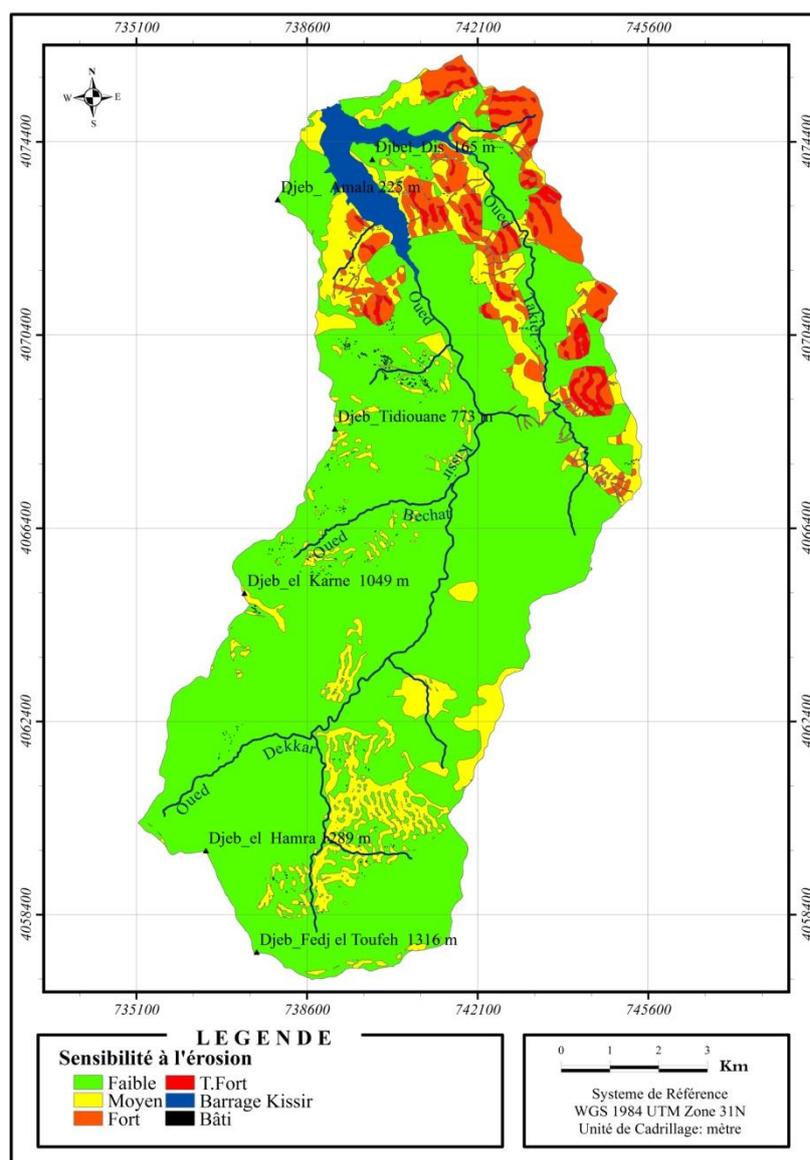


Figure119. Bassin versant de l'oued Kissir : *Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements et occupation des sols)*

Tableau 124. Bassin versant d'oued Kissir : *Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulemnts et occupation des sols)*

Classes de sensibilité	Superficie (km ²)	%	Code attribut
Faible	80.32	77.09	1
Moyenne	14.72	14.13	2
Forte	6.77	6.50	3
T.Forte	2.29	2.20	4
Bati	0.09	0.08	hors codification

D'après le tableau 124 et figure 119, on remarque que la carte de sensibilité à l'érosion combinaison (pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols) en fonction de leur sensibilité à l'érosion dans le bassin versant de l'oued Kissir présente quatre types des zones :

- **La zone à érodibilité faible** occupe une superficie de l'ordre de 80.32 km² soit 77.09% de la totalité de la zone d'étude. cette zone couvre les formations de la nappe numidienne en amont du bassin versant.
- **La zone à érodibilité moyenne** occupe une superficie de l'ordre de 14.72 km² soit 14.13% de la totalité de la zone d'étude.
- **La zone à érodibilité forte** présente une superficie de l'ordre de 6.77 km² soit 6.50 % de la totalité de la zone d'étude.
- **Et finalement la zone à érodibilité très forte** occupe une superficie de l'ordre de 2.29 km² soit 2.20 % de la totalité de la zone d'étude.

E- Combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols et linéaments

La combinaison de la carte de vulnérabilité linéamentaire (fig.110) et la carte de synthèse, sensibilité à l'érosion (fig.119), a permis de classer la vulnérabilité de l'érosion dans la zone étudiée en (4) quatre classes : faible, moyenne, forte et très forte.

Tableau 125. Bassin versant d'oued Kissir : *Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements, occupation des sols set linéaments*

		Vulnérabilité à l'érosion linéaments			
		Faible	Moyenne	Forte	T.Forte
		1	2	3	Plus 4
Vulnérabilité à l'érosion pente_lithologie_ précipitations_ écoulement_occupation des sols	1	1	1	2	2
	2	2	2	3	3
	3	3	3	3	4
	4	4	4	4	4

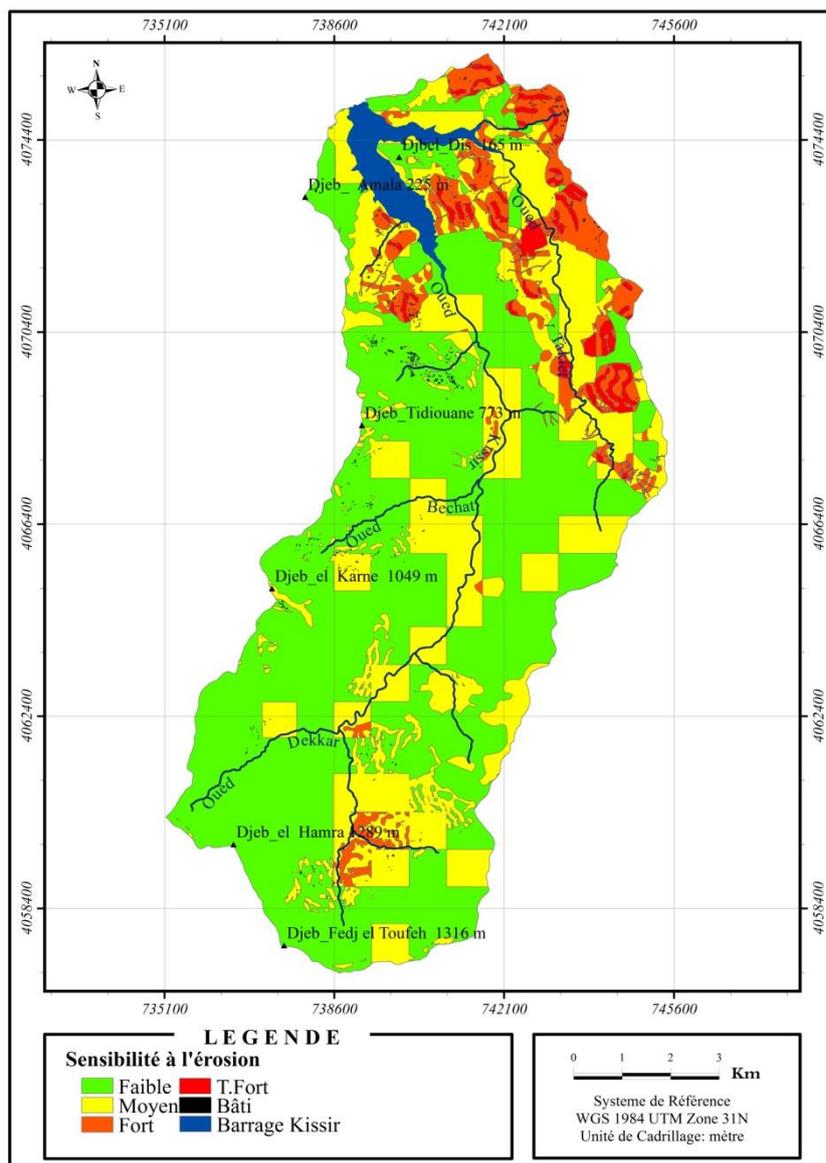


Figure 120. Bassin versant de l'oued Kissir : *Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements, occupation des sols et linéaments)*

Tableau 126. Bassin versant d'oued Kissir : *Répartition surfacique des classes de la vulnérabilité de la carte de synthèse globale (risque de l'érosion)*

Classes de vulnérabilité	Superficie (km ²)	%	Code attribut
Faible	60.24	57.82	1
Moyenne	32.94	31.62	2
Forte	8.08	07.74	3
T.Forte	2,84	02,73	4
Bati	0,09	0,09	hors codification

La spatialisation du risque d'érosion a été établie sur la base de l'estimation de la gravité des six facteurs présentant les paramètres : l'erosibilité des sols, pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols, linéaments.

Les différents paramètres indicateurs ont été regroupés et structurés en six (06) couches (tableau 125) à l'aide du logiciel SIG (ArcGis). Ceci a permis finalement d'établir une carte de synthèse globale (figure.120) : Carte de l'érosion hydrique. Cette dernière montre 04 zones distinctes (tableau 126):

a) Zone à faible degré de sensibilité à l'érosion : elle occupe une superficie de l'ordre de 60.24 km², soit 57.82 % de la totalité de la zone d'étude.

Cette zone s'observe généralement sur les formations lithologiques nappe maurétanienne et les flyschs grésio-mécacés. Elle regroupe largement les bandes caractérisées par une végétation dense (Forêt de Guerrouche).

b) Zone à moyen degré de sensibilité à l'érosion : elle couvre une superficie de l'ordre de 32.94 km², soit 31.62 % de la région.

Cette zone s'observe généralement sur les régions caractérisées par une végétation de type maquis clair avec une pente inférieure à 15%.

c) Zone à fort degré de sensibilité à l'érosion : cette zone correspond à la molasse (blocs de flysch noyés dans une molasse marneuse 80% des marnes). Cette classe qui regroupe les formations de faible perméabilité photo (26) et (27) représente 07.74 % du secteur étudié (8.08 km²).



Photo 24. Bassin versant d'oued Kissir : *Érosion par griffures et colluvions des pentes à substratum molassique*



Photo 25. Bassin versant d'oued Kissir : *Érosion en rigole sur des terrains à substratum molassique*

d) Zone à très fort degré de sensibilité à l'érosion : Elle s'observe dans la partie aval de la zone d'étude couvrant une superficie de l'ordre de 2,84 km², soit 02,73 %.

Cette zone s'étale généralement sur des terrains nus, sensibles à l'érosion (molasse) et caractérisée par des classes des pentes très fortes.

❖ **Résultats et discussion**

Les bassins versants des oueds Lagreme et Kissir ont connu des dégradations et des pertes de sol à travers le temps. Donc de par ses caractéristiques géo-géomorphologiques, climatiques, hydrologiques, ainsi que la gravité socio-économique les deux bassins versant objets d'étude s'avère avoir été soumis à une forte vulnérabilité à l'érosion hydrique.

La méthodologie adoptée dans ce travail, est basée sur des modèles qualitatifs d'estimation et de pondération des différents paramètres indicateurs du risque érosion hydrique : il s'agit de la pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols et linéaments.

L'application de cette méthode a permis d'établir des cartes de sensibilité à l'érosion dans les deux bassins versants en question.

Tableau 127. Bassins versants oued Lagreme et Kissir : *Classes de la vulnérabilité des cartes de synthèse globales (risques de l'érosion)*

Classes de sensibilité à l'érosion	Bassin versant d'oued Lagreme		Bassin versant d'oued kissir	
	Superficie (km ²)	%	Superficie (km ²)	%
Faible	0.81	02.11	60.24	57.82
Moyen	19.71	49.30	32.94	31.62
Fort	6.03	17.74	08.08	7.74
T.Fort	11.00	30.00	02.84	02.73
Bati	0.32	0.85	0.09	0.09
Total	37.87	100	104.19	100

Les différents facteurs structurés en six (06) paramètres cités précédemment sous logiciel SIG (ArcGis) permettent finalement d'établir des cartes générales de sensibilité à l'érosion. Celles-ci comprennent quatre classes : faible, moyenne, forte et très forte.

Pour le bassin versant de l'oued Lagreme tableau 127 : les zones détectées à risques érosion hydrique forte et très forte représente 47.74 % de la zone étudiée, tandis que ces mêmes zones dans le bassin versant de l'oued Kissir s'étalent sur une superficie de 10.92 km² soit 10.47 % de la totalité de l'aire d'étude.

Généralement les zones à forte érosion sont caractérisées par une lithologie pélique (marnes et argiles). L'érosion hydrique dans les bassins versant objets d'études est spectaculaire sur le plan morphologique car produisant des versants incisés et entaillés caractérisés par des ravinements intenses, notamment dans les zones montagneuses, contribuant alors un engorgement rapide du barrage de Lagreme.

Les particules transportées lors des périodes des crues notamment dans le bassin versant d'oued Lagreme, sont particulièrement issues des formations marneuses d'âge tortono-messénien, de l'olistostrome et des arènes granitiques.

Selon (Djellit, H.1987) les marnes Tortono-messénien de la zone d'étude reposent généralement en discordance sur le socle Kabyle et l'olistostrome, caractérisé par une épaisseur allant de 200 à 300 mètres.

L'étude de la détermination des paramètres géotechniques (Baghdad et al., 2017) des marnes dites posts-nappes du miocène supérieur (Tortonno-messénien) prélevé dans la localité de Adjari nord-est du bassin versant de l'oued Lagreme (X= 754630, Y= 4069500) ont donné les résultats suivants (voir tableau.128) :

Tableau 128. Zone d'étude : *paramètres géotechniques des marnes Tortonno-messénienne* (Baghdad. A ; 2017)

Echantillons	1	2	3	4
Particule <2 μ (%)	42	37	37	36
Silt (2 à 60 μ) (%)	45	45	41	37
Sable > 60 μ (%)	13	18	22	27
Limite de plasticité (WP) (%)	16	18	18	18
Limite de liquidité (WL) (%)	30	34	35	35
Indice de plasticité (IP) (%)	14	16	17	17

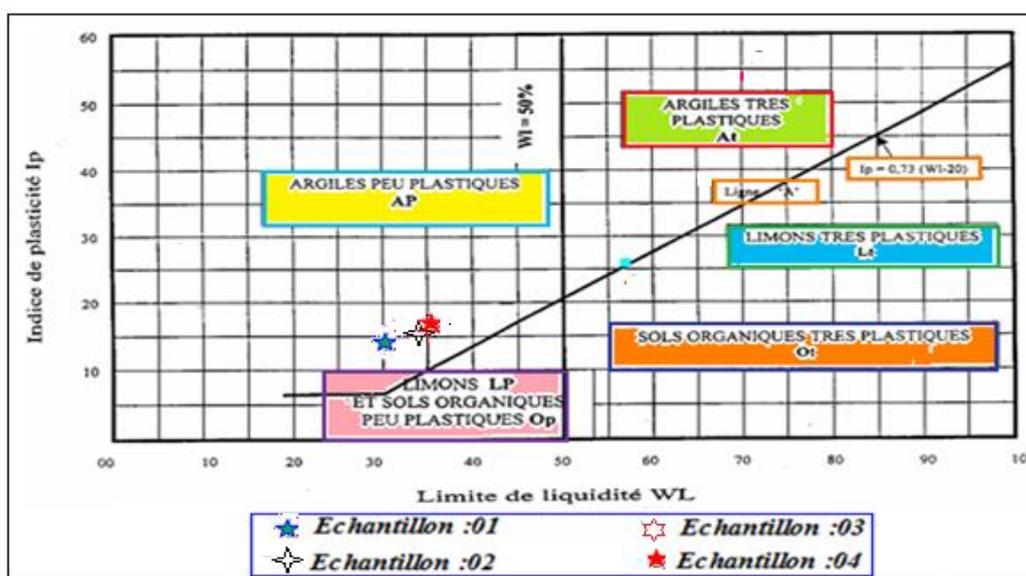


Figure 121. *Diagramme de Casagrande*

D'après le tableau (127) et figure(121) ci-dessus, on remarque que :

- Les valeurs de la granulométrie montrent que les sols des quatre échantillons pris au niveau de la zone d'étude sont classés comme sols fins (argileuses sableuses), ces derniers sont liés à la présence des argiles.
- Les particules < à 2 μ (%) sont comprises entre 36 et 42%
- Silt (2 à 60 μ) (%) est compris entre 37 et 45 %
- Sable > 60 μ (%) est compris entre 13 et 27%

Les résultats obtenus pour les Limites d'atterberg montrent que :

- Limite de plasticité (WP) est comprise entre 16 et 18 %
- Limite de liquidité (WL) est compris entre 30 et 35%
- Indice de plasticité (IP) est compris entre 14 et 17%

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau conventionnelles qui décrivent l'état du sol. On les mesure sur la fraction du sol passant au tamis de 0.5 mm (Habib, P. 1997).

Dans la zone d'étude notamment le bassin versant d'oued Lagreme, ces formations marneuses notamment en périodes pluvieuses entraînent des mouvements de masse sous diverses formes.

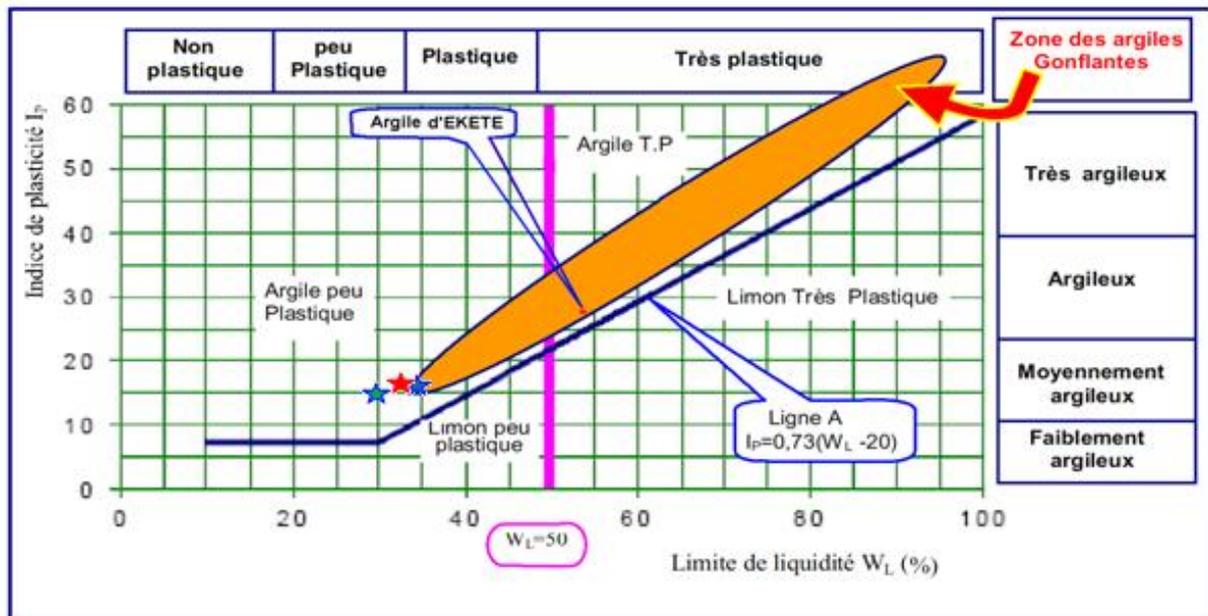


Figure 122. Diagramme de Casagrande de classification des sols fins

Une classification peut être faite aussi (figure. 122) selon les valeurs de W_L , W_p et I_p en se basant sur le diagramme de casagrande de classification des sols fins.

Les points représentatifs du sol examiné ont été positionnés sur le diagramme ci-dessous. Il s'agit d'une argile potentiellement gonflante.

La variété des formes des ravinements est surtout très marquée dans les terrains caractérisés par un substratum marneux et arène gneissique. L'amplitude de phénomène est souvent métrique à plurimétrique de profondeur notamment au sein des formations marneuses.

Les eaux de ruissellement s'infiltrent dans les formations superficielles provoquant ainsi des mouvements de masse (glissement de terrain, coulée boueuse et solifluxion).

Enfin l'analyse des résultats obtenus sur le tableau 144 ci-dessus laisse apparaître plusieurs paramètres déterminants dans le processus de l'érosion en l'occurrence la lithologie, les précipitations et la pente.

Ainsi des interventions et des aménagements palliatifs s'imposent en zone d'activités érosives dans les deux bassins, afin de ralentir le processus de dégradation de la zone.

Conclusion

Les cartes de risques obtenus par l'application de l'approche systémique (multifactorielle), montrent l'intérêt et l'utilité de l'utilisation des nouvelles technologies a posteriori appliquée au SIG dans la gestion des risques notamment les risques hydrologiques liés à l'eau.

Les règles de codifications adoptées dans cette analyse (approche), ont permis de classer le degré du risque « érosion » dans les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir en quatre classes : faible, moyenne, forte et très forte.

Les zones marquées par une sensibilité à l'érosion forte et très forte, (couleurs orange et rouge) dans les deux bassins, exigent des interventions antiérosives immédiates pour mieux contrôler le phénomène de l'érosion.

Finalment ce travail peut constituer un document de base pour les travaux de recherche dans le domaine et une feuille de route pour les planifications des travaux d'aménagements.

Chapitre :XI

Validation des résultats, aménagement et stratégie antiérosive

XI. Validation des résultats, aménagement et stratégie anti-érosive

Introduction

La validation des résultats du risque érosion hydrique obtenu à l'aide d'un système d'informations géographiques dans les bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir a été faite en comparaison avec les travaux de terrain.

La comparaison des bilans obtenus aux observations de terrain réalisées sur des points et sites d'observation, géo-référencés à l'aide d'un GPS (Global Positioning System), a permis de valider la carte de sensibilité des sols à l'érosion finale des bassins versants des deux oueds Lagrme et Kissir.

XI.1. Aspect morphodynamique et forme d'érosion ressentie dans de la zone d'étude

Dans le bassin versant de l'oued Lagreme, le ruissellement lié à de fortes précipitations favorise le départ des terres fertiles ou meubles de façon dramatique en creusant sillons et ravines.

L'érosion dans les bassins versants de l'oued Lagreme et oued Kissir est donc fréquemment liée à plusieurs , d'où la nécessité de faire une analyse et un inventaire des différentes formes de l'érosion existantes dans le territoire du bassin objet de cette étude.

On constate qu'il existe deux formes fondamentales d'érosion du sol liées à l'action de l'eau :

- 1- le détachement des particules constitutives du sol par cisaillement et leur transport par l'eau.
- 2- le mouvement du sol en masse. Cette forme est due à l'attaque du sol par l'eau sur une épaisseur de son profil, à la mise en déséquilibre du sol et sa rupture sous l'action de la pesanteur, (Fournier, F. 1960).

❖ Détachement des particules constitutives du sol et leur entrainement par l'eau.

- **l'érosion en nappe** : selon plusieurs auteurs, l'érosion en nappe résulte d'un détachement des particules fines d'un sol sous l'effet des averses et du ruissellement en pente faible conjugué à l'effet splash des gouttes deau.
- **l'érosion en rigole** : l'érosion en rigole provient du rassemblement des différents filets de ruissellement en petits drains.

Cette forme d'érosion consiste essentiellement en l'entraînement des particules du sol par l'eau suivant de petits sillons qui s'inscrivent sur la surface topographique perpendiculairement aux isotypes (Fournier, F. 1960).

- **l'érosion en ravins:** (le ravinement) ce type d'érosion s'observe généralement dans les formations meubles pentées où prennent naissance des rigoles évoluant rapidement en ravins par approfondissement sous l'effet des avèrses.

A- formes d'érosions dans le bassin versant de l'oued Lagreme

❖ Les ravins

Les ravins ont évolué comme décrit plus haut sur les pentes marneuses du bassin versant. Leur profondeur peut atteindre plusieurs mètres sur une pente dépassant les 35 % (photo.26 et 28).



Photo 26. Bassin versant de l'oued Lagreme : *ravinement intense*
au sein des marnes miocènes.

Ce type de forme d'érosion occupe largement la partie aval du bassin versant de l'oued Lagreme affectant essentiellement les formations marneuses et argile d'altération.

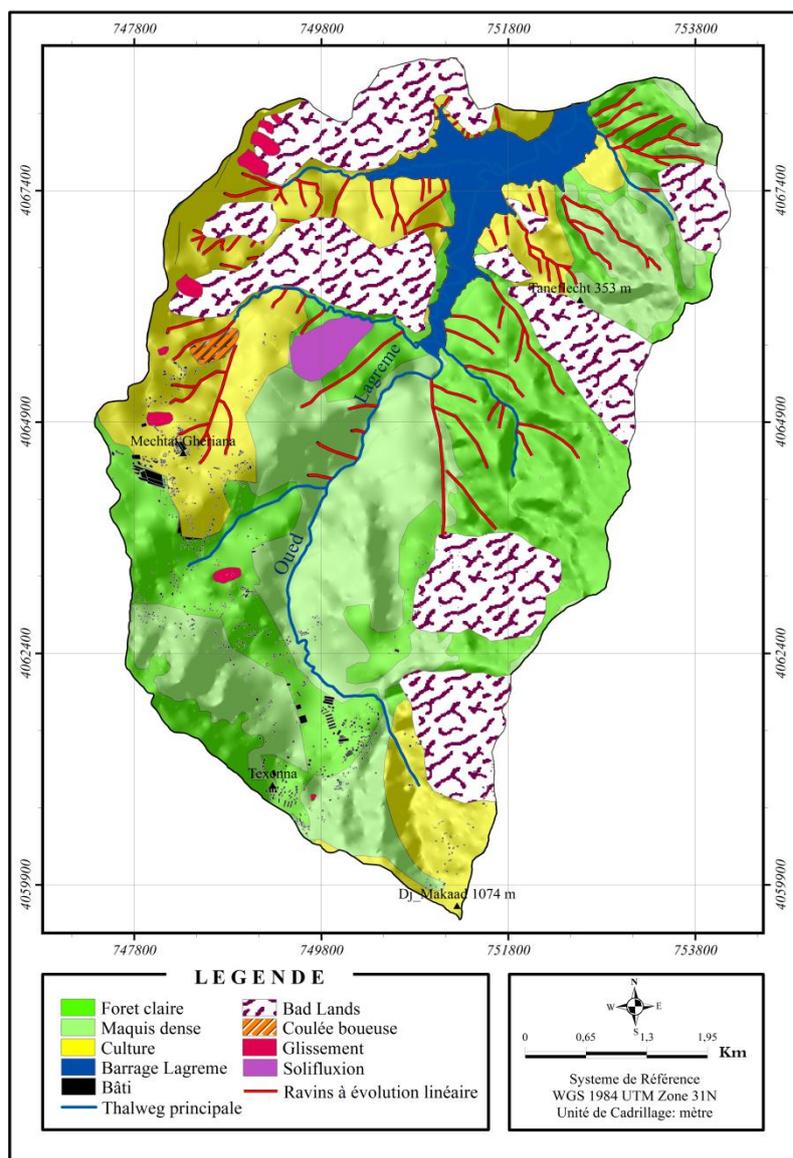


Figure 123. Bassin versant d'oued Lagreme : *Occupation des sols*

(C D F, w de jijel) modifié

L'utilisation des photos aériennes et la carte d'occupation des sols de la wilaya de Jijel 2007 (conservation des forêts) modifiés, et le GPS (Global Positioning System,) sur terrain, nous ont permis de mettre en évidence les différentes formes d'érosion présentes dans le bassin versant étudié (figure 123).

Les argiles, les marnes et les sables épais sont très vulnérables au ravinement sur les pentes du bassin versant.

Les différents types d'analyse spatiale par logiciel ArcGis montrent que les ravins dans le bassin versant de l'oued Lagreme affectent principalement les formations arénétisées avec une longueur de l'ordre de 14.65 km, soit 40,71 %.

Tableau 129. Caractéristiques des formes de l'érosion par ravinement du bassin versant de l'oued Lagreme

groupe de ravin	Longueur (km)	Formation lithologique affectée	%
01	2,59	marnes Jaunes	7,21
02	6,70	olistostrome	18,63
03	14,65	arène (sable d'altération)	40,71
04	0,63	argiles d'altération	1,73
05	11,41	marnes bleues	31,72
Total	35.98	bassin versant	100%

D'après le tableau (129) on constate que :

La seconde formation lithologique affectée par les ravins est la formation marneuse, avec une longueur d'environ 14 km linéaires, soit 38,93 %.

L'olistostrome (bloc de flyschs noyés dans une molasse marneuse) quant à lui présente 6.70 km linéaires de ravins soit 18,63%, et finalement les argiles d'altération avec 0.63 km linéaires.

❖ **Les badLands**

Le terme anglais bad lands signifie « mauvaises terres » en français ; cette expression géomorphologique définit des zones exposées à une érosion par ravinement intense.

Selon la carte morphodynamique (figure 136) du bassin versant de l'oued Lagreme, on note que les badlands sont des formes de l'érosion par ruissellement les plus répandues dans la zone d'étude.

La tranche aval de la rive gauche du bassin versant objet d'études est caractérisée par des formations meubles (photo 29) avec une superficie totale de l'ordre de 8.62 km².

Les caractéristiques des bad lands (tableau.146) obtenues par l'application du logiciel Arc-Gis sont représentées dans le tableau ci-dessous :

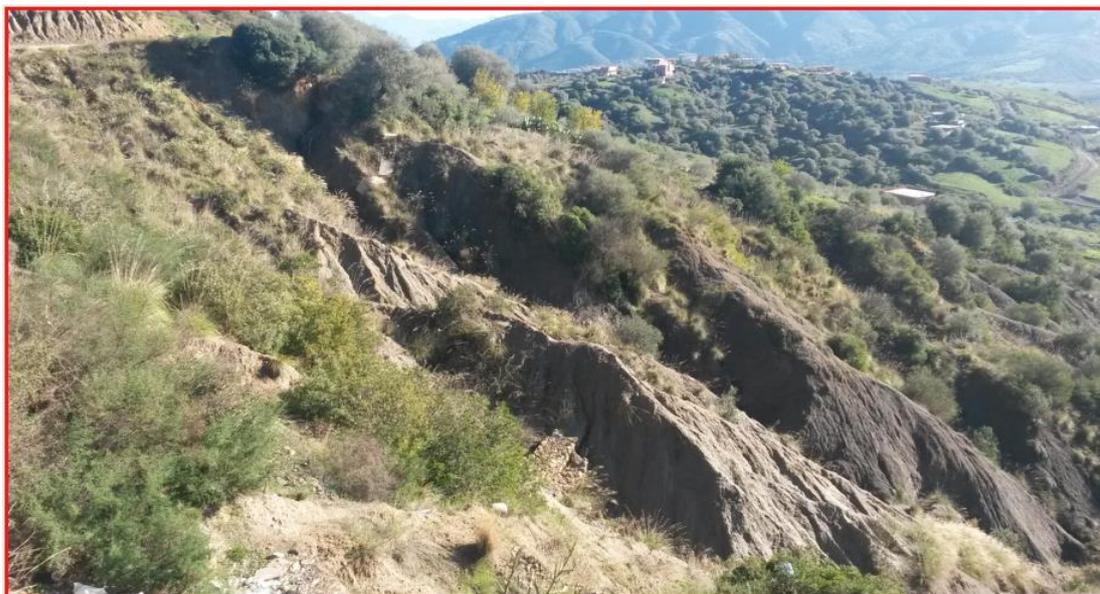


Photo 27. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Illustration des formes d'érosion Bad lands*

Tableau 130. Caractéristiques et répartitions des formes de l'érosion bad lands du bassin versant oued Lagreme.

Forme d'érosion	Formation lithologique affectée	Superficie (Km ²)	%
Bad Lands	Marnes bleues	2,21	25,64
	Marnes jaunes	0,995	11,54
	Arène (gneiss très altéré)	4,683	54,33
	Argile d'altération	0,0336	0,39
	Olistostrome	0,696	8,07
	Conglomérat alluviale	0,0024	0,03
	Total	8.62	20.76 % par rapport à la superficie totale du bassin versant objet d'étude.

Selon le tableau 130 ci-dessus, on constate que les badLands affectent particulièrement les formations d'arène d'altération avec une superficie de l'ordre de 4,683 km² soit 54.33 % de la superficie totale occupée par les bad lands, les marnes bleues (2.21 km² soit 25.64%), marnes jaunes (0.995 km² soit 11.54 %), l'olistostrome 0.696 km² soit 8.07 %), les argiles d'altération (0.0336 km² soit 0.39 %), et finalement les conglomérats alluviaux avec (0.0024 km² soit 0.03%),

Les formes d'érosion badlands occupent 20.42 % de la totalité de la surface du bassin versant objet d'étude.

❖ **Les mouvements de masse**

D'après plusieurs auteurs, les mouvements de masse sont des déplacements de matériaux par diverses formes et processus. Ils existent plusieurs types tels que chutes de blocs, éboulements, glissements de terrain etc.... Ils peuvent être rapides et subits, ou lents et continus. Ils se définissent donc comme des déplacements gravitaires de masse de terrain déstabilisés par des facteurs déclenchants naturels et/ou anthropiques. A travers cette définition, on déterminera à la fois le processus en lui-même et son résultat, mais également les matériaux accumulés et / ou déplacés (flageollet, J. 1989).

Il faut la plupart du temps, un agent de déplacement : le plus souvent l'eau joue un rôle primordial dans le déclenchement de mouvement et de glissement de terrain (flageollet, J. 1989 .. Thiery, Y et al., 2007).



Photo 28. Bassin versant de l'oued Lagreme : **Illustration des formes d'érosions « glissement de terrain »** le long de la route N °77

Les chutes de blocs, les glissements, les basculements, les écoulements dont certains types peuvent présenter des complexités morphologiques. En raison de la variété de son contexte lithologique (formation meuble) et géomorphologique (relief accidenté et classe de pente assez forte), le bassin versant de l'oued Lagreme subit plusieurs formes de mouvement de masses photos 30 et 31.

La réalisation d'une carte morphodynamique a permis de localiser toutes les formes géomorphologiques représentées dans le bassin objet d'étude dont trois (3) types de mouvements principaux :

- Les glissements de terrain.
- Coulée boueuse.
- Solifluxion.



Photo29. Bassin versant de l'oued Lagreme : « *glissement de terrain* »
le long de la route N°77

L'eau est la principale cause de déclenchement de la plupart des mouvements de masse. Plusieurs auteurs ont présenté des classifications de mouvements de terrain ; l'une des nomenclatures les plus souvent utilisées est celle de (Varnes, D, J. 1978) spécifiant plusieurs classes.

Les glissements de terrain font partie des processus géomorphologiques les plus répandus. Plusieurs zones instables ont été constatées le long de la route nationale N° 77.

Plusieurs facteurs sont à l'origine du déclenchement de différents mouvements de masse dans le bassin versant de l'oued Lagreme :

- La nature du sol= représenté par la formation meuble, (marne, olistostrome, arène altéré...).
- Le facteur morphologie pente.
- Le facteur pluviométrie : la forte pluviométrie et les eaux de ruissellement favorisent elle aussi l'instabilité des terrains.

- Les vibrations le long de la route Nationale N° 77.
- Travaux de terrassement (surcharge en tête des talus).
- Décharge en pied, détruisant une butée stabilisatrice et rejet des eaux.

a- Les glissements de terrain

Les glissements de terrain sont des processus géodynamiques et morphologiques naturels qui contribuent de manière significative à façonner les paysages terrestres (Keefer, D, K. 1994 ., Hovius, N et al.. 1997 ., 2000, Dadson, S, J et al. 2003., 2004, Malamud ,B.D et al. 2004b).

D'après la carte morphodynamique ci-dessus (figure 128) du bassin versant de l'oued Lagreme, le phénomène géomorphologique « glissement de terrain » est souvent rencontré le long de la route nationale N°77.

Selon plusieurs auteurs, les signes géomorphologiques sont des régles significatives pour la délimitation des zones instables. Ces indices sont formés par les modalités de terrain créées par les divers facteurs de façonnements des versants (Varne.D, J. 1984).

- 1- La zone d'arrachement : represente la surface basse par rapport au niveau du versant.
- 2- L'escarpement principal : surface inclinée ou verticale souvent concave, limitant le glissement à son extrémité supérieure et prolongé en profondeur par la surface de rupture.
- 3- Fissure et crevasse : rupture au sein du matériau se manifestant par des fentes (fissures) d'importance et de formes diverses suivant leur positions.



Photo 30. Bassin versant de l'oued Lagreme : *Utilisation du GPS pour la localisation des différentes formes d'érosion* (Ertex_GARMA_serire_46388795)

Tableau 131. Positionnement et surfaces des glissements de terrain dans le bassin versant d'oued Lagreme.

N° GT	Coordonnée x, y	Superficie de GT (km²)	Formation lithologique affectant
01	x ₁ =749299,826 (E) y ₁ =4067931,600 (N) x ₂ =749275,772 (E) y ₂ =4067928,679 (N) x ₃ =749387,358 (E) y ₃ =4067819,560 (N) x ₄ = 749365,291(E) y ₄ =4067795,748(N)	0,008029	Marne bleu
02	x ₁ =749185,229€ y ₁ =4067844,973 (N) x ₂ =749177,233 E y ₂ =4067812,534(N) x ₃ =749309,034 E y ₃ =4067756,289 (N) x ₄ = 749294,218 E y ₄ =4067736,604 (N)	0,015276	Marne bleu
03	x ₁ =749151,176 E y ₁ =4067786,233 (N) x ₂ =749109,572 E y ₂ =4067618,443 (N) x ₃ =749455,693 E y ₃ =4067604,417 (N) x ₄ = 749430,888 E y ₄ =4067513,467 (N)	0,038388	Marne bleu
04	x ₁ =749094,979 E y ₁ =4067566,934 (N) x ₂ =749003,256 E y ₂ =4067462,096 (N) x ₃ =749358,878 E y ₃ =4067404,216 (N) x ₄ = 749331,758 E y ₄ =4067287,799 (N)	0,036416	Marne bleu
05	x ₁ =748375,062 E y ₁ =4066143,41(N) x ₂ =748305,709 E y ₂ =4066019,257(N) x ₃ =748580,869 E y ₃ =4065890,708(N) x ₄ = 748504,139 E y ₄ =4065836,733 (N)	0,0367	Marne bleu
			Olistostrome (blocs des grès et flysch dans une molasse marneuse- 80% marne
06	x ₁ =748162,196 E y ₁ =4065264,282 (N) x ₂ =748184,519 E y ₂ =4065202,85(N) x ₃ =748275,248 E y ₃ =4065309,447 (N) x ₄ = 748329,54 E y ₄ =4065266,585 (N)	0,05435	Olistostrome (blocs des grès et flysch dans une molasse marneuse, 80% marne

07	$x_1=747995,55$ E $y_1=4064625,465$ (N) $x_2=748036,382$ E $y_2=4064574,454$ (N) $x_3=748287,172$ E $y_3=4064704,278$ (N) $x_4=748288,372$ E $y_4=4064583,561$ (N)	0,035476	Olistostrome (blocs des grès et flysch dans une molasse marneuse, 80% marne
08	$x_1=748746,252$ E $y_1=4062952,6$ (N) $x_2=748891,747$ E $y_2=4062871,32$ (N) $x_3=749008,374$ E $y_3=4062987,666$ (N) $x_4=749017,635$ E $y_4=4062926,481$ (N)	0,037315	Olistostrome (blocs des grès et flysch dans une molasse marneuse, 80% marne Schistes- dans une zone de broyage_faillé
09	$x_1=749724,859$ E $y_1=4060643,283$ (N) $x_2=749727,438$ E $y_2=4060562,518$ (N) $x_3=749848,887$ E $y_3=4060689,08$ (N) $x_4=74988,518$ E $y_4=4060649,074$ (N)	0,003077	Gneiss très altérés – Arène_sable d'altération
Total	0.26 km ²	$\frac{0.26 \times 100}{39.57} = 0.657 \%$ de la totalité de la superficie du bassin objet d'étude	0.26 km ²

Le volume individuel des mouvements de masse recensés sur le globe couvre 15 ordres de grandeur alors que la vitesse des glissements couvre 14 ordres de grandeur, du millimètre par an à la centaine de mètres par an (Dikau, R et al. 1996., Cruden.D, M et Varne, 1996).

De nombreux glissements par exemple apparaissent simultanément lorsque les pentes sont ébranlées par un tremblement de terre, ou évoluent sur plusieurs jours lorsque les ruptures sont déclenchées par des précipitations intenses ou la fonte de neiges. Les glissements de terrain observés dans notre zone d'étude sont dans l'ensemble relativement actifs.

Les glissements de terrain examinés et implantés sur la carte à l'aide de GPS dans le bassin versant de l'oued Lagreme, (photo 32) sont de deux types (glissements de terrain rotationnels et plans) : leur superficie est de plusieurs milliers de mètres carrés.

L'inventaire des glissements de terrain réalisé (tableau 131) ci-dessus montre que la plupart des glissements dans le bassin versant de l'oued Lagreme affectent en majorité les formations lithologiques marneuses et olistostromiques.

- Les marnes bleues (cinq glissements) avec une superficie totale de l'ordre de 0.131 km²
- L'olistostrome (molasse marneuse), et arène (gneiss très altéré (4 glissements) avec une superficie totale de l'ordre de 0.129 km².

D'après (Heusch, B. 1970 et Demmak, A .1982) : la majorité des sédiments emportés dans les réservoirs proviennent du ravinement, des glissements de terrain, des éboulements des berges et de la divagation des oueds.

b- Coulée boueuse

L'érosion hydrique des sols et le ruissellement provoquent sous certaines conditions la formation de coulées boueuses. (Carine, H., 2009).

Les processus de dégradation des sols entraînent plusieurs types de mouvement de masse, tel que glissement de terrain, coulées boueuses...

En règle générale, les coulées boueuses sont caractérisées par des transferts liquides fortement chargés en sédiments, dont le facteur déclenchant est le passage de l'état solide à l'état liquide par dépassement des seuils de viscosité (Coussot, P., Meunier, M., 1996).

Suivant la carte morphodynamique du bassin versant de l'oued Lagreme (figure 136) ci-dessus, le phénomène « coulée boueuse » affecte principalement la formation lithologique olistostromique.

• Caractéristiques générales des coulées boueuses

Selon (Bernard Sauret. 1987), les caractéristiques principales des coulées boueuses sont:

- Matériel généralement hétérogène emballé dans une matrice fine.
- Écoulement fluide guidé par les Thalwegs, sous formes de bouffées successives.
- Vitesse de propagation généralement élevée.
- Mobilisation de volume très important.

✓ Les paramètres physiques descriptifs des coulées boueuses

Les coulées boueuses sont des mouvements de masse dont la description synthétique du phénomène géomorphologique dépend de plusieurs paramètres.

La détermination des paramètres physiques représentatifs est essentielle pour l'étude du comportement des coulées boueuses. On se heurte parfois au fait que les paramètres sont variables à l'intérieur d'une même coulée. (Bernard Sauret. 1987).

Selon (Sauret, B. 1987), Parmi les paramètres de coulée boueuse on peut citer :

- **La contrainte de cisaillement** : une relation a été établie entre les caractéristiques des blocs transportés et la contrainte de cisaillement nécessaire à la mise en mouvement de la coulée boueuse.
- **La densité** : la charge solide d'une coulée boueuse dépasse fréquemment 50% de la masse totale et peut atteindre des valeurs très élevées dépassant 80%.
- **La viscosité** : les mécanismes d'écoulement d'une coulée boueuse restent encore mal connus : plusieurs facteurs internes interviennent dans ce mécanisme.

En général, les conditions géomorphologiques et géologiques ainsi que les caractères physiques du matériau jouent un rôle très important dans le déclenchement de l'aléa coulée boueuse

Les fortes pentes et l'absence de végétation apparaissent presque toujours comme caractéristiques des bassins versants générateurs de coulées boueuses, bien que certaines de celles-ci puissent se déclencher sur des pentes très faibles ne dépassant pas 15%, même sous couvert forestier (Bernard Sauret, 1987).

D'après (Carine, H, 2009), Les coulées boueuses proviennent de l'érosion hydrique des sols d'un environnement caractérisé par les facteurs suivants:

- Le climat, dominé par des variations saisonnières fortes et des précipitations intenses au période de la couverture végétale faible.
- La topographie : avec les valeurs de pentes et les réseaux naturels de collecte des eaux de ruissellement.
- La capacité d'infiltration des sols: elle est tributaire de la structure de la nature des sols. Les sols à dominante limoneuse présentent une faible stabilité structurale.

Tableau 132. positionnement et surface de forme de coulée boueuse dans le bassin versant de l'oued Lagreme.

Forme d'érosion	Coordonnée (x, y) U.T.M	Superficie (km²)	Formation lithologique affecté
Coulée boueuse	X ₁ = 748515,646 Y ₁ = 4065406,333 X ₂ = 748608,25 Y ₂ = 4065226,945 X ₃ = 748952,033 Y ₃ = 4065683,89 X ₄ = 749025,058 Y ₄ = 4065668,809	0.114 km²	Olistostrome blocs de grés et flysch dans une molasse marneuse (80% marne)

Notre étude sur les coulées boueuses doit permettre d'identifier, et localiser les zones affectées par ce type d'alea.

Le phénomène coulée boueuse tableau 132 observé dans la zone d'étude bassin versant de l'oued Lagreme et inactif et affecte principalement les formations lithologiques olistostromiques (molasse marneuse), leur superficie est de l'ordre de 0.14 km².

c- Les solifluxions

Les mouvements de masse ou solifluxions sont des phénomènes fréquents sur les versants qui se produisent soit lentement, soit rapidement et qui en affectent l'ensemble ou seulement quelques portions particulies (Jean, M, Avenard. 1989-1990).

D'après plusieurs auteurs, les solifluxions sont des formes de déplacement plastiques (sous l'effet de la gravité), des matériaux meubles (argileux, marneux) à forte teneur en eaux d'un versant caractérisé par une classe de pente entre 5 et 40%. En général, cette forme géomorphologique caractérisée par un mouvement affecte la tranche superficielle (de 0,4 à 2 mètres).

- **Cause et mécanisme de forme de solifluxion**

La solifluxion procède ainsi d'une même cause commune à tous les phénomènes affectant les versants : c'est un mouvement dû à la gravité tout comme le ruissellement ou les éboulis. Elle fait partie d'un ensemble de processus tendant à enlever les formations meubles de la partie superficielles des versants. Comment s'opère le passage du ruissellement chargé à la solifluxion? Lorsque la perméabilité est faible le ruissellement est favorisé. Au contraire, la solifluxion exige une perméabilité minimum pour fonctionner (Jean M Avenard. 1989-1990).

Le ruissellement et solifluxion sont deux phénomènes antinomiques, variant en sens inverse en fonction de la perméabilité (Jean M Avenard. 1989-1990).

Tableau 133. Positionnement et surface de forme solifluxion dans le bassin versant de l'oued Lagreme.

Forme d'érosion	Coordonnée (x,y) U.T.M	Superficie (km²)	Formation lithologique affecté
Solifluxion	X ₁ =749497.446 Y ₁ =4065310.291 X ₂ = 749735.571 Y ₂ =4064994.907 X ₃ =750007.061 Y ₃ =4065795.961 X ₄ =750322.577 Y ₄ =4065695.948	0.37	Olistostrome (blocs de grés et flysch dans une molasse marneuse (80% marne/.

La carte morphodynamique du bassin versant de l'oued Lagreme (figure 128) et tableau 133, montrent que le phénomène géomorphologique de solifluxion s'observe sur la rive gauche de l'oued de lagreme et affecte principalement les terrains caractérisés par un substratum lithologique Olistostromique (molasse marneuse) avec une superficie de l'ordre de 0.37 km².

Selon (Amireche, H. 2001), les processus à l'origine de cette activité morphodynamique sont souvent indépendants des modes d'exploitation du sol. La conjonction d'une pluviométrie importante et d'une lithologie tendre reste déterminante dans tout le fonctionnement de la morphogénèse locale.

B- Formes d'érosions affectent le bassin versant de l'Oued Kissir

❖ Les ravins

Selon la carte morphodynamique figure 135 les ravins occupent largement la partie avale du bassin versant de l'oued Kissir.

Tableau 134. Propriétés des formes d'érosion ravins du bassin versant de l'oued Kissir

Section des ravins	Longueur (km)	Formation lithologique affectée	%
01	19,44	Olistostrome	92,97
02	0,33	Flysch gréso_mécacé	1,60
03	1,14	Nappe maurétanienne	5,43
Total	20.91	bassin versant	100%

D'après le tableau 134 ci-dessus, ce type d'érosion affecte principalement les formations lithologiques olistostromique avec une longueur de l'ordre de 19.44 km. La deuxième formation affectée par ce type d'érosion « ravins linéaires » on constate la formation lithologique nappe maurétanienne avec une longueur de l'ordre de 1.14 km et finalement le flysch gréso-mécacé avec une longueur de 1.6 km.

❖ Les bad Lands

Selon la carte morphodynamique de bassin versant de l'oued Kissir figure (124), on note que les bad lands se localisent principalement dans la partie avale de la rive droite du bassin versant objet d'étude caractérisée par les formations meubles (olistostrome) rassemblant à elles seules la majorité des badlands avec une superficie totale de l'ordre de 6.633km².

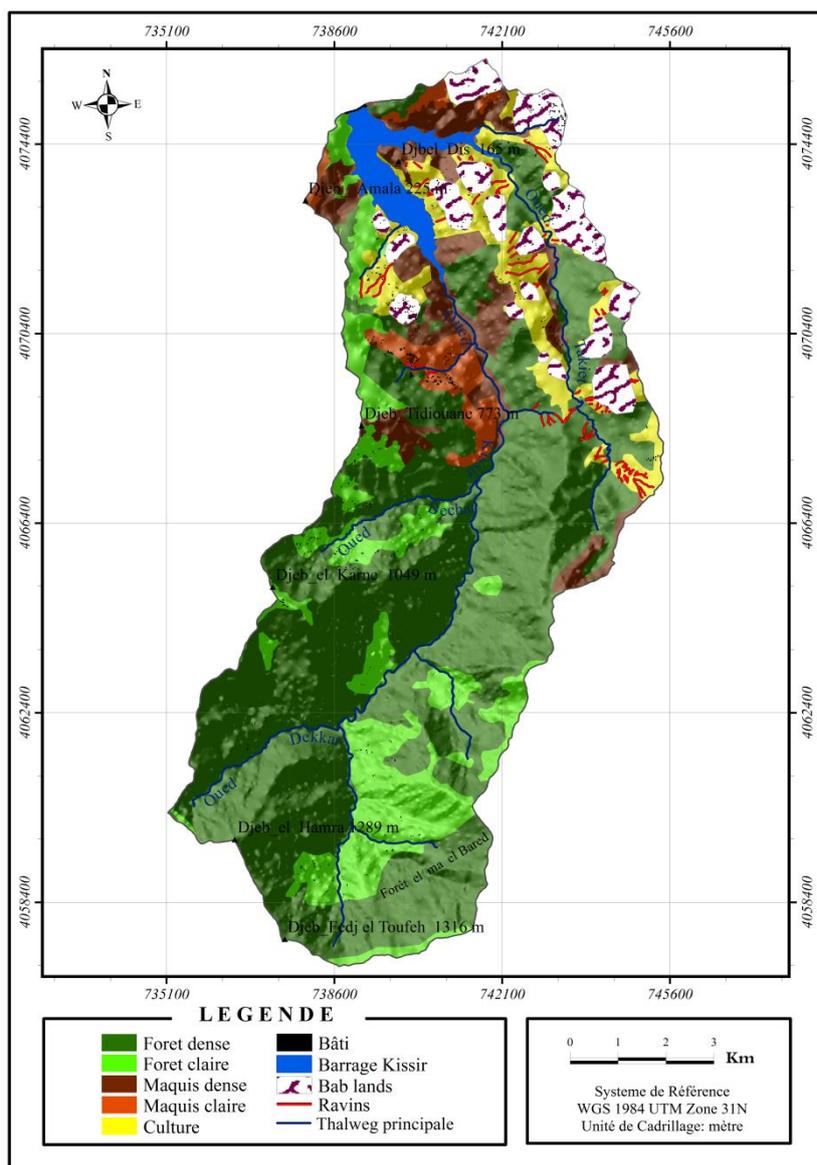


Figure 124. Bassin versant d'oued Kissir : *Occupation des sols* (C.D.F) (w) Jijel) modifié

Tableau 135. Surface et positionnement de forme de l'érosion badlands dans le bassin versant oued Kissir)

Forme d'érosion	Formations lithologiques affectées	Superficie (Km ²)	%
Bad Lands	Grés numidien	0,012	0.17
	Flysch grésomécalcé	0,245	3.56
	Olistostrome	6,633	96,27
	Total	6.89	6.48 % par rapport à la superficie totale du bassin versant objet d'étude.

D'après le tableau (135) ci-dessus les Bad lands occupent une superficie de l'ordre de 6.89 km² soit 6.61 % de la totalité du bassin versant.

Conclusion

Pour valider les résultats obtenus dans ce travail, nous avons par la suite établi une confrontation directe avec la réalité des terrains dans les bassins versants des deux oueds Lageme et Kissir.

- Les paramètres géomorphologiques et lithologiques des bassins versants en question, notamment le bassin de l'oued Lagreme montrent que la plupart des particules transportées vers le lac du barrage proviennent des ravins, badlands et des glissements de terrain.
- les ravins ainsi que les bad lands, sont les formes les plus répandues dans la zone d'étude. Elles affectent essentiellement les formations marneuses, olistostrome, argiles d'altération et arène d'altération.
- Trois types de mouvements de masses observés dans le bassin versant d'oued Lagreme: glissements de terrain, les coulées boueuses et la solifluxion. Leur importance reste variable selon leurs positionnements géographiques dans l'aire d'étude.

X.2. Proposition d'aménagement et stratégie anti-érosifs

Introduction

Depuis longtemps, l'Algérie a connu des effets dramatiques sur les barrages, notamment les accumulations provenant du phénomène de l'érosion.

Face à ce problème, les différentes tentatives de lutte contre l'érosion à travers les programmes de « défense et de restauration des sols(DRS) » d'abord puis de « rénovation rurale » ensuite, ont globalement échoué. La majorité des programmes de lutte contre l'érosion sont loin d'être à la hauteur de l'ampleur des phénomènes érosifs et de leurs conséquences (Heddadj, D. 2012).

Malgré les investissements lourds consentis, l'érosion a poursuivi son œuvre de destruction des sols. Les raisons de l'inefficacité de cette stratégie sont liées d'une part à l'indifférence des agriculteurs, car non associés à ces programmes, et d'autre part à l'introduction et la généralisation d'une technique d'aménagement sans aucune expérimentation préalable (Aubert, G. 1986).

Selon (Heddadj, D. 2012), A partir des années 1980, une nouvelle démarche a été mise en place. La stratégie proposée été le fruit d'une réflexion prenant en compte notamment :

- Les analyses de cas sur des réalisations en essayant de dégager les éléments positifs et négatifs des démarches appliquées préalables.
- Les programmes ont été élaborées sur la base d'un plan directeur d'aménagement agro-sylvo-pastoral auxquels devaient être rattachées des réalisations d'infrastructures et d'équipements pour l'amélioration des conditions de vie des populations.

Selon plusieurs auteurs, la plupart des projets de lutte contre l'érosion (reboisement), n'ont jamais accéder les objectifs qu'ils s'étaient fixés.

C'est ainsi que cette étude mérite toutes les opportunités de présenter les méthodes anti-érosives capables de ralentir le processus d'érosion et de diminuer le taux de transport solide vers les lacs des barrages des deux oueds Lagreme et Kissir.

X.2.1. Programme de lutte contre l'érosion hydrique dans les deux bassins Lagreme et Kissir

A propos de cette problématique de lutte contre l'érosion des versants il existe plusieurs méthodes relatives à la protection contre les ravinements et les différents mouvements de masse.

La mise en place d'un programme de lutte contre l'érosion hydrique dans les deux bassins Lagreme et Kissir est une exigence de premier ordre. Ce programme, a pour but de diminuer le taux de dégradation spécifique, et d'augmenter par la suite le taux d'emmagasinement des eaux dans les deux lacs des barrages de Lagreme et Kissir. Généralement une prise en charge efficace de la lutte contre l'érosion nécessite une intervention selon deux plannings :

- Une stratégie de lutte contre l'érosion (sur les zones de ravinements et mouvement de masse) basée sur des paramètres expérimentaux et des techniques anti-érosives à l'échelle locale (bassin versant).
- Des programmes d'aménagement des zones rurales pour améliorer les conditions de vie des populations des deux bassins de l'oued Lagreme et Kissir.

Le bassin versant de l'oued Lagreme malgré sa surface réduite s'avère relativement exposé à un grand risque érosion hydrique. Certaines zones du bassin nécessitent des interventions urgentes en matière d'aménagement notamment sur les bandes caractérisées par une sensibilité à l'érosion forte et très forte. Sur la rive droite de l'oued Lagreme, l'effet et le mécanisme de l'érosion sont définis par la gravité du facteur pente et l'importance du ruissellement. Ce phénomène est plus intense et plus inquietant sur les terrains caractérisés par un substratum arénétisé.

Par contre la rive droite de l'oued Kissir à topographie relativement modérée nécessite des travaux d'aménagement plutôt stabilisants aux niveaux des zones susceptibles d'être mises en mouvement (petits fillets et rigoles).

Travaux d'aménagements et lutte contre l'érosion

La lutte contre l'érosion hydrique dans les bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir consiste l'application des tâches suivantes :

➤ Sur le plan technique : les zones des ravinements

- Il faut conforter les talus par une couverture végétale pour stabiliser l'évolution des ravinements.
- Construire des obstacles en pierres en travers des ravins, afin de mieux protéger le couvert végétal, et stopper le transport solide.

- Soutenir les berges le long du réseau hydrographique, par des plantes spécifiques pour lutter contre le phénomène du sapement. Le couvert végétal est un facteur fondamental dans la lutte contre le risque de l'érosion.

Parmi les moyens d'intervention et de lutte contre les ravinements on note :

L'implantation des banquettes : les banquettes mécaniques, suivant des normes définies par la CES (La CES se définit donc comme le combat contre la dégradation des ressources en eau et sol. Elle implique également la défense et la restauration des sols).

Généralement l'installation des banquettes, et la technique de la construction comporte la procédure suivante :

- Traçage des banquettes suivant les courbes de niveau, avec une pente longitudinale de 1 à 5% vers les exutoires naturels pour évacuer l'excès d'eau retenue sur les banquettes.

L'implantation des banquettes constitue l'un des moyens les plus utilisés pour la lutte contre l'érosion hydrique notamment le phénomène de ravinement dans les bassins versants en question.

- **Le reboisement :** ayant but de stopper la disposition activable de dégradation des forêts par des programmes locaux de reboisement des espèces adaptées au climat de la région.

Le reboisement est un moyen efficace de lutte contre l'érosion notamment sur les sols stériles et les zones caractérisées par des reliefs accidentés et des pentes fortes. Le reboisement est un moyen efficace, les effets peuvent être multiples :

- le couvert végétal augmente la rugosité des terres, et par conséquent réduit le ruissellement dans le bassin versant.
- Les racines des plantes stabilisent les sols notamment les zones caractérisées par des pentes élevées.
- Un couvert végétal dense réduit le taux des écoulements superficiels.

Les zones critiques et très sensibles à l'érosion dans les deux bassins doivent être ciblées en priorité pour l'aménagement et les stratégies antiérosifs.

- **Lutte contre les incendies :** c'est une manière d'éviter la dégradation des forêts aux seins des deux bassins versants.

Parmi les programmes en termes de reboisement :

- Les plantations forestières adaptées au climat locale.

- Les plantations fruitières : ce type d'action permet aussi le développement et la mise en valeur de l'économie rurale notamment pour les zones éparses.
- Le couvert végétal favorise la stabilité des sols par l'augmentation de taux d'infiltration et la diminution de la lame ruissillée.

➤ **Aménagement des bassins versants :**

La maîtrise de l'aménagement des bassins versants passe par la correction des ravinements. Ces derniers restent toujours des phénomènes d'érosion les plus significatifs dans la zone d'étude.

- Augmentation de taux de perméabilité des bassins versants (surface perméable du bassin /surface imperméable du bassin).
- L'entretien des aménagements notamment après les fortes averses provoquant des inondations.
- Contrôle de l'extention urbaine ainssi que la croissance démographique pour les deux bassins versants.

Encourager et soutenir l'arboriculture, notamment dans le cadre des programmes de développement rural et agriculture de la montagne.

➤ **Sur le plan socio-environnemental :**

- Lancement des plans d'actions pour l'amélioration du niveau de vie de la population rurale dans les deux bassins objet d'étude.
- Mise en oeuvre des programmes permettant aussi en parallèle la protection de l'environnement (forêt, sols, et eaux).

Des plans socio-économiques pour une meilleure gestion humaine et de l'environnementale. Ces plans permettant une gestion durable des rapports entre l'homme et son milieu physique.

- Mise en place d'une stratégie de protection et de mise en valeurs de l'environnement, pour l'amélioration du cadre de vie de la population notamment les zones éparses dans les bassins versants objet d'étude.

Finalement : la mise en place d'un système de suivi et de contrôle particulièrement pour les zones ciblées sensibles et très sensibles : notamment :

- Les forets.
- Les sols cultureaux.
- Les extensions urbaines vers les zones sensibles, les extensions périurbaines.

- Les terrains nus.
- Les zones fragiles (ravinelements, glissement de terrain..).

En fin favoriser les programmes d'intégration de principe de protection de l'environnement et des zones sensibles dans les programmes d'aménagements et d'urbanisme au niveau des collectivités locales notamment les APC.

Conclusion générale

Le risque de l'érosion hydrique dans les bassins versants des oueds de Kissir et Lagreme est significatif notamment durant les périodes des crues. À cause des caractéristiques climatiques humides, morphologiques (pentes fortes), lithologiques (formations meubles) et un couvert végétal plus ou moins dégradé, le ruissellement notamment dans la zone d'étude est très actif. La dégradation des sols, le transport solide et la sédimentation sont des phénomènes spectaculaires, provoquant des effets dramatiques sur l'environnement (perte de sol) et sur les infrastructures (envasement des barrages).

Cette étude s'inscrit dans les démarches de recherche sur les risques liés à l'érosion des sols dans les bassins versants côtiers constantinois. L'approche retenue dans ce travail a pour but la spatialisation du degré de sensibilité à l'érosion dans les bassins versants des deux oueds concernés.

La méthode mise en œuvre a permis de mettre en relief les différents paramètres ayant un impact direct sur le phénomène de l'érosion hydrique : pente, lithologie, précipitations, écoulement, occupation des sols et finalement les linéaments. L'analyse bibliographique relative à notre sujet a permis d'élucider la problématique du risque érosion au Nord algérien, ainsi que dans les zones humides et sub-humides caractérisées par un climat méditerranéen.

L'approche utilisée a permis aussi de mettre en relief le rôle et la gravité des paramètres géo-géomorphologiques et morphométriques dans l'érosion des versants du bassin de l'oued Lagreme et Kissir. Les recherches sur les mécanismes de l'érosion et de transport solide montrent que ces phénomènes ont de très nombreux facteurs comme : la nature des sols, le climat, l'occupation des sols et le relief exercent souvent des influences contrastées à l'échelle locale.

Pour montrer cela, nous avons fait recours à une analyse spécifique basée sur :

- Les paramètres géo-géomorphologiques, hydroclimatiques et morphométriques afin de faire ressortir la situation morphologique, la gravité de l'écoulement, et le transport solide spécifique dans les aires considérées. Le taux des matériaux arrachés est révélateur d'une phase d'érosion accélérée qui s'y installe.
- Distinguer par pondération le rôle et l'impact de chaque paramètre morphométrique indicateur dans les deux bassins versants. Ceci nous amène à choisir une hiérarchisation des sous-bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir, en utilisant douze(12) paramètres morphométriques. Les différentes classes de priorisation élaborées par la suite, sont le résultat de l'analyse et de traitement des moyennes des différents indices morphométriques : indice de

relief hypsométrique, indice de la taille et de la forme et finalement les indices de l'organisation du réseau hydrographique.

Cette analyse a permis par la suite de grouper les sous-bassins de l'oued Lagreme et kissir en trois catégories : classe à sensibilité forte, correspondant à la zone la plus exposée aux risques d'érosion, une classe à sensibilité moyenne, et enfin une dernière classe à sensibilité faible.

S'inscrivant dans cette démarche d'évaluation du risque érosion hydrique, notre travail a permis aussi de mettre en œuvre une approche multifactorielle basée sur un système d'informations géographiques (SIG). L'approche adoptée dans cette étude, a permis par la suite de croiser diverses sources d'information, de les analyser et finalement de représenter le phénomène d'érosion sous forme des cartes thématiques numérisées.

Cette étude représente une démarche pour la géolocalisation de degré de risque érosion. La structuration des données codifiées (classification selon un degré d'impact : faible, moyen, fort et très fort) dans un système d'informations géographiques (SIG), a permis finalement de compiler les différents facteurs et processus d'érosion entre eux.

L'application du système d'informations géographiques, a permis aussi de mettre en évidence les zones les plus exposées aux risques érosion, dans les bassins versants objet notre d'étude.

Afin de mieux préciser la cartographie zonale de la vulnérabilité, les zones exposées aux risques d'érosion sont regroupées en quatre zones : faible, moyenne, forte et très forte.

Les résultats des études dénommés par cette approche, présentent un premier passage de recherche, elle peut être généralisée à d'autres bassins versants ayant les mêmes paramètres et processus de genèse qui sont une fonction de l'érosion hydrique.

Références bibliographiques

Références bibliographique

- Abdellaoui, A.,** L. Vişan, Ileana Pătru Stupariu., 2010. Étude de la viabilité du paysage par analyse de grille dans la région Sous Carpatique de la Vallée de Prahova (Roumanie). *Revista de geomorfologie*, vol. 12, 81-90.
- Ahamrouni, J., 1996.** Erosion hydrique dans le bassin versant de la moulouya (Maroc), recherche des zones sources d'envasement de la retenue du barrage Mohamed V. doctorat 3^e cycle, université de Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 190p.
- Ahmed Laabidi.,** Abdellah El Hmaidi., Lahcen Gourari. 2016 : Apports Du Modele Numerique De Terrain Mnt A La Modelisation Du Relief Et Des Caracteristiques Physiques Du Bassin Versant Du Moyen Beht En Amont Du Barrage El Kansera (Sillon Sud Rifain, Maroc). *European Scientific Journal* October 2016 edition vol.12, No.29 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857-7431
- Achite, A., Meddi, M.** Estimation des crues en zone semi-aride : cas du bassin versant de l'oued Sly (Chlef). Colloque International « Terre et Eau ». Université d'Annaba 4, 5 et 6 Décembre 2004.
- Albergel, J.,** Diatta, M., Grouziz, M., et Sene, M., 1995. Réhabilitation d'un écosystème aride par l'aménagement des éléments du paysage, In Pontanier et al.(eds).293-306.
- Amireche, H., 2009.** Dégradation dans les bassins versants de l'Algérie orientale, effets et stratégies d'aménagement : Cas du bassin versant de Zerdezar, science et technologie D.N° 29, juin, p.p. 33-40.
- Amirèche, H., 2001.** L'eau, le substrat, la tectonique et l'anthropisation dans les phénomènes érosifs du Tell Nord-Constantinois. Thèse d'Etat. FSTGAT. Université de Constantine. Algérie. 229 p.
- Ammara, A., 2012.** Vulnérabilité à l'envasement des barrages (cas du bassin hydrographique des côtiers algérois). Thèses de doctorat en sciences hydrauliques, université Mohamed Khider-Biskra. 172p.
- Anderson, M., G; Richards, K. S., 1989.** Slope stability. Ed. Wiley & Sons Ltd, London, Angletaire, 645P.
- André, Musy.,** Christophe H., 1998. Hydrologie appliquée, édition (H), (G), (A), Bucarest, office fédéral de l'éducation et de la science, suisse n° 96-01), 368P.
- Anonyme., 1997.** Analyse du milieu agricole dans la wilaya de Jijel. Bureau National Du Développement Rural. 80p.
- Akram, J., Mohd Yousuf K.,** Rizwan A., 2009. Prioritization of Subwatersheds based on Morphometric and Land Use Analysis using Remote Sensing and GIS Techniques. *J.Indian Soc. Remote Sensing* 37: 261-274.
- Arabi, M., Roose, E. 1989.** Influence de quatre systemes de production mediterraneennes de moyenne montagne algerienne. *Bulletin Reseau Erosion* 9 ; 39-51
- Arabi, M., 1991.** Influence de quatre systems de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnad méditerranéen à Médéa Algérie .thèse de doctorat université Joseph Fourier – Grenoble (france) 227p.
- Aubert,G .1986.** Réflexions sur l'utilisation de certains types de banquettes de « défense et de restauration des sols » en Algérie. *ORSTOM, sir, Pédol.*, 22(2) : 147-151.
- Auzet, A., V., 1987.** L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grandes cultures : aspects agronomiques. *Min Env. Min Agri, CEREG-URA 95 CNRS.* Strasbourg, 60p.
- Bacha, I., 2015.** Etude de la sismicité de la region Nord-Est de l'Algérie, thèse de doctotat science, université de Sétif, 236P.
- Bachir, Achour., 2006.** Le transport solide dans le b.v de l'oued Isser Algerie. *Larhyss, Journal,* Essin 1112-3680, N° :5 juin 2006, pp. 63-73.

- Baghdad, A., Bouazi, R., Bouftouha, Y., Bouabsa, L., Fagel, N., 2017.** Mineralogical characterization of Neogene clay areas from the Jijel basin for ceramic purposes (NE Algeria-Africa). *Applied Clay Science*, 136 (176-183).
- Bannister E. N., 1980.** Hypsometries of Michigan's Southeastern Lake Plain. *Journal of Great Lakes Research*, Vol. 6, Issue 2, 154- 163.
- Beirnaert, G., 1941.** La technique culturale sous l'Équateur. Pub. INEAC Ser. Techn., 86 p.
- Beging, G., Lanly, J.P., 2010.** Ligneux et désertification en Méditerranée. Troisième Conférence scientifique méditerranéenne du GID- « Richesse et diversité méditerranéennes : biologie et culture ».
- Benzogagh, et al., 2016.** *European scientific journal* February 10.19044/esj. 2016. V12, n6 p/266.
- Bendjoudi, H., Pierre, A.** Le coefficient de compacité de gravité : analyse critique d'un indice de forme de bassins versants, publication, hydrological science-journal des sciences hydrologiques, 47(6) décembre 2002.
- Benkhaled, A., Remini, B., 2003.** Analyse de la relation de puissance débit solide-débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'oued Wahran (Algérie). *Revue des sciences de l'eau* 16/3 : 333-56.
- Benzogagh, B et al.** 2016 Utilisation du SIG dans l'analyse morphométrique et la priorisation des sous bassins versants des oueds Inaouene (Nord-Est) du Maroc, 2016. V12.n6 p 266. *European scientific Journal* February 2016.
- Belkessa, R., 1991.** Evolution géomorphologique et sédimentologique du bas Isser et de son embouchure. Thèse de magister en géomorphologie et aménagement des côtes, ISMAL, Algérie, 184p.
- Belagoune, F., 2012.** Etude et modélisation des crues des cours d'eau en milieu semi-aride : cas des grands bassins versants 05, 06 et 07. *Mém. de Magistère, Univ. D'Ouargla*, 181 p.
- Bernard, Sauret.** Coulée boueuse, larves torrentielles, bull, liaison labo.pet oli.150/151. Juillet aout/ sept.oct.1987, réf 32031.
- BLIC (Ph. de), 1976.** Le comportement des sols ferrallitiques de Côte-d'Ivoire après défrichage et mise en culture mécanisée : rôle des traits hérités du milieu naturel. *Cah. ORSTOM, sér. Pddol.*, 14, 2 : 113-130.
- Bergsma, E., Charman, P., Gibbons, F., Hurni, H., Moldenhauer, W. C. & Panichapong, S., 1996.** Terminology for soil erosion and conservation. *ISSS*.
- Bidwas S., Sudhakar S., Desai VR., 1999.** Prioritization of Subwatersheds based on Morphometric analysis of drainage basin, District Midnapore. West Bengal. *J.Indian Soc. Remote Sensing* 27 (3) : 155-166.
- Bonn, F., 1998.** La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection des sols : possibilité erreurs et limites. *Sécheresse* ; 185-192.
- Bouar, R. 2014.** Étude des potentialités biologiques, cartographie et aménagement de la chaîne des Babors dans la démarche du développement durable, thèse de doctorat science, Université Ferhat Abbas Sétif-1, P, 141.
- Boiffin, J., Keli Zagbalhi, J., Sebilotte, M., 1986.** Systèmes de culture et statut organique des sols dans le Noyonnais : application du modèle de Hénin Dupuis. *Agronomie* 6, 437-446
- Bouanani, A., 2004.** Hydrologie, Transport solide et Modélisation : étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW –Algérie). Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée, Université de Tlemcen, p 250.
- Bouanani, A., Terfous, A., et Megnounif, A., 1999.** Evaluation du transport solide dans le bassin de l'Isser (Nord ouest algérien). 2e Sem. Maghrébin, Tizi - Ouzou. 5 p., 4 fig.
- Boughalèm, K., 2013.** Impact des systèmes de gestion sur la vulnérabilité des sols à l'érosion ; cas du bassin versant de L'Isser, Tlemcen (Algérie) ; thèse de doctorat en science, 2013. Univ_ de Tlemcen. 215 p.

- Bouillin, J.P.**, Durand Dulga, M., Gelard, J.M., Teflani, M., et Vila, J.M., 1970. Définition d'un flysch massylien et d'un flysch maurétanien au sein des flysch allochtones de l'Algérie. CR Acad. sci.fr.t.270 p.2249-2252.
- Bouillin, J.P.**, Raoult, J.F., 1973. Présence sur le socle kabyle du Constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut-il être un néo-autochtone ? Bull. Soc. géol. Fr., (7), XIII, p.338-362, 8 fig. Paris.
- Bouillin, J.P.**, Raoult, J.F., 1971. Présence sur le socle kabyle du constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut être un néo-autochtone? Bull. Soc. Géol. France, 7, pp 338-362.
- Bouillin J. P.**, 1977. Géologie alpine de la petite kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia. Thèse de doctorat d'état, université de Paris VI (Pierre et Marie Curie), 511p.
- Bouillin, J.P.**, 1979. La transversale de Collo et d'El-Milia (Petite Kabylie) : Une région clef pour l'interprétation de la tectonique Alpine de la chaîne littorale d'Algérie. Mém. Soc. géol., France, 135, pp 1-84.
- Bourouba, M.**, 2002. Comparaison de la charge solide en suspension dans les oueds Algériens : essai de synthèse, bulletin réseau érosion, 21, 358-374.
- Bourouba, M.**, 1994. Bilan comparatif de l'érosion actuelle dans deux bassins versants de l'Algérie orientale : le Seybouse et le Djen djen, article, Méditerranée, year 1994 /80/ pp. 31- 39.
- Boukheir, R.**, Girard, M.C., Shaban, Khawli, M., Fouar, G et Darwied, T., 2001. Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban. Télédétection, vol.2, n° 2, p. 79-90.
- Boukheir, R.**, Girard M,C,I, Khawlie, M,E,T et Abdallah, C., 2001. Érosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens. Une revue bibliographique, étude et gestion des sols, volume 8, 4, 2001-pp 231-245.
- Boukheir, R.**, 1998. Apport de la télédétection et du SIG pour la gestion de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban ; projet pilote Libanaise, Saint Joseph, Saint Esprit (Liban) et en partenariat avec l'ENA PG et l'INRA (France) 85 p.
- Boukheir, R.**, 2002. Etude de risque d'érosion hydrique des sols, par télédétection et SIG : application à une région représentative du Liban. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris Grignon, France, 266 p.
- Boukheir, R.**, Cerdan, O., Chadi, A., 2006. Regional soil erosion risk mapping in Lebanon. Geomorphology, 82 - 347-359.
- Bou Kheir, R** et M.-C. Girard1., 2005. Cartographie de la densité de drainage par une classification structurale des informations spatialisées : application de la méthode Oasis à une region représentative du Liban. Lebanese Science Journal, Vol. 6, No. 2, 2005
- BouKheir, R.**, Abdallah, C., et Khawli, M., 2008. Assessing soil erosion in Mediterrenian karst landscapes for Lebanon using remote sensing and GIS. Engineering Geology Journal, 99(3-4), 239-254.
- Bouhamadouche, M.**, 2012. Contribution à l'étude géologique et sédimentologique de la grande baie de Zemmouri (Cap-Matifou, Cap Djinet). Thèse de doctorat d'état en géologie.
- Boussema, H. R.**, 1996. Système d'information pour la conservation et la gestion des ressources naturelles. Colloque international sur le rôle des technologies de la communication et de l'information en matière de protection de l'environnement. Tunis, Tunisie, 17-19 Avril .96, 112-116.
- Bufalo, M.**, 1989. L'érosion des terres noires dans la région de Buech (Hautes-Alpes, France). Thèse de doctorat en géologie, Aix-Marseille III, 230 p.
- Castro, N.**, Auzet, A, V., Chevallier, P., Leprun, J.C., 2000. Influence of extreme rainfall events (I31 Nino) on a gully system typical of the basaltic plateau of Southern Brazil. Int. Symp. (Gully erosion under global change). Leuven, Belgium, abstract 44.
- Carine, Hertz.**, 2009. La perception du risque de coulée boueuse : Analyse sociogéographique et apport à l'économie comportementale, thèse de doctorat, univ.de Strasbourg 299 p, France.

- Casenave , A.**, et Valentin, C ., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne : Influence sur l'infiltration , Collection didactique, ORSTOM, Paris, France, 230P.
- Coussot, P.**, Meunier, M., 1996. Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science Review*, 40, 209-227.
- Cerdan, O.**, Le Bissonnai, Y., Souchère,V., King, C., Antoni,V., Surdyk, N., Dubus, I., Arrouys, D., et Desprats, J.F., 2006. Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport numéro 3 : Synthèse et recommandations générales. Rapport BRGM-RP-55104-FR, Orléans, 85 p.
- Chaponniere, A.**, 2005. Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi aride, cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain). Institut.N.Agronomique, Paris-Grgnon, 268P.
- Chaumont M.**, Paquin, G., 1971. Carte pluviothermique de l'Algérie. 4 feuilles, 1/50 000. notice explicatif.Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Alger, 24p.
- Chebbani, R.**, Djilli, K., Roose Eric. 1999. Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'IsserRéseau Erosion, (19), 85-95 multigr.. *L'Homme et l'Erosion : Colloque International*, Yaoundé (CMR), 1999/12/09-19.
- Chevalier, P.**, Hébert, A., Kaufmant, Y. et Moyen J., 2001. Cartographie de l'aléa « érosion des sols » à la Réunion : caractérisation et cartographie des phénomènes érosifs. Rapport BRGM RP - 51236-FR - 2001 SGR/REU 27. Saint-Denis : BRGM, 78 p.
- Chevalier, P.**, Pouliot J., Thomson K., Boussema, H.,R., 1995. Systèmes d'aide à la planification pour la conservation des eaux et des sols (Tunisie).Systèmes d'information géographiques utilisant les données de télédétection. Actes du colloque scientifique international , Hammamet , Tunisie 1-2 Novembre 1994 , 4-12.
- C.O.R.S.T.O.M.** Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération. (1991-1992).
- Corine.**, 1992. Soil Erosion Risk and Important Land Ressources in the Southern Regions of European Community. EUR 13233-EN, 97 P.
- Chow ven, T.**, 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw- Hill Book Co., Inc. Toronto.
- Cosandey, C.**, Robinson M.,2000. Hydrologie continentale, Armand Colin, Paris,360p.
- Couvert, B.**, Lefort, Ph., Peiry, J, l, Bleudy, Ph., 1994. La gestion des rivières, transport solide et atterrissement. Guide méthodologique, les études des agences de l'eau, n° 65.
- Cruden, D, M.**, Varnes, D, J., 1996. Landslide types and processes. In: A.K. Turner & R.L. Schuster (Editors), Landslides: investigation and mitigation. Transportation Research Board, Special Report 247, National Research Council. National Academy Press, Washington D.C., pp. 36-75.
- Dadson, S,J., Hovius, N.**, Chen, H.G., Dade, W.B., Hsieh, M.L., Willett, S.D., Hu, J.C., Horng, M.J., Chen, M.C., Stark, C.P.,Lague, D. & Lin, J.C., 2003. Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen. *Nature*,426(6967): 648-651.
- Daoudi, M., et al.**, 2009. Prédiction de l'érosion ravinante en Algérie: vers une nouvelle approche probabiliste à l'aide des données multisources. Journées d'animation scientifique (Jaso9) de l'Auf (Alger).
- Daoudi, M.**, 2009. Analyse et prédiction de l'érosion ravinante par une approche probabiliste sur les données multisources : cas du bassin versant de l'oued Isser, Algérie.
- De Ploey, J.**, in collaboration with ::Auzet, A,V., Bork, H-R., Misopolins, N., Rodolfi., G., Sala, M. and Silleos.NG., 1989. Erosional systems and perspectives for erosion control in Europeaan loss aeras.*Soil Technology Serie*,1-93-102.
- Demmak, A.**, 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en suspension en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingenieur, Univ. Paris IV, France. Faculté des Sciences de Pans. 302 p.
- Derrau, M.**, 1964. L'érosion terrestre, étude quantitative (méthode, technique, résultats) article annales de géographie, volume 73, n° 398) pp 385-412.

- De Roo, APJ. C. G., et Ritsema, C.J.** 1996. LISEM: a single event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Their input output. *Hydrological processes* 10(8) 1107-1117.
- De Jong S, M., Riezebos, H, T.,** 1997. A distributed approach to soil erosion modeling. *Remote Sensing'96*, Spiteri (ed.), Balkema, Rotterdam, ISBN 90 54 1 0 855 X, 1 99-204.
- Dikau, R.,** Brunsden, D,L,S., Isben, M, L. (Editors), 1996. *Landslide recognition. Identification, movement and causes.* International Association of Geomorphologists, 5. Wiley, Chichester, 274 pp.
- Djellit, H.,** 1987. *Évolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flysch en petite Kabylie occidentale (Algérie),* thèse de doctorat, Univ de Paris, France.
- Duchaufour, P.,** 1970. *Précis de pédologie.* Paris : Masson, 481 p.
- Dudois, J.,** 1999, *Identification de linéaments dans les images satellitaires par ajustement et suivi de segment,* Montréal, 133 p.
- Durand Delga, M.,** 1955. *Étude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique (Thèse Paris).* Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2ème Série, stratigr., descriptions régionales, N°24, 533 p. Alger.
- Durand Delga, M.,** 1969. *Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie.* Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131.
- Ellison, W, D.,** 1944. (Studies of raindrop erosion). *Agricultural Engineering*, 25:131–136,181–182.
- Ekern, P, C.,** 1950. (Raindrop impact as the force initiating soil erosion). *Soil Science Society of America Proceedings*, 15:7–10.
- El Mahi, A.,** Meddi, M. et Bravard, J, P., 2012. *Analyse du transport solide en suspension dans le bassin versant de l'Oued El Hammam (Algérie du nord).* *Hydrological Sciences Journal*, 57 :8, 1642-1661.
- El Mehdi., M, S et al.,** 2006. *Bulletin de l'institut scientifique, Rabat, section science de la terre,* n° 28, 41-49.
- Erpul, G.,** Norton, L. D. & Gabriels. D. 2002. *Raindrop-induced and wind-driven soil Particle transport.* *Catena*, 47(3):227–243.
- Esswaran, H.,** Lal R., et Reich P.F., 2001. *Land degradation, an overview,* In: Bridges EM, et al., eds. *Responses to land degradation,* New Delhi : Oxford Press.
- Fauckf, R.,** Moureau, C., Thomann,C., 1969. *Bilan de l'évolution des sols de Séfa (Sénégal) après Auinze années de culture continue.* *Agrom. Trop.* 24, 3 : 263-301.
- Fauck, R.,** 1977. *Erosion and mechanization - in Soil conservation and management in the humid tropics.* Edited Greenland and LAL, Tchn Wiley : 189-193.
- Flageollet, J.,** 1999. *Landslides and climatic conditions in the Barcelonnette and Vars basins (Southern French Alps, France).* *Geomorphology*, 30(1-2), p.65-78.
- Foudil Bouras, A.,** 2012, *Approche géochimique d'un hydrosystème côtier algérois: Transfert de matière organique de l'oued Mazafran vers la baie de Bou-Ismaïl.* Thèse de doctorat d'état, USTHB, Algérie, 175 p.
- Fournier, F.,** 1960. « *Climat et érosion* ». Presses Universitaires de France. Paris.
- Fraipont, P., Hirsch, J.,** 1984, b. *Analyse linéaire: procédure de traitement automatique de données télédéteées.* C.R. Coll. Int. "Informatique en Sciences de la Terre", Nancy, April 1984
- FAO.** 1990. *L'Organisation des Nations-unies pour l'alimentation et l'agriculture (ou Food and Agriculture Organisation, FAO).*
- FAO,** 1996. *Crues et apports. Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche.* *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*, 54, 244p. <http://www.fao.org/docrep/w2570f/w2570f00.htm#Contents>.
- FAO,** 1980. *Conservation des ressources naturelles en zone arides et semi-arides.* Cahiers FAO : conservation des sols 3 : 135 p.
-

- FAO UNEP ., 1997.** Guidelines for mapping and measurement of rainfall-induced erosion processes in the Mediterranean coastal areas. Split (Croatie): Priority Actions Programme Regional Activity Centre (PAP/RAC), 72 p. ISBN: 953-6429-08-X. (consulter)
- Garcia Ruizi., Lasnta, T., Ruiz, Flano, P., Ortiza, L., White, S., Gonzales,C. et Martic., 1996.** use changs and sustainable developement in mountair area : a case study white spanichi pyreneri land stope Ecology, vol.11 n° 5, p 267-277.
- Girard,M,C., Walter,C., Remy,J,C., Berthelin,J. et Morel,J,L., 2005. Sols et environnement. Paris, Dunod, 816P.
- Godefroy, J., 1974.** Évolution de la matière organique du sol sous culture du bananie r et de l'ananas. Relations avec la structure et la capacité d'échang e cationique. Thèse, Université de Nancy, 166 p.
- Guillobez, S. et Zougmoré R., 1991.** Etude du ruissellement et des ces pricipaux paramètres à la parcelle (Saria, Burkina Faso), D+Sécheresse en Afrique tropicale, Ed . John Libbey Eurotext, Paris ; 319-329.
- Godefroy, J., 1974.** Evolution de la matière organique des sols sous bananier et ananas. Thèse Doct. Ing. Nancy, 166 p.
- Gomer, B., 1994.** Ecoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen –traductio française(Paschen.H). et (Vogt.H) de la thèse soutenue à l'université technique de Karlsruhe. Collab.Agence natinale ressources hydrauliques (Algérie) Gtz (Allemagne) dans le cadre de « projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'oued Mina »207 P + 25 annexes.
- Grimm, A., 2003.** The el Niño impact on the summer monsoon in Brazil : regional processes versus remote influences. Journal of Climate, 16 :263–280.
- Greco, F., 2002.** Risk-Prone Lands in Hilly Regions : Mapping Stages”, Applied Geomorphology : Theory and Practice, Edited Alisson, John Wiley & Sons, Ltd, 49-64.
- Habib, P . 1997.** Génie Géotechnique, application de la mécanique des sols et des roches. ED. Ellipses AUPELF/ UREF, Paris, 224P.
- Heddadj, D. 2012).** INRA, Alger, Algérie.
- Henri, M, PELLERAY,** Etude sommaire des transports solides dans un petit bassin du nord — cameron, Service Hydrolqgique de l'ORSTOM au Cameroun.
- Heusch, B., 1988.** Aménagement d'un terroir. Techniques de lutte contre le ravinement. CNEARC, Montpellier, 199 p.
- Heusch, B., 1970.** L'érosion du Pré Rif. Etude quantitative dans les collines marneuses. Annales Recherches Forestières du Maroc 12 : 9-176.
- Hien, F. G., 1995.** La régénération de l'espace sylvo-pastoral au Sahel : une étude de l'effet de mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso ; Document sur la gestion des ressources tropicales 7. Université Agronomique Wageningen, 219p.
- Hirsch , F., 1962 :** Analyse morphométrique des réseaux fluviatiles - Application 8. la prévision des débits des cours d'eauf l Rev, GBom. Dyn. 3 p 97-206, 1962.
- Hjulstom, F., 1935.** Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyries, Bull. Geo. Inst. Univ. Uppsala, 25, pp 221-527.
- Hobbs, WH., 1912.** Earth features and their meaning macmillon Co. (edl, Newyork 506 p.
- Hoogmoed, W, B., et Stroosnijder., 1984.** Crust formation and sandy soil in the Sahel II, tillage and its effects on a water balance, Soil Tillage Ressource .4:321-337.
- Horton, R, E., 1932.** Drainage basin characteristics. Transactions A. Geophysical Union, 13 : 350-361.
- Hovius, N., Stark, C.P. & Allen, P.A., 1997.** Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping. Geology,25(3): 231-234.
- Hug, M., 1975.** Mécanique des fluides appliquée aux problèmes d'aménagement et d'énergétique. Eyrolles. Paris, 1195 p.

- Humbert, J., 1990.** Intérêt de la densité de drainage pour régionaliser les données hydrologiques en zone montagneuse. *Hydrology in mountainous Regions. I- Hydrological Measurements ; the water Cycle* (proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990). IAHS Publ. No. 193, 1990, p 373-380.
- Hussein, El Hage Hassen.,** et Laurence Charbel et Laurent Touchart., 2015. Cartographie des conditions de l'érosion hydrique des sols au Mont-Liban : exemple de la région d'El Aaqouira. *Revue de géographie physique et environnement (physio-géo)*. p-141-156.
- Huzui, A, H., A. Abdellaoui.,** 2011. Pătru Stupariu, Ileana Georgeta, Analyzing Urban Dynamics Using Multi-Temporal Satellite Images in the Case of a Mountain Area, Sinaia (Romania)”, *International Journal of Digital Earth*, pp. 1-17, URL: <http://mc.manuscriptcentral.com/> , 1-29.
- Izrimgold, D.B., 1963:** Quantitative geomorphology in Soil and Water Conservation Research" U. S. Dep. Agriculture 1963.
- Jean.M.Avenard., 1989-1990.** Sensibilité aux mouvements en masse(solifluxion) : Cach, ORSTOM, sér, pédol, vol , XXV, n 1-2, 1989-1990 : 119-129.
- Kadik, B., 1982.** Les conditions du milieu du barrage vert. *Bull Technique Forestier* n°7. Pp3-11
- Kartik, B., Jatisankar, B., 2013.** Prioritization of Subwatersheds based on Morphometric analysis through Geoinformatics technology : A case study of Dungra subwatershed, West Bengal, India. *Int. Journal of Advances in Remote Sensing and GIS*, Vol.2, N°. 1, 2013.
- Kayser, B., 1957.** « Problèmes de l'érosion du sol ». *Annales de Géographie*, vol. 66, n° 355, p. 255-257.
- Kazi Tani N., 1986.** Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intraplaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. Thèse Doctorat es-Sciences, Université de Pau, France.
- Keefer, D.K., 1994.** The importance of earthquake-induced landslides to long-term slope erosion and slope-failure hazards in seismically active regions. *Geomorphology*, 10(1-4): 265-284.
- Lahondere, J.C., 1987.** Les séries ultratelliennes d'Algérie Nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Thèse-es-sciences, Toulouse.
- Lal , R., 1982.** Déforestation and soil erosion. IITA, Ibadan, 40 p
- Lang, M., Lavabre J., 2007.** Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations. Éditions Quae, Collection Update Sciences & Technologies, 232p.
- Laouamri, A., 2013.** Le bassin versant de la Seybouse (Algérie orientale/hydrologie et aménagement des eaux, thèse de doctorat en science, 300 p.
- Laouina A., Nafaa, R. et M, Chaker., 2000. Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les collines de Ksar el Kebir, Maroc. *Bull. Réseau Erosion* 19, 18 p.
- López, J and Francés, F., 2012.** Non-stationary flood frequency analysis in continental Spanish rivers, using climate and reservoir index as external covariates.. 3rd STAHY International Workshop on statistical methods for hydrology and water resources management. October 1-2, 2012 Tunis, Tunisia.
- Leclaire, L., 1972.** La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin Algéro-Baléares (Précontinent Algérien). Tome XXIV. Edition de Muséum, Paris, France, 391 P.
- Le Bissonnais, Y, 1996.** Genèse du ruissellement et de l'érosion diffuse des sols limoneux : analyse du transfert d'échelle du m² au bassin-versant élémentaire agricole.
- Le Bissonnais, Y., N. Dubreuil, J. Daroussin et M. Gorce, 2004.** Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale. Exemple du département de l'Aisne”, *Étude et Gestion des Sols*, vol. 11, 3, pp. 307-321.
- Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C . Daroussin, J., 2002.** L'érosion hydrique des sols en France. Rapport INRA. IFEN, 106 p.
- Le Bissonnais, Y ., Bruand A . et Jamagne ,M ., 1989.** Laboratory experimental study of soil crusting : relation between aggregates breakdown and crust structure . *Catena*, 16.377-392.

- Le Bissonais, Y.,** 1990. Expérimental study modeling of soil surface crusting processus Catena Suppl.17, 13-23.
- Magesh, N, S ., N. Chandrasekar.,** 2012. GIS model-based morphometric evaluation of Tamiraparani subbasin, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India. Arab J Geosci DOI 10.1007/s12517-012-0742-z.
- Malamud, B, D.,** 2004. Turcotte, D.L., Guzzetti, F. & Reichenbach, P., 2004b. Landslides, earthquakes, and erosion. Earth and Planetary Science Letters, 229(1-2): 45-59.
- Maurer, G.,** 1968. Les Montagnes du Rif central: étude géomorphologique. Paris : Université de Paris, Faculté des lettres, thèse de doctorat en lettres, 499 p.
- Marchand, J.,** 1996. Les contraintes naturelles est l'organisation de l'espace inGéopoint 96. « Espace et nature dans la géographie aujourd'hui ? ». Group Dupont, Avignon, PP. 9-15.
- Mebarki, A.,** 2005. Hydrologie des bassins de l'est algérien: ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse d'Etat, Université Mentouri de Constantine.
- Mellerowics, K. T., H. W. Rees, T. L., I. Ghanem.,** 1994. Soil conservation planning at the watershed level using the universal Soil Loss Equation with GIS and microcomputer technologies: a case study. J of Soil and Water Conservation 49 (2) 194-200.
- Messerer Y. (1999)** ,études morphométrique et hydrologique du complexe lacustre D'EL KALA (cas du lac mellah et du lac Obeira. thèse de magister options écosystème aquatique terrestres université Badji Mokhtar Annaba 120p
- Meylon, P and Musy, A.,** 1999. Hydrologie fréquentielle. Office fédéral de l'éducation et de la science, suisse (n 96-01), pp 181,252, 275, 305,371.
- Miller V.C.,** 1953. Quantitative géomorphique study of drainage basin characteristics on the clinch mountain area, virginia and tennessee, prog NR 389-9042, tech Rép 3, colombia University, Departement of Geologie, ONR, New York.
- Montier, c.,** Daroussin, J., King,D. et Lebissonnai.y., 1998. Cartographie vds L'alea (Erosion des sols) en France. IRNA, Orléans.
- Morgan, R, P, C.,** 1992. Soil Erosion in the Northern Countries of the European Community. EIW Workshop: Elaboration of a Framework of a Code of Good Agricultural Practices, Brussels, 21-22 May 1992.
- Mouylfi A.,** 1995. Les mécanismes de sédimentation récente et les propriétés géotechniques des dépôts de la partie occidentale de la baie de Bou Ismail. Thèse de Magister, IST/USTHB, Alger. 187 p.
- Moussa R.,** Voltz M. et Andrieux P., 2002. Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during floods events. Hydrological Processes, vol. 16, pp. 393-412.
- Morsli, B.,** M, Mazour., N, Mededjel., E, Roose., 2004. Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie", Sécheresse, vol. 15, no 1, 96-104.
- Mostephaoui, T.,** Merdas S., Sakaa B., Hanafi M. T. et Benazzouz M.T., 2013. Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin-versant d'el Hamel (Boussaâda) Algérie. Journal Algérien des Régions Arides, Numéro Spécial 2013, pp. 131- 147.
- Miller, V,C.,** 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics on the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee, proj. NR 389-9042, Tech Rep 3, Columbia University, Department of Geology, ONR, New York.
- Musy A.,** 2005. Cours d'hydrologie générale. Laboratoire d'hydrologie et Aménagements (HYDRAM), Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse).
- Neboit, R.,** 1991. L'Homme et l'érosion: l'érosion des sols dans le monde. Clermont- Ferrand : Association des publications de la faculté des lettres, coll.« Publications de la Faculté des lettres de Clermont », 269 p. ISBN : 2-84516-062-3.

- Nemouchi, A., 2002.** Géographie hydrologique du bassin versant endoréique du Chott El Hodna, Thèse d'Etat, université de Constantine, 295 p, fig.
- Nguyen, X, and Ho- Y., 1988.** Digital image processing in remote sensing. J.P.Muller (ed). Taylor and Francis (publ.), London, 327 p.
- N'Dri, B.E., N'GoY, A, Kadio., Outtara, A., Toure, B. et Biemi,J.,2008.** Effet of soil stope and cover and rate soil loss from expeimental plots in area of attecoubé. European Journal of scientific research, vol. 21, n° 3, p 459-470.
- Nooka, Ratnam, K.,** Srivastava, Y.K., Venkateshwara, Rao, V., Amminedu E., Murthy KSR., 2005. Check dam positioning by prioritization of microwatershed usining SY1 model and morphometric analysis Remote Sensing and GIS perspective. J. Indian Soc. Remote Sensing 33 (1) : 25-38.
- Nouvelot, J.F., 1992 :** Érosion mécanique, transport solide, sédimentation dans le cycle de l'eau, Centre Orstorn de Montpellier Cedex 1 – France.
- Oldeman, L, R., Hakkeling, R,T,A. and Sombroek, W.G., 1991.** World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation, with Explanatory Note (second revised edition) - ISRIC, Wageningen; UNEP, Nairobi.
- O'Leary, D. W. Friedman, and, J. D., Pohn. 1976.** Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms, Geological Society America Bulletin, 87(2), pp 1463-1469.
- OMM (Organisation Météorologique Mondiale), 1996.** Guide des pratiques hydrologiques: acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications. Publication OMM no. 168. OMM (World Meteorological Organization, Genève Suisse.
- Okoth, P, F., 2003.** A hierchical method for soil erosion assesement and spacial risk modeling.A case study of Kiambu district in Kenya.Thesis,Wageningen Universiteit,Netherlands.http://edepot.wur.nl/121376.
- Ozden, S., Ozden D, M., 1998.** Turkey erosion estimation model-Turtem. International symposium on arid region soils: share our experiences to conserve the land, Izmir, futkey,21-24 (September).
- Pauc, H., et Ait, Kaci, D., 1987.** La sédimentation en baie de Bou-Ismaïl et les rapports en suspension de l'oued Mazafran (Algérie), Variations saisonnières. Géologie méditerranéenne Tome XIV, n°3 pp, 175-179.
- Pierre Dubreuil, ORSTOM, 1975.** Comportement et interaction des paramètres physiques de petits bassins versants semi-arides et intertropicaux :Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XII, n.0 1, 107.5 :
- Poesen, J., 1985.** (An improved splash transport model). *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 29(2):193–211.
- Poesen, J., 1990.** Erosion process research in relation to soil erodibility and some implications for improving soil quality, 159p.
- Probst, J, L.,** Amiotte Suche, P., 1992. Fluvial suspended sediment transport ans mechanical erosion in the Maghreb. Hydro. Sci. J. 37(6), pp: 621-637.
- Quansah, C., 1981.** (The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport). *Journal of Soil Science*, 32:215–224.
- Raynal, R., 1957.** L'érosion des sols au Maroc. *Annales Scientifiques de l'Université de Halle*, vol. 6, n° 5, p. 855-893.
- Remini, B., Kenai, S., 2000.** Valorisation de la vase du barrage de l'Oued Lekhel pour la fabrication de la brique, *Revue marocaine de Génie Civil*, né 90, nov/dÇc., 36-41.
- Raoult, J, F., 1969.** Nouvelles données sur les flyschs du Nord du Kef Sidi Dris et dans la zone du Col des Oliviers (Nord du Constantinois, Algérie) *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), t. XI, pp 516-543, 2 fig.
- Raoult, J, F., 1971.** Etude géologique du Djebel bou Aded (Dorsale kabyle, Nord Constantinois, Algérie). *Bull. Serv. Carte géol. Algérie, N.S.*, n°41, p.95-127, 8 fig., 3 pl. photo, 1 carte. Alger.

- Raoult, J. F., 1974.** Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord-Constantinois, Algérie). Mém.soc.Géol.fr., N.S,t. LIII.n°121.164P.
- Réménieras, G., 1980.** L'hydrologie de l'ingénieur. Ed. Eyrolles, Paris, 436p.
- Riezebos. H. T., Epema, G. F., 1985.** (Drop shape and erosivity. Part II: Splash detachment, transport and erosivity indices). Earth Surface Processes and Landforms, 10(1):69–74.
- Roche, M., 1963.** Hydrologie de surface Gautier villars. Edit. Paris ? 430 P.
- Rouikha, Y., 2008.** Etude géologique et géomécaniques des roches carbonées de la région de Chekfa –Chahna, wilaya de Jijel , univ- de Jijel .
- Roose, E. J., Bertrand, R., 1972.** Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogénèse actuelle d'un sol ferrallitique de moyenne Côte-d'Ivoire : Campagnes 1967-1971. Rapport ORSTOM/IRAT. Abidjan, 94 p.
- Roose, E., Chabbani R., et L. Bourouga, A ., 1986.** Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation, (INRF) et l'Institut français de Recherche pour le Développement (IRD-ex-ORSTOM).
- Roose, E., (1994).** Introduction à la GCES. Bull. Pédologie FAO no 70, Rome, 420 p.
- Roose, E. J., 1982.** Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction du type de culture en Afrique Occidentale : Cah. ORSTOM Pédol., 20, 4, sous presse.
- Roose, E., Chebbani R. et Bourougaa L., 1999.** Ravinement en Algérie : typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Bull. réseau Erosion n° 19. 17p.
- Roose E., de Doni G et Lamachère J.M., 1998.** L'érosion à l'ORSTOM : 40 ans de recherches multidisciplinaires. Bulletin Réseau Erosion, 1998, p.54-66.
- Roose, E., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse de Fribourg au moyen d'un modèle de simulation. In Sèmi.Modélisation des événements de pluie, 21p.
- Roose, E., 1988.** Diversité des stratégies traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols en milieu soudano-sahélien d'Afrique occidentale. Influence du milieu physique et humain. Projet publication Réseau Zone Aride, ORSTOM Montpellier 26 p. Communication ISCO 6 Addis Abeba.
- Roose, E., Sabir, M., Arabi, M., Morsli, B. et Mazour, M., 2012.** Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. Physio- Géo - Géographie Physique et Environnement, 2012, volume VI.
- Roose, E. J., et Lelon g, F., 1976.** Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique trpicale-étude sur petites parcelles experimentales de sol.Revue de géographie physique et de géologie dynamique.XVIII(4),365374.http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes_5/b_fdi_06-07/08680.pdf[accédé le 8 juillet 2013.
- Roose, E., M. Arabi., K, Brahamia ., R, Chebbani., M, Mazour, B. Morsli., 1996.** Recherches sur la réduction des risques d'érosion par la GCES en moyenne montagne méditerranéenne algérienne”, Ch. Orstom, Seri. Pédol., vol XXXVIII, no 2, 289-307.
- Salmon, jean, Noel., 2007.** Cône d'éboulis de déjection, glacis et piémonts : essais de définitions. Études de géographie physique, Université de Nice France.
- Salles, C., Poesen, J., 2000.** (Rain properties controlling soil splash detachment). Hydrologicalprocesses, 14(2):271–282.
- Sari, D., 1977.** L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Alger, SNED, 624 p.
- Savat, Davat de Pley, J., 1982.** « Sheetwash and rill development by surface flow ». In BRYAN R., YAIR A., dir. Badland Geomorphology and Piping. Norwich(Angleterre) : Geo Books, 408 p. ISBN: 0-86094-114-0.
- Seltzer, P., 1946.** Le climat de l'Algérie. Carbonnel, Alger, 219 p.
- Scherr, S.J., 1999.** Soil degradation , A threat to developing-country food security by 2020 ? Food, agriculture , and the environment discussion paper 27. Washington (DC), International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Scanvic, J., 1983.** Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre. France : Bureau de Recherches Géologiques et Minières(BRGM), Manuel et Méthodes, n°.7.

- Shaban, A.,** Khawli, M., 1998. Geo- environmental assessment of riparian zone under extreme climatic events :a case study of representative rivers in Lebanon. Mediterranean rivers and riparian zones process and management symposium,Zaragosa,Spain,21 september-2 October 1998,25p.
- Schumm, S.A., 1956.** Evolution of drainage systems and slopes in badlands at perth Amboy, New Jersey. Bull Geol. Soc Am 67 : 597-646.
- Schumm, S.A., 1963.** Geological Society of America Bulletin Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great plains, (9). Doi : 10. 1130/0016-7606 (1963) 74.
- Sfar Felfoul , M.,** H. Snane , A. Mlaouhi ,. F. Megdiche ., 1989. Importance du facteur lithologique sur le développement des ravins du bassin versant d'Oued Maiez en Tunisie Centrale, Bull Eng Geol Env (1999) 57 : 285–293 7 Q Springer-Verlag.
- Shiva, Shankar.,** Dharanirajan., 2014. Drainage Morphometry of Flood Prone Rangat Watershed, Middle Andaman, India- A Geospatial Approach.International Journal of Innovative Technology an Exploring Engineering (IJITEE). Volume-3 Issue- 11, April 2014, p 15-22.
- Souchere, V., 1995.** Modélisation spatiale du ruissellement { des fins d'aménagement contre l'érosion de Talweg. Application { des petits bassins-versants en Pays de Caux (Haute Normandie), Thèse de Docteur de l'INAPG, 200 p+ annexes.
- Souchère, V.,** Cerdan, O., Dubreuil, N., Le Bissonnais, Y., et King, C., 2005. Modelling the impact of agri environmental scenarios on overland flow in a cultivated catchment (Normandy, France). Catena, vol. 61, pp. 229-240.
- Strahler, A, N., 1964.** Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. III Chow, V.T. (Ed.), "Handbook of Applied Hydrology". McGraw-Hill, New York, 39-76.
- Strahler, A, N., 1957.** Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union. 38(6): 913-920
- Strahler A.N., 1952.** Hypsometric (area-altitude curve) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin, 63, 1117-1141.
- Sreedevi P.,** Subrahmanyam K., Ahmed S., 2005. The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. Environmental Geology, 47, 412-420.
- Tatar,H, et al.,** 2011. Variations des transports solides spécifiques et leurs relations avec les précipitations et les écoulements dans quelques bassins versants de L'Aures central (Algérie): cas des bassins versants des oueds El Gueiss et El Abiod. Revue Géomaghreb n°7, 2011 p.p.33.46.
- Thiery, Y., Malet, J.P., Sterlacchini, S.,** Puissant, A., et Maquaire, O., 2007. Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: Application to a complex mountainous environment. Geomorphology, 92(1- 2), p.38-59.
- Tchotsua, M.,** et J, Bonvallot., 2000. L'érosion urbaine au Cameroun : processus, causes et stratégies de lutte. Bull. Réseau Erosion 19 , 8 p.
- Touibia B.,** 2004. Manuel Pratique d'Hydrologie. Edition Madani, Blida, Algérie. 176 p.
- Touaibia, B., Aidaoui ,A.,** Gomer, D., et Achita, M., 2001. Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride, de l'Algérie du Nord, Hydrological Sciences Journal, 46:1, 41-53, DOI: 10.1080/02626660109492799.
- Vila J. M., 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat d'état, université Pierre et Marie Curie – Paris VI, 663p.
- Valentin, C., 1981.** Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols des régions subdésertiques (Agadaz-Niger). Dynamique de formation et conséquence sur l'économie en eau. Thèse 3è cycle. Université de Paris VII, 250 p.
- Varnes, D, J., 1978.** Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- Varnes, D, J., 1984.** Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural Hazard Series, 3. UNESCO Press, Paris, 63 pp.

- Veyret, Y., dir., 1998.** L'Érosion entre nature et société. Paris : SEDES, coll. «DIEM Dossiers des images économiques du monde», 344 p. ISBN 2-7181-9189-9.
- Veyret, Y., Vigneau, J. J., Dubois, J. J., Kergomard, C., Lageat, Y., Miossec, A., 2002.** Géographie physique. Milieux et environnement dans le système terre. Paris : Armand Colin, coll. « U. Série Géographie », 368 p. ISBN: 2-200-25236-6.
- Vezena, K., et Bonn, F., 2006.** Modélisation et analyse de la dynamique spatio-temporelle des relations société-érosion et pollution diffuse en milieu agricole-Etude de cas en Vietnam et au Québec. Interaction Nature –Société, analyse et modèles. UMRS6554 LRTG,LaBaule.
- Vrieling, A., 2005.** Satellite remote sensing for water erosion assessment, a review, CATENA, 65 (1), 2–18.
- Vogt, H., 1991.** Quelques problèmes concernant les méthodes de recherche en érosion. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger 1-3Décembre 1991.
- White, W.R., 1986.** Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants, Projet 5.3 du programme hydrologique international, 155 pages, in TOUMI, S., 2013.
- Wachal, D. J., Banks, K. E., 2007.** Integrating GIS and erosion modeling-a tool for watershed management, ESRI international user conference, Paper no. UC1038.http://proceedings.esri.com/library/userconf/prof07/papers/pap_1038.pdf [accédé le 8 juillet 2013].
- Waikar, M. L., Aditya, P., Nilawar., 2014.** Morphometric Analysis of a Drainage basin Using Geographical Information System : A Case study. International Journal of Multidisciplinary and Current Research (2014), Volume 2, p 179-184.
- Ward, J. V. 1975.** Bottom fauna-substrate relationships in a northern Colorado trout stream: 1945 and 1974. Ecology 56: 1429-1434.

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1. Positionnement de l'aire d'étude, Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord	10
Figure 2. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Localisation.....	11
Figure 3. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Situation géographique (Image satellitaire Google Earth, 2017).....	12
Figure 4. Bassin versant d'oued Lagreme : Coupe topographique (Est-Ouest).....	13
Figure 5. Bassin versant d'oued Lagreme : Model numérique d'altitude (MNA).....	14
Figure 6. Bassin versant oued Lagreme : Profil en long	15
Figure 7. Bassin versant d'oued Lagreme : Les pentes	17
Figure 8. Bassin versant d'oued Lagreme : Exposition des versants	19
Figure 9. Bassin versant d'oued Kissir : Model numérique d'altitude (MNA)	22
Figure 10. Bassin versant d'oued Kissir : Coupe topographique (Est-ouest).....	23
Figure 11. Oued Kissir : Profil en long	24
Figure 12. Bassin versant d'oued Kissir : Les pentes.....	25
Figure 13. Bassin versant d'oued Kissir : Exposition des versants.....	27
Figure 14. Petite Kabyle Occidentale : Coupe géologique N-S Djellit, H.1987., (Rouikha, Y. 2008).....	36
Figure 15. Bassin versant d'oued Lagreme : Carte lithologique (Durand Delga, M. 1955, modifié).....	37
Figure 16. Bassin néogène de Jijel : Log stratigraphique.....	38
Figure 17. Bassin versant d'oued Kissir: Lithologie (Durand Dulga1955, Djellit, H.1987, modifié).....	44
Figure 18. Bassin versant d'oued Kissir : Coupe géologique (Est-Ouest)(D'après Durand Dulga1955, Djellit, H.1987, modifié).....	45
Figure 19. Nord-Algérien : Carte sismique (RPA version 2003).....	48
Figure 20. Région de Babors : Carte sismique (Abbacha, 2015).....	49
Figure 21. Région de Babors : Sismicité du 1900 a Décembre 2013 (Abbacha, 2015).....	50
Figure 22. Abaque linéamentaire (d'après Hobbs, W, H., O'leary et al, 1976).....	55
Figure 23. Bassin versant de l'oued Lagreme : Linéaments.....	57
Figure 24. Bassin versant de L'oued Lagreme : Diagramme « Rosace » statistique linéamentaire	58
Figure 25. Bassin versant d'oued Kissir : Linéaments	62
Figure 26. Bassin versant d'oued Kissir : Diagramme « rosace » statistique linéamentaire.....	64
Figure 27. Principaux facteurs d'érosion.....	68
Figure 28. Commune de Texenna : Evolution de la population (année 2008- 2011) DPAT Jijel.....	76
Figure 29. Commune de Texenna : Répartition de la population résidante au 31/12/2011 (DPAT jijel).....	76
Figure 30. Commune de Texenna : Population par sexe (année 2011, DPAT Jijel).....	77
Figure 31. Commune de Texenna : Nombre des ménages (DPAT Jijel, année 2011.....	78
Figure 32. Commune de Texenna : Taille moyenne des ménages (DPAT Jijel, année 2011).....	78
Figure 33. Commune de Texenna : Evolution de la population occupée par secteur (année 2011, DPAT Jijel).....	80
Figure 34. Bassin versant d'oued Lagreme : Les infrastructures (source image satellitaire, 2017).....	83
Figure 35. Bassin versant d'oued Kissir : Les infrastructures (image satellitaire, année 2017)	86
Figure 36. Est algérien: zones bioclimatiques (Côte M., 1998).....	89

Figure 37. Nord-est algérien : Hauteurs pluviométriques annuelles dépassées en moyenne une année sur dix (pluies annuelles « décennales humide) 1965/2002, ANRH.....	90
Figure 38. Moyennes mensuelles des précipitations pour la période 1913-1938 en (mm) station de Taher (aéroport) ...	92
Figure 39. Station de Taher (aéroport) : Moyenne saisonnière des précipitations pour la période 1913-1938 en (mm)	92
Figure 40. Nombres de jours des pluies torrentielles pour la période (Seltzer.P 1913-1938) stations de Taher et Texenna	93
Figure 41. Répartition des intensités (mm/24h) Période Seltzer.P, 1913-1938 Station de Texenna	94
Figure 42. Nombre moyen des jours de la gelée blanche pour la période (Seltzer.P, 1913-1938 en (mm) des stations de (Aéroport Ferhat Abbas –Taher et Texenna.....	95
Figure 43. Moyennes mensuelles des précipitations, période 1961- 1991 stations de Taher, Texenna, Erraguene et Col de Fedoules :	97
Figure 44. Moyennes annuels des précipitations, période 1961- 1991 stations de Taher, Texenna, Erraguene et Col de Fedoules	97
Figure 45. Distribution des Précipitation moyennes mensuelles (année 1988-2007) station de Taher (Aéroport)	98
Figure 46. Moyennes saisonnières des précipitations pour la période 1988-2007 station de Taher (Aéroport).....	99
Figure 47. Précipitations moyennes mensuelles période 1995- 2005 stations de Taher (Aéroport), Jijel port (ANRH), Barrage Lagreme	100
Figure 48. Précipitations moyennes saisonnière période 1995- 2005 stations de Taher (Aéroport), Jijel port (ANRH), Barrage Lagreme	100
Figure 49. Précipitations moyennes annuelles pour la période 1995- 2005 stations de Taher (Aéroport), Jijel port (ANRH), Barrage Lagreme	101
Figure 50. Moyennes mensuelles des températures max et min et moyenne pour la période 1988-2007 station de Taher (Aéroport)	102
Figure 51. Valeurs moyennes de l'humidité relative de l'atmosphère (période 1996-2006) station de Taher (Aéroport)	104
Figure 52. Vitesses moyennes mensuelles des vents (m/s), (période 1997-2010) station de Taher (Aéroport)	105
Figure 53. Graphe Ombro-Thermique Période 1988-2007 station de Taher(Aéroport)	106
Figure 54. Climat de l'aire d'étude (indice d'Emberger) (période 1988 -2007) station de Taher (Aéroport)	108
Figure 55. Coefficient pluviométrique annuel (86-2008) station de Taher (Aéroport) :	109
Figure 56. Coefficient pluviométrique annuel (1961/1991) stations Texenna et Col Feldoules	109
Figure 57. Nord-est Algérien : Évapotranspiration potentielle annuelle moyenne ANRH (1965 – 2002).....	111
Figure 58. Nord-est de l'Algérie : Écoulements moyens annuels (ANRH), année 1965 - 2002.....	113
Figure 59. Représentation graphique du bilan hydrologique (période 1988 -2007) station de Taher (Aéroport) :	116
Figure 60. Bassin versant d'oued Lagreme: Diagramme ombrothémique, station de Texenna (période 1996/2011).....	117
Figure 61. Bassin versant d'oued Lagreme: Représentation graphique du bilan hydrologique, station de Texenna (Période 1996 -2011).....	120
Figure 62. Bassins versant d'oued Lagreme: Variations des débits annuels moyens, station de Chadia (oued Lagreme) (73-1984).....	124

Figure 63. Bassin versant d'oued Lagreme: Coefficient d'hydraulicité, station de Chadia (oued Lagreme), année 1973-1984.....	124
Figure 64. Loi de Gauus : Propriétés géométriques	126
Figure 65. Bassin versant d'oued Lagreme: Ajustement de l'apport moyen annuel (droite de Gauss, loi normale), Station de Chadia (oued Lagreme) période (1972/ 1984).....	131
Figure 66. Bassins versants l'est Algérien: Lame annuelle moyenne écoulée et superficie classées de 42 unités hydrologique observées (Mebarki, A.2005).....	141
Figure 67. Bassins versants l'Est Algérien : Répartition par ordre croissant des lames écoulées annuelles moyennes (Mebarki, A.2005.).....	142
Figure 68. Bassins versants l'Est Algérien : Coefficient d'écoulement annuel moyen (Mebarki, A.2005.).....	142
Figure 69. Oued Lagreme : Hydrogramme de crue , date de (5-1-1973).....	147
Figure 70. Oued Lagreme : Hydrogramme de crue, date de (25-9-1973).....	147
Figure 71. Bassin versant de l'oued Lagreme : Relation précipitations, débit moyen annuel	154
Figure 72. Bassin versant de l'oued Lagreme : Relation précipitations, transports solides spécifiques, station Chadia (1973-1987).....	156
Figure 73. Bassin versant de l'oued Lagreme : Relation débit liquide et transports solides spécifiques, station Chadia (1973-1987).....	157
Figure 74. Bassin versant de l'oued Lagreme : Evolution annuelle et saisonnière des transports solides spécifiques, station Chadia (1978-1987).....	158
Figure 75. Bassin versant de l'oued Lagreme : Variations mensuelles des transports solides spécifiques, station Chadia (1978-1986).....	159
Figure 76. Etat de maturité du relief des bassins versants.....	165
Figure 77. Bassin versant de l'oued Lagreme : Courbe et diagramme des fréquences des pentes	170
Figure 78. Bassin versant de l'oued Kissir : Courbe et diagramme des fréquences des pentes	170
Figure 79. Bassins versants : Classification du réseau hydrographique selon le système de (Strahler, A, N. 1957).....	184
Figure 80. Bassins versants de l'oued Lagreme et Kissir : Réseaux hydrographiques	201
Figure 81. Sous bassins des oueds Lagreme et kissir: Pente moyenne(a, b, c, oued Lagreme, et d, e, f, g, oued Kissir)	203
Figure 82. Sous bassins des oueds Lagreme et kissir: Dénivelé spécifique (a, b, c, oued Lagreme, et d, e, f, g, oued Kissir).....	204
Figure 83. Sous bassins des oueds Lagreme et kissir: Indice de pente globale.Roche (Ig) (a, b, c, oued Lagreme, et d, e, f, g, oued Kissir)	205
Figure 84. Sous bassins des oueds Lagreme et kissir : Paramètres indicatifs de la taille et de la forme (a, b, c oued Lagreme, et d, e, f, g oued kissir).....	208
Figure 85. Sous bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir : Sensibilité à l'érosion en fonction des paramètres morphométriques.....	208
Figure 86. Bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir : Organigramme et plan utilisé pour l'élaboration de la carte de sensibilité à l'érosion de la zone d'étude.....	215
Figure 87. Bassin versant d'oued Lagreme : Classe des pentes	217
Figure 88. Bassin versant d'oued Lagreme : Les pentes en fonction de leur sensibilité à l'érosion	217
Figure 89. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes de la dureté des roches.....	219
Figure 90. Bassin versant d'oued Lagreme : Lithologie en fonction de leur sensibilité à l'érosion	219
Figure 91. Bassin versant d'oued Lagreme : Classe des précipitations.....	221

Figure 92. Bassin versant de l'oued Lagreme : Précipitations en fonction de leurs sensibilités à l'érosion	221
Figure 93. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes d'écoulements.....	222
Figure 94. Bassin versant de l'oued Lagreme : Carte d'écoulements en fonction de leurs sensibilités à l'érosion.....	222
Figure95. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes d'occupation des sols.....	224
Figure 96. Bassin versant de l'oued Lagreme : Occupation des sols en fonction de leur sensibilisé à l'érosion.....	224
Figure 97 . Bassin versant de l'oued Lagreme : Référence des valeurs et classes linéamentaires sur la grille examinée.....	226
Figure 98 . Bassin versant d'oued Lagreme : Linéaments en fonction de leurs sensibilités à l'érosion.....	226
Figure 99 . Bassin versant d'oued Kissir : Classes des pentes.....	228
Figure 100. Bassin versant de l'oued Kissir : Les pentes en fonction de leurs sensibilités à l'érosion.....	228
Figure 101. Bassin versant d'oued Kissir : Classes de la dureté des roches.....	229
Figure 102. Bassin versant de l'oued Kissir : Lithologie en fonction de leur sensibilité à l'érosion.....	229
Figure 103. Bassin versant d'oued Kissir .Classes des précipitations	231
Figure 104. Bassin versant de l'oued Kissir. Précipitations en fonction de leurs sensibilités à l'érosion.....	231
Figure105. Bassin versant d'oued Kissir : Classes d'écoulements	232
Figure 106. Bassin versant de l'oued Kissir : L'écoulement en fonction de leurs sensibilités à l'érosion	232
Figure 107. Bassin versant d'oued Kissir : Classes d'occupation des sols.....	234
Figure 108. Bassin versant de l'oued Kissir : Occupation des sols en fonction de leur sensibilité à l'érosion.....	234
Figure 109. Bassin versant de l'oued Kissir : Référence des valeurs et classes linéamentaires sur la grille examinée	235
Figure 110. Bassin versant de l'oued Kissir : Linéaments en fonction de leur sensibilité à l'érosion.....	235
Figure 111. Bassin versant de l'oued Lagreme : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie).....	242
Figure 112. Bassin versant de l'oued Lagreme : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie et précipitation).....	245
Figure113. Bassin versant de l'oued Lagreme : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitation et écoulements).....	247
Figure 114. Bassin versant de l'oued Lagreme : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitation, écoulements et occupation des sols)	249
Figure 115. Bassin versant de l'oued Lagreme : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitation, écoulements, occupation des sols et linéaments)	251
Figure 116. Bassin versant de l'oued Kissir : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie).....	256
Figure 117. Bassin versant de l'oued Kissir : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie et précipitations).....	258
Figure 118. Bassin versant de l'oued Kissir : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements).....	260
Figure119. Bassin versant de l'oued Kissir : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements et occupation des sols.....	262
Figure 120. Bassin versant de l'oued Kissir : Sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements, occupation des sols et linéaments.....	264

Figure 121. Diagramme de Casagrande.....	268
Figure 122. Diagramme de Casagrande de classification des sols fin.....	269
Figure 123. Bassin versant d'oued Lagreme : Occupation des sols (C D F, w de Jijel) modifié.....	273
Figure 124. Bassin versant d'oued Kissir : Occupation des sols (C.D.F) (w) Jijel) modifié.....	285

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1. Bassin versant d'oued Lagreme : Classe des pentes	16
Tableau 2. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes d'exposition des versants	18
Tableau 3. Bassin versant d'oued Kissir: Classes des pentes	26
Tableau 4. Bassin versant de l'oued Kissir : Classes d'exposition des versants.....	28
Tableau 5. Bassin versant d'oued Lagreme : Classification et répartition spatiale des différentes formations lithologique en (%)	51
Tableau 6. Bassin versant d'oued Kissir : Classification et répartition spatiale des différentes formations lithologique en (%)	53
Tableau 7. Bassin versant d'oued Lagreme : Classement par ordre d'angle croissant linéaire	59
Tableau 8. Bassin versant d'oued Kissir : Classement par ordre d'angle croissant linéaire	63
Tableau 9. Commune de Texenna : Evolution de la population (année 2008-2011).....	75
Tableau 10. Commune de Texenna : Evolution de la population résidente des ménages ordinaires et collectifs, selon les communes de résidence et la dispersion	77
Tableau 11. Commune de Texenna : Population par sexe (2008- 2011) (DPAT Jijel).....	77
Tableau 12. Commune de Texenna : Effectifs et taille moyenne des ménages (DPAT jijel).....	78
Tableau 13. Commune de Texenna : Population active et en chômage (RGPH, au 31/12/2011).....	79
Tableau 14. Commune de Texenna: Evolution de la population occupée par secteur, (31/11/2009 au 31/11/2011).....	79
Tableau 15. Commune de Texenna : Répartition de logements habités selon le type de construction (DPAT Jijel).....	81
Tableau 16. Commune de Texenna : Répartition des différents établissements et encadrement Selon le RGPH au 31/11/2011.....	81
Tableau 17. Bassin versant d'oued Lagreme : Répartition des réseaux routiers (image satellitaire année 2017).....	82
Tableau 18. Commune de Texenna : Production agricole par groupe de culture (Selon le RGPH au 31/11/2011).....	82
Tableau 19. Bassin versant d'oued Kissir : Répartition du cadre bâti et réseaux routiers (image satellitaire, année 2017).....	85
Tableau 20. Zone d'étude : Positionnement spatiales des stations pluviométriques (voisine)....	90
Tableau 21. Moyennes mensuelles des précipitations pour la période (P.Seltzer1913-1938 en (mm) station de Taher (aéroport)	91
Tableau 22. Nombres de jours des pluies torrentielles pour la période (P.SELTZER 1913-1938 Stations de Taher et Texenna	93
Tableau 23. Nombre moyen des jours de la gelée blanche pour la période (Seltzer.P, 1913-1938), stations (Aéroport Ferhat Abbas–Taher et Texenna).....	95
Tableau 24. Moyennes mensuelles des précipitations, période (1961- 1991), stations de Taher, Texenna, Erraguene et Col de Fedoules	96
Tableau 25. Moyennes mensuelles des précipitations pour la période 1988-2007 en (mm) Station de Taher (Aéroport).....	98
Tableau 26. Précipitations moyennes mensuelles et saisonnière période (1995- 2005) stations de Taher (Aéroport), Jijel port (ANRH), Barrage Lagreme	99
Tableau 27. Moyennes mensuelles des températures maximale, minimale et moyenne pour la période (1988-2007), station de Taher (Aéroport)	102

Tableau 28. Nombres des jours de grêle (période 1996-2006) station de Taher (Aéroport)	103
Tableau 29. Valeurs moyennes de l'humidité relative de l'atmosphère (période 1996-2006) station de Taher (Aéroport)	103
Tableau 30. Vitesses moyennes mensuelles des vents (m/s), (période 1997-2010), station de Taher (Aéroport)	104
Tableau 31. Précipitations moyennes mensuelles et températures moyennes mensuelles (graphe de Gaussen $P=2T$) période 1988-2007, station de Taher (Aéroport)	106
Tableau 32. Répartition de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle durant la période 1988-2007, station de Taher (Aéroport)	112
Tableau 33. Bilan hydrique (période 1988-2007), station de Taher (Aéroport)	115
Tableau 34. Bassin versant d'oued Lagreme: Paramètres du diagramme Ombro-thermique, Station de Texenna période 1996/2011)	116
Tableau 35. Bassin versant d'oued Lagreme: Bilan hydrique, station de Texenna période 1996/2011	119
Tableau 36. Bassin versant d'oued Lagreme: Apport moyen, station de Chadia (oued Lagreme) (année 72-1984)	123
Tableau 37. Bassin versant d'oued Lagreme: Apport moyen, minimal et maximal, station de Chadia (oued Lagreme) (année 72-1973)	123
Tableau 38. Station de Chadia (oued Lagreme) : Coefficient d'hydraulicité	124
Tableau 39. Bassin versant d'oued Lagreme: Précipitations moyenne annuel et apports moyens annuels Station de Chadia (1972-1984)	126
Tableau 40. Bassin versant d'oued Lagreme: Paramètres statistiques de la série des débits moyens annuels Station de Chadia (oued Lagreme) (72/1984)	127
Tableau 41. Bassin versant d'oued Lagreme: Apports moyens et fréquentiels (loi normale) Station de Chadia (oued Lagreme) (année 1972/ 1984)	128
Tableau 42. bassin versant d'oued Lagreme: Apport moyen annuel et précipitations moyennes annuels pour la période (Stations de Chadia, oued Lagreme) et Texenna 1972-1984	132
Tableau 43. Bassin versant d'oued Lagreme: Apports moyens annuels et fréquentiels (loi log normale), Station de Chadia (oued Lagreme) année 1972/ 1984)	133
Tableau 44. Bassin versant d'oued Lagreme: Précipitations moyenne annuelle et apports moyens annuels (Stations de Chadia et Texenna) pour la période 1972/ 1984	136
Tableau 45. Bassin versant d'oued Lagreme: Apports moyens annuels et fréquentiel (loi normale) Station de Chadia (oued Lagreme) (année 1972/ 1984)	136
Tableau 46. Bassin versant d'oued Lagreme : Apport fréquentiels (loi Log normale), station de Chadia (oued Lagreme) année 72/1984)	139
Tableau 47. Bassin versant de l'oued Kissir : Bilan d'estimation de l'apport moyen annuel et lame d'eau écoulée selon les formule utilisées (stations Texenna et Erraguene)	144
Tableau 48. Oued Lagreme : Propriétés de la crue du 5/01/1973 (ANRH)	146
Tableau 49. Oued Lagreme : Période de la crue du 25/09/1973 (ANRH)	146
Tableau 50. Bassins versants des deux oueds Lagreme et Kissir : Débits de pointes enregistrés et calculés selon les formules utilisées (station Texenna et Erraguene)	150
Tableau 51. Bassin versant d'oued Lagreme: Apports moyens et précipitations moyennes annuelles, stations de Chadia et Texenna année 1972/ 1984	154
Tableau 52. Bassin versant oued Lagreme : Transports solides spécifiques (t/km ² /an) année (1978/1986, ANRH, Jijel)	156
Tableau 53. Bassin versant de l'oued Kissir : Dégradations spécifiques des sols calculée selon les formules utilisées	161
Tableau 54. Bassin versant d'oued Lagreme : Caractéristiques morphométriques des sous bassins versant	163

Tableau 55. Bassin versant d'oued Kissir : Caractéristiques morphométriques des sous bassins versants.....	164
Tableau 56. Bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir : Surface hypsométrique dominante	166
Tableau 57. Bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir : Altitude moyenne	167
Tableau 58. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Altitude médiane	168
Tableau 59. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Pente moyenne	169
Tableau 60. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Pente médiane	169
Tableau 61. Bassins versants : Classification des reliefs selon la dénivelé spécifique « DS »..	171
Tableau 62. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Dénivelé spécifique (Ds)	172
Tableau 63. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Indice de pente globale de Roche	173
Tableau 64. Reliefs des bassins versants : Classification de l'ORSTOM	173
Tableau 65. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Indice de relief	174
Tableau 66. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Indice de compacité de gravilius(Ig).....	176
Tableau 67. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Valeurs de rectangle équivalent	177
Tableau 68. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Indice de circularité (Icr)	179
Tableau 69. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Indice d'élongation (E)	180
Tableau 70. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Indice hypsométrique (Ih)	182
Tableau 71. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Indice de forme (IF)	183
Tableau 72. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Densité de drainage (Dd)	186
Tableau 73. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Densité de drainage permanent(Ddp)	188
Tableau 74. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Densité de drainage temporaire (Ddt)	188
Tableau 75. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Fréquence des thalwegs (Fq).....	189
Tableau 76. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Superficie de drainage moyenne par affluent	191
Tableau 77. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Longueur moyenne des thalwegs d'ordre (n)	192
Tableau 78. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Longueur moyenne des thalwegs à écoulement permanent (Lmoyp)	192
Tableau 79. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Longueur moyenne des thalwegs à écoulement temporaire (Lmoyt).....	193
Tableau 80. Bassin versant de l'oued Lagreme : Rapport de confluence (Rc) (fonction statistique)	194
Tableau 81. Bassins versants de l'oued Lagreme et kissir Rapport de confluence (Rc).	194
Tableau 82. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Coefficient de torrentialité (Ct).....	196
Tableau 83. Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Temps de concentration (Tc) selon les différents formules	198
Tableau 84. Sous bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Caractéristiques morphométriques du réseau hydrographique.....	202
Tableau 85. Sous bassins d'oued Lagreme et Kissir : Paramètres indicatifs de reliefs hypsométriques	202
Tableau 86. Sous bassins d'oued Lagreme et kissir : Paramètres indicatifs de la taille et de la forme.....	203
Tableau 87. Sous bassins versants d'oued Lagreme et kissir : Paramètres indicatifs de l'organisation du réseau hydrographique.....	204

Tableau 88. Sous bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Hiérarchisation des paramètres indicateurs de relief hypsométriques.....	205
Tableau 89. Sous bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Hiérarchisation des paramètres indicateurs de la taille et de la forme	205
Tableau 90. Sous bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : Hiérarchisation des paramètres indicateurs l'organisation du réseau hydrographique.....	206
Tableau 91. Sous bassins versants des oueds de Lagreme et Kissir : Résultats d'analyse et de codification des paramètres morphométriques utilisées.....	207
Tableau 92. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes des pentes en fonction de leurs sensibilités à l'érosion	218
Tableau 93. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes des formations lithologiques en fonction de leurs sensibilités à l'érosion	219
Tableau 94. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes des précipitations en fonction de leurs sensibilités à l'érosion	220
Tableau 95. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes d'écoulements en fonction de leurs sensibilités à l'érosion	222
Tableau 96. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes d'occupation des sols en fonction de leur sensibilité à l'érosion.....	223
Tableau 97. Bassin versant d'oued Lagreme : Indice attributaire en fonction du nombre des linéaments	226
Tableau 98. Bassin versant d'oued Lagreme : Classes des linéaments en fonction de leurs sensibilités à l'érosion.....	226
Tableau 99. Bassin versant d'oued Kissir : Classes des pentes en fonction de leurs sensibilités à l'érosion.....	227
Tableau 100. Bassin versant d'oued Kissir : Classes des formations lithologiques en fonction de leurs sensibilités à l'érosion	228
Tableau 101. Bassin versant d'oued Kissir : Classes des précipitations en fonction de la sensibilité à l'érosion	230
Tableau 102. Bassin versant d'oued Kissir : Classes d'écoulements en fonction de leurs sensibilités à l'érosion	232
Tableau 103. Bassin versant d'oued Kissir : Classes d'occupation des sols en fonction de leur sensibilité à l'érosion	233
Tableau 104. Bassin versant d'oued Kissir : Classes des linéaments en fonction de leurs sensibilités à l'érosion	236
Tableau 105. Bassin versants oued Lagreme et Kissir : Données appliquées en analyse thématique et géotraitement	239
Tableau 106. Bassins versants oued Lagreme et Kisirs : Classes et codes attribuées des paramètres utilisés dans l'analyse cartographique (combinaisons des facteurs).....	241
Tableau 107. Bassin versant oued Lagreme : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie	243
Tableau 108. Bassin versant d'oued Lagreme : Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente lithologie)	243
Tableau 109. Bassin versant oued Lagreme : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie et précipitations.....	244
Tableau 110. Bassin versant d'oued Lagreme : Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente lithologie et précipitation).....	245
Tableau 111. Bassin versant oued Lagreme : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements.....	246
Tableau 112. Bassin versant d'oued Lagreme : Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente lithologie, précipitations et écoulements).....	247

Tableau 113. Bassin versant oued Lagreme : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations et occupation des sols.....	248
Tableau 114. Bassin versant d'oued Lagreme : Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente lithologie, précipitations, écoulements et occupation des sols)..	249
Tableau 115. Bassin versant oued Lagreme : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations, occupation des sols et linéaments.....	250
Tableau 116. Bassin versant oued Lagreme : Classes de la vulnérabilité de la carte de synthèse globale (risque de l'érosion).....	251
Tableau 117. Bassin versant d'oued Kissir : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie.....	255
Tableau 118. Bassin versant d'oued Kissir : Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente et lithologie).....	255
Tableau 119. Bassin versant d'oued Kissir : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie et et précipitations.....	257
Tableau 120. Bassin versant d'oued Kissir : Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie et précipitations).....	258
Tableau 121. Bassin versant d'oued Kissir : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie et, précipitations et écoulements.....	259
Tableau 122. Bassin versant d'oued Kissir : Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations et écoulements).....	260
Tableau 123. Bassin versant d'oued Kissir : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements et occupation des sols.....	261
Tableau 124. Bassin versant d'oued Kissir : Répartition surfacique des classes de sensibilité à l'érosion (combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements et occupation des sols).....	262
Tableau 125. Bassin versant d'oued Kissir : Procédé d'analyse spatiale : combinaison pente, lithologie, précipitations, écoulements, occupation des sols set linéaments.....	263
Tableau 126. Bassin versant d'oued Kissir : Répartition surfacique des classes de la vulnérabilité de la carte de synthèse globale (risque de l'érosion.....	264
Tableau 127. Bassins versants oued Lagreme et Kissir : Classes de la vulnérabilité des cartes de synthèse globales (risques de l'érosion).....	267
Tableau 128. Zone d'étude : paramètres géotechniques des marnes Toton-messéniens (Baghdad. A ; 2017).....	268
Tableau 129. Caractéristiques des formes de l'érosion par ravinement du bassin versant de l'oued Lagreme.....	274
Tableau 130. Caractéristiques et répartitions des formes de l'érosion bad lands du bassin versant oued Lagreme.....	275
Tableau 131. Positionnement et surfaces des glissements de terrain dans le bassin versant d'oued Lagreme.....	279
Tableau 132. Positionnement et surface de forme de coulée boueuse dans le bassin versant de l'oued Lagreme.	282
Tableau 133. Positionnement et surface de forme solifluxion dans le bassin versant de l'oued Lagreme.....	283
Tableau 134. Propriétés des formes d'érosion ravins du bassin versant de l'oued Kissir.....	284
Tableau 135. Surface et positionnement de forme de l'érosion badlands dans le bassin versant oued Kissir).....	285

Liste des photos

Liste des photos

Photo 1. Bassin versant d'oued Lagreme : Extension urbaine.....	20
Photo 2. Bassin versant d'oued Lagreme : Maquis discontinu dégradé	21
Photo 3. Bassin versant d'oued Kissir : Arboriculture (olivier)	29
Photo 4. Bassin versant d'oued Kissir : Forêt claire et maquis	29
Photo 5. Bassin versant d'oued kissir: Maquis clair et cultures.....	30
Photo 6. Bassin versant d'oued kissir : Terre nue et cultures	30
Photo7. Bassin versant d'oued kissir : Pin d'Alèp	31
Photo 8. Bassin versant d'oued Lagreme : Vue de la superposition des conglomérats du Pliocène et des marnes Miocène	39
Photo 9. Bassin versant de l'oued Lagreme : Illustrant la molasse olistostromique.....	40
Photo 10. Bassin versant d'oued Lagreme : Illustrant la molasse olistostromique (d'après Djellit, H).....	40
Photo11. Bassin versant d'oued Lagreme : illustrant le phénomène d'arénitisation (décomposition de la roche mère Gneiss).....	41
Photo 12. Bassin versant d'oued Lagreme : Illustrant L'arène gneissique	42
Photo 13. Bassin versant d'oued kissir : Formation grésomiacées.....	45
Photo 14. Bassin versant d'oued kissir : Grès numidien.....	46
Photo15. Bassin versant d'oued kissir : Formation molassique avec colluvions de pente	46
Photo16. Bassin versant d'oued Lagreme : Extension urbaine vers les zones sensibles.....	84
Photo17. Bassin versant d'oued Lagreme : Dégradation de la forêt de chêne liège.....	84
Photo18. Bassin versant d'oued Kissir : Bâti éparse.....	85
Photo 19. Bassin versant d'oued Kissir : Oléiculture (année.....	87
Photo20. Bassin versant d'oued Lagreme: Érosion active sur des terrains à substratum olistostromique, El Ghariana	252
Photo 21. Bassin versant d'oued Lagreme) : Érosion très active sur des terrains à substratum marneux,	253
Photo 22. Bassin versant d'oued Lagreme) : Érosion très active sur des terrains à substratum arènegneissique	253
Photo 23. Bassin versant d'oued Lagreme) : Érosion active sur des terrains à substratum arène gneissique (sable d'altération	254
Photo 24. Bassin versant d'oued Kissir : Érosion griffures et colluvions des pentes à substratum molassique.....	265
Photo 25. Bassin versant d'oued Kissir : Érosion en rigole sur des terrains à substratum molassique.....	266
Photo 26. Bassin versant de l'oued Lagreme : ravinement intense au sein des marnes miocènes.....	272
Photo 27. Bassin versant de l'oued Lagreme : Illustration des formes d'érosion Bad lands	275
Photo 28. Bassin versant de l'oued Lagreme : Illustration des formes d'érosions « glissement de terrain » le long de la route N °77	276
Photo29. Bassin versant de l'oued Lagreme : « glissement de terrain » le long de la route N °77.....	277
Photo 30. Bassin versant de l'oued Lagreme : Utilisation du GPS pour la localisation des différentes formes d'érosion (Ertex_GARMA_serire_46388795).....	278

Liste des acronymes

Liste des acronymes

Notation	Définition
FAO	<i>Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organisation of the United Nations)</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Program</i>
FAO/UNEP	<i>Negotiating a Sustainable Future for Land. Structural and Institutional Guidelines for Land Resources Management in the 21st Century. FAO/UNEP, Rome.</i>
BTPH	<i>(Bâtiment, travaux publics et hydrauliques)</i>
DPAT	<i>direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire</i>
RGPH	<i>Recensement Général de la Population et de l'Habitat</i>
ACL	<i>Agglomération chef lieu</i>
RPA	<i>Règles Parasismiques Algérienne</i>
ANRH	<i>Agence Nationale des Ressources Hydrauliques</i>
ORSTOM	<i>Office de la recherche scientifique et technique</i>
INRF	<i>Institut National de Recherche Forestière</i>
ONM	<i>Organisation Météorologique Mondiale) (1996) Guide des pratiques hydrologiques:</i>
SIG	<i>Organisation Météorologique Mondiale) (1996) Guide des pratiques hydrologiques:</i>
MNT	<i>Model numérique terrestre</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute)</i>
WGS 84	<i>(World Geodetic System 1984 système géodésique mondial, révision de 1984</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
GPS	<i>Global Positioning System,</i>
AUTOCAD	<i>logiciel de dessin assisté par ordinateur</i>
ARCGIS	<i>logiciel SIG</i>
MNA	<i>Model numérique terrestre</i>
INC	<i>Institut National de Cartographie</i>
CDF	<i>Conservation des Forêts</i>
CES	<i>Combat Contre la Dégradation des Ressources en Eau et Sol</i>

Annexe

Annexe 1

Stations de Texenna et de Col Fedoules : *Précipitations annuelles et coefficients pluviométriques (H)*, (1960-1991).

Année	Station Texenna		Station Col Fedoules	
	P(mm)	Coefficient d'hydraulicité(H)	P(mm)	Coefficient d'hydraulicité(H)
1960-1961	1467	1,19	1109	0,86
1961-1962	838	0,68	1492	1,16
1962-1963	781	0,63	1730	1,35
1963-1964	1228	0,99	1339	1,04
1964-1965	911	0,74	1360	1,06
1965-1966	1198	0,97	1452	1,13
1966-1967	1170	0,95	1431	1,11
1967-1968	1334	1,08	1437	1,12
1968-1969	1533	1,24	1414	1,10
1969-1970	1318	1,07	1340	1,04
1970-1971	1614	1,31	1391	1,08
1971-1972	1337	1,08	1472	1,16
1972-1973	1401	1,14	1243	0,97
1973-1974	1246	1,01	1334	1,04
1974-1975	1245	1,01	1309	1,02
1975-1976	1389	1,13	1149	0,89
1976-1977	1427	1,16	1337	1,04
1977-1978	1247	1,01	1381	1,07
1978-1979	1236	1,003	705	0,55
1979-1980	1029	0,83	907	0,71
1980-1981	1231	1,01	793	0,62
1981-1982	1126	0,91	932	0,72
1982-1983	1177	0,95	938	0,73
1983-1984	1186	0,96	1044	0,81
1984-1985	1229	0,99	1337	1,04
1985-1986	1064	0,86	1339	1,04
1986-1987	1301	1,06	1395	1,08
1987-1988	1302	1,06	1511	1,17
1988-1989	1141	0,93	1224	0,95
1989-1990	1211	0,98	1553	1,21
1990-1991	1269	1,03	1435	1,12
Moyenne	1231,81		1284,93	

Annexe 2

Bassin versant d'Oued Lagreme : *Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveaux*

Bassin Versant Oued Lagreme					
Altitude (m)	Si (km2)	Si (%)	Si (cumulé)	Si % (cumulé)	(x-1+x-2)/2
88 - 100	0,206	0,520	39,573	100,000	94,33
100 - 150	2,470	6,241	39,367	99,480	125
150 - 200	3,928	9,926	36,897	93,239	175
200 - 250	3,979	10,054	32,969	83,313	225
250 - 300	2,843	7,184	28,990	73,258	275
300 - 350	2,615	6,608	26,147	66,075	325
350 - 400	2,421	6,119	23,533	59,467	375
400 - 450	2,451	6,193	21,111	53,348	425
450 - 500	2,633	6,653	18,660	47,155	475
500 - 550	2,561	6,472	16,028	40,502	525
550 - 600	2,931	7,407	13,467	34,030	575
600 - 650	2,669	6,744	10,535	26,623	625
650 - 700	1,953	4,935	7,867	19,879	675
700 - 750	1,568	3,962	5,914	14,944	725
750 - 800	1,306	3,301	4,346	10,982	775
800 - 850	1,145	2,894	3,040	7,681	825
850 - 900	0,953	2,409	1,894	4,787	875
900 - 950	0,567	1,433	0,941	2,378	925
950 - 1000	0,300	0,757	0,374	0,945	975
1000 - 1050	0,071	0,179	0,074	0,188	1025
1050 - 1061	0,003	0,008	0,003	0,008	1055,83
Total	39,573	100,000	-	-	-

Annexe 3

Bassin versant d'Oued Kissir : *Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveau*

Bassin Versant Oued Kissir					
Altitude (m)	Si (km2)	Si (%)	Si (cumulé)	Si % (cumulé)	(x ₁ +x ₂)/2
10 - 50	2,81	2,63	106,83	100,00	38,12
50 - 100	4,37	4,09	104,02	97,37	75
100 - 150	6,40	5,99	99,65	93,28	125
150 - 200	6,80	6,37	93,26	87,29	175
200 - 250	6,64	6,22	86,46	80,93	225
250 - 300	6,65	6,23	79,82	74,71	275
300 - 350	6,61	6,19	73,16	68,48	325
350 - 400	5,44	5,09	66,55	62,29	375
400 - 450	5,50	5,15	61,11	57,20	425
450 - 500	5,42	5,07	55,61	52,05	475
500 - 550	5,06	4,73	50,19	46,98	525
550 - 600	4,70	4,39	45,13	42,25	575
600 - 650	4,29	4,01	40,44	37,85	625
650 - 700	3,96	3,70	36,15	33,84	675
700 - 750	3,77	3,53	32,20	30,14	725
750 - 800	3,82	3,57	28,43	26,61	775
800 - 850	3,56	3,33	24,61	23,04	825
850 - 900	3,48	3,25	21,05	19,70	875
900 - 950	2,97	2,78	17,57	16,45	925
950 - 1000	2,88	2,70	14,60	13,67	975
1000 - 1050	2,53	2,37	11,72	10,97	1025
1050 - 1100	2,02	1,89	9,19	8,60	1075
1100 - 1150	1,68	1,57	7,16	6,71	1125
1150 - 1200	1,60	1,50	5,49	5,14	1175
1200 - 1250	1,42	1,33	3,89	3,64	1225
1250 - 1300	1,15	1,08	2,47	2,31	1275
1300 - 1350	0,60	0,56	1,32	1,23	1325
1350 - 1400	0,38	0,36	0,72	0,67	1375
1400 - 1450	0,19	0,18	0,34	0,32	1425
1450 - 1500	0,10	0,09	0,15	0,14	1475
1500 - 1524	0,05	0,05	0,05	0,05	1512,33
Total	106,83	100,00	-	-	-

Annexe 4

Sous bassin n°1 Oued Lagreme : *Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveaux*

Sous Bassin N° 1_bassin Oued Lagreme					
Altitude (m)	Si (km2)	Si (%)	Si (cumulé)	Si % (cumulé)	(x₁+x₂)/2
88 - 100	0,21	1,25	16,480	100,00	94
100 - 150	2,34	14,17	16,27	98,75	125
150 - 200	3,19	19,38	13,94	84,58	175
200 - 250	2,76	16,74	10,75	65,20	225
250 - 300	1,39	8,44	7,99	48,46	275
300 - 350	1,06	6,44	6,60	40,03	325
350 - 400	0,92	5,61	5,54	33,59	375
400 - 450	0,81	4,92	4,61	27,97	425
450 - 500	0,81	4,92	3,80	23,06	475
500 - 550	0,79	4,81	2,99	18,13	525
550 - 600	0,70	4,27	2,20	13,33	575
600 - 650	0,56	3,39	1,49	9,05	625
650 - 700	0,36	2,20	0,93	5,67	675
700 - 750	0,22	1,31	0,57	3,47	725
750 - 800	0,12	0,71	0,35	2,15	775
800 - 850	0,14	0,86	0,24	1,45	825
850 - 900	0,09	0,54	0,10	0,59	875
900 - 950	0,01	0,05	0,01	0,05	925
Total	16,48	100,00	-	-	-

Annexe 5

Sous bassin n°2 Oued Lagreme : *Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveaux*

Sous Bassin N° 2_ Oued Lagreme					
Altitude (m)	Si (km2)	Si (%)	Si (cumulé)	Si % (cumulé)	(x1+x2)/2
100 - 150	0,134	1,111	12,088	100,00	
150 - 200	0,734	6,076	11,354	98,889	125
200 - 250	1,220	10,093	10,134	92,813	175
250 - 300	1,452	12,010	8,682	82,721	225
300 - 350	1,511	12,500	7,171	70,710	275
350 - 400	1,372	11,352	5,799	58,211	325
400 - 450	1,246	10,311	4,552	46,858	375
450 - 500	1,197	9,903	3,355	36,547	425
500 - 550	0,949	7,854	2,406	26,644	475
550 - 600	0,739	6,111	1,667	18,790	525
600 - 650	0,553	4,576	1,114	12,679	575
650 - 700	0,359	2,970	0,755	8,103	625
700 - 750	0,296	2,449	0,459	5,133	675
750 - 800	0,184	1,526	0,274	2,684	725
800 - 850	0,107	0,884	0,167	1,158	775
850 - 900	0,030	0,245	0,138	0,274	825
900 - 950	0,004	0,029	0,134	0,029	875
Total	12,09	100,00	-	-	-

Annexe 6

**Sous bassin n°3 Oued Lagreme : Répartition de la superficie
selon l'élévation des courbes de niveaux**

Sous Bassin N° 3_Oued Lagreme					
Altitude (m)	Si (km2)	Si (%)	Si (cumulé)	Si % (cumulé)	(x1+x2)/2
250 - 300	0,0001	0,0010	11,001	100,000	275
300 - 350	0,0424	0,3858	11,0009	99,9990	325
350 - 400	0,1243	1,1296	10,9584	99,6132	375
400 - 450	0,3935	3,5766	10,8342	98,4836	425
450 - 500	0,6241	5,6728	10,4407	94,9070	475
500 - 550	0,8196	7,4498	9,8166	89,2342	525
550 - 600	1,4880	13,5250	8,9970	81,7843	575
600 - 650	1,5573	14,1554	7,5091	68,2593	625
650 - 700	1,2314	11,1933	5,9517	54,1039	675
700 - 750	1,0550	9,5894	4,7203	42,9106	725
750 - 800	1,0053	9,1374	3,6653	33,3212	775
800 - 850	0,8973	8,1562	2,6601	24,1838	825
850 - 900	0,8342	7,5826	1,7628	16,0276	875
900 - 950	0,5555	5,0489	0,9286	8,4450	925
950 - 1000	0,2995	2,7220	0,3731	3,3961	975
1000 - 1050	0,0709	0,6442	0,0737	0,6741	1025
1050 - 1061.66	0,0033	0,0299	0,0028	0,0299	1055,83
Total	11,001	100,000	-	-	-

Annexe 7

Sous bassin n°1 Oued Kissir : *Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveaux*

Sous bassin N° 1_Oued kissir					
Altitude (m)	Si (km2)	Si (%)	Si (cumulé)	Si % (cumulé)	(x1+x2)/2
26,24 - 50	0,838	3,421	24,50	100,000	38,12
50 - 100	2,004	8,179	23,659	96,579	75
100 - 150	3,029	12,365	21,656	88,400	125
150 - 200	2,999	12,242	18,627	76,035	175
200 - 250	2,828	11,546	15,628	63,793	225
250 - 300	2,750	11,226	12,799	52,247	275
300 - 350	2,387	9,743	10,049	41,021	325
350 - 400	1,861	7,597	7,662	31,278	375
400 - 450	1,621	6,618	5,801	23,681	425
450 - 500	1,610	6,574	4,180	17,062	475
500 - 550	0,929	3,791	2,569	10,489	525
550 - 600	0,469	1,914	1,641	6,698	575
600 - 650	0,397	1,621	1,172	4,784	625
650 - 700	0,279	1,140	0,775	3,163	675
700 - 750	0,161	0,656	0,496	2,023	725
750 - 800	0,129	0,527	0,335	1,367	775
800 - 850	0,112	0,456	0,206	0,841	825
850 - 900	0,091	0,370	0,094	0,385	875
900 - 950	0,004	0,015	0,004	0,015	925
Total	24,50	100,00	-	-	-

Annexe 8

Sous bassin n°2 Oued Kissir : *Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveaux*

Sous bassin N° 2_Oued kissir					
Altitude (m)	Si (km2)	Si (%)	Si (cumulé)	Si % (cumulé)	(x ₁ +x ₂)/2
26,24 - 50	1,970	8,152	24,17	100,00	38,12
50 - 100	2,365	9,786	22,200	91,848	75
100 - 150	3,366	13,928	19,834	82,062	125
150 - 200	3,489	14,434	16,468	68,133	175
200 - 250	3,085	12,765	12,979	53,699	225
250 - 300	2,756	11,404	9,894	40,934	275
300 - 350	2,331	9,643	7,138	29,530	325
350 - 400	1,298	5,372	4,807	19,887	375
400 - 450	1,251	5,177	3,509	14,516	425
450 - 500	0,907	3,752	2,257	9,339	475
500 - 550	0,732	3,028	1,350	5,586	525
550 - 600	0,326	1,350	0,618	2,558	575
600 - 650	0,161	0,665	0,292	1,209	625
650 - 700	0,106	0,440	0,132	0,544	675
700 - 750	0,021	0,086	0,025	0,104	725
750 - 800	0,004	0,018	0,004	0,018	775
Total	24,17	100,00	-	-	-

Annexe 9

Sous bassin n°3 Oued Kissir : *Répartition de la superficie*
selon l'élévation des courbes de niveaux

Sous bassin N° 3_Ourd Kissir					
Altitude (m)	Si (km2)	Si (%)	Si (cumulé)	Si % (cumulé)	(x1+x2)/2
150 - 200	0,313	1,033	30,25	100,00	175
200 - 250	0,728	2,406	29,940	98,967	225
250 - 300	1,147	3,791	29,213	96,561	275
300 - 350	1,896	6,267	28,066	92,770	325
350 - 400	2,279	7,534	26,170	86,503	375
400 - 450	2,477	8,187	23,890	78,969	425
450 - 500	2,499	8,261	21,413	70,782	475
500 - 550	2,733	9,033	18,914	62,521	525
550 - 600	2,991	9,888	16,182	53,488	575
600 - 650	2,611	8,631	13,190	43,601	625
650 - 700	2,218	7,333	10,579	34,969	675
700 - 750	1,965	6,494	8,361	27,637	725
750 - 800	1,777	5,873	6,396	21,142	775
800 - 850	1,404	4,641	4,619	15,269	825
850 - 900	1,181	3,905	3,215	10,628	875
900 - 950	0,633	2,092	2,034	6,723	925
950 - 1000	0,476	1,572	1,401	4,631	975
1000 - 1050	0,346	1,143	0,925	3,058	1025
1050 - 1100	0,215	0,712	0,579	1,915	1075
1100 - 1150	0,131	0,433	0,364	1,203	1125
1150 - 1200	0,109	0,361	0,233	0,770	1175
1200 - 1250	0,087	0,289	0,124	0,410	1225
1250 - 1300	0,034	0,112	0,037	0,121	1275
1300 - 1350	0,003	0,009	0,003	0,009	1325
Total	30,25	100,00	-	-	-

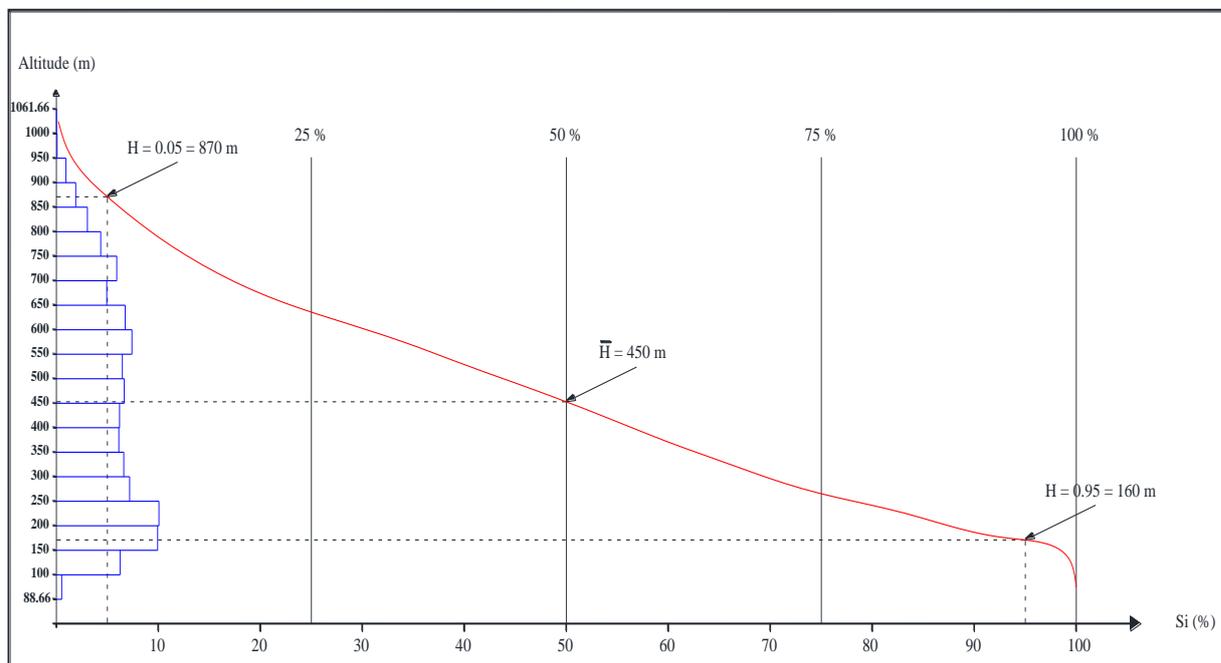
Annexe 10

Sous bassin n°4 Oued Kissir : *Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveaux*

Sous bassin N° 4_Oued Kissir					
Altitude (m)	Si (km2)	Si (%)	Si (cumulé)	Si % (cumulé)	(x1+x2)/2
400 - 450	0,15	0,54	27,90	100,00	425
450 - 500	0,40	1,44	27,75	99,46	475
500 - 550	0,66	2,38	27,35	98,02	525
550 - 600	0,91	3,26	26,68	95,64	575
600 - 650	1,12	4,00	25,78	92,39	625
650 - 700	1,35	4,84	24,66	88,38	675
700 - 750	1,63	5,82	23,31	83,54	725
750 - 800	1,90	6,83	21,68	77,72	775
800 - 850	2,05	7,33	19,78	70,89	825
850 - 900	2,20	7,90	17,73	63,56	875
900 - 950	2,34	8,37	15,53	55,66	925
950 - 1000	2,41	8,63	13,19	47,29	975
1000 - 1050	2,18	7,82	10,78	38,66	1025
1050 - 1100	1,81	6,48	8,60	30,84	1075
1100 - 1150	1,55	5,54	6,79	24,36	1125
1150 - 1200	1,49	5,34	5,25	18,82	1175
1200 - 1250	1,33	4,78	3,76	13,49	1225
1250 - 1300	1,12	4,00	2,43	8,71	1275
1300 - 1350	0,59	2,13	1,31	4,71	1325
1350 - 1400	0,38	1,36	0,71	2,58	1375
1400 - 1450	0,19	0,69	0,33	1,22	1425
1450 - 1500	0,10	0,34	0,14	0,52	1475
1500 - 1524,66	0,05	0,18	0,05	0,18	1512,33
Total	27,90	100,00	-	-	-

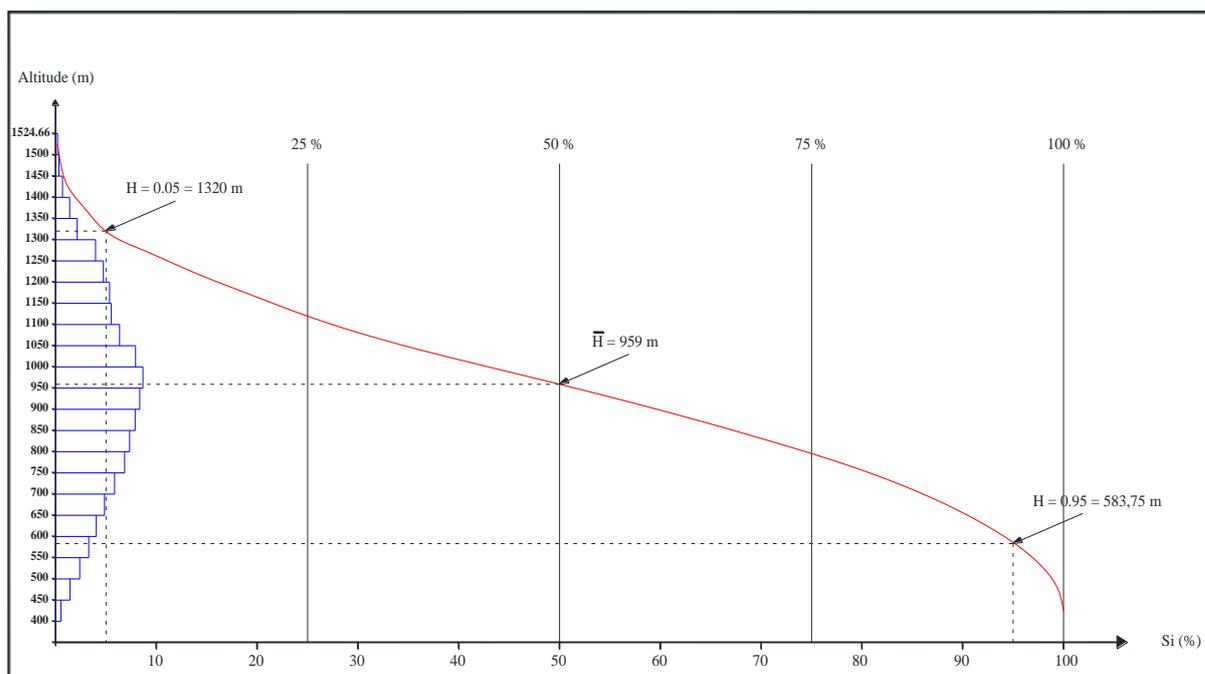
Annexe 11

Bassin versant d'oued Lagreme : *Courbe hypsométrique*



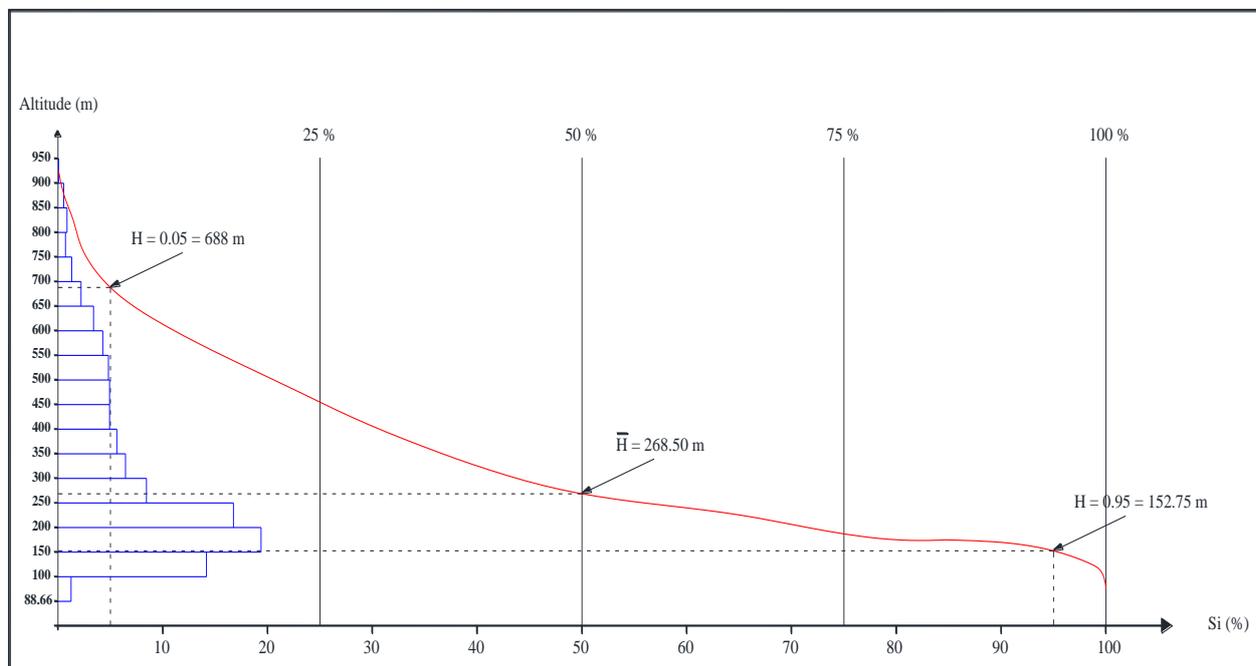
Annexe 12

Bassin versant d'oued Kissir : *Courbe hypsométrique*



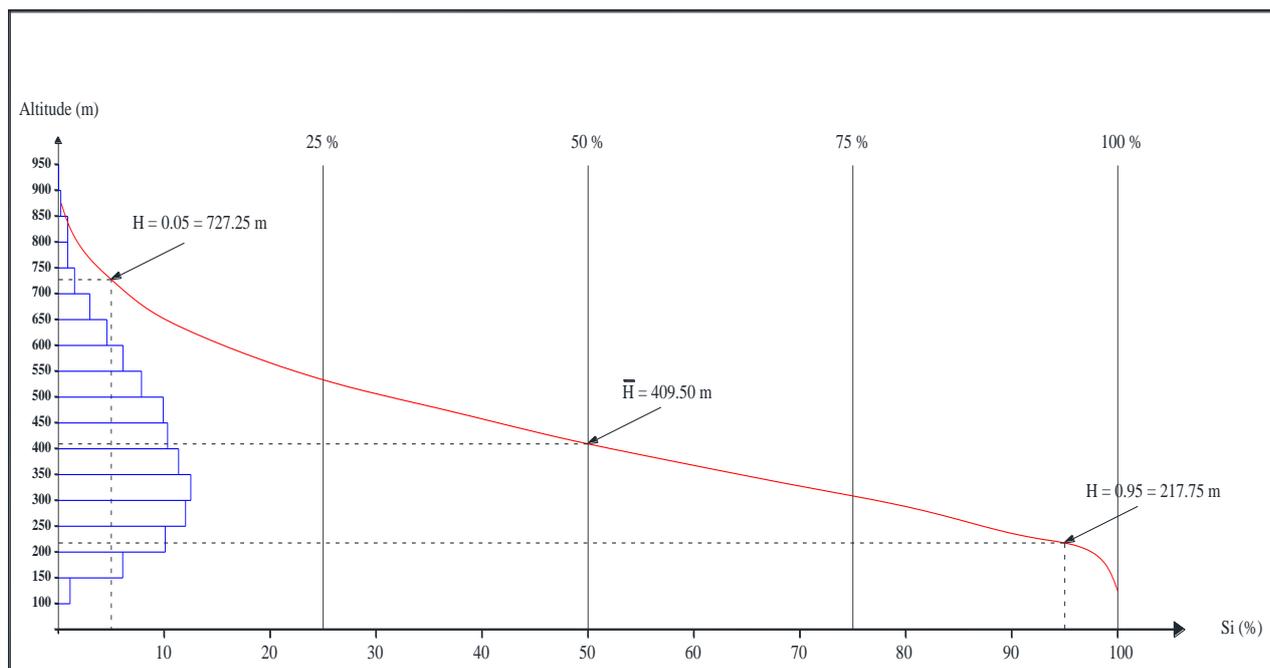
Annexe 13

Sous bassin versant n° 1 d'oued Lagreme : *Courbe hypsométrique*



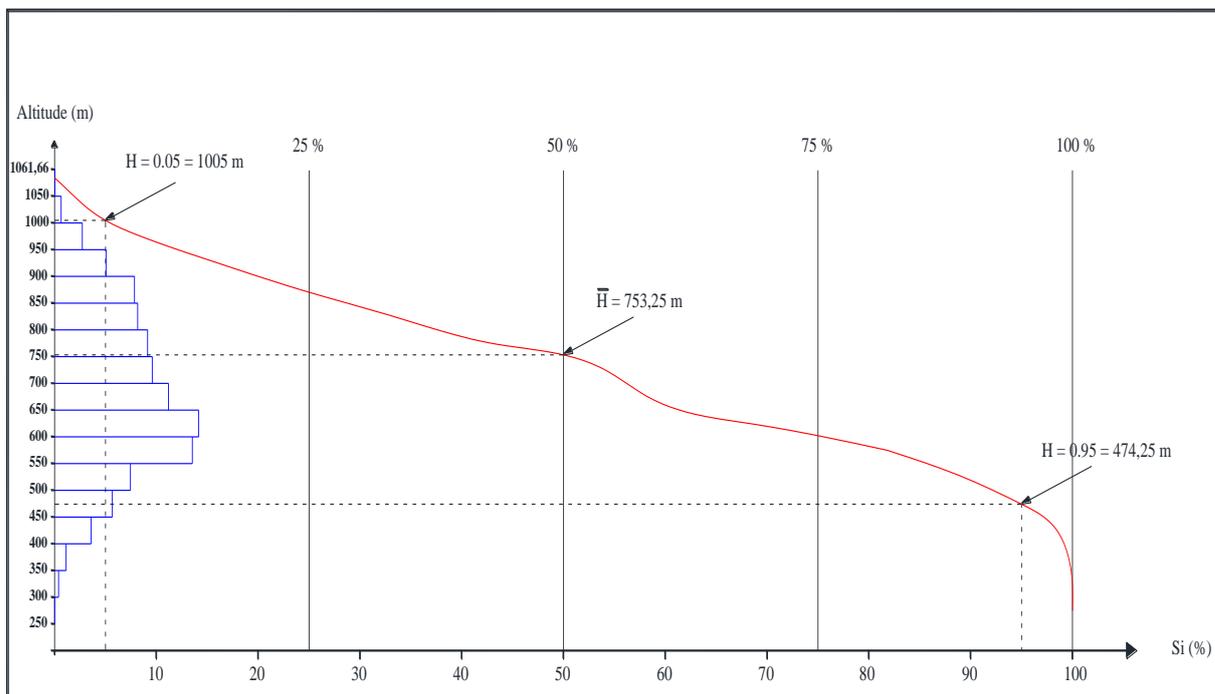
Annexe 14

Sous bassin versant n° 2 d'oued Lagreme : *Courbe hypsométrique*



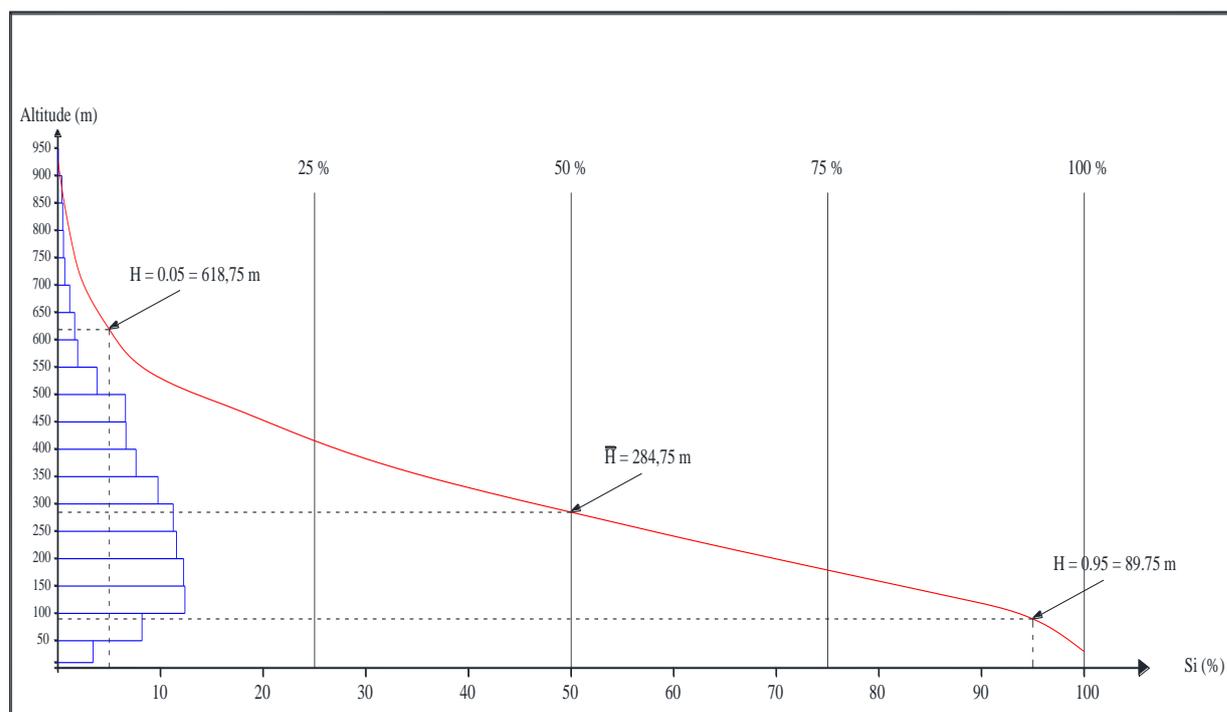
Annexe 15

Sous bassin versant n° 3 d'oued Lagreme : *Courbe hypsométrique*



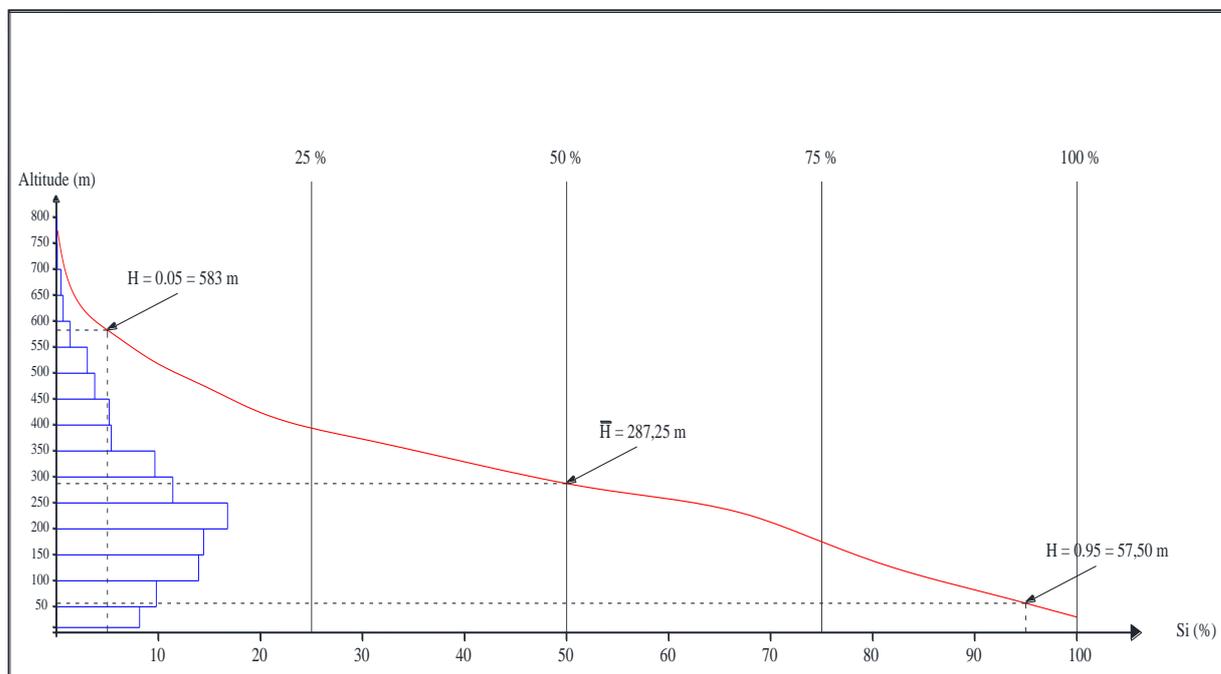
Annexe 16

Sous bassin versant n° 1 d'oued Kissir : *Courbe hypsométrique*



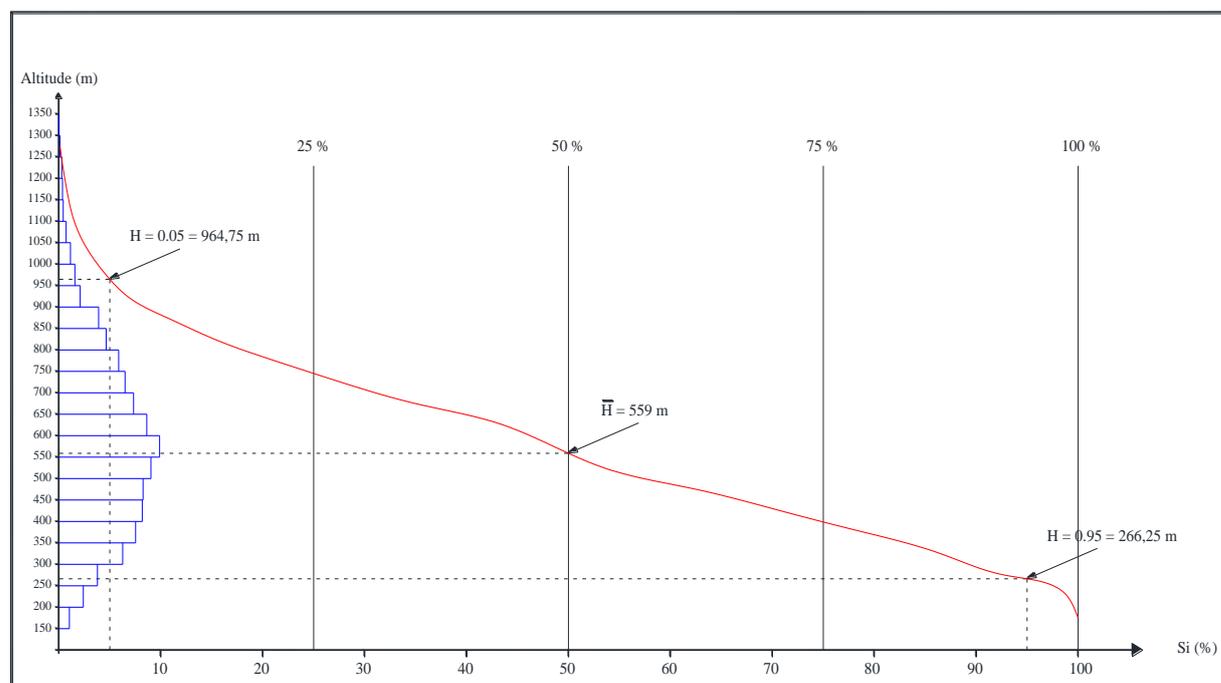
Annexe 17

Sous bassin versant n° 2 d'oued Kissir : *Courbe hypsométrique*



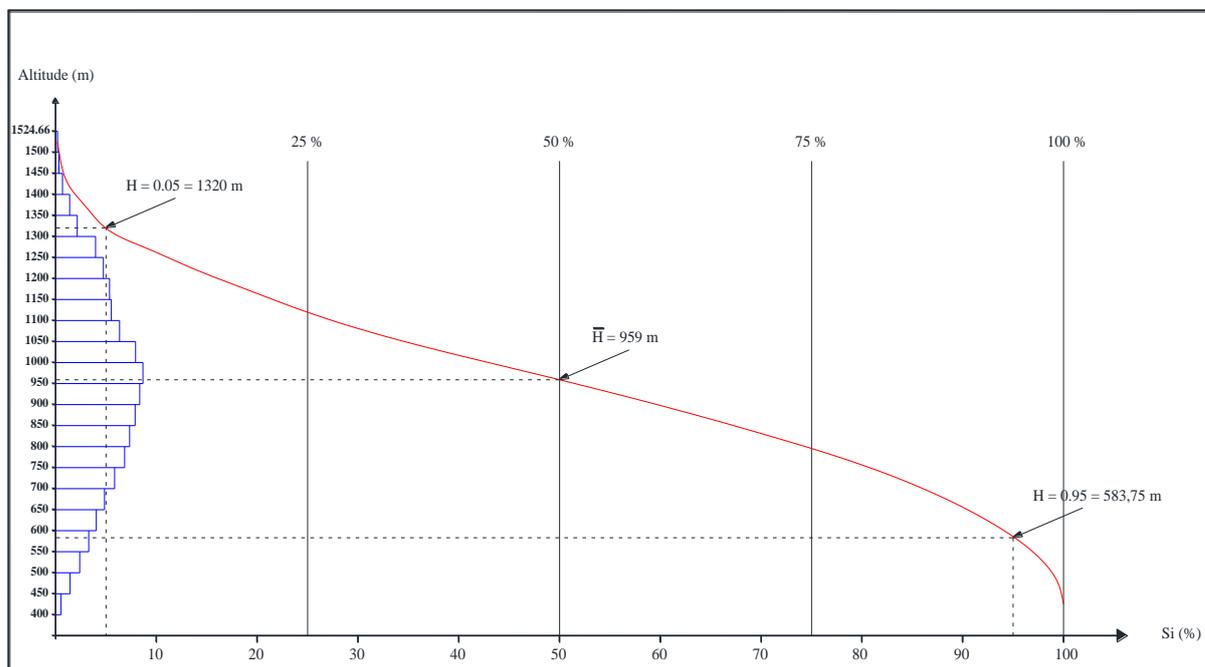
Annexe 18

Sous bassin versant n° 3 d'oued Kissir : *Courbe hypsométrique*



Annexe 19

Sous bassin versant n° 3 d'oued Kissir : *Courbe hypsométrique*



Annexe 20

Bassin versant de l'oued Lagreme : *Caractéristiques morphométriques du réseau hydrographique*

Affluents Ordre(n)	Longueur (m)	Nombre des affluents	Long_aff Minimale (m)	Long_aff Maximale (m)	Nombre Aff.ecou. Perm.	Nombre Aff.ecou. Temp
6	1,478	01	-	-	52	843
5	10,465	02	2519.12	7945.54		
4	14,134	11	256.61	3350.61		
3	26,767	38	39.33	2399.41		
2	52,877	156	26.37	1568.91		
1	166,954	687	10.35	1060.82		
Total	272.675	895	-	-		

Annexe 21

Bassin versant de l'oued Kissir : *Caractéristiques morphométriques
du réseau hydrographique*

Affluents Ordre(n)	Longueur km	Nombre des affluents	Nombre Aff.ecou.Permanent	Nombre Aff.ecou.Temporaire
6	0,349	01	60	1055
5	23,86	02		
4	21,17	09		
3	33,97	48		
2	109,08	216		
1	326,61	839		
Total	515.039	1115	1115	

Annexe 22

Bassin versant de l'oued Lagreme : *Caractéristiques morphométriques du réseau
hydrographique* selon le régime d'écoulement : permanent/temporaire

Affluent Ordre (n)	Superficie drainée par affluent(n) km²	Superficie drainée (affluent écoulement temporaire) Km²	Superficie drainée (affluent écoulement permanent) Km²
6	39.57	33.40	6.17
5	35.519		
4	24.884		
3	23.623		
2	20.833		
1	27.479		
Total		39.57	

Annexe 23

Bassins versants de l'oued Lagrème et Kissir : *Longueur d'affluent*
à écoulement permanent et temporaire

Longueur affluents à écoulement permanent des bassins versants (km)		Longueur affluent à écoulement temporaire des bassins versants (km)	
oued Lagreme	oued Kissir	oued Lagreme	oued Kissir
52.844	79.349	219.831	435.691

Annexe 24

Bassins versants de l'oued Lagrème et Kissir : *Superficie drainée*
par affluent à écoulements permanents et temporaire

superficie drainée par affluent à écoulement permanent, bassins versants(km²)		superficie drainée par affluent à écoulement temporaire, bassins versants(km²)	
oued Lagreme	oued Kissir	oued Lagreme	oued Kissir
6.17	13.97	33.40	92.86

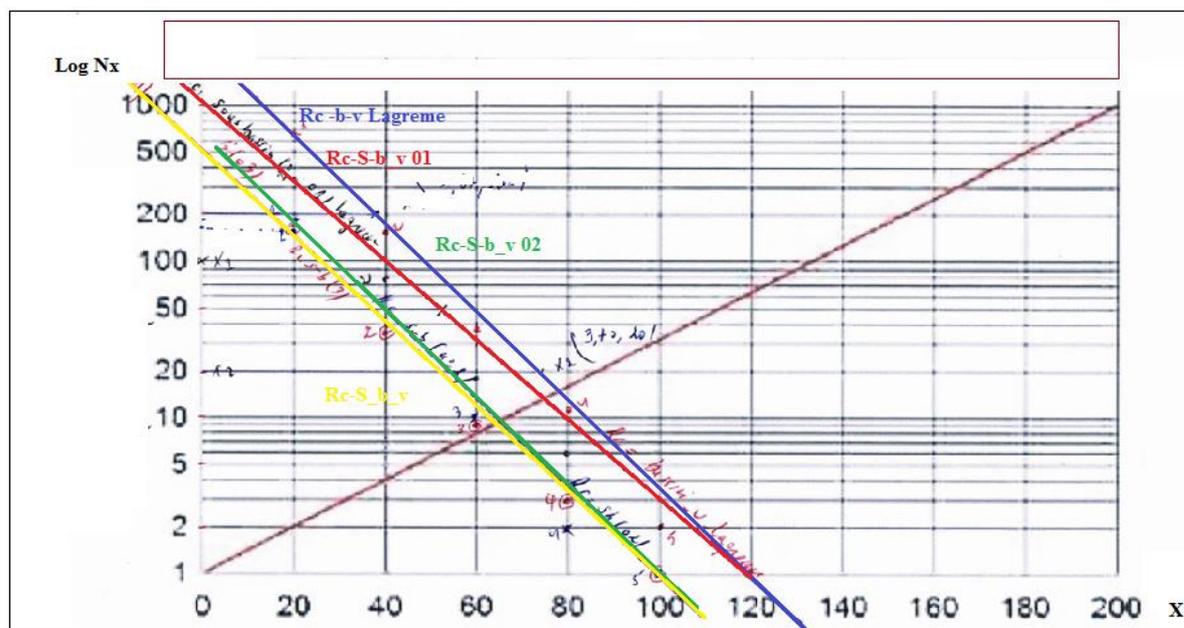
Annexe 25

Bassins versants d'oued Lagreme et Kissir : *Fréquence des thalwegs d'ordre (n)*

Fréquence des thalwegs d'ordre (n)									
(n)	Bassin versant oued Lagreme	Sous bassins, oued Lagreme			Bassin versant oued Kissir	Sous bassins, oued Kissir			
		1	2	3		1	2	3	4
1	25	27.17	21.82	25.39	11.15	13.14	10.86	9.48	10.03
2	7.48	7.85	3.64	7.21	3.08	4.26	2.41	2.8	3.02
3	1.61	1.76	1.48	1.48	0.92	1.66	0.88	0.82	0.68
4	0.44	1.18	0.02	0.308	0.154	0.094	0.042	0.17	0.2
5	0.056	0.16	0.082	0.09	0.019	0.041	0.041	0.033	0.036
6	0.025	0.037	-	-	0.094	-	-	-	-

Annexe 26

Bassin versant d'oued Lagreme : *Rapport de confluence* (graphe semi log)



Annexe 27

Bassin versant d'oued kissir : **Rapport de confluence** (graphe semi log)

