

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : OUVRAGES HYDRAULIQUES

**Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master**

Par : BAALI SAMIR

LAGGOUNE ABDERRAHIM

Thème

**ESTIMATION DE L'EROSION DANS LE BASSIN
VERSANT D'OUED LABIOD PAR LE MODELE
DE GAVRILOVIC "EROSION POTENTIEL
METHOD -EPM-"**

Dirigé par : Mr : BERGHOUT Ali

Soutenu devant le jury composé de :

PRESIDENT : Mr. Benia M

EXAMINATEURS : Mr. Benkhadja R

Mr. Mokhtari E

Année universitaire : 2017 /2018

Remerciement

A Nos remerciements avant tout au Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé, le courage et la patience qu'il nous a donnés pour pouvoir arriver à ce niveau afin de réaliser ce modeste travail.

Au PROPHETE MOHAMMED paix et salut sur lui

A nos parents qui n'ont pas cessé à tout moment de nous protéger et de veiller à notre instruction.

A notre promotrice MR BERGHOUT ALI pour avoir assuré notre encadrement, pour leur aide, pour leurs efforts et leurs précieux conseils

Au président et aux membres de jury qui nous a fait l'honneur d'avoir accepté d'examiner et juger ce travail et de faire partie du notre jury et également pour ses conseils.

Nos sincères remerciements s'adressent également à :

A tous nos enseignants qui nous ont initié aux valeurs authentiques, en Signe d'un profond

Et à tous ceux qui nous ont enseigné tout au long de notre vie scolaire

Nous n'oublions pas bien évidemment nos collègues de promotion « HYDRAULIQUE » en les saluant chaleureusement pour les agréables moments passés ensemble.

Que Dieu réalise vos vœux

*Bacali Samir
Lagoune Abderrahim
juin 2018*

Dédicace



Au nom de Dieu le tout puissant et le très miséricordieux par la grâce duquel on a pu réaliser ce travail que je dédie en signe de Respect, de Reconnaissance et D'Amour à :

Mes très chers parents pour leur affection, leur soutien et leur confiance

Ma grand- mère Larem.

Mes très chers frères : Abderraouf, Aissa et Firass pour leur aide et soutien.

Mes très chères sœurs : Amani, Nessrine.

Tous mes collègues pour leur aide : Samir, Ahmed, Ishak, Belkacem, Wael.

Mes amis : Mohammed, Mohammed tayeb, Khaireddine, Youcef, Khalis et à toute la promotion d'Hydraulique.

Laggoune Aderrahim

Au nom de Dieu le tout puissant et le très miséricordieux par la grâce duquel on a pu réaliser ce travail que je dédie en signe de Respect, de Reconnaissance et D'Amour à :

Ma très chère mère pour leur affection, leur soutien et leur confiance

Mes très chers frères et ma très chère sœur

Ma petite famille

Tous mes collègues pour leur aide : , Ahmed, Ishak, Belkacem, Wael.

Mes amis : Abderrazak, Ismail. Et mes collègues au milieu professionnel.



Baali Samir

Sommaire

Introduction générale	1
CHAPITRE I : Description physiographique du milieu d'étude	3
I-1- Aperçu géographique	3
I-2- Description physiographique	3
I-2-1- Orographie	3
I-2-2- Lithologie.....	6
I-2-3- Les pentes	9
I-2-4- Occupation du sol	10
I-2-5- Classification de la végétation	10
C- Les surfaces incomplètement protégées :.....	10
D- Les surfaces mal protégées ou nues :.....	11
I-3- Caractéristiques morphométriques et réseau hydrographique du bassin versant :.....	13
I-3-1- Hydrographie (BERGHOUT, 2017).....	13
I-3-2- Profils en long.....	14
I-3-3- Le temps de concentration :.....	15
I-3-4- Récapitulatif.....	16
I-4- Conclusion.....	17
CHAPITRE II : Les caractéristiques climatiques	18
II -1- Températures.....	18
II-2- L'humidité relative de l'air	18
II -3- Régime des vents	19
II -4- La neige.....	20
II -5- L'évaporation	20
II -6- Les précipitations	20
II -6-1- Le réseau pluviométrique et les séries d'observation.....	20
II -6-2- Les précipitations annuelles et leur variabilité.....	21
II -6-3- Les pluies journalières maximales	24
II -7- Combinaison des facteurs thermique et pluviométrique : les zones bioclimatiques	25
II -8- L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.)	25
II -9- Conclusion	26
CHAPITRE III : Etude des apports liquides et solides	27
III-1- Etude des apports liquides	27

III-1-1- Introduction.....	27
III-1-2- Etude des apports liquides	27
III-1-2-1- Estimation des apports liquides moyens interannuels en utilisant les mesures existantes :	27
III-1-2-2- Estimation des lames d'eau écoulées :	27
III-2- Etude des apports solides.....	28
III-2-1- Origine et ampleur du phénomène	28
III-2-2- Evaluation des transports solides basée sur les données de mesures.....	29
III-2-2-1- Evaluation des apports solides en utilisant les mesures de la turbidité au niveau des stations hydrométriques	29
III-2-2-2- Calcul des apports	30
III-2-3- Variabilité interannuelles des apports	30
III-2-4- Variabilité mensuelle des apports	32
III-2-5- La relation entre le débit liquide et le débit solide.....	35
III-3- Conclusion	36
CHAPITRE IV : Estimation de l'érosion des sols d'après le modelé EPM « Erosion potential method »	37
IV-1- Introduction	37
IV-2- Méthodologie.....	38
IV-2-1-Coefficient de la température (T) :	39
IV-2-2- Précipitation moyenne annuelle en (H) :	41
IV-2-3- Coefficient de protection du sol (Xa) :.....	42
IV-2-4- Coefficient d'érodibilité du sol (Y) :	48
IV-2-4- Coefficient de type et étendue de l'érosion (φ) :	53
IV-2-5- Les pentes de la zone d'étude Ja en (%) :.....	57
IV-3- Coefficient d'érosion (Z) :.....	58
IV-4- Volume annuel moyen des sédiments érodés (W) :	62
IV-5- Rapprochement mensuelle :	65
IV-5-1- La température moyenne mensuelle dans le bassin versant jusqu'à M'chounech : .	65
IV-5-2- Précipitation moyenne mensuelle à M'chounech dans le bassin versant jusqu'à H en (mm) :.....	69
IV-5-3- Coefficient de protection mensuelle du sol (Xa) dans le bassin versant jusqu'à M'chounech :	71
IV-5-4- Coefficient d'érodibilité du sol (Y) dans le bassin versant jusqu'à M'chounech : ...	72
IV-5-5- Coefficient de type de l'érosion mensuelle (φ) dans le bassin versant jusqu'à M'chounech :	72

IV-5-6- Les pentes <i>Ja</i> à dans le bassin versant jusqu'à M'chounech en (%) :.....	73
IV-5-7- Coefficient d'érosion mensuelle dans le bassin versant jusqu'à M'chounech (Z) :	74
IV-5-8- Volume moyen mensuel des sédiments érodés dans le bassin versant jusqu'à M'chounech (W) :	74
IV-5- Conclusion générale	79
Bibliographie	80

Liste des tableaux

Tableau I- 1 : Répartition des classes des pentes dans le bassin versant Oued Labiod.....	9
Tableau I- 2 : Les principales caractéristiques physiographiques du bassin Oued Labiod.....	16
Tableau II- 1: Températures moyennes mensuelles interannuelles Medina, M'chouneche.....	18
Tableau II- 2: L'humidité relative.....	19
Tableau II- 3: Le régime des vents.....	19
Tableau II- 4 : L'évaporation.....	20
Tableau II- 5 : Coordonnées et codes des stations pluviométriques.....	21
Tableau II- 6 : Pluies maximales des différentes stations.....	24
Tableau III- 1 : Variation interannuelle des débits, des apports et des lames d'eau écoulées dans la station de M'chouneche.....	28
Tableau III- 2 : Les apports solides, liquides, la lame d'eau et la dégradation spécifiques au niveau de la station de M'chouneche.....	31
Tableau III- 3 : Variabilité mensuelle des apports solides, liquides et la lame d'eau et la dégradation spécifique bassin Oued Labiod.....	33
Tableau III- 4 : Valeurs mensuelles de la turbidité en g/l.....	34
Tableau III- 5 : Les relations saisonnières : Débit liquide - débit solide.....	35
Tableau IV- 1 : : (Xa) en fonction d'occupation des sols par les végétaux.....	43
Tableau IV- 2 : Codification de la structure des sols (Cs).....	48
Tableau IV- 3 : : Codification de la perméabilité du sol (bp).....	49
Tableau IV- 4 : Type de sol en fonction de Y.....	52
Tableau IV- 5 : Type d'érosion du sol en fonction de (ϕ).....	54
Tableau IV- 6: La classe d'érosion en fonction de (Z).....	59
Tableau IV- 7 : Le volume annuel moyen des sédiments érodés W (m ³ /an).	63
Tableau IV- 8 : Le volume annuel moyen des sédiments érodés à M'chounech W (m ³ /an).	65
Tableau IV- 9 : Variabilité mensuelle des taux d'érosion et des quantités des apports solides érodés du bassin d'Oued Labiod.	77
Tableau IV- 10 : Variation mensuelle des quantités apports solides érodés.	77

Liste des figures

Figure I- 1 : Le bassin versant Oued Labiod dans l'ensemble du Chott Melghir	5
Figure I- 2 : Bassins versants Oued Labiod	6
Figure I- 3: Carte lithologique des Bassins versants Oued Labiod.	8
Figure I- 4: Carte des pentes des Bassins versants Oued Labiod.....	9
Figure I- 5 : Carte d'occupation du sol des Bassins versants Oued Labiod	12
Figure I- 6: Carte du réseau hydrographique du Bassin versant	14
Figure I- 7: Profil en long de l'Oued Labiod.....	15
Figure II- 1: Répartition saisonnière des pluies dans le massif de l'Aurès.....	21
Figure II- 2 : Les précipitations moyennes dans le massif de l'Aurès.....	22
Figure II- 3 : Carte bioclimatique.....	23
Figure II- 4 : Carte des précipitations annuelles moyennes	24
Figure II- 5 : Carte d'E.T.P. annuelles moyennes.....	26
Figure III- 1 : variation interannuelle des apports liquides et solides (Oued Labiod)	32
Figure III- 2 : Variabilité mensuelle des apports liquides et solides	33
Figure IV- 1 : L'organigramme du modèle Gavrilovic « EPM ».....	39
Figure IV- 2 : La température moyenne annuelle dans le bassin versant Oued Labiod.	40
Figure IV- 3 : le facteur de la température "T" du bassin versant Oued Labiod	41
Figure IV- 4 : Carte des précipitations annuelles moyennes.....	42
Figure IV- 5 : Carte des valeurs du NDVI- LANDSAT5 du 25 Janvier 2011.....	43
Figure IV- 6 : : Carte des valeurs du NDVI- LANDSAT5 du 11 Mars 2011.....	44
Figure IV- 7 : : Carte des valeurs du NDVI -LANDSAT5 du 18 Juin 2011.	44
Figure IV- 8 : Carte des valeurs du NDVI -LANDSAT5 du 21 Octobre 2011.	45
Figure IV- 9 : Carte des valeurs du (Xa) -de NDVI de 25-Janvier 2011.	46
Figure IV- 10 : Carte des valeurs du (Xa) -de NDVI du 11-Mars 2011.	46
Figure IV- 11 : Carte des valeurs du (Xa) -de NDVI du 18-Juin 2011.....	47
Figure IV- 12 : Carte des valeurs du (Xa) -de NDVI du 21 Octobre 2011	47
Figure IV- 13 : Carte des valeurs moyenne du (Xa)	48
Figure IV- 14 : Nomogramme de l'érodibilité des sols.	49
Figure IV- 15 : Code Structure basée sur la texture	50
Figure IV- 16 : Codes de perméabilité basés sur la classification des textures	50
Figure IV- 17 : Carte lithologique des bassins versants.....	51
Figure IV- 18 : Carte du facteur Y (SI)	52

Figure IV- 19 : Carte du facteur (ϕ) générée LANDSAT5 du 25 Janvier 2011.	55
Figure IV- 20 : Carte du facteur (ϕ) générée LANDSAT5 du 11 Mars 2011.....	55
Figure IV- 21 : : Carte du facteur (ϕ) LANDSAT5 du 18 Juin 2011.....	56
Figure IV- 22 : Carte du facteur (ϕ) LANDSAT5 du 21 Octobre 2011.....	56
Figure IV- 23 : Carte du facteur moyen de (ϕ)	57
Figure IV- 24 : Carte des pentes J_a (%)	58
Figure IV- 25 : Carte du Coefficient d'érosion (Z) LANDSAT5 25 Janvier 2011.....	59
Figure IV- 26 : Carte du Coefficient d'érosion (Z) LANDSAT5 11 Mars 2011.....	60
Figure IV- 27 : : Carte du Coefficient d'érosion (Z) LANDSAT5 18 Juin 2011.	60
Figure IV- 28 : Carte du Coefficient d'érosion (Z) LANDSAT5 21 Octobre 2011.	61
Figure IV- 29 : Carte du Coefficient d'érosion moyen (Z).	61
Figure IV- 30 : Volume annuel moyen des sédiments érodés (W).	62
Figure IV- 31 : Volume annuel moyen des sédiments érodés dans le bassin versant jusqu'à M'chounech (W)	64
Figure IV- 32 : La température moyenne du Septembre.....	66
Figure IV- 33 : Facteur de la température du Septembre	66
Figure IV- 34 : La température moyenne d'Octobre.....	66
Figure IV- 35 : Facteur de la température (T) d'Octobre.....	66
Figure IV- 36 : La température moyenne de Novembre	66
Figure IV- 37 : Facteur de la température (T) de Novembre	66
Figure IV- 38 : La température moyenne de Décembre.....	66
Figure IV- 39 : Facteur de la temperature (T) de Décembre.....	66
Figure IV- 40 : La température moyenne de Janvier	67
Figure IV- 41 : Facteur de la température (T) de Janvier.....	67
Figure IV- 42 : La température moyenne de Février.....	67
Figure IV- 43 : Facteur de la température (T) de Février.....	67
Figure IV- 44 : La température moyenne de Mars.....	67
Figure IV- 45 : Facteur de la température (T) de Mars	67
Figure IV- 46 : La température moyenne d'Avril	67
Figure IV-47 : Facteur de la température (T) de Avril.....	67
Figure IV-48 : La température moyenne de Mai.....	68
Figure IV-49 : Facteur de la température (T) de Mai.....	68
Figure IV-50 : La température moyenne de Juin	68
Figure IV-51 : Facteur de la température (T) de Juin	68
Figure IV-52 : La température moyenne de Juillet	68

Figure IV- 53 : Facteur de la température (T) de Juillet	68
Figure IV- 56 : La précipitation moyenne mensuelle du Septembre	69
Figure IV- 57 : La précipitation moyenne mensuelle d'Octobre	69
Figure IV- 58 : La précipitation moyenne mensuelle de Novembre	69
Figure IV- 59 : La précipitation moyenne mensuelle de Décembre	69
Figure IV- 60 : La précipitation moyenne mensuelle de Janvier	69
Figure IV- 61 : La précipitation moyenne mensuelle de Février	69
Figure IV- 62 : La précipitation moyenne mensuelle de Mars.....	70
Figure IV- 63 : La précipitation moyenne mensuelle d'Avril.....	70
Figure IV- 64 : La précipitation moyenne mensuelle de Mai	70
Figure IV- 65 : La précipitation moyenne mensuelle de Juin	70
Figure IV- 66 : La précipitation moyenne mensuelle de Juillet.....	70
Figure IV- 67 La précipitation moyenne mensuelle d'Aout	70
Figure IV- 68 : Le facteur (Xa) (Septembre, Octobre, Novembre).....	71
Figure IV- 69 : Le facteur (Xa) (Décembre, Janvier, Février).....	71
Figure IV- 70 : Le facteur (Xa) (Mars, Avril, Mai)	71
Figure IV- 71 : Le facteur (Xa) (Juin, Juillet, Aout)	71
Figure IV- 72 Carte du facteur Y (SI)	72
Figure IV- 73 : Le facteur (ϕ) (Septembre, Octobre, Novembre).....	73
Figure IV- 74 : Le facteur (ϕ) (Décembre, Janvier, Février)	73
Figure IV- 75 : Le facteur (ϕ) (Mars, Avril, Mai).....	73
Figure IV- 76 : Le facteur (ϕ) (Juin, Juillet, Aout)	73
Figure IV- 77 : Carte des pentes Ja (%)	73
Figure IV- 78 : Coefficient d'érosion (Z) (Septembre, Octobre, Novembre)	74
Figure IV- 79 Coefficient d'érosion (Z) (Décembre, Janvier, Février).....	74
Figure IV- 80 Coefficient d'érosion (Z) (Mars, Avril, Mai).....	74
Figure IV- 81 : Coefficient d'érosion (Z) (Juin, Juillet, Aout)	74
Figure IV- 82 : Volume moyen des sédiments (W) du Septembre	75
Figure IV- 83 : Volume moyen des sédiments (W) d'Octobre	75
Figure IV- 84 : Volume moyen des sédiments (W) du Novembre	75
Figure IV- 85 : Volume moyen des sédiments (W) du Décembre.....	75
Figure IV- 86 : Volume moyen des sédiments (W) du Janvier.....	75
Figure IV- 84 : Volume moyen des sédiments (W) du Février.....	75
Figure IV- 88 : Volume moyen des sédiments (W) du Mars	76

Figure IV- 89 : Volume moyen des sédiments (W) d'Avril	76
Figure IV- 90 : Volume moyen des sédiments (W) du Mai	76
Figure IV- 91 : Volume moyen des sédiments (W) du Juin.....	76
Figure IV- 92 : Volume moyen des sédiments (W) du Juillet	76
Figure IV- 93 : Volume moyen des sédiments (W) d'Aout.....	76
Figure IV- 94 : Variation mensuelle des quantités apports solides érodées.....	78

ملخص:

مشكلة التعرية المائية في الاحوا المائية هو موضوع تزداد اهميته من يوم لآخر في التوجهات البيئية المنتهجة. و يتم تصنيفها من حيث حجم نتائجها السلبية المحتملة كأحد الأخطار الطبيعية. وهذه الظاهرة تكون في مساحات شاسعة و هذا ما يحد من إمكانية احصائها و تحديد حجم نتائجها بصفة دقيقة. و خاصتا في ظل نقص المعلومات الخاصة بتساقط الامطار و الحرارة و الطبيعة الجيولوجية للتربة. و لكن من ناحية اخرى النموذج الذي تم دراسته في هذا البحث يمكن ان يعطي نتائج ذات فعالية فيما يخص ظاهرة التعرية المائية .

و قد أجري هذا العمل في وادي الأبيض و الذي يعتبر واحد من اكبر الوديان من حيض الحوض المائي الذي ينشأ منه. و الذي هو عبارة عن مساحات صخرية التي تميز منطقة الأوراس (شرق الجزائر). حيث تقدر مساحتها بنحو 1050 كيلومتر مربع. و نظرا لحجمها و موقعها و كذلك مكوناتها المادية و أهميتها من الجانب الاجتماعي والاقتصادي، يتعرض هذا الحوض المائي لتعرية مائية متزايدة و معتبرة قد تصل الى تغيير نمط و نوع التربة بشكل كبير و دائم مما قد يساهم في التصحر بالمنطقة. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل و رسم خريطة للمناطق الأكثر عرضة و قابلية للتعرية المائية. هو نموذج ممنهج يعتمد على عدة معايير يسمح برسم خرائط رقمية بشكل منظم معتمدا على العناصر التي تدخل في ظاهرة التعرية المائية (الجيولوجيا، تساقط المطار، التضاريس، الغطاء النباتي) تسمح بتوضيح مستويات التعرية المائية في هذه المنطقة الشبة جافة.

النتائج المتحصل عليها تعتبر وثائق تشكل اداة للمساعدة في اتخاذ الاجراءات الازمة من حيث تسيير و حماية الموارد الطبيعية.

والنتيجة هي وثيقة هي أداة دعم القرار فيما يتعلق بإدارة و حماية الموارد الطبيعية.

Résumé :

Le problème d'érosion est une thématique qui s'impose de jour en jour au niveau des politiques environnementales. Le phénomène par son ampleur est aujourd'hui appréhendé en termes de risque naturel. C'est un phénomène fortement spatialisé car sa prévisibilité temporelle demeure un exercice difficile et surtout hasardeux dans l'état actuel des connaissances. En revanche la prévisibilité spatiale objet de ce travail peut être établie avec beaucoup de précision. Ce travail a été mené dans la vallée d'Oued Labiod qui représente l'une des plus grandes vallées du massif des Aurès (Est Algérien) sur un impluvium de près de 1050 km². De par ses dimensions, ses composantes physiques et l'importance des enjeux socio-économiques qui s'y localisent, ce bassin est soumis à une dynamique érosive particulièrement animée qui à terme peut basculer dans une situation irréversible de désertification. Cette étude a pour objet l'analyse et la cartographie de la vulnérabilité à l'érosion. Il s'agit d'une approche systémique basée sur une méthode multicritère permettant de dresser des cartes indicielles numérisées basées sur la relation entre les différents paramètres ayant une influence sur le phénomène d'érosion (lithologie, pluviométrie, topographie, couvert végétal...) permettant d'exprimer le niveau de vulnérabilité dans cette région semi-aride.

Le résultat est un document qui constitue un outil d'aide à la décision en termes de gestion et de protection des ressources naturelles.

Abstract:

The erosion issue is a theme which is imposed it day by day at the environmental policies The phenomenon by its magnitude is today apprehended in terms of natural risk. It is a highly specialized phenomenon because its temporal predictability remains a difficult exercise and especially hazardous in the current state of knowledge. On the other hand, the spatial predictability of this work can be established with great precision this work was carried out in the Oued Labiod valley which represents one of the largest valleys of the Aurès massif (eastern Algeria) In a rocky area of nearly 1050 km². Because of its size, its physical components and the importance of the socioeconomic stakes that are localized there, this basin is subjected to a particularly animated erosive dynamic which eventually can turn into an irreversible situation of desertification. This study aims to analyse and map the vulnerability to erosion It is a systemic approach based on a multi-criteria method for drawing digitized index cards based on the relationship between the different parameters that influence the erosion phenomenon (lithology, rainfall, topography, vegetation cover, etc.) allowing to express the level of vulnerability in this semi-arid region.

The result is a document that is a decision support tool in terms of management and protection of natural resources.

Introduction générale

L'érosion des sols en Algérie touche de nombreuses régions, c'est un phénomène naturel, dû au vent et particulièrement à l'eau, qui s'exprime sur l'ensemble des terres. La perte de la couche superficielle du sol par érosion réduit sa fertilité et les baisses de rendements dans les secteurs touchés témoignent de cet effet ; le phénomène peut parfois prendre des tournures catastrophiques, soit par l'expression exceptionnelle de l'un de ces facteurs (très fortes pluies...), soit en raison des modifications apportées par l'homme aux paysages.

L'érosion hydrique est une thématique qui s'impose de jour en jour au niveau des politiques environnementales. Le phénomène par son ampleur est aujourd'hui appréhendé en termes de risque naturel. C'est un phénomène fortement spatialisé car sa prévisibilité temporelle demeure un exercice difficile et surtout hasardeux dans l'état actuel des connaissances.

En revanche la prévisibilité spatiale objet de ce travail peut être établie avec beaucoup de précision.

En effet, depuis le début des années quatre-vingt-dix, la communauté scientifique s'est principalement intéressée au développement du modèle qui permettent de mieux comprendre le phénomène à l'échelle de la parcelle. Cependant, les décideurs politiques ont besoin d'outils pour estimer l'érosion des sols à l'échelle régionale afin de mettre en place une stratégie de conservation des sols adaptée, de plus l'érosion a des répercussions sur les cycles des sédiments, nutriments et sur celui de la qualité des eaux. Les prédictions de ces répercussions nécessitent une modélisation du phénomène adaptée.

S'il est possible de réduire considérablement l'érosion hydrique par le biais de techniques adaptées, il est d'abord nécessaire de cibler les secteurs de forte érosion nécessitant une intervention prioritaire car le phénomène revêt un caractère d'irréversibilité.

La présente étude a été menée dans la vallée d'Oued Labiod qui représente l'une des plus grandes vallées du massif des Aurès (Est Algérien) sur un impluvium de près de 1320 km².

De par ses dimensions, ses composantes physiques et l'importance des enjeux socio-économiques qui s'y localisent, ce bassin est soumis à une dynamique érosive particulièrement animée qui à terme peut basculer dans une situation irréversible de désertification.

Cette étude a pour objet l'analyse et la cartographie de la vulnérabilité à l'érosion hydrique en appliquant le modèle EPM "Erosion Potential Method" Gavrilovic qui a été conçu dans les années 50 par Gavrilovic pour des bassins versants d'Ex-Yougoslavie. Ayant pour but la prédiction des taux d'érosion annuel des sols d'un ensemble de type d'érosion (érosion en nappes, érosion en rigoles et en ravins et sapement de berges). Il se base sur la cartographie et la combinaison des paramètres qui sont : la pente, la sensibilité des sols à l'érosion, l'état érosif, la protection des sols, la température et les précipitations.

Il s'agit d'une approche systémique basée sur une méthode multicritère permettant de dresser des cartes indicielles numérisées basées sur la relation entre les différents paramètres ayant une influence sur le phénomène d'érosion (lithologie, pluviométrie, topographie, couvert végétal...) permettant d'exprimer le niveau de vulnérabilité dans cette région semi-aride.

Le but principal de ce mémoire donc est la modélisation d'érosion dans le bassin versant d'Oued Labiod appartenant au bassin Chott Melghir, en appliquant le modèle EPM "Erosion Potential Method" Gavrilovic à l'échelle annuelle et mensuelle.

Ce travail est structuré de la façon suivante :

Le premier chapitre sera consacré à une description générale du bassin versant d'Oued Labiod, ainsi que les différents sous bassins analysés afin de donner les indications géographiques, physiographiques et leurs réseaux hydrographiques.

Le second chapitre présente une analyse des caractéristiques climatiques du bassin versant qui sont la base de l'étude des comportements et des réponses hydrologiques de ses cours d'eau.

Le troisième chapitre sera réservé à l'étude des apports liquides et solides et de leur variabilité qui passe par la prise en compte des débits moyens annuels et bilans hydrologiques, régimes fluviaux et variations saisonnières des débits, débits moyens journaliers et intensités des débits extrêmes des crues et des étiages ainsi que leur fréquence.

Le dernier chapitre présentera la modélisation de l'érosion en appliquant le modèle de EPM "Erosion Potential Method" Gavrilovic à l'échelle annuelle et mensuelle dans le bassin.

En fin, le travail est conclu par une synthèse et une conclusion générale de cette étude dans laquelle on propose quelques voies pour des recherches futures

CHAPITRE I : Description physiographique du milieu d'étude

CHAPITRE I : Description physiographique du milieu d'étude

I-1- Aperçu géographique

Le grand bassin hydrologique Chott Melghir N°06 (selon la nomenclature de l'ANRH) englobe trente (30) sous bassins versants (ANRH, 2005), dont le sous bassin versant Oued Labiod objet de notre étude. Il est situé dans le massif des Aurès (partie orientale de l'Atlas saharien). Il est composé de six principaux Oueds : Oued Labiod, Oued Ichmoul, Oued Bacha, Oued T'kout, Oued Isli et Oued Bou Sahbane formant par leur confluence Oued Labiod 'Ighzer Amellal'.

L'ensemble de ces Oueds cheminent vers le Sud et se déversent dans Chott Melghir. L'Oued Labiod est formé par la réunion des torrents descendants des raides pentes de Chelia (2328m), Ichemoul (2100m), Bou Tlaghmine (2178m), El-hara (1972m), Taghda (1899 m) et Ich Aziza (1937 m).

Après avoir traversé le défilé resserré de Tighanimine, Oued Labiod s'encaisse dans les canyons de Ghoufi et les gorges étroites de M'chounèche, puis s'ouvre une voie vers la plaine Saharienne jusqu'aux gorges de Foum el Gherza.

Le bassin versant oued Labiod englobe 9 Communes et 6 Daïras qui s'étendent de Khenchela (Nord-Est) jusqu'à Biskra (Sud-Ouest) selon les coordonnées géographiques suivantes :

Longitude varie entre 5,90° et 6,64°.

Latitude varie entre 34,83° et 35,37°

Il est ainsi limité par les communes d'Inoughissen, Ichemoul et Arris au Nord et par M'chounèche et Sidi Okba au Sud, il couvre une superficie de 1317 km².

I-2- Description physiographique

I-2-1- Orographie

Le bassin versant d'oued Labiod présente des ensembles naturels fortement variés qui agissent sur le comportement hydrologique du bassin. Il est subdivisé en deux milieux naturels :

A- Les montagnes :

Elles sont composées essentiellement de massifs montagneux des Aurès dans la partie Nord du bassin. Elles sont constituées par les monts de Chelia (2328 m), Ichmoul (2100) et Ich Aziza (1937m), à l'Est on rencontre la chaîne montagneuse de Zallatou (1995 m) et Ahmar Khaddou (1931m) caractérisée par de forts reliefs en plusieurs chaînons orientés sensiblement SO-NE ; Ces reliefs forment une barrière naturelle, qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Les différents paramètres climatiques sont fortement influencés par ces reliefs.

B- Les piedmonts :

C'est une zone de transition entre la montagne et la plaine : elle s'allonge du Nord Est au Sud-Ouest on trouve également le piedmont méridional avec ses collines et ses étendues planes, étagées et en pente douce ; son altitude varie entre 350 et 200m

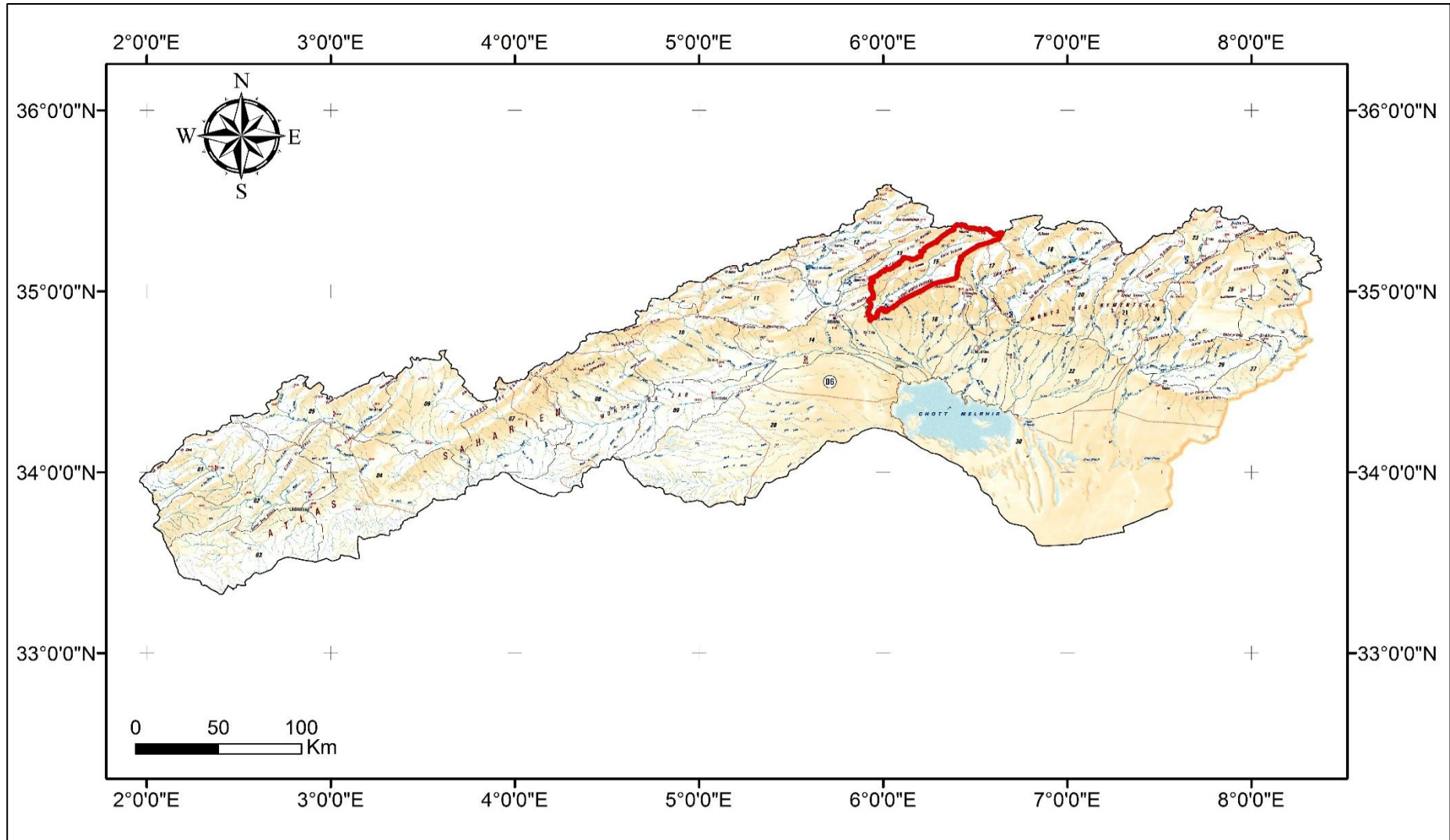


Figure I- 1 : Le bassin versant Oued Labiod dans l'ensemble du Chott Melghir (06) (extraite de la carte des bassins versants de l'ANRH (2005))

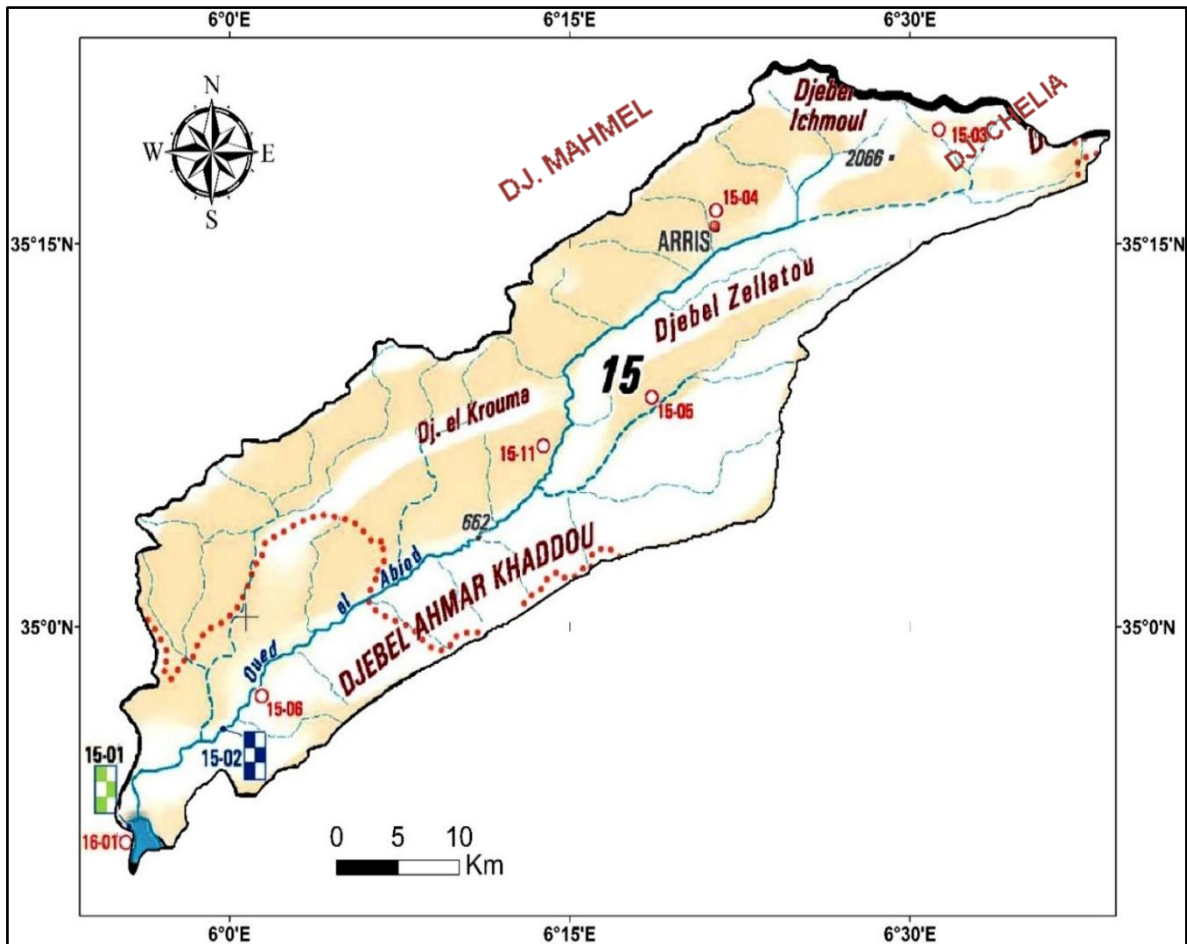


Figure I- 2 : Bassins versants Oued Labiod (carte extraite de la carte des bassins versants de l'ANRH ; 2005)

I-2-2- Lithologie

La nature de la roche joue un double rôle : Son influence se fait sentir, d'une part, sur le régime du cours d'eau, et d'autre part, sur l'érosion et le transport solide.

La lithologie de la première partie de notre zone d'étude (oued Labiod) présente peu de variétés.

Ce bassin comporte deux principales formations de roches. La répartition lithologique du bassin versant montre des zones à érodibilité moyenne à faible au Nord et une érodibilité forte au Sud, l'absence du couvert végétal favorise un ruissellement violent et donc l'érosion sera plus ou moins importante.

La série stratigraphique et les formations géologique essentielles du bassin versant d'oued Labiod sont les suivantes :

Crétacé

-Campanien inférieur : alternance de calcaires et de marnes.

-Campanien supérieur : schistes et marnes schisteuses.

-Mæstrichtien : calcaires cristallins.

Miocène :

Ce sont des poudingues et des alternances de marnes, grés, marnes gypseuses. Cette première série lithologique est surmontée en discordance par des formations plus récentes appartenant essentiellement au Miocène et au Pliocène caractérisées par des conglomérats, des argiles et des sables. Ces dernières se localisent surtout vers le Sud du bassin versant ([Haoues, 2007](#)).

En résumé la surface du bassin se compose de :

Calcaires récifaux et calcaires marneux du crétacé moyen et inférieur (résistants) : 30 %.

Calcaire, argile et gypse de l'éocène moyen et inférieur (moyennement érodable, présence de couvert végétal): 46%

Argile à gypse de l'oligocène continental (érodable) : 24 %

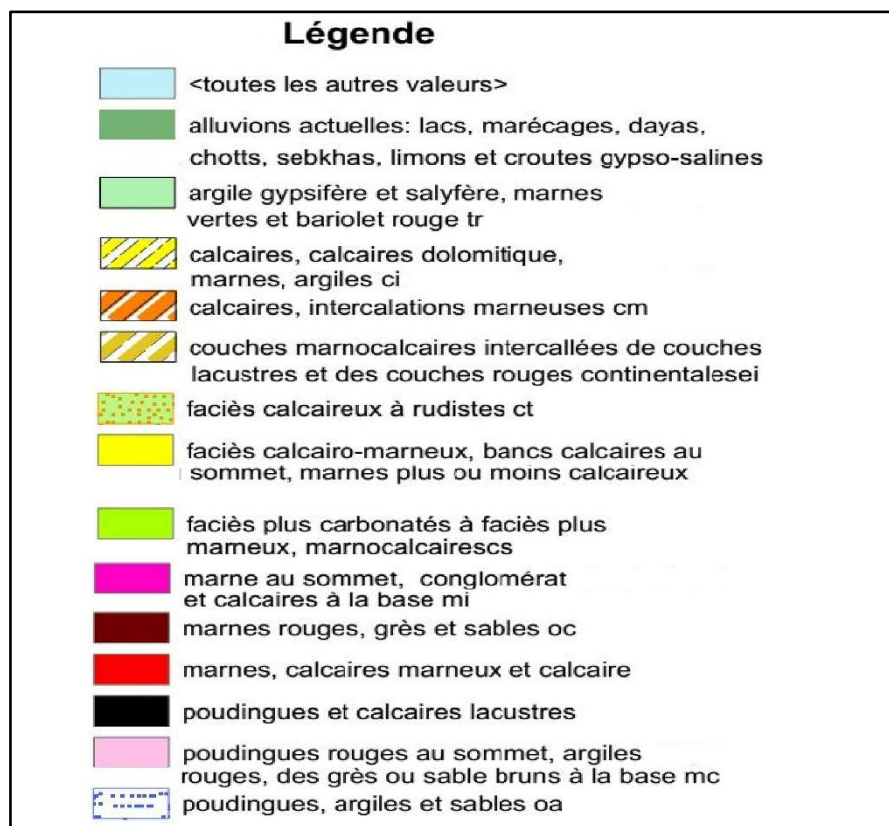
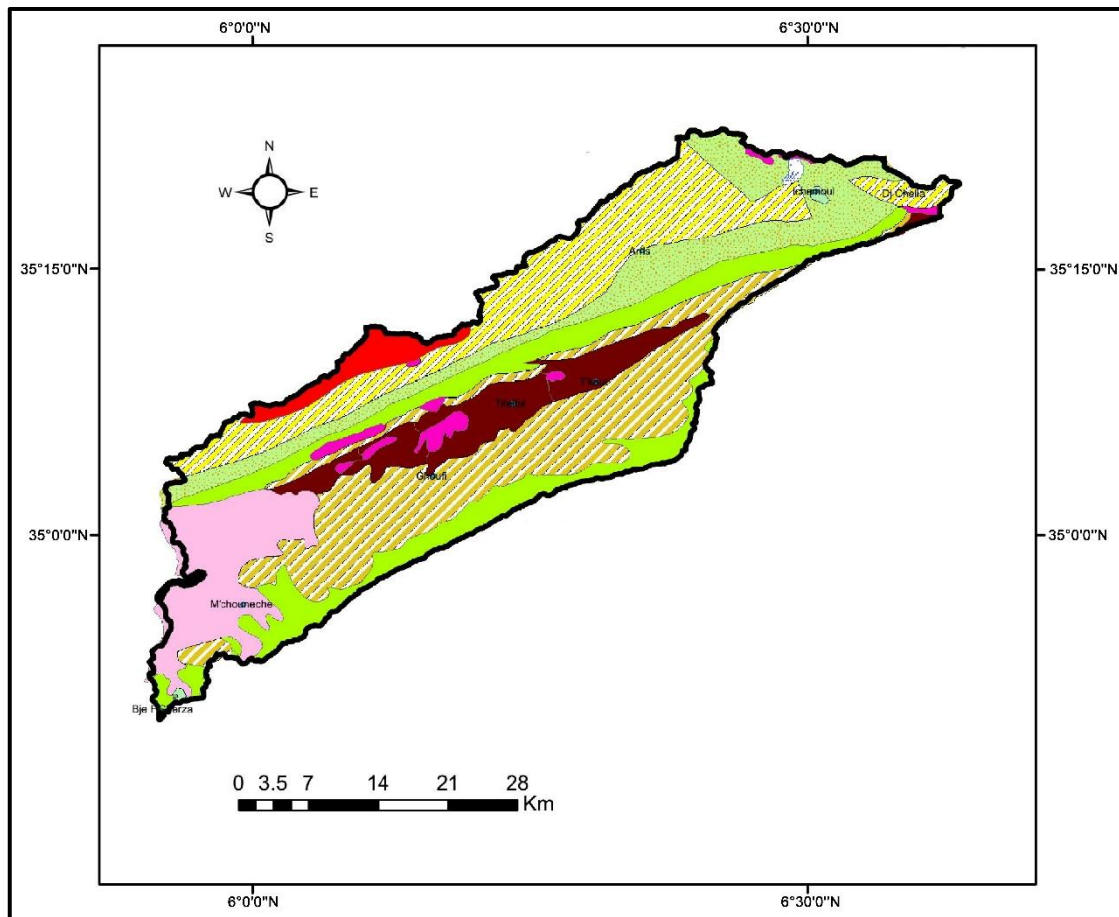


Figure I- 3: Carte lithologique des Bassins versants Oued Labiod (carte établie à partir de la carte géologique des Aurès de Laffitte, (1939)) (BERGHOUT, 2017).

I-2-3- Les pentes

L'établissement de la carte des pentes a été fait à l'aide de l'outil Arcgis. La pente est un élément fondamental dans toute étude de l'érosion. La topographie, représentée par les pentes, constitue un des facteurs essentiels de la dégradation du milieu physique et un élément important influant sur l'écoulement des eaux et l'occupation des sols. Les pentes ont été ressorties en dix (10) classes bien différenciées (Tableau I-1).

Tableau I- 1 : Répartition des classes des pentes dans le bassin versant Oued Labiod

Classes	Surfaces (km ²)	Surfaces (%)
0 - 5	97.47	7.40
5 - 10	167.31	12.70
10 - 15	180.65	13.71
15 - 20	169.44	12.86
20 -25	146.98	11.16
25 - 40	295.66	22.45
40 - 60	167.55	12.72
60 - 80	58.70	4.46
80 - 100	20.50	1.56
> 100 %	12.95	0.98
Total	1317,2	100.00

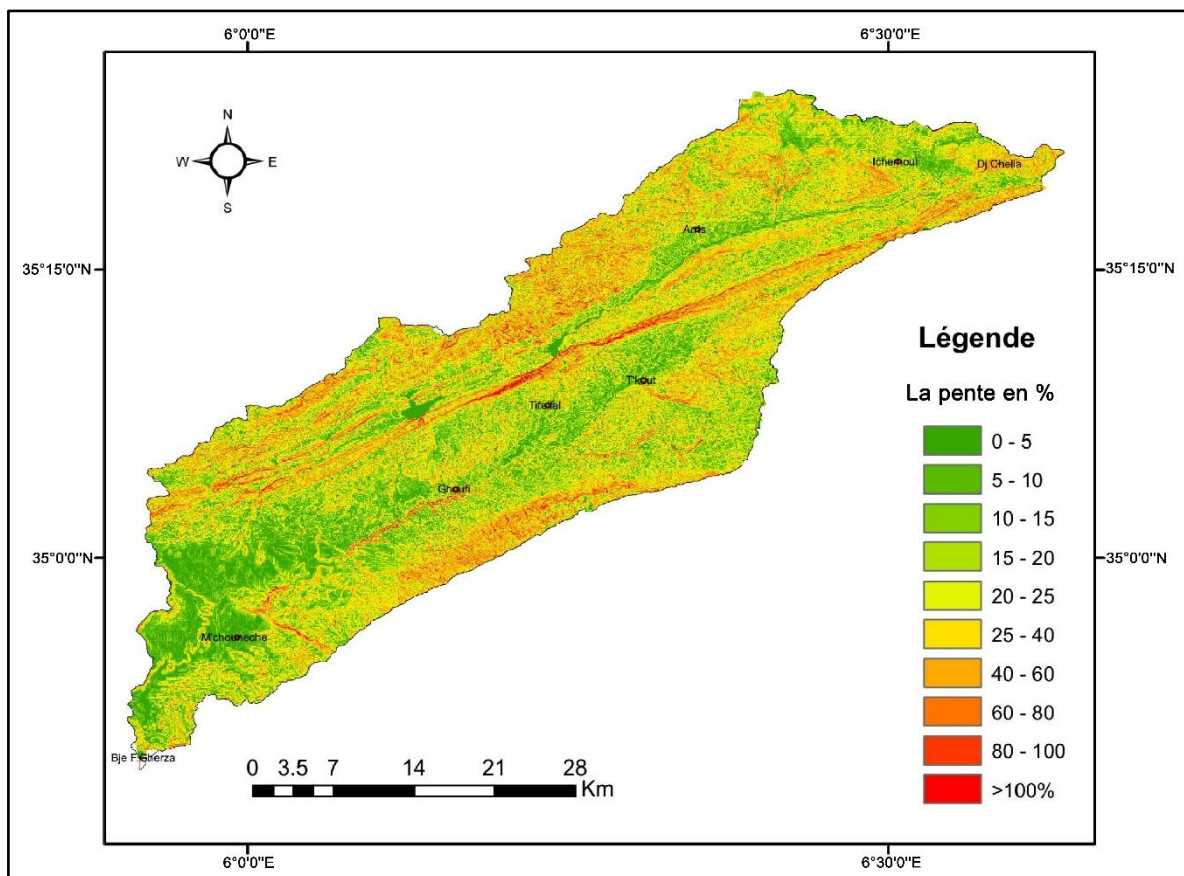


Figure I- 4: Carte des pentes des Bassins versants Oued Labiod

I-2-4- Occupation du sol

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluvial, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration ; cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense (Université de Nice, 2008).

Elle donne de l'ombre, ce qui conserve l'humidité et l'activité biologique nécessaire à l'équilibre du sol, l'infiltration en profondeur est facilitée par les fissurations préparées au sein du sol les eaux qui ruissellent rencontrent des obstacles, qui les obligent à ralentir leurs vitesses (Université de Nice, 2008).

Enfin, les végétaux jouent un rôle mécanique très important dans les zones de forte déclivité, en atténuant la violence des crues, ils protègent le sol contre l'érosion, et limitent le transport solide.

I-2-5- Classification de la végétation

Plusieurs classifications plus ou moins complexes ont été proposées, mais la classification des types de couverture par ordre de densité de J, Tricart (1963 - 1968) est plus adaptée à montrer l'impact du couvert végétal sur les conditions d'écoulement à notre contexte.

Nous reprendrons les trois grandes catégories de type de couverture végétale distinguées :

A- Les surfaces bien protégées :

Ce sont les surfaces qui bénéficient de couverture végétale plus ou moins dense, permanente et plus spécialement les forêts, ces dernières protègent contre l'érosion et la concentration rapide des eaux.

C- Les surfaces incomplètement protégées :

Ce sont les surfaces partiellement nues en permanence et les surfaces saisonnièrement protégées, dont les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives et des crues inondant.

Il s'agit généralement des terres de culture destinées soient pour la céréaliculture, qui occupe densément le sol pendant une période de l'année et de l'arboriculture qui laisse le sol nu en permanence entre les arbres. Ainsi la pratique de la jachère nue est dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection.

D- Les surfaces mal protégées ou nues :

Elles englobent les terrains dénudés, les terrains de parcours taillis et broussailles à faible densité de recouvrement, où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisées, surtout dans les terrains dénudés imperméables et sur les terrains de parcours fortement pâturées.

Le développement de la couverture végétale dépend de la combinaison des facteurs physico-géographiques tels que le climat, le relief, la lithologie et l'action humaine qui s'impose par la mise en culture des terres. Pour cela, il est nécessaire de connaître les différents types de végétaux et leur répartition dans les deux bassins en étude.

La répartition du couvert végétal au niveau du bassin versant de l'Oued Labiod est donnée par la carte d'occupation du sol de la figure I-5.

Les formations végétales protègent donc le sol, mais n'empêchent pas totalement l'érosion dite naturelle. Le paysage végétal du bassin de l'Oued El Abiod a été largement dégradé et défraîchi en montagne. L'effet dévastateur dû aux conséquences de la guerre d'indépendance est à signaler.

Les belles forêts sont localisées sur le versant Nord entre 1600m et 2328 m composé de cèdre sur 1400ha environ. Le reste de la surface boisée se partage entre chêne vert pin d'Alep, plus particulièrement entre 1400m et 1000m, quant aux basses vallées elles opposent déjà leurs rubans de palmeraies aménagés en terrasses à la nudité du désert, le jardinage des oasis est associé à d'autres pratiques culturelles notamment, la céréaliculture dont l'irrigation est assurée par des dérivations de l'Oued et d'épandage de crues.

On rencontre ce type d'exploitation dans les environs de Ghassira, Rhoufi et M'chouneche. En général d'après la carte de répartition de la végétation, la surface couverte est estimée à 42% de la superficie du bassin. Cette concentration est comprise entre Djebel Chelia et les gorges de Tighanimine, d'une part, et sur les montagnes d'Ahmer khadou, d'autre part. La zone semi-aride et aride, d'une superficie de 58%, résulte plus d'une intense dégradation de la végétation que des conditions lithologiques et climatiques.

La classification des types de végétation par ordre de densité ou d'efficacité décroissante, a permis de distinguer les grandes catégories se trouvant dans le bassin.

La première catégorie couvre la partie du bassin bien protégée en permanence donc défavorable au ruissellement et à l'érosion hydrique, forêts denses entre Chelia et Tighanimine (cèdre, chêne vert et pin d'Alep); suivi d'une autre catégorie qui couvre la partie du bassin moyennement protégée par le couvert végétal où les averses tombent sur les parties du sol non protégées peuvent

engendrer un ruissellement plus ou moins violent et exerçant une érosion plus ou moins importante de Tighanimine à Ghassira.

La dernière catégorie emporte la partie du bassin mal protégées ou totalement nues où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisés de Ghassira jusqu'à El Habel.

L'absence du couvert végétal dans certaines zones a favorisé un ruissellement violent et donc l'érosion sera plus importante.

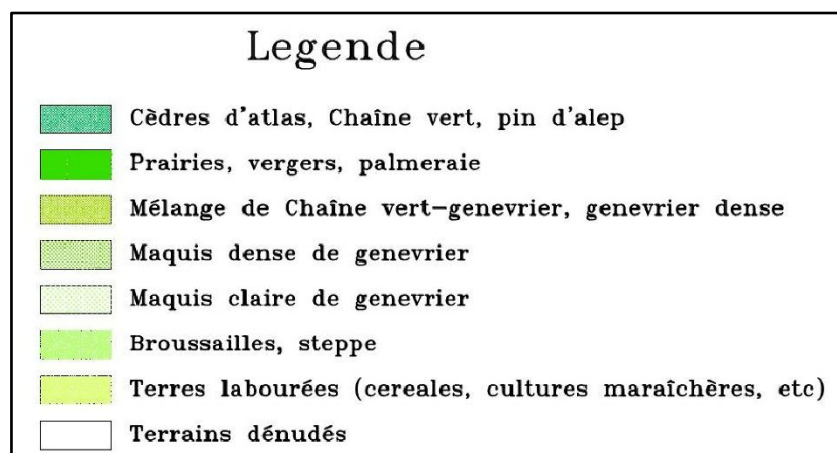
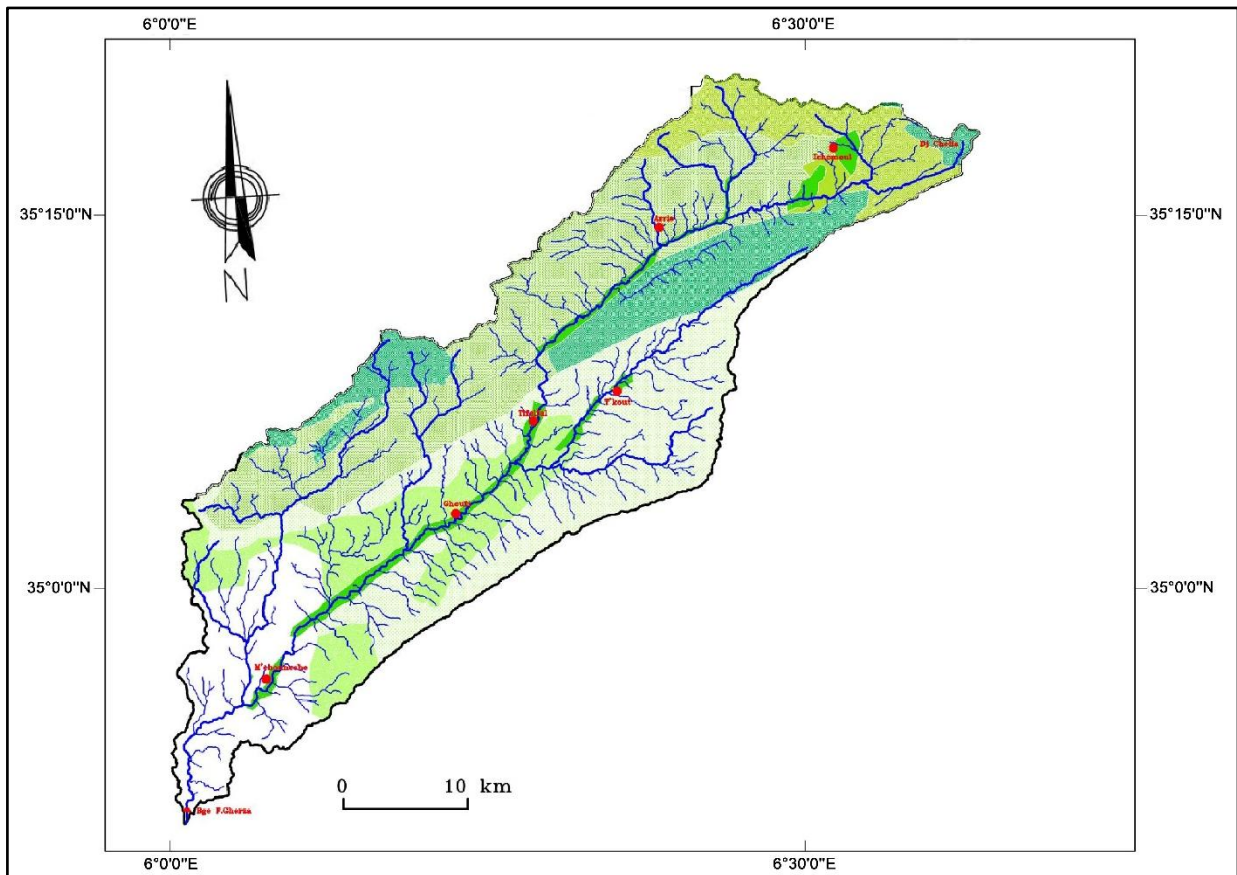


Figure I- 5 : Carte d'occupation du sol des Bassins versants Oued Labiod (BERGHOUT, 2017).

I-3- Caractéristiques morphométriques et réseau hydrographique du bassin versant :

Les différents paramètres morphométriques d'un bassin notamment, la forme, les altitudes caractéristiques, la pente et le relief ainsi que le réseau hydrographique qui est l'ensemble des cours d'eau, par lequel s'écoulent toutes les eaux de ruissellement, interviennent souvent d'une façon combinée dans les modalités de l'écoulement, donc il est utile de les préciser dès le début dans toute étude hydrologique.

I-3-1- Hydrographie (BERGHOUT, 2017)

Le bassin d'Oued Labiod totalise une surface de 1317 km² (au site du barrage Foug El-Gherza) et d'une exposition dominante Nord-Est (Dj Zellatou), Sud-ouest (Dj Taghenechrit) et dont la ligne de partage des eaux lui confère une forme allongée.

L'Oued Labiod prend sa source au Nord-Est de Djebels Chelia, coule vers l'Ouest, draine une surface de 23,60 km² avant de confluer avec l'Oued Ichmoul.

L'Oued Ichmoul (Medina) résulte de la jonction de trois affluents prend sa source au Nord de Djebels Ichmoul, coule vers le Sud, draine une surface de 43,83 km².

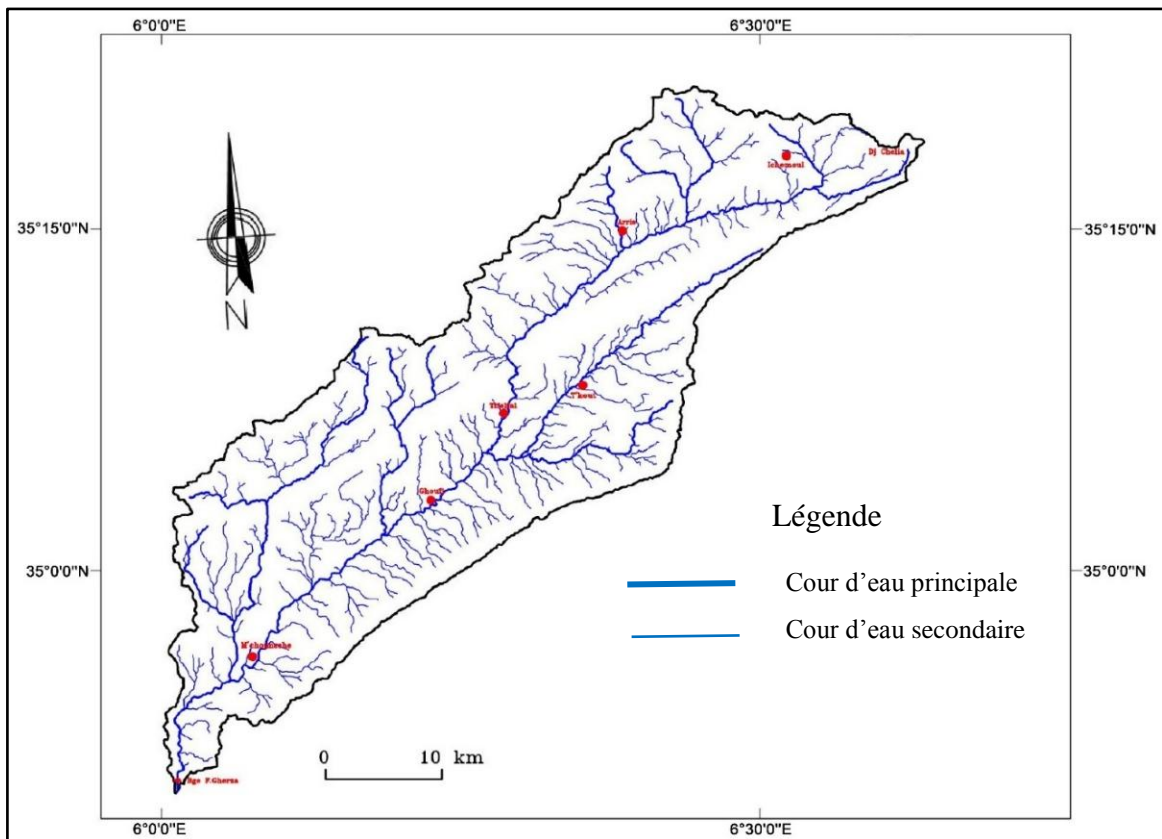
L'Oued Bacha prend forme à l'amont par la jonction des deux Oueds : Oued Afra issu des massifs montagneux Bou Tlaghmine et coule dans la direction Sud ; et Oued Meloudja avec une orientation Ouest, les deux s'accumulent pour former Oued Bacha qui coule dans la direction Sud-Ouest ensuite dans la direction Sud jusqu'à Oued Labiod. La surface totale du sous bassin est 86,33 km².

L'Oued Labiod résulte de la jonction des oueds cités auparavant coule dans la direction Ouest, reçoit sur sa rive droite les Oueds Ghrara, Chir et Milane ensuite dans la direction Sud vers les gorges de Tighanimine. Cette partie du bassin (jusqu'aux gorges de Tighanimine) totalise une surface de 422,59 km². Après avoir traversé le défilé resserré de Tighanimine, il reçoit sur sa rive gauche oued T'kout, résulte de la jonction de deux oueds :

Après la jonction de Oued T'kout et Oued Labiod au site Ghassira, Oued Labiod (qui prend le nom d'Oued Ghassira dans cette partie) s'encaisse dans les canyons de Ghoufi, reçoit sur ses deux rives plusieurs affluents drainant des sous bassins de petites surfaces (dans l'ordre de 10 km² en maximum).

Au fin canyon de Ghoufi, Oued Ghassira reçoit sur sa rive droite Oued Asli issu des monts de Taghda coule dans la direction Sud, draine un sous bassin d'une surface de 69,00 km². Après la station hydrométrique de M'chouneche, Oued Labiod reçoit sur sa rive droite Oued Sahbane issu

des monts d'Ich Aziza (Djebel Lazrag) coule dans la direction Sud, draine un sous bassin d'une surface de 195,40 km². Ensuite Oued Labiod traverse les gorges étroites de M'Chounèche, puis s'ouvre une voie vers la plaine Saharienne jusqu'aux gorges de Foum el Gherza.



I-3-2- Profils en long

Le bassin versant est caractérisé par sa dissymétrie, une partie montagneuse au Nord culminant à plus de 2000 m (2328 m Dj Chelia) et une autre basse au Sud (203 m Foum El Gherza), ce qui génère des pentes longitudinales et transversales le long de son exposition. Quant au pentes, on constate une série de ruptures qui s'expliquent par les variations lithologiques (résistance à l'érosion) d'une part et le degré de perméabilité des matériaux de l'autre part, d'autre ressauts le long de l'Oued beaucoup moins marqués, sont également liés à des seuils rocheux qui apparaissent d'une manière moins nette sur le profil en long.

On constate, une accentuation de pentes entre El Hamra et Ghassira qui engendrent également un encaissement rapide des vitesses d'écoulement, et met en évidence la puissance de l'érosion, d'où un encadrement du lit dans l'absence du champ d'inondation au niveau de la confluence d'Oued Labiod et Oued T'kout.

Il existe une nette relation entre le changement brusque des pentes et l'exposition Nord-Est / Sud-Ouest due à l'inadaptation du réseau hydrographique avec la structure. Ainsi au niveau d'Oued T'kout, on constate de très fortes pentes révélant ainsi le caractère torrentiel de cet affluent, les pentes élevées dans la partie amont, ne sont réalisées que sur de brefs secteurs et sont à l'origine des crues exceptionnelles. En revanche Oued Asli, présente un profil assez régulier, interrompu par quelques légères ruptures de pentes annonçant les cours d'eau des hautes plaines semi-arides.

Ainsi, la partie basse, présente une allure régulière traduisant l'amorce d'équilibre. On notera la présence de gros blocs dans le lit de l'Oued, due soit à un affleurement rocheux, soit à l'arrivée d'un affluent qui transporte des matériaux beaucoup plus gros que ceux transportés par l'Oued principal, ce qui traduit l'inexistence d'équilibre permanent.

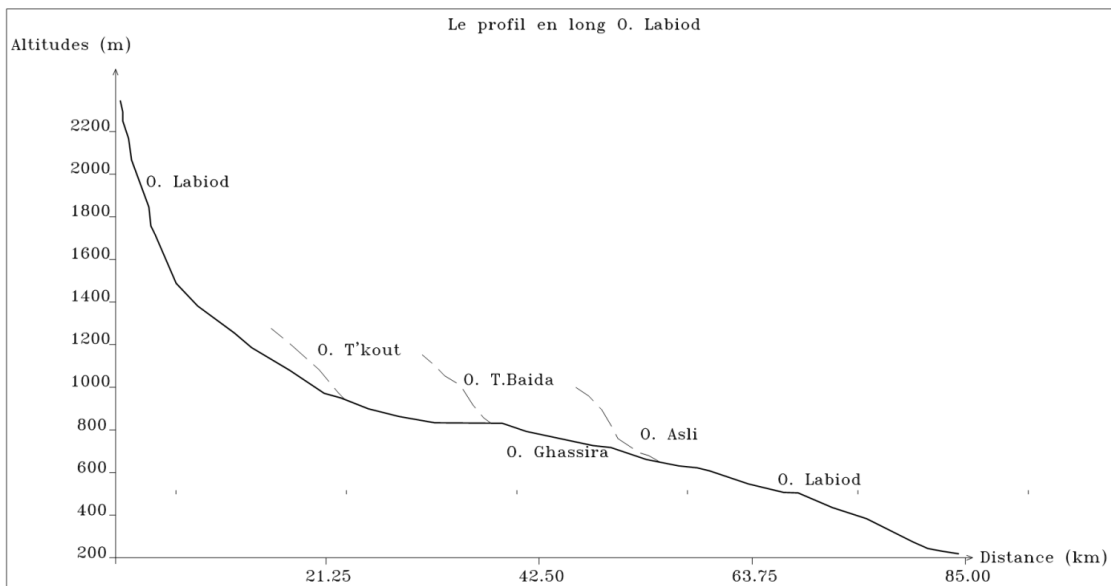


Figure I- 7: Profil en long de l'Oued Labiod

I-3-3- Le temps de concentration :

Bien que, ce paramètre intervient pour l'étude des crues, le temps de concentration est largement utilisé comme paramètre hydrologique de grande importance, qui sert aussi à la comparaison des bassins différents.

Le temps de concentration dépend de la déclivité du bassin, la densité de drainage, et aussi l'étendue du bassin.

Pour le calcul de ce paramètre, nous avons utilisé la formule de GIANDOTTI (à titre indicatif).

Les deux sous bassin de Labiod (jusqu'au au gorges de Tighanimine) et T'kout, situés au Nord où l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief, présentent des temps de concentration différents : 8,57 et 6,54 heures. Le bassin versant de l'Oued Labiod de la station de M'chouneche et celui du barrage Foum El-Kharza, présentent un temps de concentration plus long : 11,47 et 12,83 heures.

I-3-4- Récapitulatif

Nous pouvons conclure qu'il y a une dissymétrie dans la répartition altimétrique et hydrographique, qui entraîne des conséquences sur la stabilité du régime d'écoulement.

On distingue deux reliefs différents : Les secteurs montagneux qui présentent des caractéristiques morphométriques favorables à la genèse et à la propagation des crues ; Les secteurs de piémonts ont un degré moindre ; Alors que les secteurs de plaines sont le siège d'une accumulation des dépôts détritiques où les conditions d'écoulement sont défavorables au ruissellement (pentes faibles).

En résumé les différentes caractéristiques morphométriques et géométriques du bassin se résument dans le tableau I-2 :

Tableau I- 2 : Les principales caractéristiques physiographiques du bassin Oued Labiod

Paramètre	Valeur	Unité
Surface du bassin versant (S)	1317,2	km ²
Périmètre du bassin versant (P)	870,2	km
Le plus long talweg (Lp)	81	km
Indice de compacité de Gravelius (KG)	1,56	-
Longueur du rectangle équivalent (L)	81,87	km
Largeur du rectangle équivalent (l)	16,05	km
Altitude maximale (Hmax)	2328	m
Altitude minimale (Hmin)	128	m
Altitude moyenne (Hmoy)	1170	m
Altitude à 95% de la superficie du bassin (H95%)	556	m
Altitude à 05% de la superficie du bassin (H05%)	2096	m
Indice de pente global (Ig)	18,98	m/km
Dénivelée spécifique (Ds)	666,25	m
Densité de drainage (Dd)	3,8	km/km ²

I-4- Conclusion

En conclusion, les composantes naturelles du bassin d'Oued Labiod représentent des caractéristiques d'une zone à une érosion accentuée : pentes raides, couvert végétal dégradé dans la majorité du bassin.

La répartition lithologique du bassin montre des zones à érodibilité moyenne à faible au Nord, et d'autres secteurs à érodibilité forte au sud en raison de la lithologie favorable qui coïncide avec l'absence du couvert végétal, ce qui favorise un ruissellement violent et donc l'érosion sera plus importante.

CHAPITRE II : Les caractéristiques climatiques

CHAPITRE II : Les caractéristiques climatiques

Ce chapitre est consacré à l'analyse des facteurs climatiques du bassin versant et notamment les précipitations.

II -1- Températures

Les données disponibles, montrent les caractéristiques du climat semi-aride (Medina) et avec des valeurs minimales pendant les mois de Décembre, Janvier, Février, tandis que les valeurs maximales coïncident avec les mois de Juin, Juillet et Août où les précipitations sont rares, tandis que le climat aride (M'chouneche) montre des fluctuations assez nettes avec des valeurs maximales aux mois de Mai, juin, juillet, Août et Septembre et des minimales aux mois de Décembre, Janvier et Février (pendant l'hiver).

Tableau II- 1: Températures moyennes mensuelles interannuelles Medina, M'chouneche période (1971-1991))

Station	Code	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Moy
Médina	61503	20.25	15	9.9	5.75	5.35	6.55	8.8	13.15	15.8	22.3	24.6	23.65	14.26
M'chouneche	61506	28.5	22.3	16.2	11.9	11.6	13.7	15.7	19.8	24.6	29.2	33.5	32.8	21.65

Source : D.S.A.

II-2- L'humidité relative de l'air

L'humidité relative est l'un des paramètres principaux du cycle hydrologique. Sources de toutes les précipitations, elle conditionne l'évaporation. Vu le manque total de données concernant ce paramètre, nous avons eu recours à deux stations à climat différent (Batna et Biskra), pour mieux montrer l'écart d'humidité relative entre une zone semi-aride montagnaise et une autre aride saharienne. Ce qui traduit la réalité de notre aire d'étude. En effet, le bassin de l'oued Labiod s'étale sur des territoires montagneux à climat tantôt semi- aride ou subhumide à des territoires franchement arides vers l'exutoire pour Foum El-Gherza.

Tableau II- 2: L'humidité relative

Station	Heure	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Batna (Hr)	7h	57	72	79	88	85	86	72	59	54	50	45	49
	13h	32	44	52	56	56	45	34	34	29	22	22	23
	18h	45	59	68	71	70	60	52	45	44	41	33	34
Biskra (Hr)	7h	50	64	69	62	62	58	47	47	42	36	38	57
	13h	34	45	49	52	44	40	32	32	27	27	25	39
	18h	35	54	60	58	54	48	37	37	32	26	30	47

La variation à caractère climatique se représente forcément sur la valeur de l'humidité relative et son articulation dans l'espace.

II -3- Régime des vents

Le tableau suivant donne les caractéristiques générales faites par Seltzer (1913-1938) indiquant la vitesse, la direction et la période de passage des vents.

Tableau II- 3: Le régime des vents

Mois	Direction	Vitesse (m/s)	Fréquence (jour)
Septembre	N	3.9	8.1
Octobre	NO	4.4	11.1
Novembre	NO	4.1	9.7
Décembre	NE	4.5	11.6
Janvier	NE	4.5	13.7
Février	NE	5.2	13.7
Mars	NE	4.6	12.2
Avril	E	4.4	11
Mai	SE	4.2	9.6
Juin	SE	4.0	8.1
Juillet	SO	4.0	9.0
Aout	SO	4.2	10.3
Moyenne annuelle		4.3	10.7

Source : B.N.E.F

II -4- La neige

En ce qui concerne la neige, les statistiques disponibles se limitent au nombre annuel de jours de chutes de neige, et la durée de l'enneigement au sol, et le nombre mensuel de jours où il y a neigé.

D'une manière générale, la durée de l'enneigement reste faible à l'échelle de bassin (8 jours à Batna, 15 jours à Arris, 16 jours à Foug Toub et 02 jours à T'kout), elle peut être considérable sur les hauts sommets des massifs des Aurès (au-dessus de 1600 m d'altitude) où l'influence directe du relief et les faibles températures hivernales Seltzer (1913-1938).

II -5- L'évaporation

Notre bassin versant s'étale sur trois zones climatiques, Les données disponibles au B.N.E.F et l'A.N.B.T. sont celles des stations de Batna et Biskra.

Tableau II- 4 : L'évaporation

Station	Altitude (m)	Evaporation (mm)
Batna	1044	1890
Biskra	124	2590

II -6- Les précipitations

Il s'agit de l'intensité, du volume, de la fréquence des pluies et de leur répartition au cours de l'année.

II -6-1- Le réseau pluviométrique et les séries d'observation

La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs Seltzer (1913-1938) Gausson et Paquin (1913-1963). La plupart des stations connues des périodes d'arrêt pendant la guerre d'Algérie d'autres ont subi des modifications après 1962 ([Annuaire pluviométrique de l'Algérie, 1973](#)).

Un bon nombre de stations ont été installées dans les années (1968- 1970), les années de ces stations sont très utiles pour l'établissement des séries hydro- pluviométriques.

Le grand bassin versant BV6 (Chott Melghir) équipé de 34 stations pluviométriques, dont 05 stations se situent dans le bassin Oued Labiod (une station se situe juste en aval du barrage Foum El-Guerza), ces stations sont réparties de manière relativement homogène.

Les coordonnées des stations pluviométriques utilisées dans cette étude et leurs codes sont présentés ci-dessous.

Tableau II- 5 : Coordonnées et codes des stations pluviométriques (Annuaire pluviométrique de l'Algérie, 1973)

Nom de la station	Code	Coordonnées		Altitude
		X	Y	
Barrage	061601	766.110	3.860.700	200
M'chouneche	061506	775.040	3.871.610	390
Tifelfel	061511	793.620	3.890.500	740
Tkout	061505	800.880	3.894.240	998
Médina	061503	819.880	3.914.390	1450

II -6-2- Les précipitations annuelles et leur variabilité

Par rapport à ses environs immédiats et à sa situation méridionale, le massif de l'Aurès est bien arrosé puisque certains sommets enregistrent plus de 1000 mm/an. C'est le cas du Djebel Chélia et du Djebel Aidel qui arrivent à 1200 mm/an (Chaumont et Paquin, 1971).

Station		Hiver	Printemps	Eté	Automne	Total
El Kantara	en mm	82	58	25	76	241
	en %	34	24	10	31	100
Ain Touta	en mm	91	67	76	35	269
	en %	24,9	28,2	13	33,8	100
Sgag	en mm	141	163	135	42	481
	en %	33,9	28	87	29,3	100
Arris	en mm	106	195	99	45	345
	en %	27,5	28,6	13	30,9	100
Foum Toub	en mm	124	126	99	45	468
	en %	27	35,6	13	30,9	100
Batna	en mm	86	100	110	50	346
	en %	28,9	33,2	14,4	24,8	100
Menâa	en mm	67	74	28	101	272
	en %	27,5	26,8	10,3	35,3	100
Dj. Mahmel	en mm	333	272	84	287	976
	en %	34,1	27,8	08,6	29,4	100
Khenchela	en mm	131	146	181	71	529
	en %	27,6	34,2	13,4	24,7	100
Foum	en mm	108	113	158	71	446
	en %	25,1	35,1	15,7	24	100
Moyenne	en %	29	30	11,8	29	100

Figure II- 1: Répartition saisonnière des pluies dans le massif de l'Aurès (période 1913-1938).

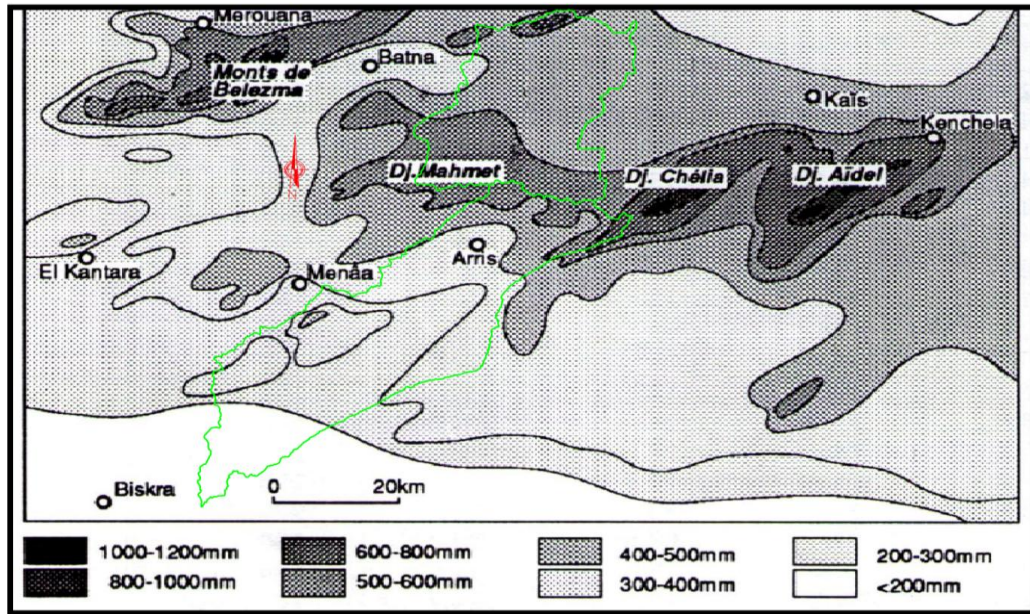


Figure II- 2 : Les précipitations moyennes dans le massif de l'Aurès (1913-1963). *Source : Carte pluviométrique de l'Algérie par Chaumont et Paquin, 1971.*

Le bassin en étude appartenant au massif des Aurès connaît une diversité de climats importante puisqu'on constate que le total des précipitations d'une station à l'autre varie considérablement et ce sur une distance très courte. L'étude des zones bioclimatiques de l'Est Algérien faites par Cote (1998) fait ressortir trois secteurs de pluviosité bien distincts dans la région :

- Un secteur sub-humide,
- Un secteur moyennement arrosé,
- Un secteur sec.

A- Le secteur sub-humide

Celui-ci correspond aux montagnes et aux sommets dépassant 1800 m d'altitude. Nous citons le Mahmel, l'Ichmoul, le Chélla. Autrement dit un secteur de direction Est-Ouest et se situant au Nord du bassin Oued Labiod. Il reçoit des précipitations oscillantes entre 900 et 1200 mm/an (carte Seltzer). Ceci est partiellement en contradiction avec la carte conçue par l'ANRH qui n'admet, dans ce secteur qu'une pluviosité de 400 à 600 mm/an.

B- Le secteur aux précipitations moyennes

Celui-ci correspond aux piedmonts Nord et Sud de la chaîne El Mahmel, l'Ichmoul et Chélla. Dans ce secteur, les précipitations moyennes oscillent entre 350 et 400 mm/an (carte ANRH).

C- Le Secteur sec

Pour celui-ci, les précipitations moyennes oscillent entre 140 et 350 mm/an et se répartissent aussi bien au Sud du bassin Oued Labiod (des précipitations moyennes annuelles de 140 mm/an au site du barrage F. El-Gherza).

Nous relevons trois saisons pluvieuses sensiblement égales (hiver 29,05 %, printemps 30,05 % et automne 29 % et une saison sèche où il ne pleut que 11,8 % du total annuel.

Cette analyse semble s'opposer à beaucoup d'études qui déterminent deux cycles pour le massif de l'Aurès, l'un pluvieux et l'autre non pluvieux (Ansar, 1988).

Enfin, la répartition spatiale des précipitations ne change pas au cours de l'année. Autrement dit-elle sont proportionnelles qu'elles soient au mois de mars (saison pluvieuse) ou au mois de Juillet (saison sèche) la grande concentration des pluies reste dans la partie Nord du bassin versant Oued Labiod avec l'augmentation du total vers les sommets et l'Est. L'autre originalité du massif de l'Aurès, est qu'une partie des précipitations tombe sous forme neigeuse, due essentiellement au froid hivernal. La durée annuelle d'enneigement croit très vite en altitude : 20 jours à 1300 m, 64 jours à 3 mois au sommet du Mahmel et du Chélia (Ballais, 1981).

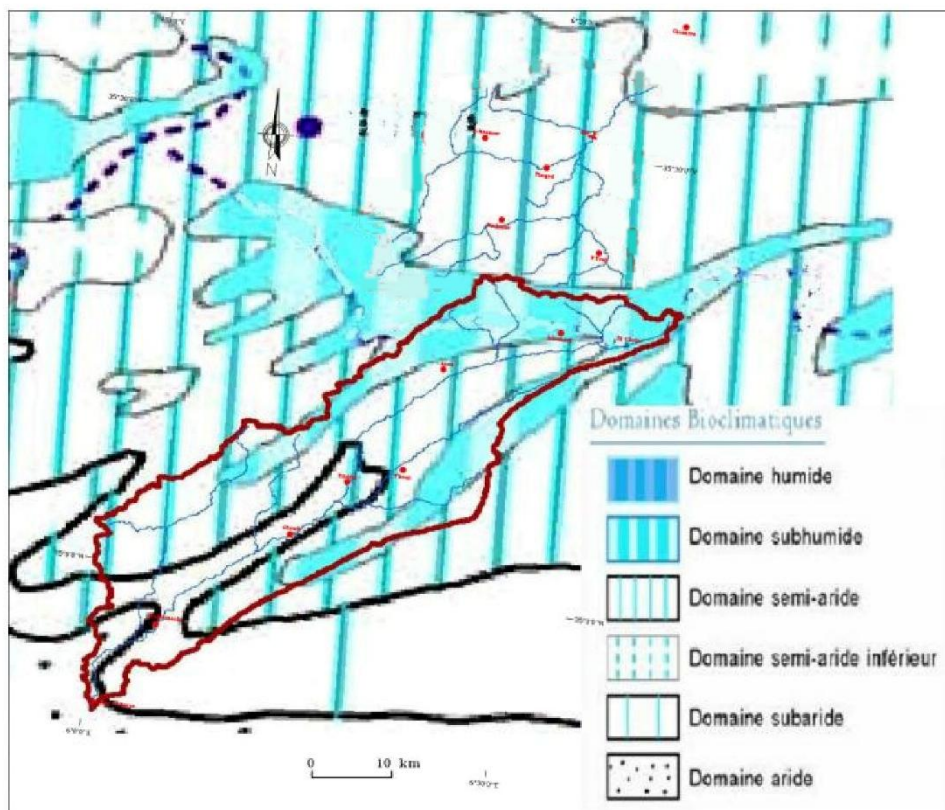


Figure II- 3 : Catre bioclimatique (extraite de la carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est Algérien Cote, 1998a)

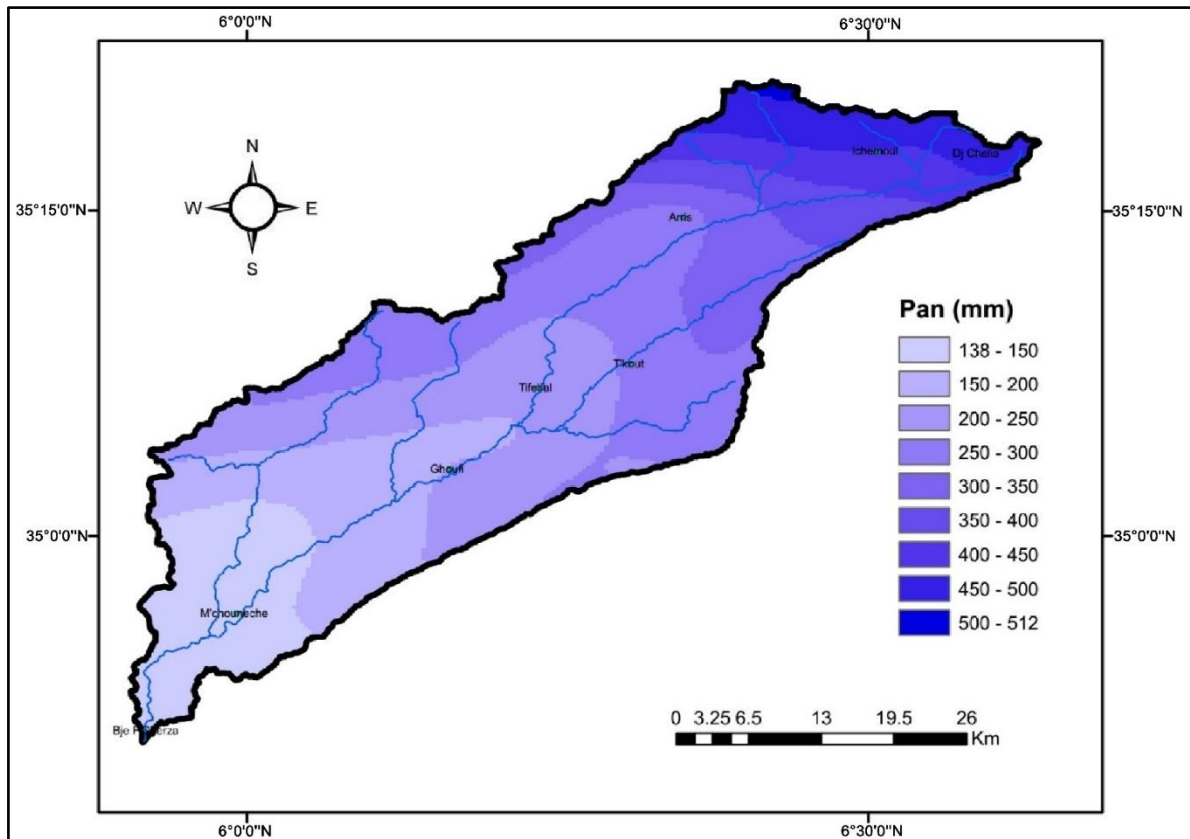


Figure II- 4 : Carte des précipitations annuelles moyennes (extraite de la carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien établie par A.N.R.H., 1993 : données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989)

II -6-3- Les pluies journalières maximales

L'analyse des précipitations journalières maximales, présente un intérêt particulier pour les études d'érosion et du transport solide.

Pour l'analyse des pluies extrêmes, nous nous basons sur les données d'observation des stations de Médina, Tifelfel et F.Gherza,

Tableau II- 6 : Pluies maximales des différentes stations

Station	Tifelfel	Medina	BGE
Pjmax	27.01	48.05	29.71

Il s'avère que la hauteur d'eau journalière maximale, décroît d'une manière générale, en allant du secteur montagneux vers les plaines, à titre d'exemple Medina qui totalise en moyenne annuelle et pour la même période de référence 431,3 mm, a reçu une lame d'eau journalière maximale

moyenne de 48,08 mm ; donc ces hauteurs maximales recueillies en 24 heures sont d'autant plus élevés que le module mensuel et plus fort.

Concernant la variabilité temporelle de pluies maximales journalières, on relève que la hauteur la plus forte coïncide avec les mois les plus pluvieux de l'année, septembre, octobre, ou mars, avril, mai, pour la série.

Ces pluies exceptionnelles alimentent largement les crues et les transports solides des Oueds, notamment dans les terrains fortement dénudés qui occupent une partie importante de bassin, elles jouent donc un grand rôle dans l'érosion hydrique dans la région d'étude.

II -7- Combinaison des facteurs thermique et pluviométrique : les zones bioclimatiques

La combinaison des précipitations et des températures caractérise le rythme climatique à dominance « Aride à Semi-Aride » régnant à travers le bassin : la saison froide et humide s'oppose à la saison chaude et sèche.

La carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien établie d'après Cote M., 1998 a défini les limites entre les cinq grands types de bioclimats méditerranéens : humide (pluviométrie annuelle P supérieure à 900 mm, forte humidité de l'air), subhumide ($P > 600$ mm environ), semi-aride ($300-350 < P < 550-600$ mm, net déficit hydrique), subaride ($P < 350$ mm, nombre de mois secs $>$ nombre mois humides) et aride ($P < 150$ mm, 12 mois biologiquement secs).

Sur cette carte notre zone d'étude se répartie sur quatre zones bioclimatiques, allant de la zone Sub-humide aux sommets des Aurès, passant par deux zones semi-arides situant au Sud de ces sommets jusqu'à la zone aride située au Sud.

II -8- L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.)

La cartographie des E.T.P. de l'Algérie (A.N.R.H., 2002) est un outil supplémentaire qui permet d'éviter de faire 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.

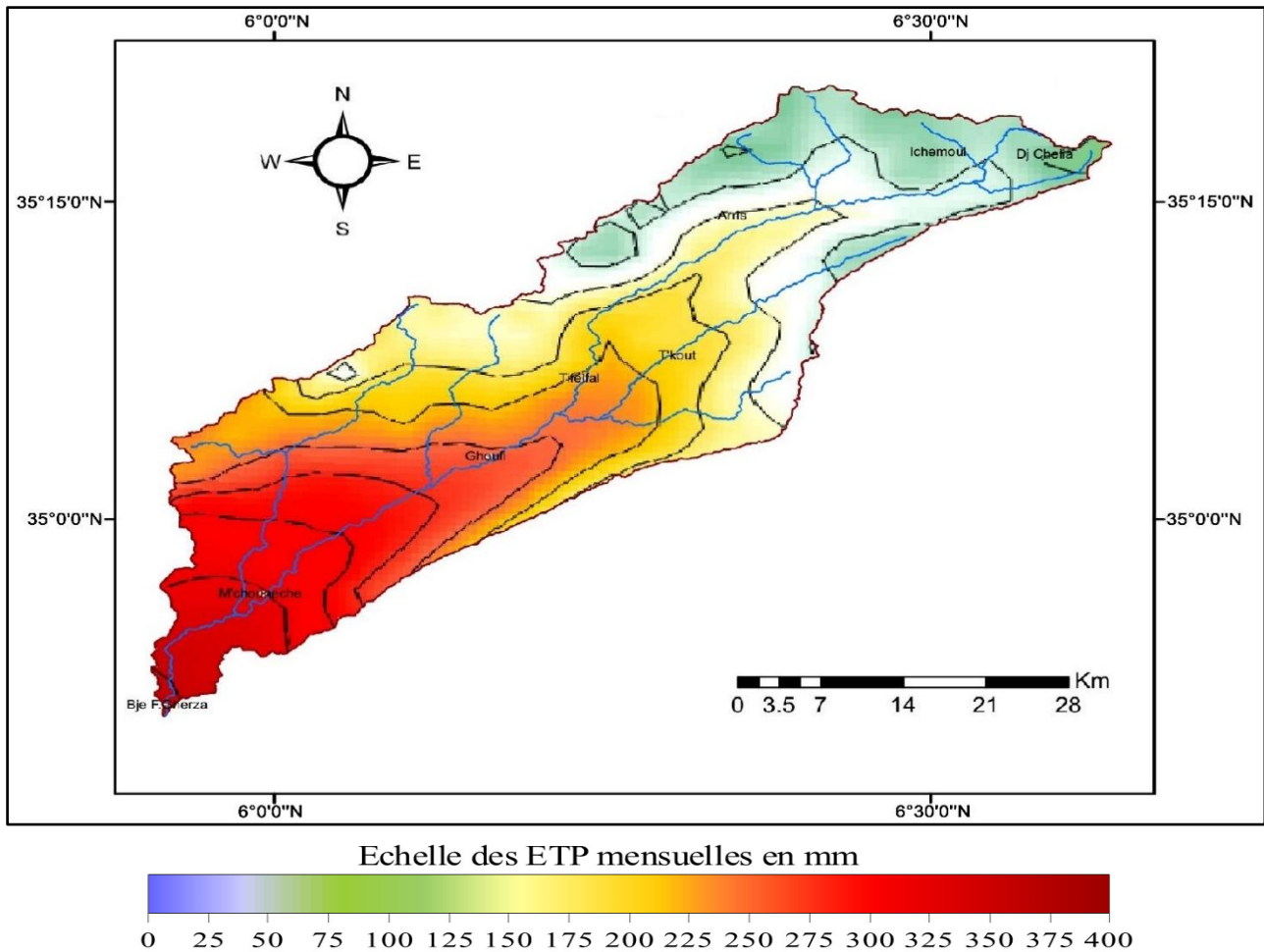


Figure II- 5 : Carte d'E.T.P. annuelles moyennes (extraite de la carte d'E.T.P. annuelles moyennes de l'Algérie établie d'après A.N.R.H., 2002).

II -9- Conclusion

Les caractéristiques climatiques du bassin versant sont étroitement liées à sa position géographique et son relief ; on relève de fortes variabilités spatiales et surtout temporelles des précipitations sous forme d'averses, des températures et l'influence élevée de l'évapotranspiration. La combinaison des conditions physico-géographiques et climatiques est déterminante dans le comportement hydrologique des diverses unités du bassin

CHAPITRE III : Etude des apports liquides et solides

CHAPITRE III : Etude des apports liquides et solides

III-1- Etude des apports liquides

III-1-1- Introduction

L'objectif de ce chapitre est l'évaluation des apports liquides et solides et de leur variabilité durant l'année.

III-1-2- Etude des apports liquides

III-1-2-1- Estimation des apports liquides moyens interannuels en utilisant les mesures existantes :

Cette étude sera basée sur les données hydrométriques. La station de M'chouneche est située à l'exutoire du bassin versant oued Labiod, et dispose d'une série d'observations de 41 ans (1969 - 2009).

III-1-2-2- Estimation des lames d'eau écoulées :

Elles sont déterminées comme suit :

$$A = Q.N. \quad (\text{III-1})$$

A : apport annuel (hm³).

Q : débit moyen annuel (m³/s).

N : nombre de seconde dans l'année (31536000s).

$$\text{D'où : } Le = A / S.10^3 \quad (\text{III-2})$$

Le : lame d'eau écoulée (mm).

A : apport annuel (hm³).

S : surface du bassin versant (km²).

L'apport moyen interannuel est estimé à 20,1 hm³ avec une lame d'eau écoulée de 19,1 mm.

Tableau III- 1 : Variation interannuelle des débits, des apports et des lames d'eau écoulées dans la station de M'chouneche.

Années	Débit (m ³ /s)	Apports (hm ³)	Lames écoulées (mm)	Années	Débit (m ³ /s)	Apports (hm ³)	Lames écoulées (mm)
68 – 69	0.400	12.614	12.002	89 – 90	0.629	19.836	18.873
69 – 70	1.808	57.017	54.250	90 – 91	0.175	5.503	5.236
70 – 71	0.117	3.690	3.511	91 – 92	0.113	3.548	3.376
71 – 72	0.569	17.944	17.073	92 – 93	0.137	4.305	4.096
72 – 73	1.031	32.514	30.936	93 – 94	0.978	30.842	29.345
73 – 74	0.280	8.830	8.402	94 – 95	0.670	21.129	20.104
74 – 75	0.420	13.245	12.602	95 – 96	1.350	42.574	40.508
75 – 76	0.570	17.976	17.104	96 – 97	0.190	5.992	5.701
76 – 77	1.250	39.420	37.507	97 – 98	0.690	21.760	20.704
77 – 78	0.250	7.884	7.501	98 – 99	0.190	5.992	5.701
78 – 79	0.230	7.253	6.901	99 – 00	0.440	13.876	13.203
79 – 80	0.690	21.760	20.704	00 – 01	0.250	7.884	7.501
80 – 81	0.574	18.102	17.224	01 – 02	0.510	16.083	15.303
81 – 82	0.150	4.730	4.500	02 – 03	0.760	23.967	22.804
82 – 83	0.270	8.515	8.102	03 – 04	2.960	93.347	88.817
83 – 84	0.080	2.523	2.401	04 – 05	1.290	40.681	38.707
84 – 85	0.080	2.523	2.401	05 – 06	1.040	32.797	31.206
85 – 86	0.290	9.145	8.701	06 – 07	0.350	11.038	10.502
86 – 87	0.348	10.962	10.430	07 – 08	0.330	10.407	9.902
87 – 88	0.112	3.529	3.358	08 – 09	3.230	101.861	96.918
88 – 89	0.280	8.827	8.399	Moyenne	0.636	20.059	19.086

III-2- Etude des apports solides

Le bassin Oued Labiod offre des conditions très favorables à la mobilisation et au transport des matériaux, car des précipitations agressives s'abattent sur un ensemble morphologique très sensible à l'érosion : Terrains en conglomérats des argiles et des sables au Sud avec des pentes assez fortes et très peu protégées par la végétation.

III-2-1- Origine et ampleur du phénomène

Dans le bassin d'oued Labiod, les divers facteurs physio-géographiques et climato-hydrologiques analysés précédemment sont favorables au déclenchement et à l'accélération de l'érosion :

Les zones des conglomérats, des argiles, des sables, gypse, sable rouge-sable grossier, grés sableux, argile siliceuse, marneuse, et marno-calcaires, qui sont très sensibles à l'érosion, occupent un pourcentage considérable de la surface du bassin. Le climat semi-aride de la région, contribue à désagréger le sol et le préparer au décapage et à l'érosion. Aussi, les pluies supérieures à 30 mm en 24 heures, sont fréquentes, intenses et engendrent des crues brutales qui favorisent le transport solide. Enfin, le couvert forestier très dégradé ou inexistant sur certaines zones, et la prédominance d'une couverture végétale saisonnière, favorisent l'entraînement des matériaux solides.

III-2-2- Evaluation des transports solides basée sur les données de mesures

L'évaluation des sédiments en suspension est basée sur deux types d'action :

- L'observation du réseau hydrométrique (mesure de turbidité).
- La mesure directe du taux de remplissage des retenues.

L'évaluation du transport par charriage est basée sur l'utilisation de tracteurs radioactifs ou luminescents (on ne dispose pas de cette technique en Algérie).

III-2-2-1- Evaluation des apports solides en utilisant les mesures de la turbidité au niveau des stations hydrométriques

L'étude est basée sur les valeurs instantanées des débits liquides (Q_L), donnés en m^3/s , mesurées à la station de M'chouneche. Pour chaque mesure effectuée, la charge de la matière en suspension a été obtenue à partir d'échantillons d'eau prélevés sur les rives de l'oued au moyen d'un conteneur de 50 cl. La boue recueillie sur un papier filtre est pesée après séchage à l'étuve à $105^\circ C$ pendant 30 minutes. On détermine ensuite la charge correspondante à un litre d'eau prélevé, ce qui établit la concentration en g/l. La fréquence des prélèvements effectués dépendait de la variation de la hauteur d'eau. En période de crue, à chaque variation de 10 cm de hauteur d'eau, on prélève un échantillon. En période normale, on prélève une fois tous les deux jours (Roche, 1963).

Le calcul du débit solide en suspension est basé sur la mesure du débit liquide de l'écoulement puisque :

$$Q_{SS} = C \cdot Q_L \quad \text{(III.3)}$$

Q_{SS} : Débit solide en suspension (kg/s)

Q_L : Débit liquide (m^3/s)

C : Concentration ou turbidité (g/l)

III-2-2-2- Calcul des apports

Les apports solides en tonnes A_s (t) et les apports spécifiques en tonnes par kilomètre carré par an, A_{ss} (t/km²/an) sont données par :

$$A_s = Q_s \cdot N \cdot 10^{-3} \quad (\text{III.4})$$

$$A_{ss} = (A_s \cdot 10^6) / S \quad (\text{III.5})$$

Avec :

A_s : apport solide annuel, mensuel, saisonnier ou mensuel (T)

Q_s : débit solide annuel, mensuel ou saisonnier (Kg/s)

N : temps en secondes (s)

A_{ss} : apport solide spécifique (t/km²/an)

S : superficie du bassin versant (km²)

III-2-3- Variabilité interannuelles des apports

Le flux annuel des matières solides en suspension exporté par l'oueds étudié est calculé par la formule :

$$A_s = \sum_1^N (t_{j+1} - t_j) Q_{m_j} C_j \quad (\text{III.6})$$

où,

C_j : est la concentration mesurée à l'instant t_j

Q_{m_j} : correspondant au débit liquide moyen entre l'instant t_j et t_{j+1} .

N : est le nombre de prélèvement effectués sur l'année considérée,

$t_{j+1} - t_j$: est le pas de temps séparant deux prélèvements consécutifs.

Au moment des crues les prélèvements sont intensifiés, et donc par suite, le pas de temps est réduit.

De même, A_l , l'apport liquide annuel engendrant le flux des apports solides A_s , est calculé par la formule

$$A_l = \sum_1^N (t_{j+1} - t_j) Q_j \quad (\text{III.7})$$

Les résultats de calcul des apports des sédiments en suspension et la lame d'eau écoulée, ainsi que la dégradation spécifique du sol durant les périodes (1969 - 2009) pour la station de M'chouneche et (1971-1996 est récapitulé dans le tableau (III-1, et III-2), et présenté dans la figure (III-1 et III-2).

Tableau III- 2 : Les apports solides, liquides, la lame d'eau et la dégradation spécifiques au niveau de la station de M'chouneche.

Année	Al (hm ³)	Lame d'eau écoulee (mm)	As (T)	Ass (T/km ²)
68 – 69	12,614	12,002	302746	288,06
69 – 70	57,017	54,250	5761577	5482,00
70 – 71	3,690	3,511	148142	140,95
71 – 72	17,944	17,073	694881	661,16
72 – 73	32,514	30,936	2853070	2714,62
73 – 74	8,830	8,402	46358	44,11
74 – 75	13,245	12,602	458016	435,79
75 – 76	17,976	17,104	242831	231,05
76 – 77	39,420	37,507	3422728	3256,64
77 – 78	7,884	7,501	154274	146,79
78 – 79	7,253	6,901	28556	27,17
79 – 80	21,760	20,704	1456517	1385,84
80 – 81	18,102	17,224	2118329	2015,54
81 – 82	4,730	4,500	144036	137,05
82 – 83	8,515	8,102	544074	517,67
83 – 84	2,523	2,401	39930	37,99
84 – 85	2,523	2,401	68859	65,52
85 – 86	9,145	8,701	328449	312,51
86 – 87	10,962	10,430	390639	371,68
87 – 88	3,529	3,358	21177	20,15
88 – 89	8,827	8,399	154824	147,31
89 – 90	19,836	18,873	1963778	1868,49
90 – 91	5,503	5,236	60533	57,60
91 – 92	3,548	3,376	32888	31,29
92 – 93	4,305	4,096	274422	261,11
93 – 94	30,842	29,345	190728	181,47
94 – 95	21,129	20,104	1929680	1836,04
95 – 96	42,574	40,508	1480156	1408,33
96 – 97	5,992	5,701	191481	182,19
97 – 98	21,760	20,704	660542	628,49
98 – 99	5,992	5,701	172343	163,98
99 – 00	13,876	13,203	370707	352,72
00 – 01	7,884	7,501	207814	197,73
01 – 02	16,083	15,303	401762	382,27
02 – 03	23,967	22,804	543100	516,75
03 – 04	93,347	88,817	1483183	1411,21
04 – 05	40,681	38,707	332408	316,28
05 – 06	32,797	31,206	128894	122,64
06 – 07	11,038	10,502	15342	14,60
07 – 08	10,407	9,902	1499	1,43
08 – 09	101,861	96,918	646208	614,85
Moyenne	20,059	19,086	743109,3	707,05

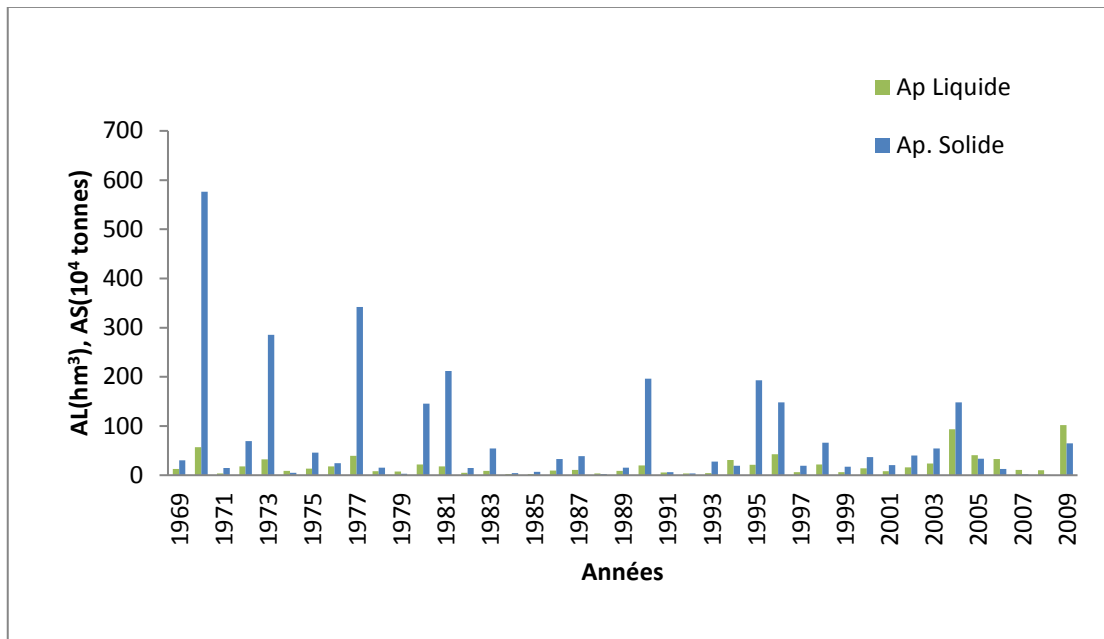


Figure III- 1 : variation interannuelle des apports liquides et solides (Oued Labiod)

L'Analyse des résultats montre une harmonie dans l'allure générale de la variation des apports solides, mais avec des ordres de grandeurs variables. A l'échelle interannuelle, durant les périodes d'observation, une très forte variabilité des apports liquides et solides est observée. Sur une période d'observation de 41 ans, les apports solides de 09 ans (22%) seulement ont dépassé la moyenne interannuelle.

Sur ces périodes d'observation la valeur maximale (le pic) des apports solides est de 5761577 tonnes observées durant l'année 1969/1970 et la moyenne interannuelle est de 743109 Tonnes. L'analyse de ces données, permet de déduire que les dégradations spécifiques annuelles sont de l'ordre 707,1 Tonnes/km²/an, pour une lame d'eau écoulée de 19,086 mm/an.

III-2-4- Variabilité mensuelle des apports

Pour suivre la variabilité du transport solide à une échelle plus fine, nous classons les apports solides mois par mois. Les résultats de ce classement sont récapitulés dans le (Tableau III-03) et présentés dans la (Figure III-04).

Tableau III- 3 : Variabilité mensuelle des apports solides, liquides et la lame d'eau et la dégradation spécifique bassin Oued Labiod (Période 1979/96).

Mois	Al (hm ³)	E (mm)	As (T)	Ass (T /km ²)
Septembre	2.96	2.82	226247.80	215.27
Octobre	2.07	1.97	105967.39	100.83
Novembre	1.44	1.37	55281.44	52.60
Décembre	1.45	1.38	5680.52	5.40
Janvier	1.44	1.37	3610.38	3.44
Février	1.40	1.33	38973.19	37.08
Mars	2.72	2.59	68817.80	65.48
Avril	1.94	1.84	56981.98	54.22
Mai	2.08	1.98	64027.14	60.92
Juin	1.33	1.27	60153.68	57.23
Juillet	0.47	0.44	23259.32	22.13
Aout	0.77	0.73	34108.72	32.45
Total	<u>20.059</u>	<u>19.09</u>	<u>743109.36</u>	<u>707.05</u>

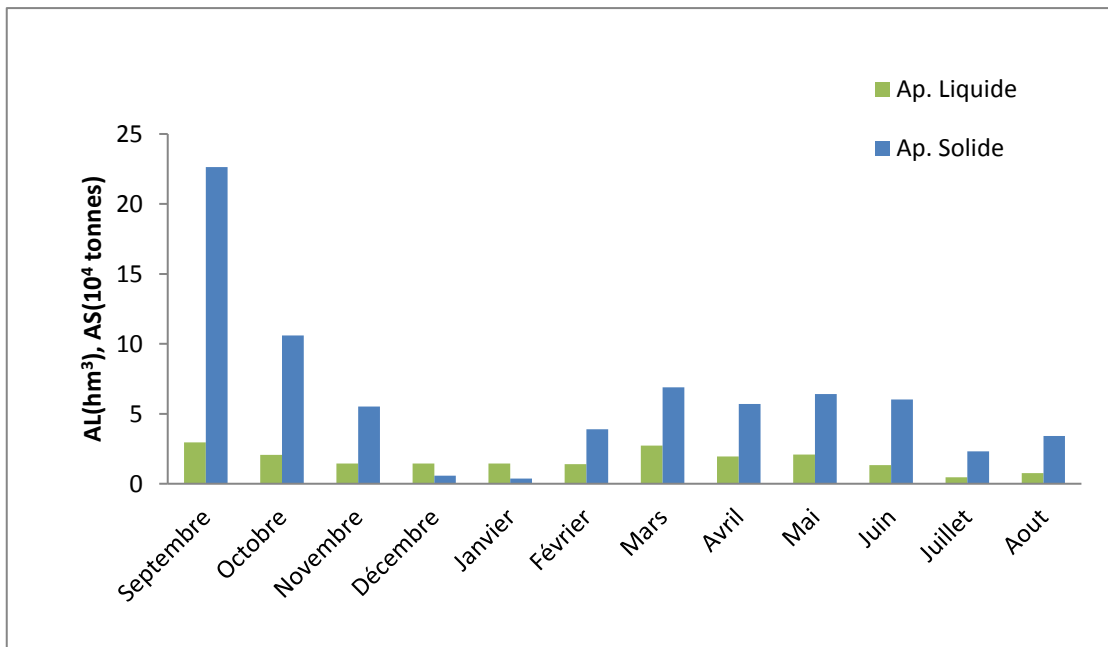


Figure III- 2 : Variabilité mensuelle des apports liquides et solides

L'apport solide des sédiments en suspension maximal est observé en septembre avec une valeur de 226247,8 Tonne, soit 30,5 % de l'apport solide annuel. Dans le même mois, l'apport liquide est de 2,96 Hm³ ce qui représente 14,77 % de l'apport liquide annuel.

En deuxième position, le mois d'Octobre transporte un apport solide de 105967,39 Tonnes soit un pourcentage de 14,3 pour des apports liquides de 2,07 hm³ qui correspondent à un pourcentage de 10,31 d'apport liquide annuel.

Le taux le plus faible correspond au mois de Janvier avec un pourcentage de 0,5.

Le tableau III-4, donne en g/l la teneur moyenne mensuelle des eaux de l'Oued et du transport solide en suspension : Série d'observation 1979-1996.

Tableau III- 4 : Valeurs mensuelles de la turbidité en g/l

Oued Labiod	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Août	Année
(1979-1996)	76,36	51,23	38,49	3,91	2,51	27,93	25,33	29,42	30,71	45,24	49,72	44,21	425,07

Les variations saisonnières de la turbidité suivent généralement une évolution inverse de celle de l'écoulement (Tableaux III-3 et III-4), un accroissement en automne avec un maximum en septembre ou octobre, puis une chute en hiver avec un minimum en Décembre ou en Janvier, et une reprise en Mars-Mai.

Sur la période 1979-1996, la valeur maximale de la turbidité mensuelle est observée en Septembre, soit 76,36g/l, alors que la teneur minimale moyenne est enregistrée en Janvier, soit 2,51g/l.

Cette variation saisonnière s'explique par l'état initial du sol, la distribution des précipitations, et aussi l'état de la couverture végétale. En automne, la distribution irrégulière des pluies (averses orageuses) sur sol encore dénudé (début de la campagne de labours) est favorable aux fortes teneurs. Alors qu'au printemps la distribution plus ou moins régulière des précipitations en pleine saison végétative, réduit considérablement la mobilisation des matériaux fins sur les versants, et engendre des faibles teneurs en transports solides.

III-2-5- La relation entre le débit liquide et le débit solide

Afin de mieux saisir l'évolution des transports solides, les relations entre le débit solide et le débit liquide ont été déterminées (Demmak, 1982), et leurs variations saisonnières, pour la station de M'chouneche (tableau VI-5).

Les variations des débits solides ne suivent pas forcément celles des débits liquides ; Les valeurs maximales de la turbidité sur l'Oued, s'observe en automne et au printemps, lors des crues.

Au mois d'Octobre 1983, la turbidité à M'chouneche a été de 183,60 g/l, alors que le débit liquide mensuel moyen était de 0,66 m³/s ; En Septembre 1979 pour la même station, la teneur en matériaux solides a été de 139,40 g/l ce qui correspond à un débit liquide mensuel moyen de 5,64 m³/s.

La relation entre les apports solides et les apports liquides généralement suivant un modèle de puissance $Y = a X^b$ sous forme $Q_s = a Q_l^b$.

Tableau III- 5 : Les relations saisonnières : Débit liquide - débit solide au pas de temps journalier (Demmak, 1982)

Bassins	Saisons	Paramètres de la droite de régression.		le coefficient de détermination R ²	Relations.
		b	a		
Oued Labiod,	01 (sep, oct, nov)	8,17	1,47	0,79	$O_s=8,17 Q_L^{1,47}$
	02 (dec, jan, fév)	3,09	1,47	0,81	$O_s=3,09 Q_L^{1,47}$
	03 (mar, avr, mai)	3,15	1,96	0,86	$Q_s=3,15 Q_L^{1,96}$
	04 (juil, août)	9,64	1,39	0,69	$Q_s=9,64 Q_L^{1,39}$

III-3- Conclusion

Les apports solides dans le bassin versant constituent un phénomène irrégulier, complexe et aléatoire.

Les facteurs mis en jeu sont nombreux et interdépendants. En se basant sur les données disponibles observées à la station de M'chouneche, nous avons essayé d'analyser le comportement et la variabilité des apports solides à différentes échelles.

La valeur de la dégradation spécifique est de 710 tonnes/km²/an, pour la période (1979-1996).

Le transport solide en suspension varie d'une année à l'autre, d'une saison à une autre et d'une crue à une autre ; Ils mettent en évidence l'irrégularité des précipitations et de l'hydraulicité.

La concentration est maximale en automne, lors des violentes crues. Elles sont faibles en année de faible hydraulicité, en saison sèche, et en hiver en absence de crue.

**CHAPITRE IV : Estimation de l'érosion des
sols d'après le modelé EPM
« Erosion potential method »**

CHAPITRE IV : Estimation de l'érosion des sols d'après le modèle EPM « Erosion potential method »

IV-1- Introduction

Le modèle EPM "Erosion Potential Method" Gavrilovic a été conçu dans les années 50 par Gavrilovic pour des bassins versants d'Ex-Yougoslavie. La méthode a été développée pour la prédiction des taux d'érosion annuel des sols d'un ensemble de type d'érosion (érosion en nappes, érosion en rigoles et en ravins et sapement de berges) pour la gestion des pratiques de lutte contre l'érosion. Il se base sur la cartographie et la combinaison de six paramètres qui sont :

- La pente.
- La sensibilité des sols à l'érosion.
- L'état érosif, la protection des sols.
- La température et les précipitations.

Nous allons tester ce modèle pour la quantification de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Labiod sachant que toutes les données sur les paramètres du modèle et la similitude des conditions physiques du bassin versant de l'Oued Labiod sont disponibles.

L'application du modèle de Gavrilovic a nécessité la cartographie et l'intégration dans un SIG de tous les paramètres nécessaires à l'application du modèle empirique et l'utilisation des techniques d'analyse spatiale pour évaluer les pertes en sols et estimer le poids de chaque facteur et de leurs effets combinés d'une part et de démêler leur interdépendance d'autre part. Les paramètres utilisés ont été étudiés grâce à la télédétection et aux données collectées sur le terrain puis intégrés dans le SIG. Ces paramètres sont :

A- Les facteurs permanents de l'érosion hydrique sont :

- La sensibilité à l'érosion,
- La pente et l'état érosif.

B- Les facteurs dynamiques sont :

- Les précipitations,
- Les températures.
- L'utilisation des sols.

C- Les processus et formes de l'érosion réelle et leur hiérarchisation en fonction du degré du risque.

IV-2- Méthodologie

Le volume annuel moyen des sédiments érodés désigné par la lettre (W) est déterminé de la manière suivante :

$$W = T * H * \pi * \sqrt{Z^3} \quad (\text{IV-1})$$

Où :

W : volume annuel moyen des sédiments érodés (m³/km²/an)

T : Coefficient de la température

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 0.1} \quad (\text{IV-2})$$

Avec :

t_0 : Température moyenne annuelle en (C°)

H : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

Z : Coefficient d'érosion

$$Z = X_a * Y * (\varphi + \sqrt{J_a}) \quad (\text{IV-3})$$

X_a : Coefficient de protection du sol du bassin versant, se rapportant à la protection des sols par la couverture végétale, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles.

Y : Coefficient d'érodibilité du sol, indique la sensibilité des sols à l'érosion dépend de la géologie du bassin versant

φ : Coefficient de type et d'étendue de l'érosion équivalant numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant

J_a : Pente moyenne de la zone d'étude en (%)

L'organigramme (Figure IV-1) présente la méthodologie adoptée pour préparer la carte des pertes en sols (W) à partir du modèle de Gavrilovic (EPM).

Ces facteurs sont calculés à partir des images satellites, des cartes géologique, pédologique, de fichier DEM (Modèle d'élévation numérique), cartes de précipitation moyenne annuelle et carte de la température.

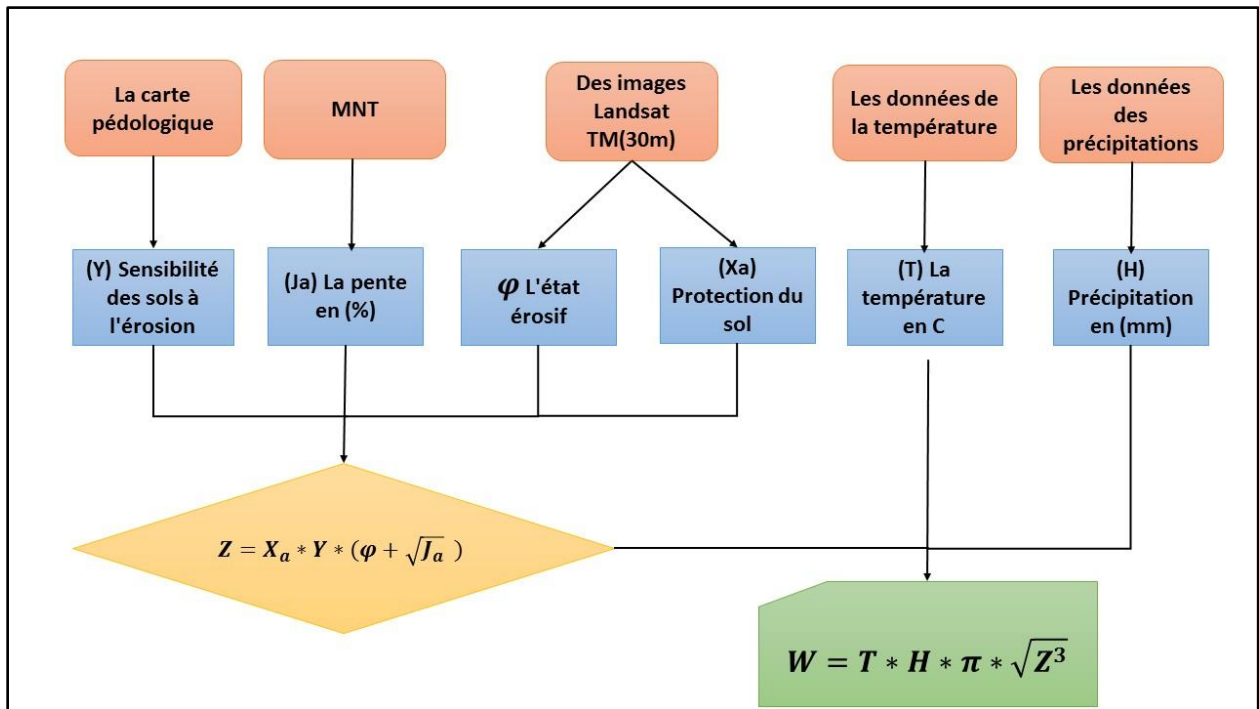


Figure IV- 1 : L'organigramme du modèle Gavrilovic « EPM »

IV-2-1-Coefficient de la température (T) :

La température est un facteur d'érosion très important dans ce modèle, car elle a un effet évident sur l'eau dans le sol. La température maximale permet d'augmenter l'évaporation et la transpiration et conduit à l'apparition des fissures qui permettent de démanteler les formations argileuses en particulier, et les variations thermiques successives permettent le démantèlement des composants des roches et des formations de surface.

Gavrilovic a cherché à adopter la température comme facteur d'érosion dans le modèle EPM. Les valeurs du coefficient de température sont déterminées par une formule spéciale qui prend la température moyenne annuelle comme variable de base pour calculer le coefficient.

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 0.1} \quad (\text{IV-4})$$

Avec :

t_0 : Température moyenne annuelle en (C°)

Devant l'absence des données de la température dans le bassin versant de l'Oued Labiod on a travaillé avec les données disponibles dans le site « Global weather » pour plusieurs stations repartis à travers le bassin versant et pour une période important « 1979 – 2013 ».

Les données fournissent par « Global weather » **disponible** dans le site web « <https://globalweather.tamu.edu> » ce sont les données des centres nationaux de prévision environnementale (NCEP) et le système de prévision climatique et réanalyse (CFSR) qui dépendent à la fois des archives historiques et opérationnelles des observations et des séries d'observations récemment retraitées produites dans les centres de recherche météorologique du monde entier. Le (CFSR) assimile les observations provenant des observations dans l'atmosphère, les océans, la terre, les mers et des observations satellites depuis 1979.

Les données de la température journalier (max & min) en (c°) pour chaque station se trouvent dans un fichier « format CSV » dont les stations sont réparties sous forme d'une matrice couvre la zone sélectionnée dans le site.

On a calculé la température moyenne annuelle pour chaque station et à l'aide de l'Arcgis on a élaboré la carte de la température moyenne annuelle (Figure IV-2).

Le facteur de la température est présenté dans la (Figure IV-3)

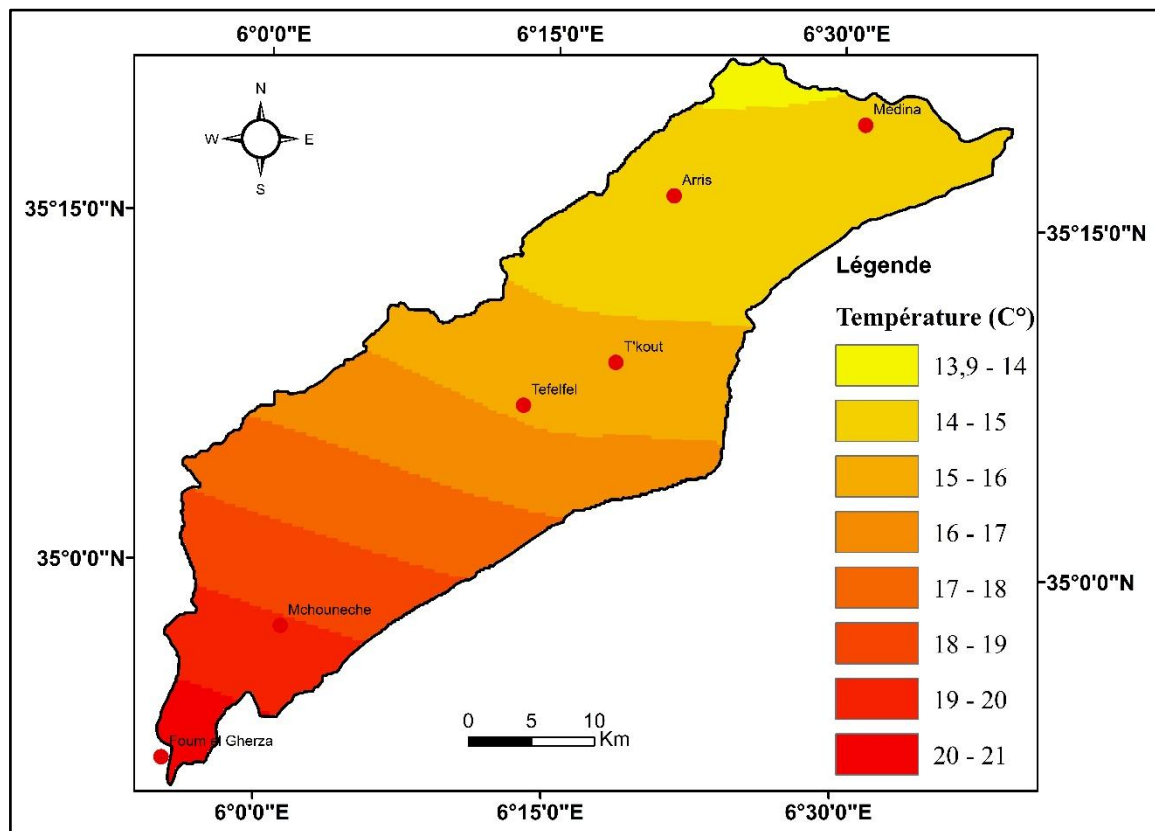


Figure IV- 2 : La température moyenne annuelle dans le bassin versant Oued Labiod (1979-2013).

Source : Site Global weather.

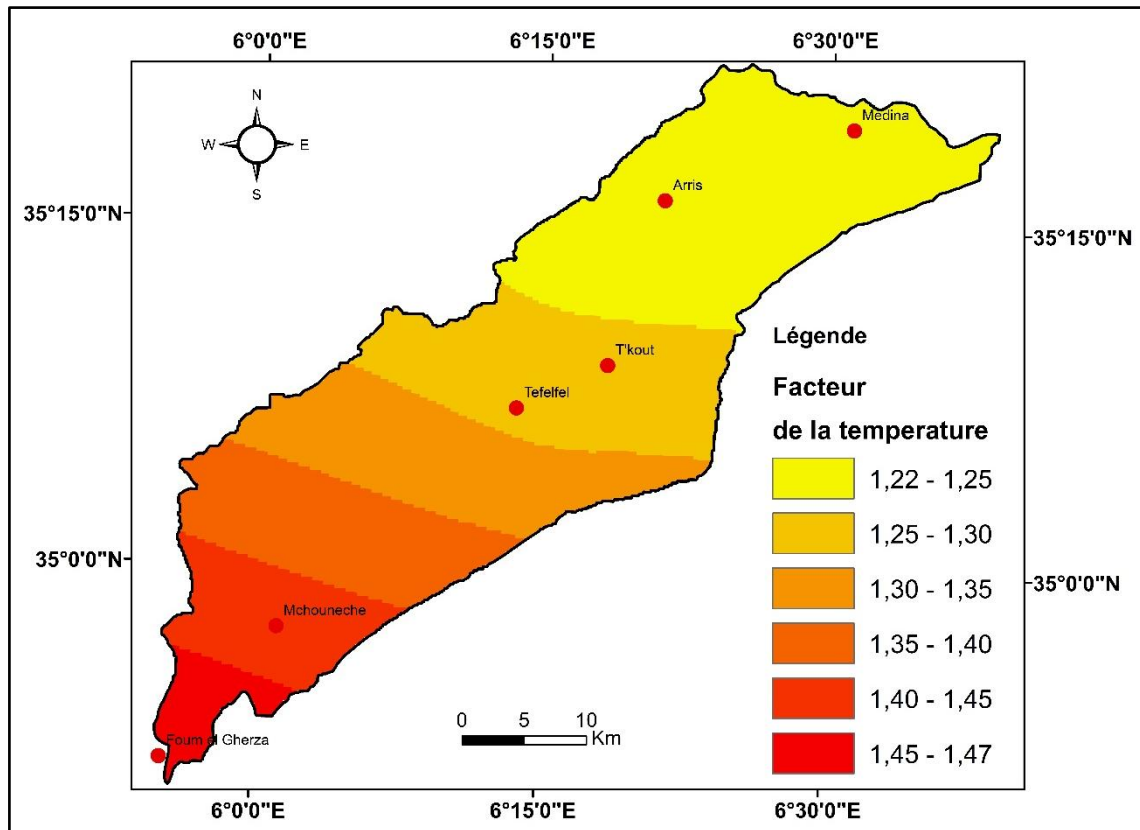


Figure IV- 3 : le facteur de la température "T" du bassin versant Oued Labiod

IV-2-2- Précipitation moyenne annuelle en (H) :

La précipitation joue le premier rôle dans la provocation de l'érosion hydrique, en commençant par les gouttes de pluie qui ont frappé la surface et l'écoulement superficiel et en fin le drainage principal dans les cours d'eau principales.

En plus les orages soudains qui érode des grandes quantités de sol, en particulier les zones ont une pente importante et dans le cas d'absence de la couverture végétale et l'exploitation excessive de la terre.

Contrairement à d'autres facteurs utilisés dans ce modèle, les précipitations sont utilisées sans modification en (mm).

Pour estimer les précipitations dans le bassin versant Oued Labiod on a utilisé la carte des précipitations moyenne annuelle élaboré par l'ANRH-1993.

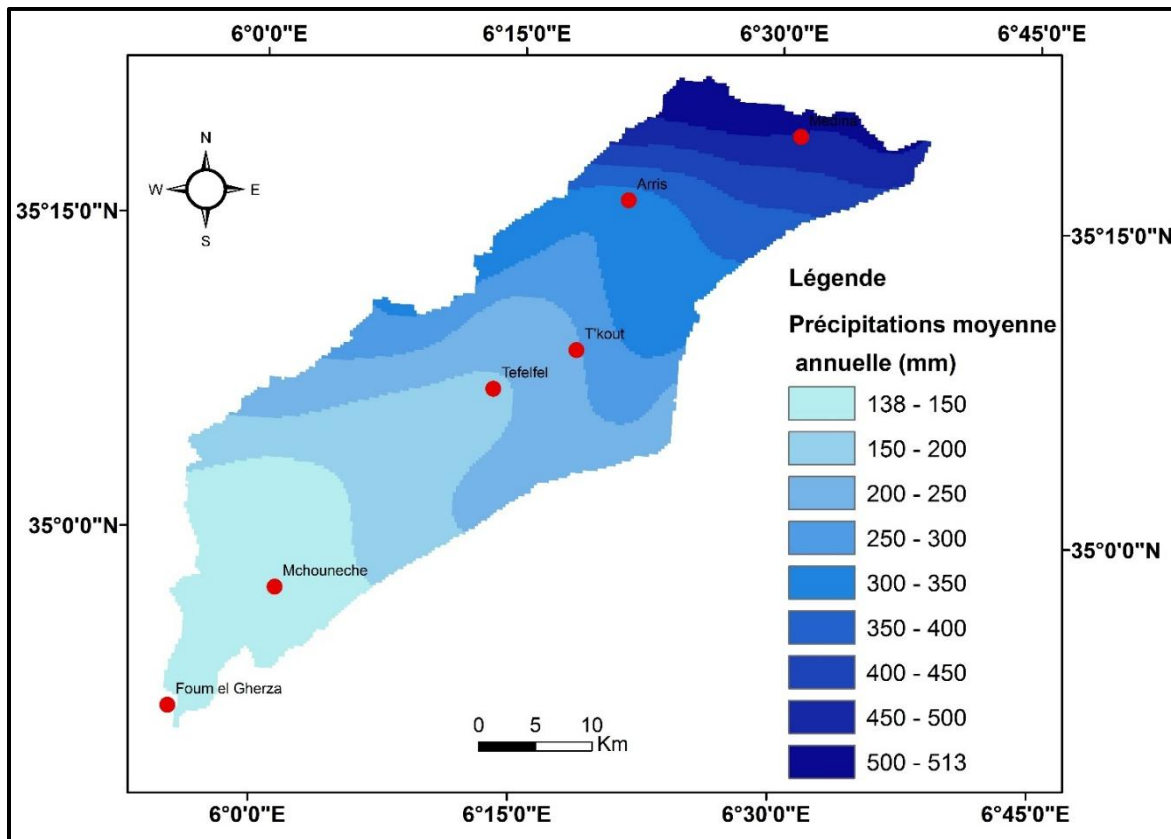


Figure IV- 4 : Carte des précipitations annuelles moyennes (extraite de la carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien établie par A.N.R.H., 1993 : données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989)

IV-2-3- Coefficient de protection du sol (X_a) :

Le coefficient de protection du sol (X_a) liée directement à la couverture végétation qui joue un rôle important dans la réduction de l'érosion en protégeant le sol pendant les pluies et l'augmentation de la perméabilité du sol. L'indice de couverture végétale est lié au type d'arbres, d'arbustes et des herbes ainsi de leur hauteur et à leur densité. Dans les terres cultivées, plantées ou pâturées, la couverture varie selon les variétés cultivées, le cycle agricole, ainsi que la quantité et la qualité des résidus végétaux après la récolte. L'état de surface varie selon les saisons et les travaux agricoles, car il y a des étapes où le sol est plus sensible à l'érosion et d'autres qui sont protégés par un couvert végétal dense.

D'après Gavrilovic Les valeurs de (X_a) varie en fonction d'occupation des sols par les végétaux (Tableau IV-1)

Tableau IV- 1 : : (X_a) en fonction d'occupation des sols par les végétaux (Gavrilovic S., 1962 ; 1970)

Type de sol	Coefficient de protection du sol (X_a)
Les forêts denses, et moyennement denses	0.05 – 0.2
Les forêts de pins et des herbes à côté des cours d'eau	0.2 – 0.4
Pâturages et fermes	0.6 – 0.8
Terrain nue sans couverture	0.8 – 1

Ce facteur sans dimension est estimé à partir de l'indice de végétation normalisé dérivé (NDVI) déterminé à partir des images satellitaire, l'approche basée sur le (NDVI) été utilisée pour obtenir des valeurs approximées du facteur (X_a).

Les images satellitaires choisies dans cette étude sont celle du LANDSAT-5 du 25-Janvier, 11-Mars, 18-Juin et 21-Octobre 2011.

Ces images représentent les quatre saisons de l'année d'une part, d'autre part, elles sont prises durant des journées claires (non nuageuses et non neigeuses). Les figures IV-5, IV -6, IV-7 et IV-8 présentent les valeurs du NDVI dans le bassin versant.

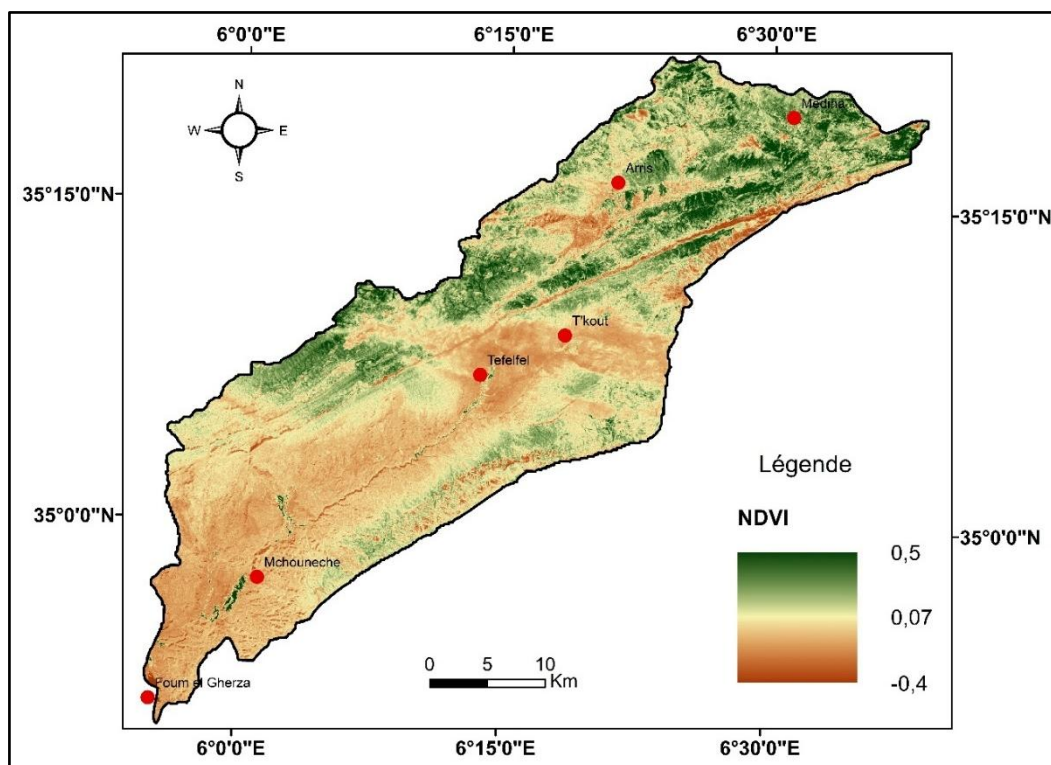


Figure IV- 5 : Carte des valeurs du NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 25 Janvier 2011.

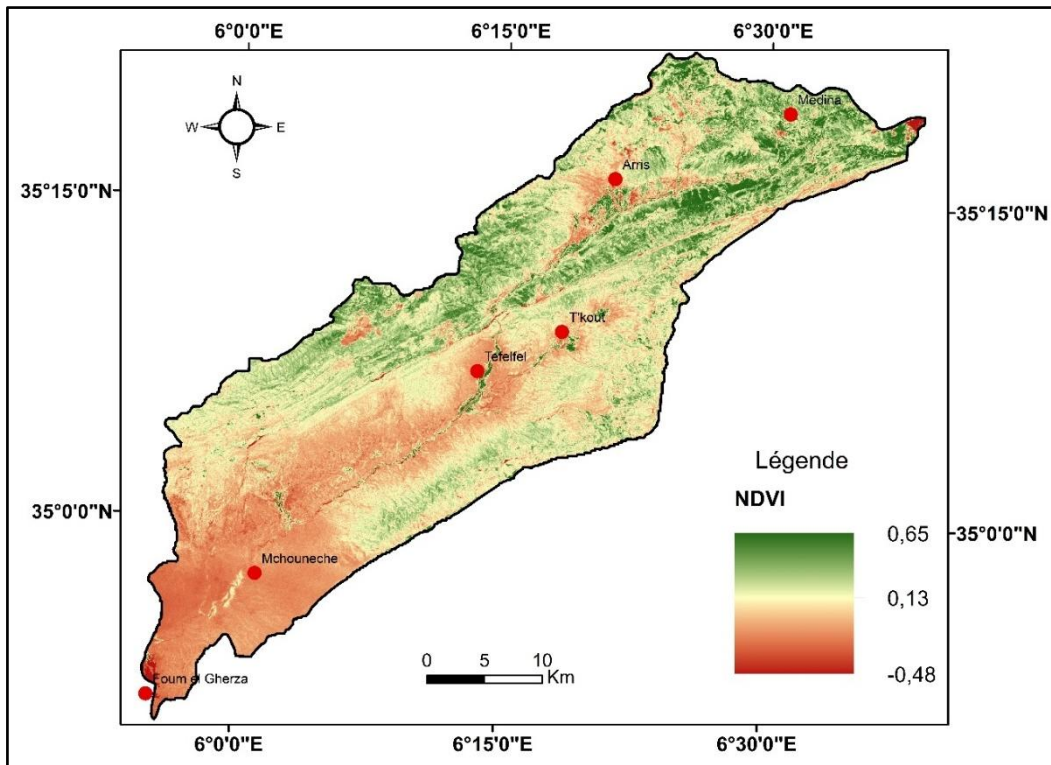


Figure IV- 6 : : Carte des valeurs du NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 11 Mars 2011.

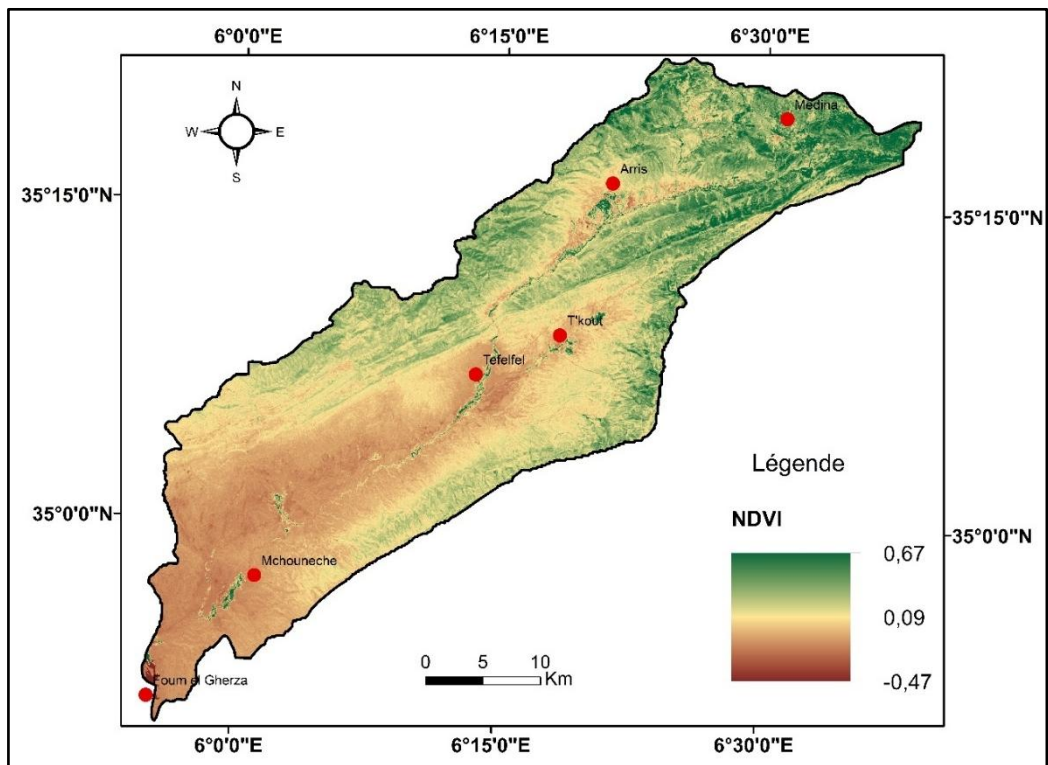


Figure IV- 7 : : Carte des valeurs du NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 18 Juin 2011.

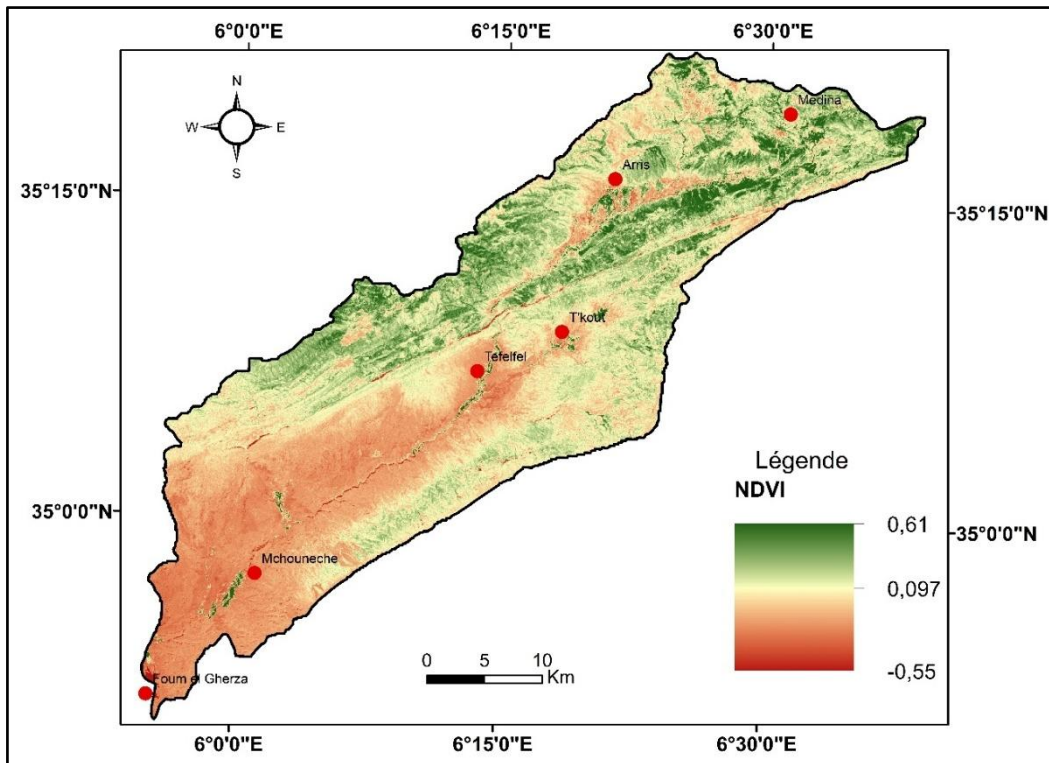


Figure IV- 8 : Carte des valeurs du NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 21 Octobre 2011.

En effet le (X_a) c'est l'inverse de (NDVI), d'après (ZORN M. & KOMAC B. 2008) il faut transformer les valeurs de (NDVI), dont la valeur minimale devient 0.9 et la valeur maximale devient 0.01.

Les fonctions de transfert correspondantes aux différentes images satellitaires sont les suivantes :

- Images satellitaires 25 Janvier 2011 : $X_a = (NDVI - 0.548) * (-1.0448)$
- Images satellitaires 11 Mars 2011 : $X_a = (NDVI - 0.664) * (-0.87)$
- Images satellitaires 18 Juin 2011 : $X_a = (NDVI - 0.689) * (-0.856)$
- Images satellitaires 21 Octobre 2011 : $X_a = (NDVI - 0.62) * (-0.851)$

Les figures IV-9, IV -10, IV-11 et IV-12 présentent les valeurs de coefficient de protection du sol dans le bassin versant (X_a). Et la figure IV-13 présente la moyenne de (X_a)

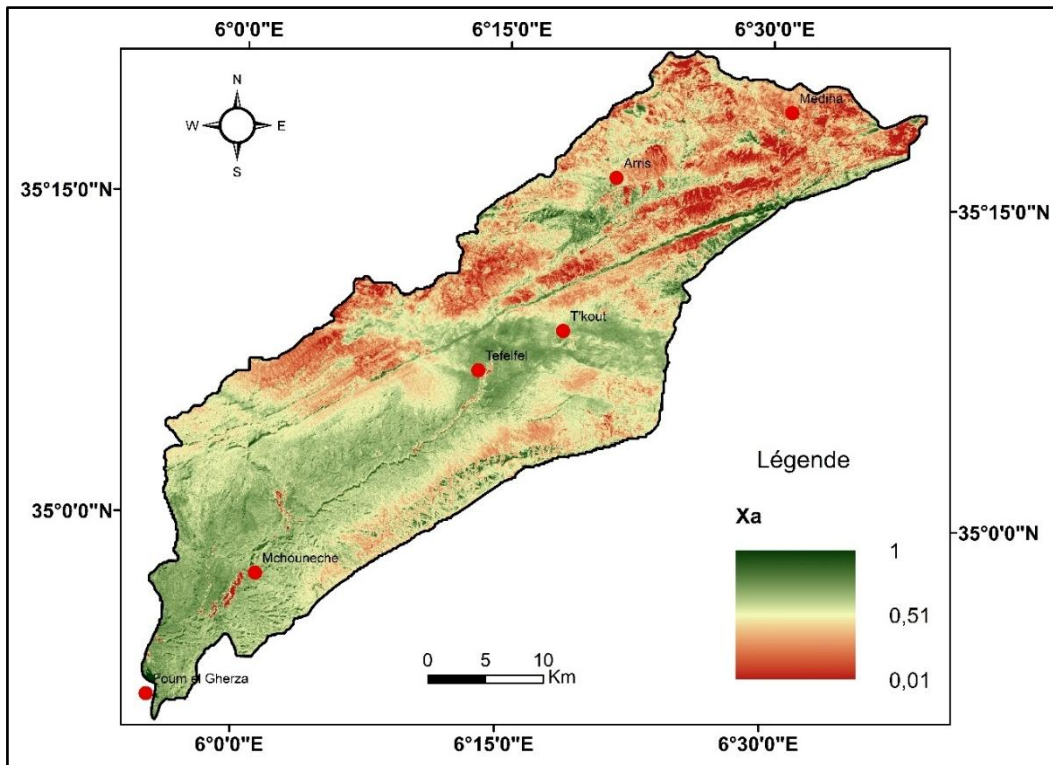


Figure IV- 9 : Carte des valeurs du (Xa) générée à partir de la transformation de NDVI du 25-Janvier 2011.

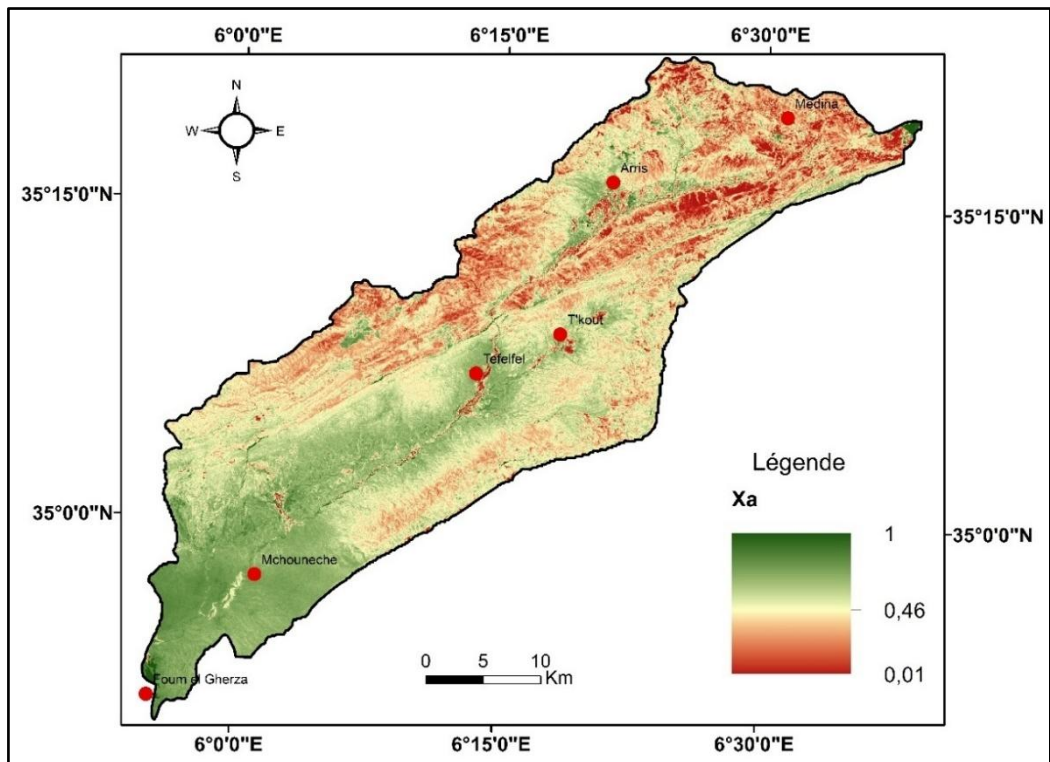


Figure IV- 10 : Carte des valeurs du (Xa) générée à partir de la transformation de NDVI du 11-Mars 2011.

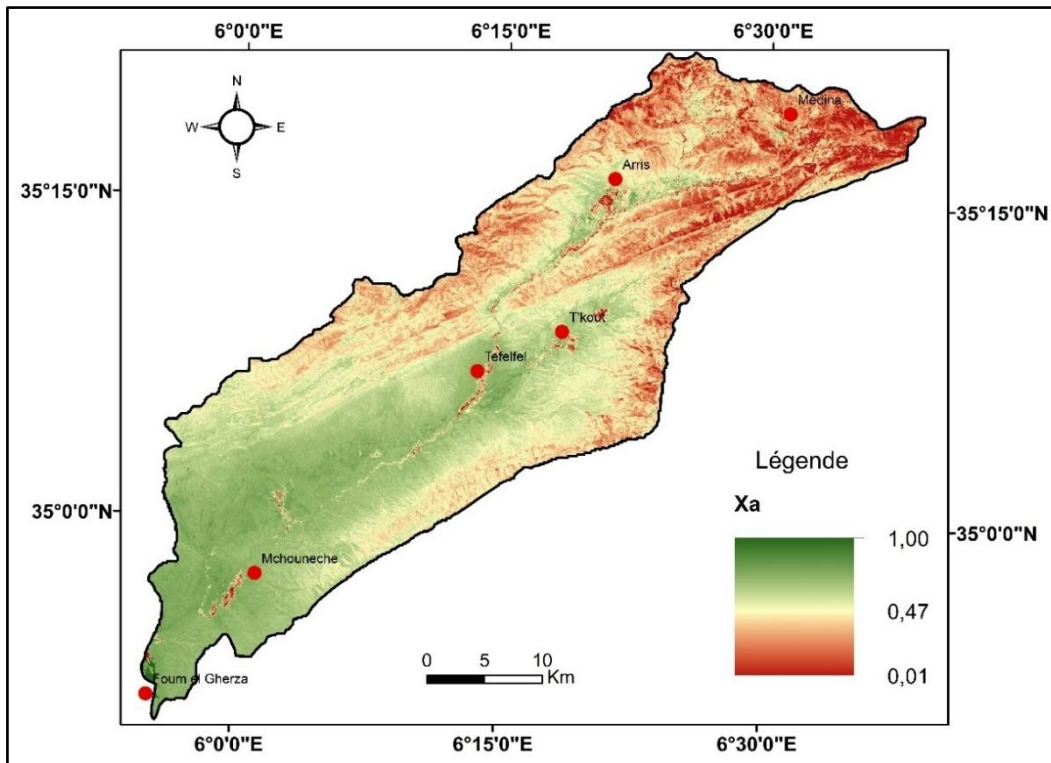


Figure IV- 11 : Carte des valeurs du (Xa) générée à partir de la transformation de NDVI du 18-Juin 2011.

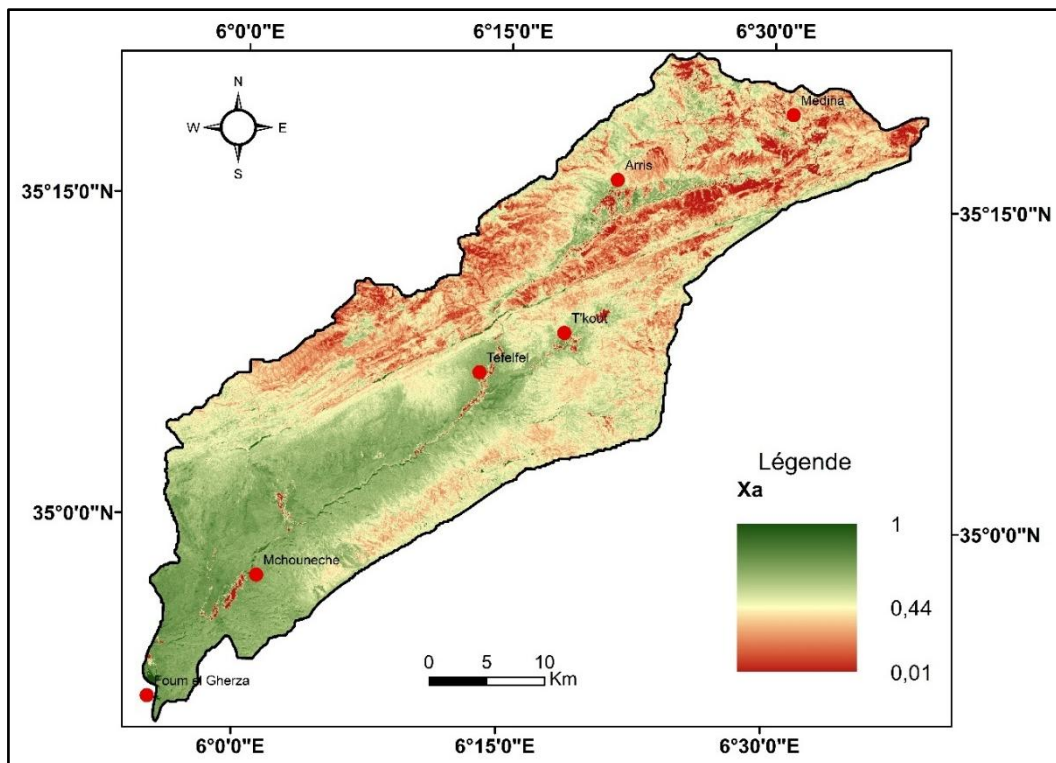


Figure IV- 12 : Carte des valeurs du (Xa) générée à partir de la transformation de NDVI du 21 Octobre 2011

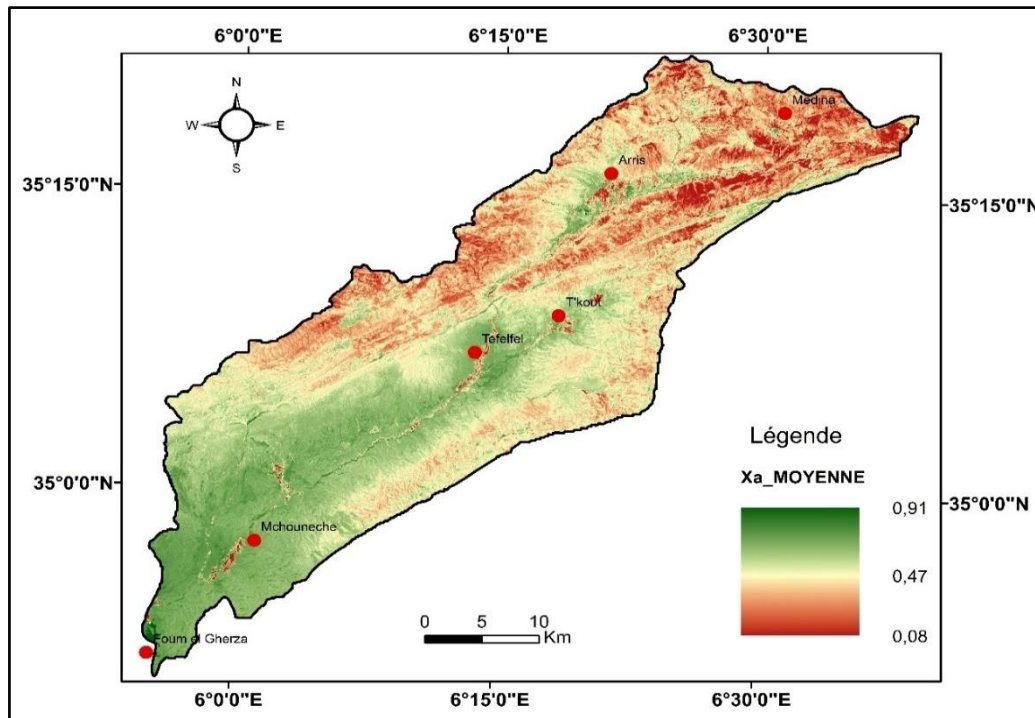


Figure IV- 13 : Carte des valeurs moyenne du (Xa) générée à partir de la transformation de NDVI

On constate que la partie sud-est a moins de couverture végétale que la partie nord-ouest.

IV-2-4- Coefficient d'érodibilité du sol (Y) :

Le facteur d'érosion (Y) d'un sol exprime sa sensibilité à l'érosion hydrique et dépend de ses propriétés intrinsèques à savoir sa texture, sa structure et sa perméabilité. Il se détermine pour un sol donné par la relation de (WISHMEIER W.H. et SMITH D.D. 1978) :

$$Y = (2.1 * M^{1.14} * 10^{-4} * (12 - a) + 3.25 * (b - 2) + 2.5(c - 3))/100 \quad (IV-5)$$

Où M est calculé par la formule :

$$M = (\% \text{ sable fin} + \% \text{ limon}) \times (100 - \% \text{ argile}) ;$$

a : est le pourcentage de matière organique ;

b : est le code de la perméabilité ;

c : est le code de la structure.

Tableau IV- 2 : Codification de la structure des sols (Cs) (Wischmeier et Smith, 1978)

Nature de la structure	Code de la structure Cs
Très structuré ou particulaire	1
Assez structuré	2
Peu structuré	3
Non structuré	4

Tableau IV- 3 : Codification de la perméabilité du sol (bp) (Wischmeier et Smith, 1978)

Degré de perméabilité	Code de perméabilité bp
Rapide	1
Modérée à rapide	2
Modérée	3
Modérée à lente	4
Lente	5
Très lente	6

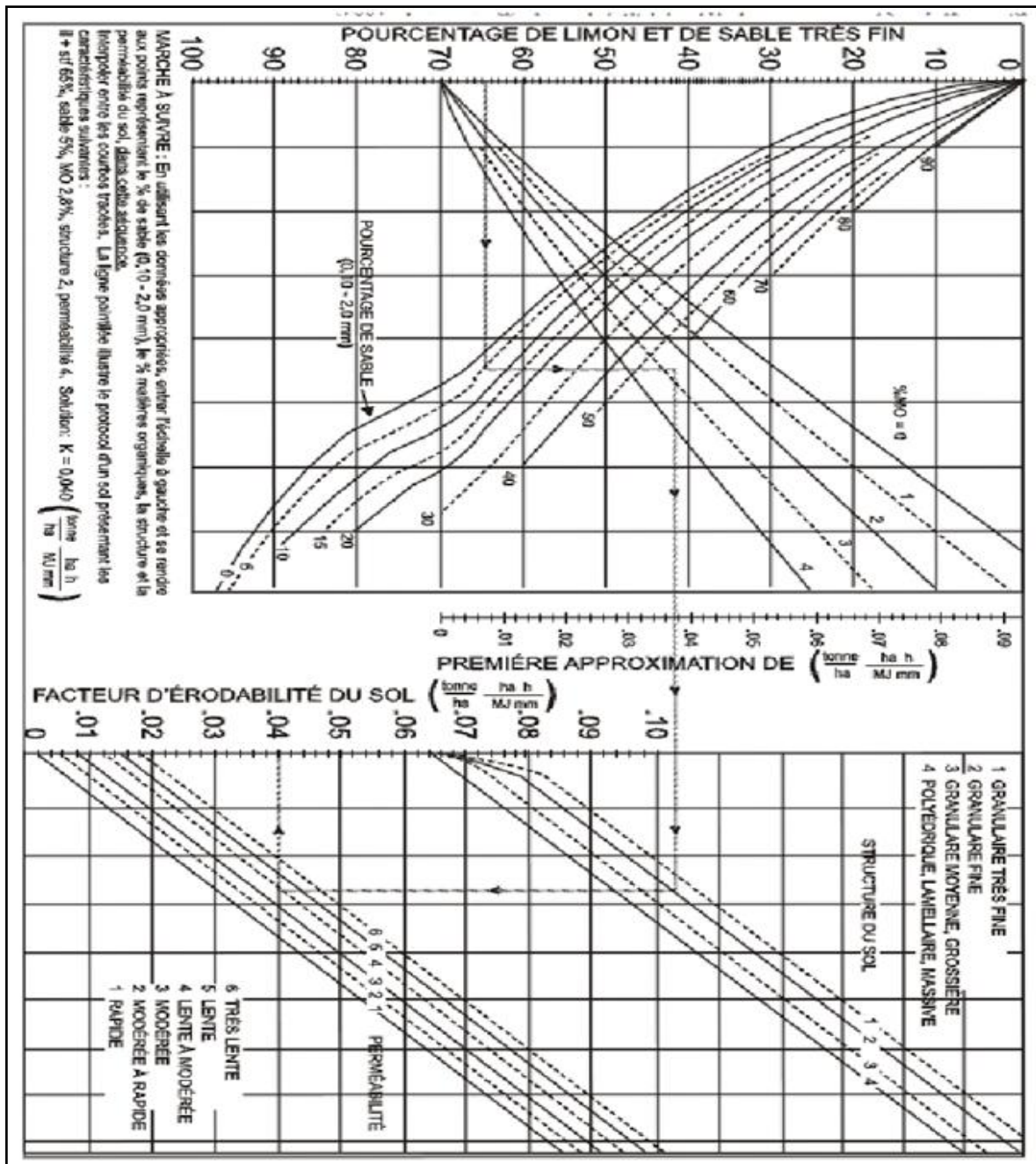


Figure IV- 14 : Nomogramme de l'érodabilité des sols (Foster., 1981, Foster, 1982).

Le facteur Y doit être multipliée par 0,1317, pour qu'il soit dans le système des unités international SI. Les dimensions de Y dans le SI sont : $T \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$

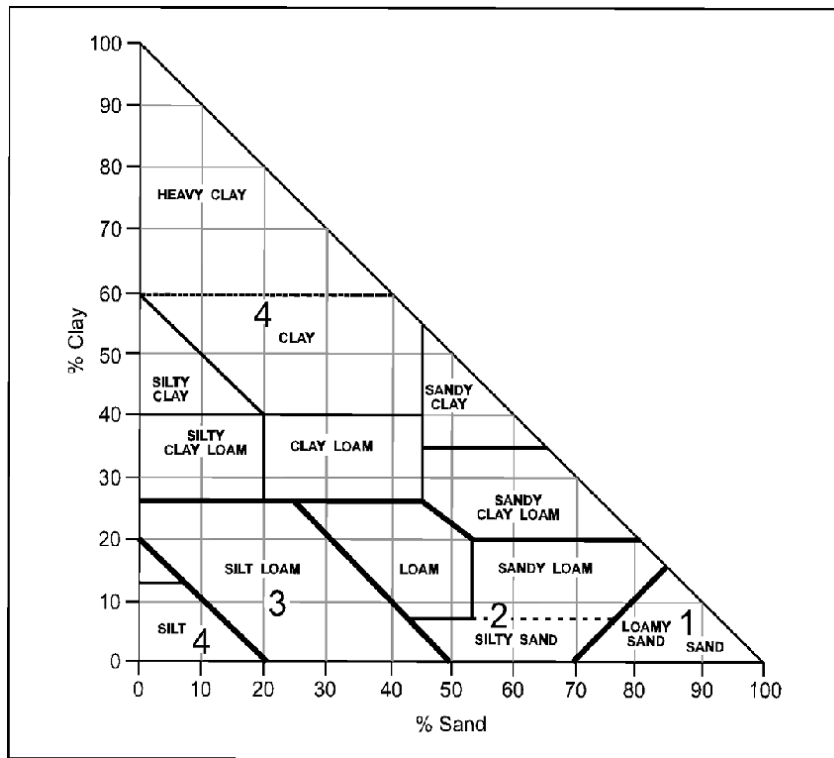


Figure IV- 15 : Code Structure basée sur la texture (Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993)

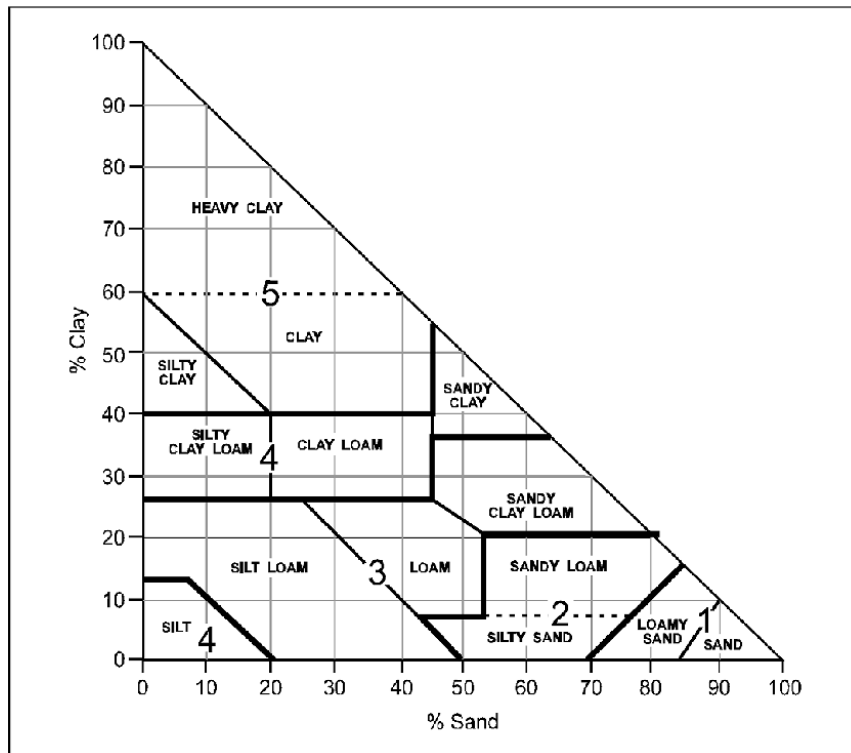


Figure IV- 16 : Codes de perméabilité basés sur la classification des textures (Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993)

En exploitant les cartes de la FAO et la carte lithologique (Figure IV-17) on identifie Les valeurs de Y présenter dans (Figure IV-18).

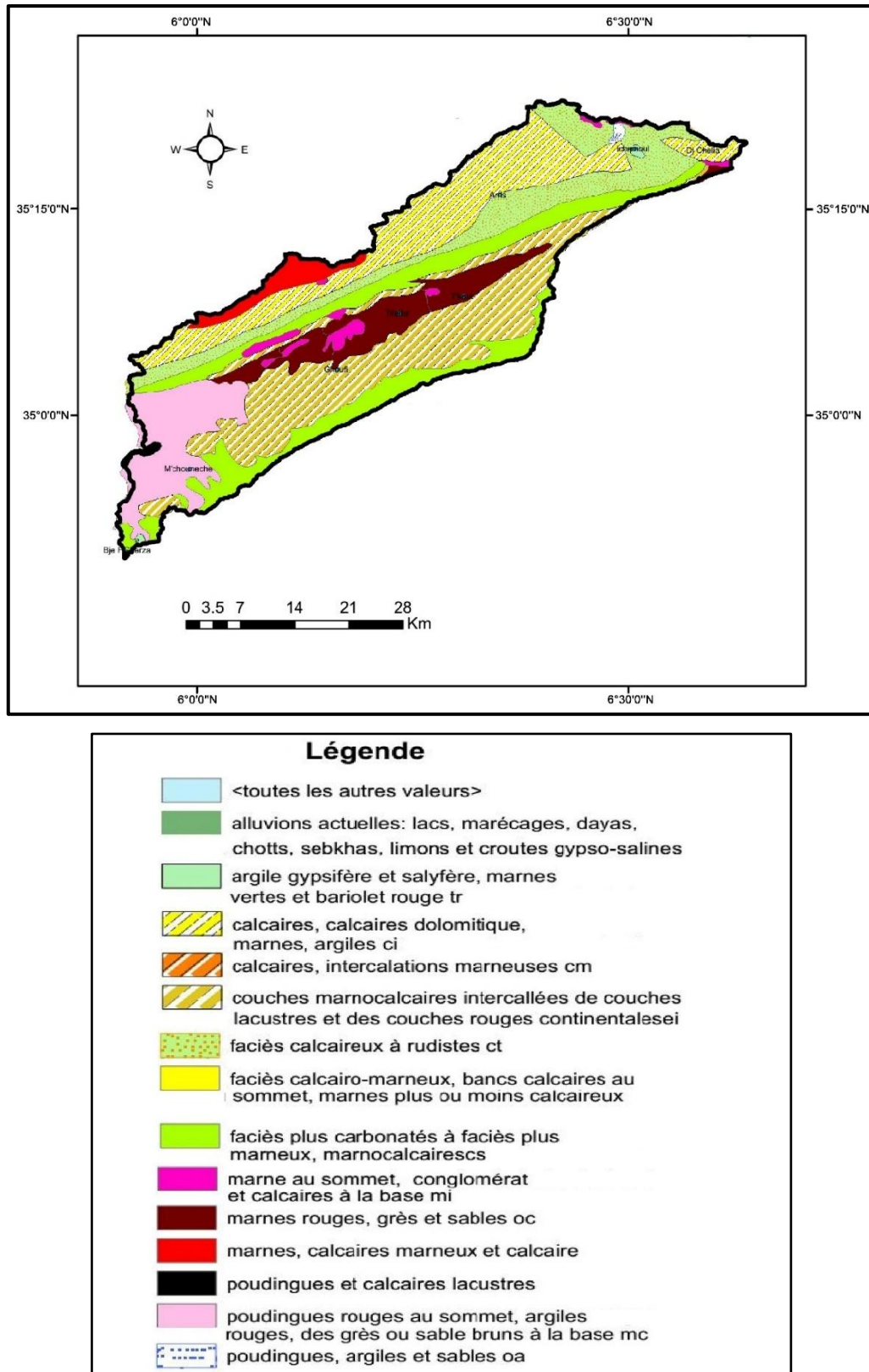


Figure IV- 17 : Carte lithologique des bassins versants « établie à partir de la carte géologique des Aurès (Lafite 1939) »

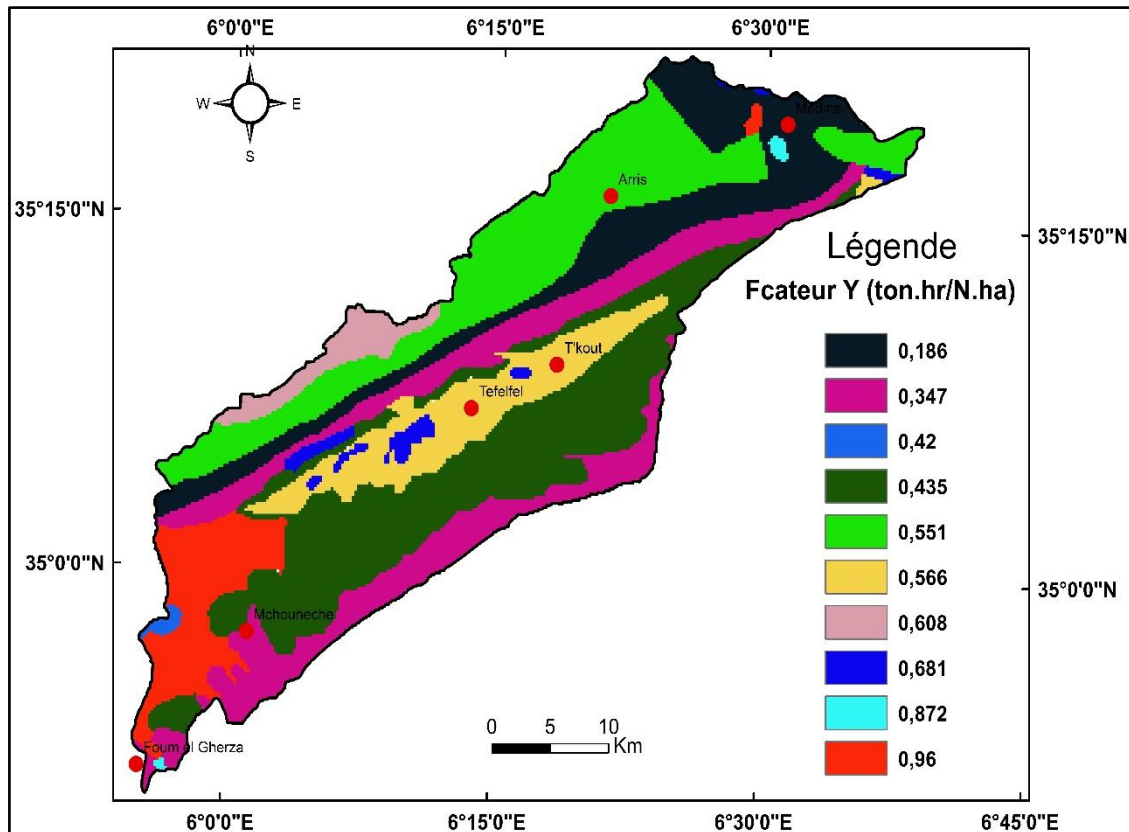


Figure IV- 18 : Carte du facteur Y (SI) à partir des données Y interpolées du nomogramme de l'érodibilité des sols (Foster 1982)

D'après Gavrilovic (Tableau IV-4) le sol du bassin versant d'Oued Labiod comporte tous les type de sol mais avec une tendance aux sols très faible résistance qui favorise l'érosion

Tableau IV- 4 : Type de sol en fonction de Y (Gavrilovic S., 1962 ; 1970)

Type de sol	Le facteur Y
Très bon résistance et cohésion	0.1 – 0.3
Moyen résistance et cohésion	0.3 – 0.5
Faible résistance	0.5 – 0.6
Débris d'agrégats et dépôts des sédiments grossiers	0.6 – 0.8
Sable fin, sol très faible résistance	> 0.9

IV-2-4- Coefficient de type et étendue de l'érosion (φ) :

Les valeurs du coefficient de type de l'érosion φ et leur développement varient en fonction de la taille des bassins hydrographiques.

Ce facteur précise et identifie les zones touchées par l'érosion dans le bassin versant, (les cours d'eau, les rivières, les ravins, les dépôts alluviaux ou tout le bassin versant). Cela nécessite un certain nombre de visites du bassin versant.

Cette valeur est provenue du travail de terrain par les observations sur le développement de l'érosion dans le bassin ainsi que des images satellitaires à haute résolution (1 m en moyenne).

En l'absence de ce genre d'images on a adopté l'équation donnée par (MILEVSKI, I 2008) pour calculer ce facteur à partir des images satellitaires Landsat-5. Dont chaque image satellitaire Landsat-5 a 7 bandes et un fichier « MTL » qui donne des informations sur l'image.

$$\varphi = \sqrt{\frac{TM3}{Q_{max}}} \quad (IV-6)$$

Où :

TM3 : La 3^{ème} bande dans l'image satellitaire LANDSAT

Q_{max} : La valeur maximale de la radiance calculée par la formule suivante :

$$Q_{max} = \frac{\pi * (l_{max} - l_{min}) + l_{min} * d^2}{ESUN * \cos(\text{soleil elevation})} \quad (IV-7)$$

A partir de fichier MTL de l'image :

L_{MIN} = Spectral radiance au capteur qui est mise à l'échelle Q_{calmin} [W / (m² sr um)]

L_{MAX} = Spectral radiance au capteur qui est mise à l'échelle Q_{calmax} [W / (m² sr um)]

π = Constante mathématique égale à 3,14159 ~ [sans unité]

d = Distance Terre-Soleil [unités astronomiques]

ESUN = irradiations spectrales solaires exoatmosphériques [W / (m² um)]

θ = Angle zénithal solaire [degrés]

Images satellitaires du LANDSAT5 du 25 Janvier 2011

$$Q_{max} = \frac{\pi * (264 - (-1.17)) + (-1.17) * 0.9844^2}{1551 * \cos(59.355)} = 1.0523$$

Images satellitaires du LANDSAT5 11 Mars 2011

$$Q_{max} = \frac{\pi*(264-(-1.17))+(-1.17)*0,9933^2}{1551*\cos(45,452)} = 0,764$$

Images satellitaires du LANDSAT5 18 Juin 2011

$$Q_{max} = \frac{\pi*(264-(-1.17))+(-1.17)*1,016^2}{1551*\cos(23,84)} = 0,586$$

Images satellitaires du LANDSAT5 21 Octobre 2011

$$Q_{max} = \frac{\pi*(264-(-1.17))+(-1.17)*0,99^2}{1551*\cos(49,148)} = 0,819$$

Selon Gavrilovic il y'a plusieurs types d'érosion qui varie en fonction de (φ) (**Tableau IV-5**)

Tableau IV- 5 : Type d'érosion du sol en fonction de (φ) (Gavrilovic S., 1962 ; 1970)

Coefficient de type et étendue de l'érosion	Le facteur (φ)
Peu d'érosion dans le bassin versant	0.1-0.2
Érosion dans les cours d'eau entre 20-50% du bassin versant	0.3-0.5
Erosion dans les rivières, les ravins et les dépôts alluviaux	0.6-0.7
50-80% du bassin concerné par l'érosion de surface et les glissements de terrain	0.8-0.9
Bassin versant entier concerné par l'érosion	1.0

Les valeurs calculées pour les quatre images satellitaires du LANDSAT5 du 25 Janvier, 11 Mars, 18 Juin et 21 Octobre 2011 présentés dans les Figures IV-19, IV-20, IV-21, IV-22, et celle de la moyenne dans les figure IV-23.

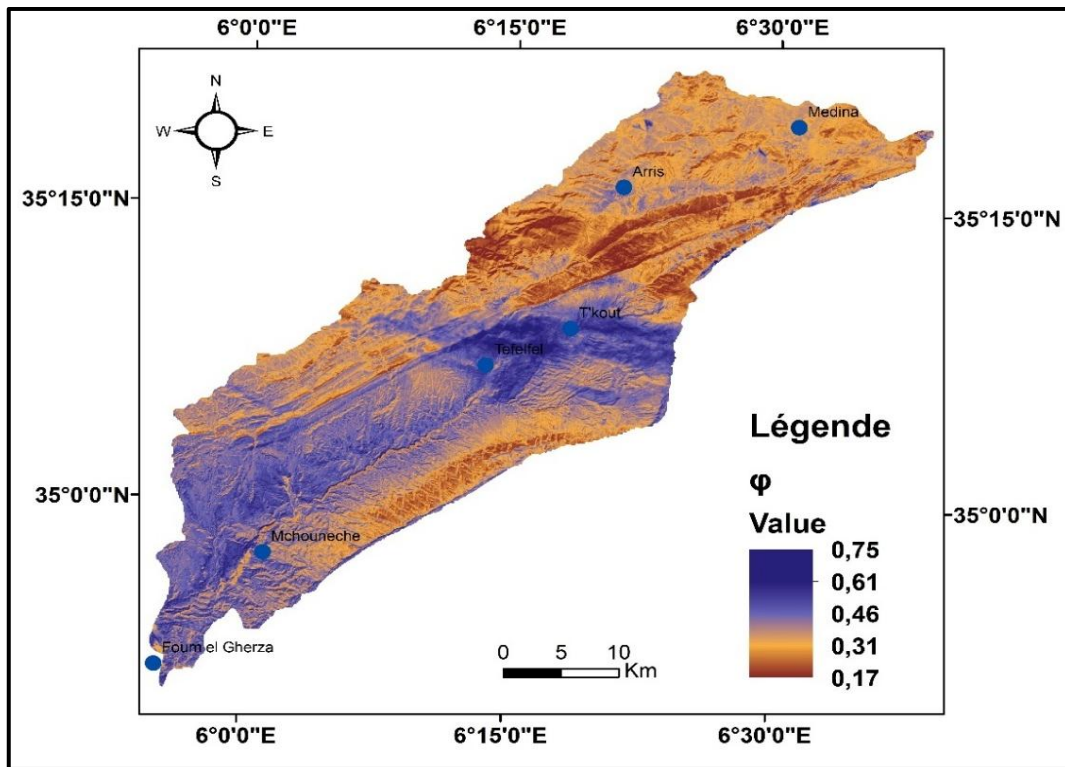


Figure IV- 19 : Carte du facteur (ϕ) générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 25 Janvier 2011.

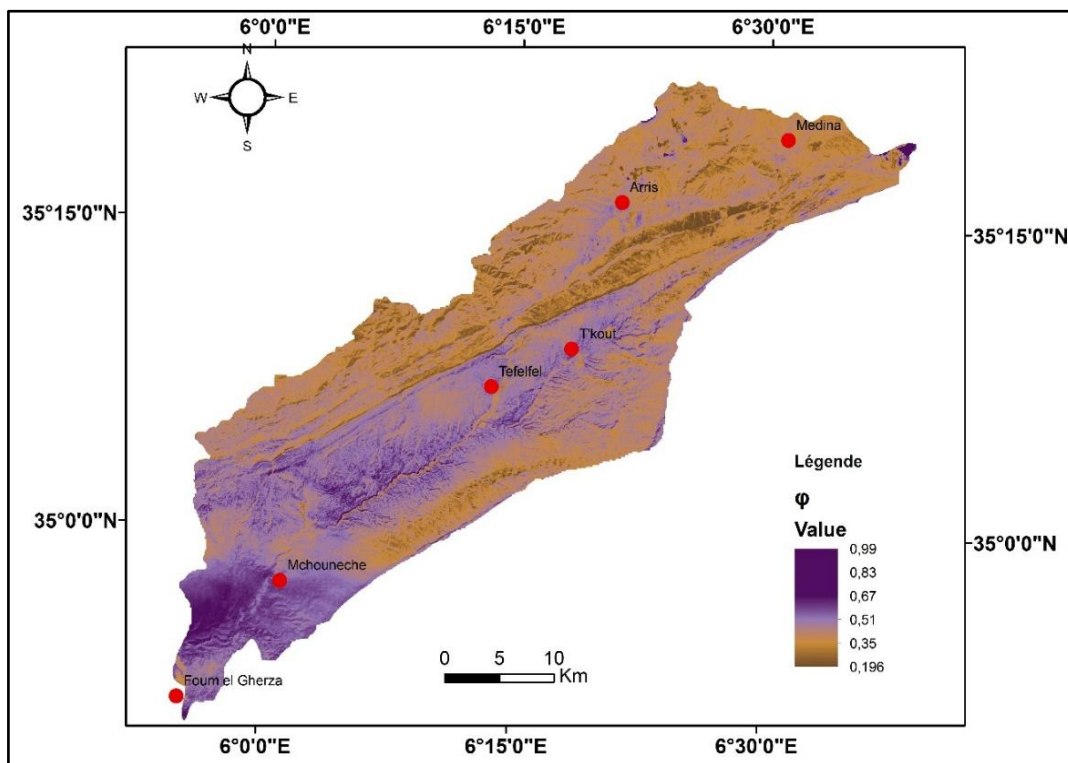


Figure IV- 20 : Carte du facteur (ϕ) générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 11 Mars 2011.

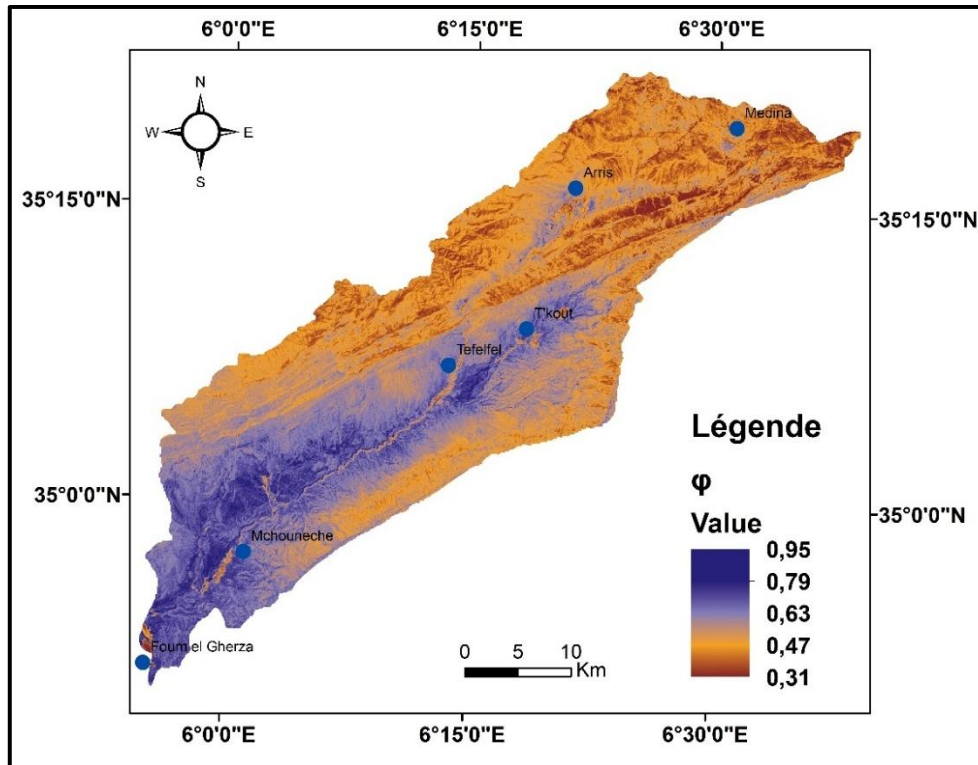


Figure IV- 21 : : Carte du facteur (φ) générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 18 Juin 2011.

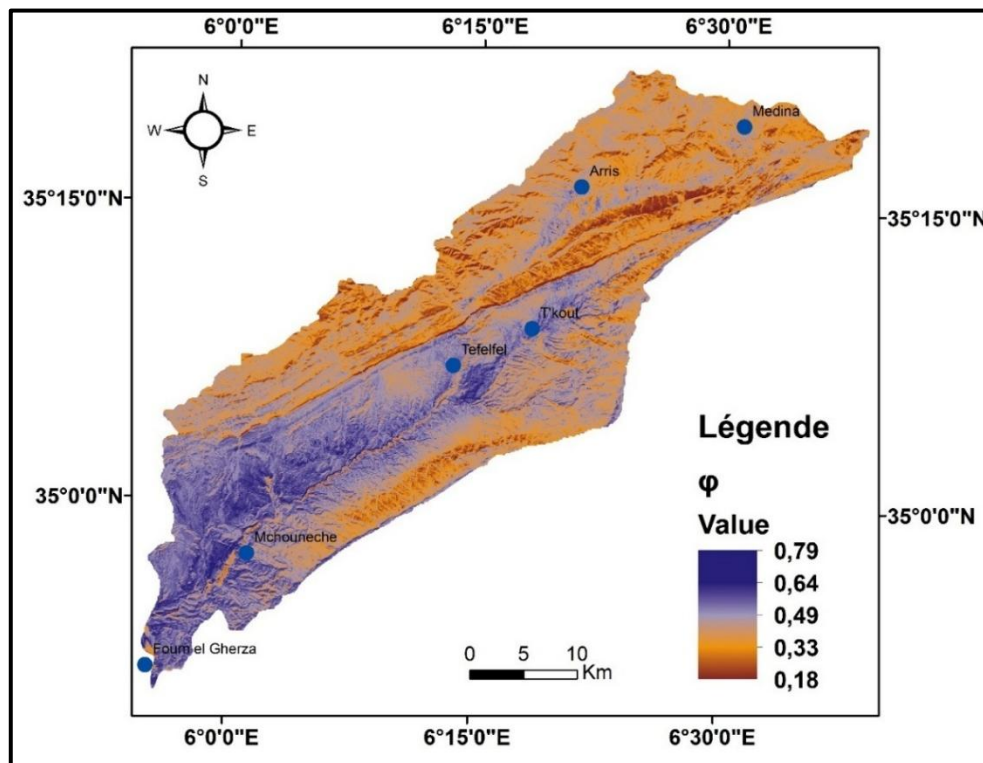


Figure IV- 22 : Carte du facteur (φ) générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 21 Octobre 2011.

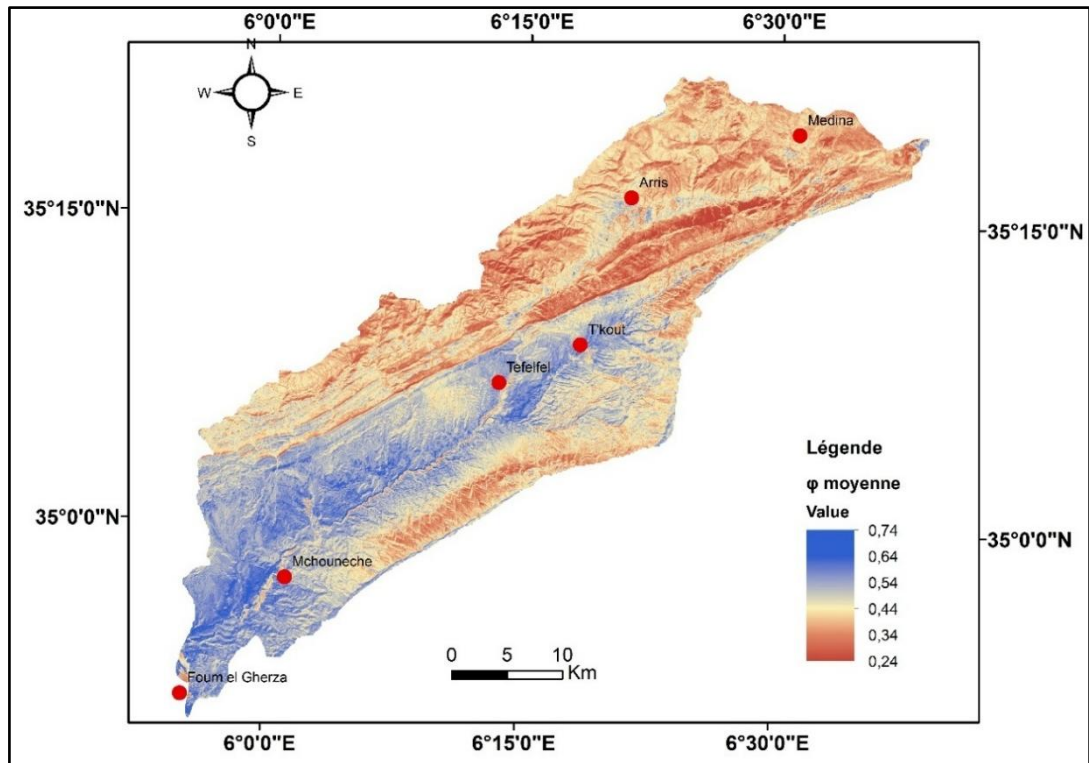


Figure IV- 23 : Carte du facteur moyen de (ϕ)

D'après le (Tableau IV-5) On constate que le type d'érosion dans la partie nord-ouest est un Érosion dans les cours d'eau entre 20-50% du bassin versant. Et dans la partie sud-est est un Erosion dans les rivières, les ravins et les dépôts alluviaux.

IV-2-5- Les pentes de la zone d'étude J_a en (%) :

Les pentes constituent un paramètre très important dans le modèle EPM. L'augmentation de la vitesse d'écoulement sous l'effet des pentes provoque fortement l'érosion.

Les pentes sont calculées à partir du fichier MNT.

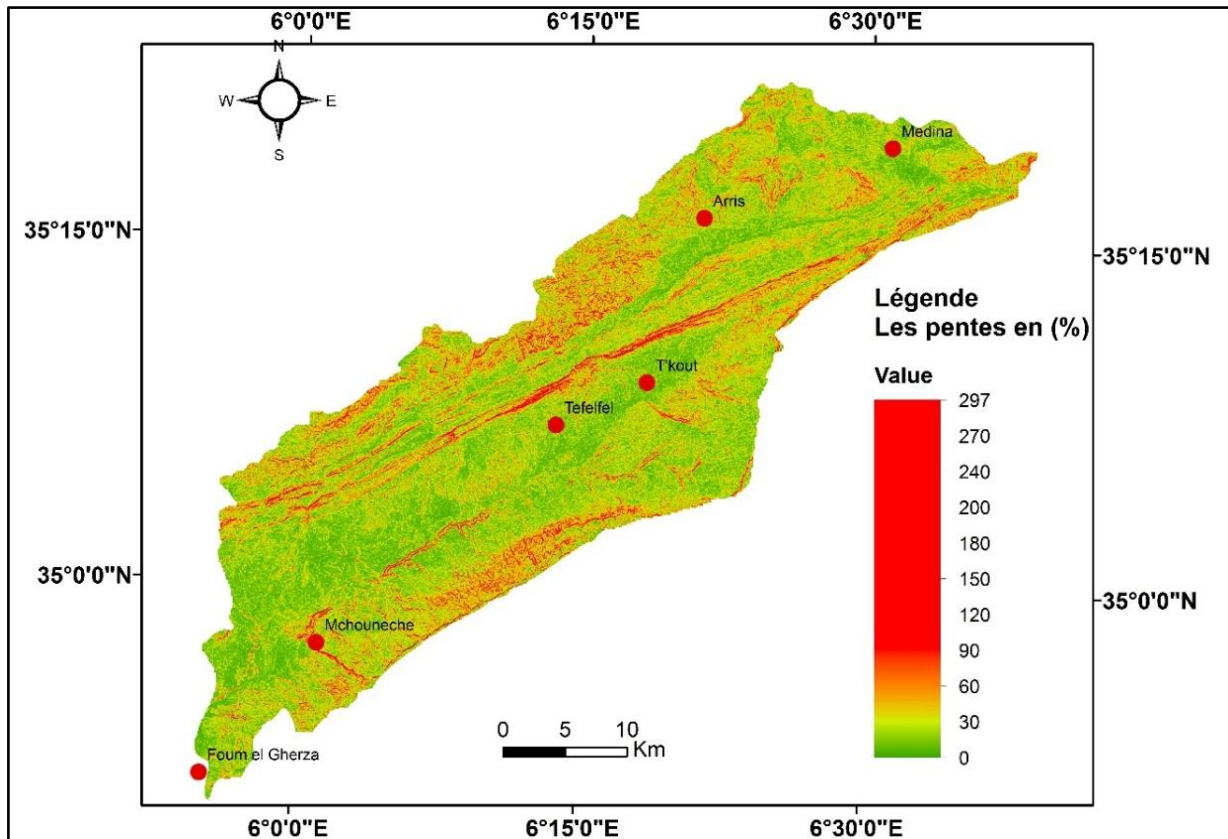


Figure IV- 24 : Carte des pentes J_a (%)

IV-3- Coefficient d'érosion (Z) :

Le coefficient d'érosion (Z) indique la probabilité d'érosion dans le bassin versant Oued Labiod dont la valeur de (Z) définit la classe d'érosion selon le tableau de Gavrilovic (Tableau IV-6).

$$Z = X_a * Y * (\varphi + \sqrt{J_a}) \quad (IV-3)$$

X_a : Coefficient de protection du sol du bassin versant, se rapportant à la protection des sols par la couverture végétale, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles.

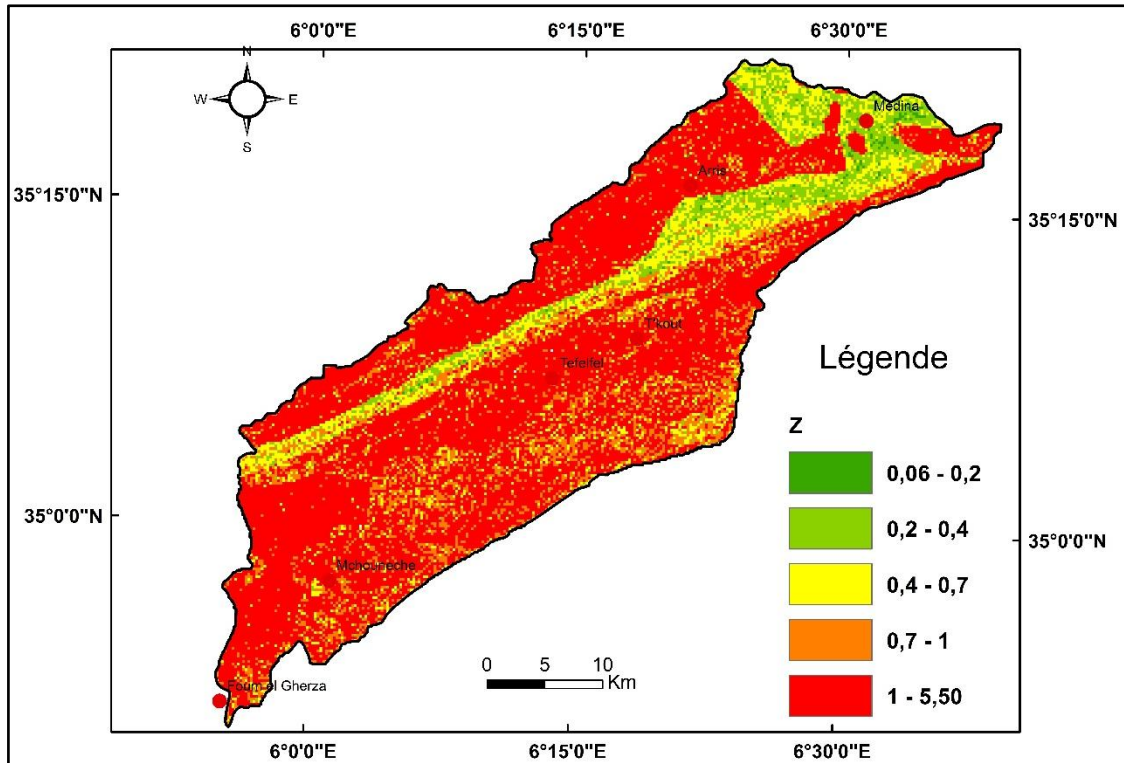
Y : Coefficient d'érodibilité du sol, indique la sensibilité des sols à l'érosion dépend de la géologie du bassin versant

φ : Coefficient de type et d'étendue de l'érosion équivalant numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant

J_a : Pente moyenne de la zone d'étude en (%)

Tableau IV- 6: La classe d'érosion en fonction de (Z) (Gavrilovic S., 1962; 1970)

La classe d'érosion	Valeur de (Z)
Érosion excessive	>1.00
Sévère érosion	0.70 - 1.00
Érosion moyenne	0.40 - 0.70
Légère érosion	0.20 - 0.40
Très légère érosion	0 - 0.2



**Figure IV- 25 : Carte du Coefficient d'érosion (Z) pour l'image satellite LANDSAT5
25 Janvier 2011.**

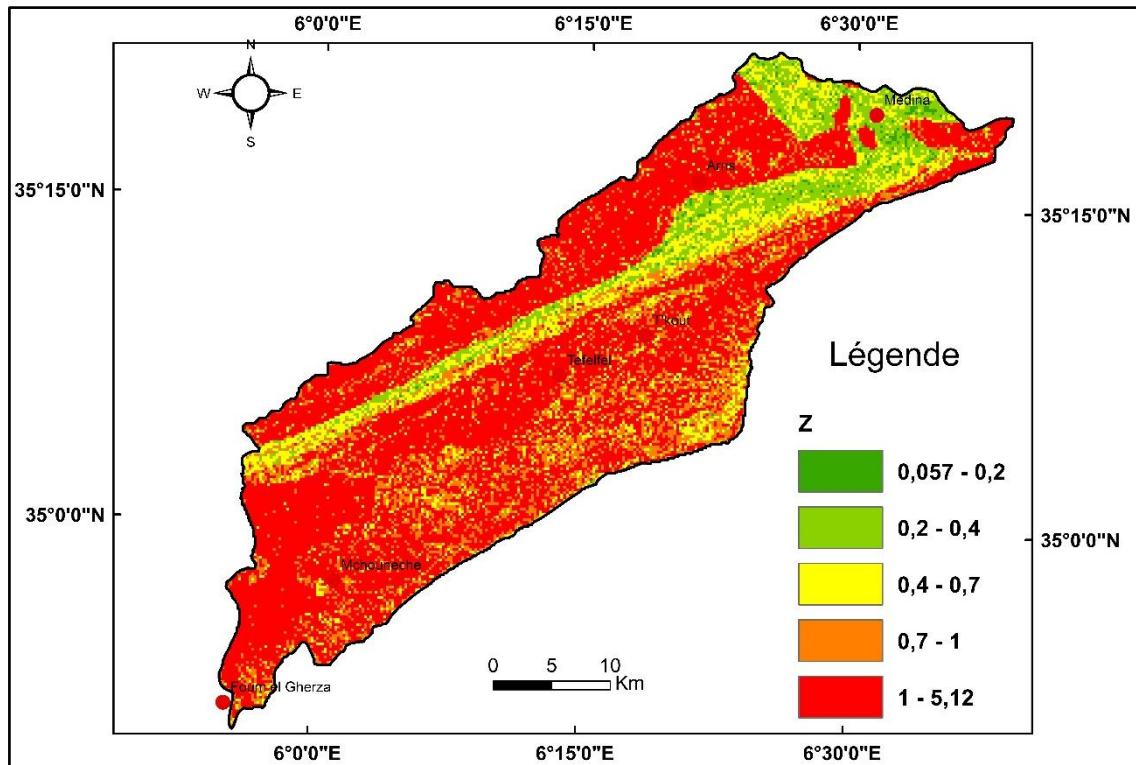


Figure IV- 26 : Carte du Coefficient d'érosion (Z) l'image satellite LANDSAT5
11 Mars 2011.

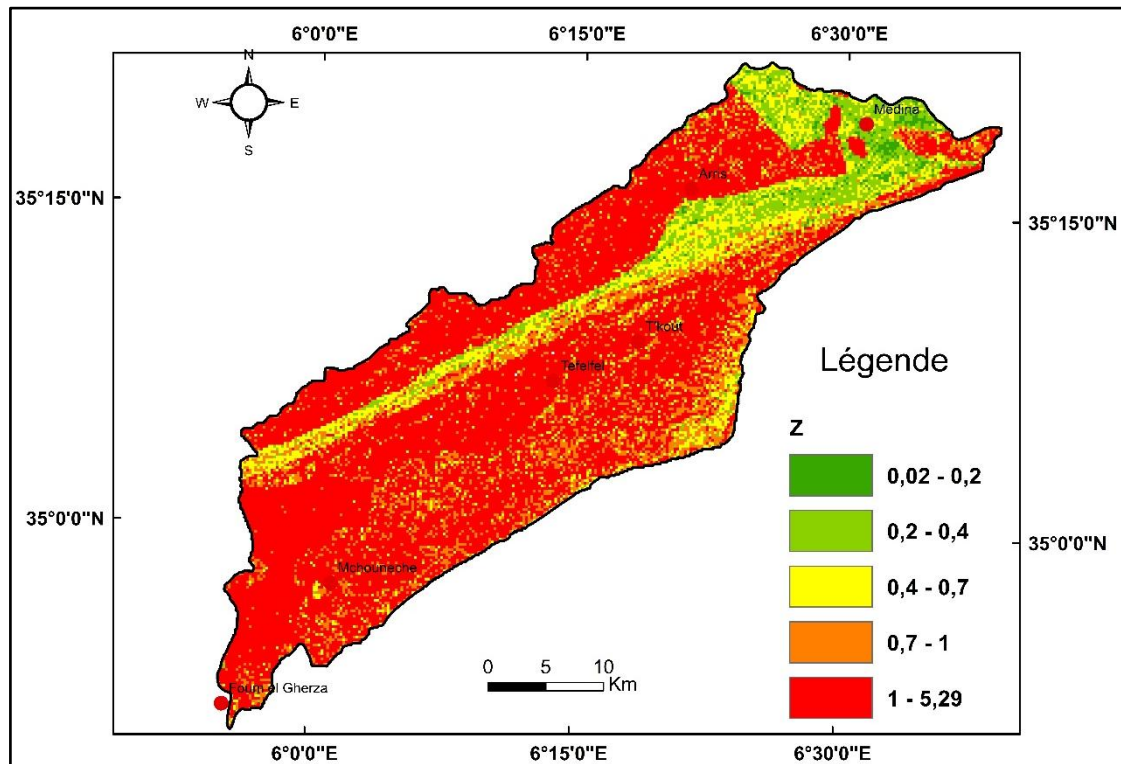


Figure IV- 27 : : Carte du Coefficient d'érosion (Z) l'image satellite LANDSAT5
18 Juin 2011.

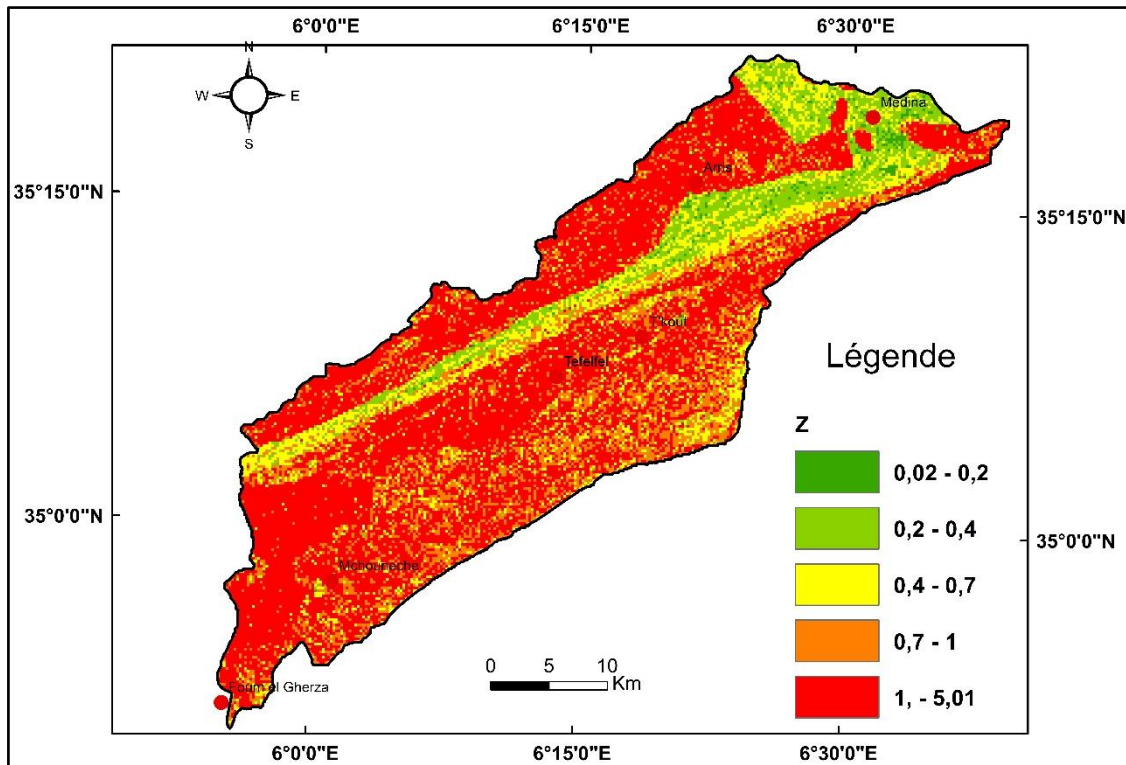


Figure IV- 28 : Carte du Coefficient d'érosion (Z) l'image satellite LANDSAT5
21 Octobre 2011.

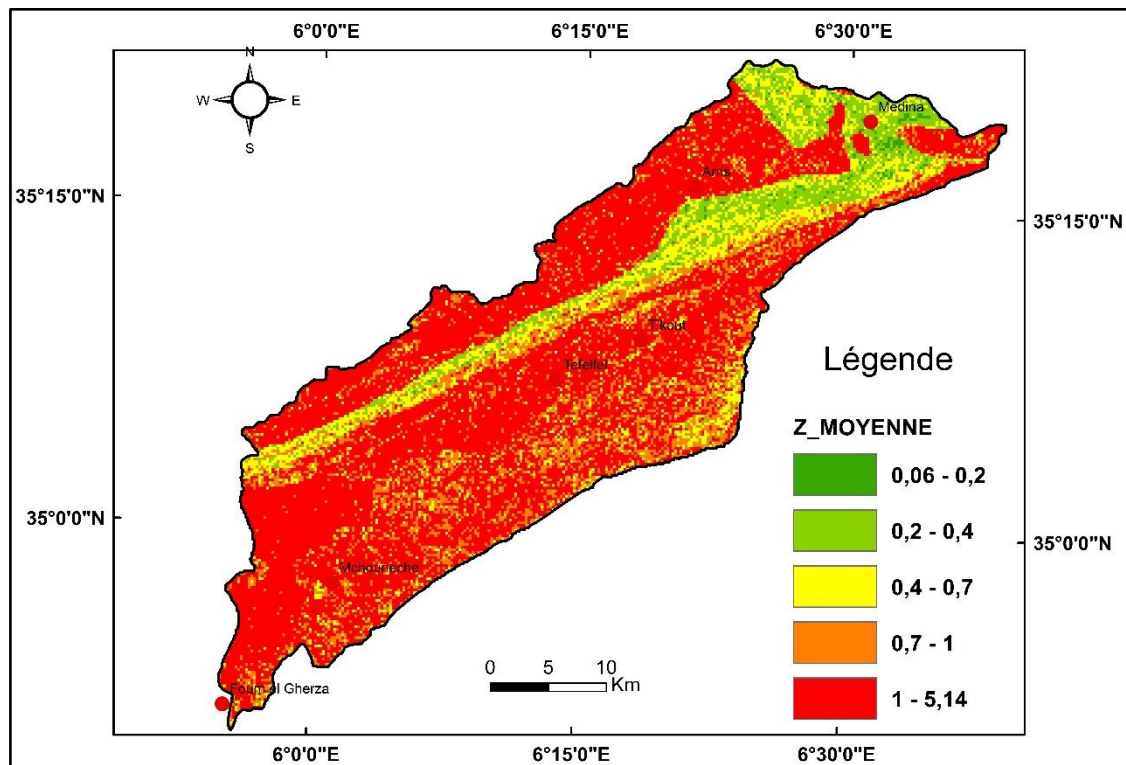


Figure IV- 29 : Carte du Coefficient d'érosion moyen (Z).

D'après la carte de coefficient d'érosion moyen annuel l'érosion dans le bassin versant est excessive (TableauIV-6)

IV-4- Volume annuel moyen des sédiments érodés (W) :

Après l'élaboration de toutes les cartes représentant les différents facteurs du modèle EPM nous obtenons la carte de volume annuel moyen (W) (Figure IV-30).

$$W = T * H * \pi * \sqrt{Z^3}$$

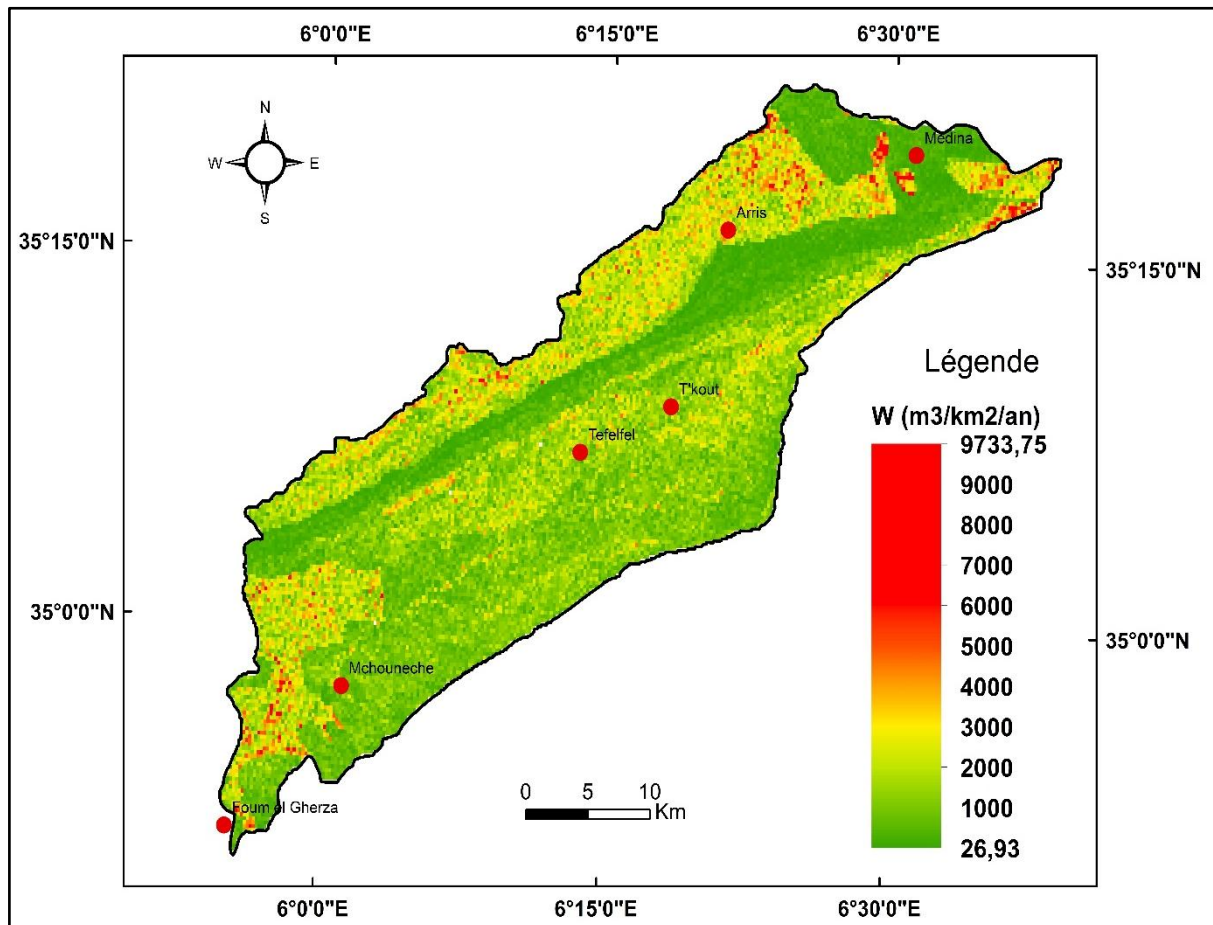


Figure IV- 30 : Volume annuel moyen des sédiments érodés (W).

Afin d'estimer le volume moyen total des sédiments érodés, nous classons la carte des volumes moyens érodés pour différentes dégradations spécifiques dans le bassin

Tableau IV- 7 : Le volume annuel moyen des sédiments érodés W (m³/an).

Classes (W)	Surface	W moyenne	W
m ³ /km ² /an	km ²	m ³ /km ² /an	m ³ /an
26,93 - 500	233,80	317,59	74252,81
500 - 1000	309,68	746,54	231186,63
1000 - 1500	271,77	1234,10	335389,38
1500 - 2000	180,90	1735,28	313910,58
2000 - 2500	123,15	2230,56	274690,06
2500 - 3000	81,29	2726,84	221661,53
3000 - 3500	45,74	3221,85	147363,09
3500 - 4000	26,58	3719,43	98857,49
4000 - 4500	15,82	4207,96	66564,27
4500 - 5000	9,71	4720,60	45830,78
5000 - 5500	5,96	5208,84	31037,76
5500 - 6000	4,30	5727,55	24620,82
6000 - 6500	3,26	6284,52	20479,15
6500 - 7000	2,77	6709,11	18575,28
7000 - 9733,75	2,49	7624,20	18974,10
TOTAL	1317,20	56414,97	1923393,73

Les valeurs du volume moyen annuel érodé avec une moyenne de 3761.0 (m³/km²/an).

Les valeurs du volume moyen annuel érodé ainsi obtenu variant sur l'étendue du bassin versant du $W_{\min} = 26.93$ (m³/km²/an) à $W_{\max} = 9733.75$ (m³/km²/an) avec une moyenne de 3761.00 (m³/km²/an). La carte d'érosion obtenue (Figure IV-30) montre que les plus faibles pertes en terre inférieure à 265 m³/km²/an selon la classification établie aux Etats-Unis fondée sur la tolérance des sols agricoles aux pertes [Sadiki, Saïdati, Auajjar, Faleh et Macaire 2004] présentent 0,001 % de la surface du bassin elle se localisent en grande partie dans les zones a des terres plates à faibles pentes et des terrains à végétation dense qui maintient le sol et donc une résistance forte à l'érosion. Cependant, les parties de la superficie du bassin versant qui présentent des taux d'érosion au-delà de 750 m³/km²/an, où la perte est forte et les sols sont très dégradés ce qui peut nuire à la production selon la même classification présentent 86,63% de la surface du bassin. Ce sont des zones à matériaux friables dénudées de végétation avec des terres accidentées ; elles se localisent dans les versants des chaînes montagneuses raides.

En fait, la capacité de transport des cours d'eau récepteurs surtout dans leurs talwegs - n'est jamais aussi grande que les eaux pourraient emporter la production entière des matériaux érodés. Un certain pourcentage s'en dépose toujours déjà dans les talwegs à l'amont de l'embouchure, ainsi que sur les élargissements et les atténuations de la pente longitudinale du lit aussi. Par rapport à la production alors. L'afflux du débit solide est réduit. Dans ce but Gavrilovic utilise les formules suivantes :

$$G = W * \rho * SDR \quad (IV-8)$$

W : Volume annuel moyen des sédiments érodés (m³/an)

ρ : la masse volumique des sédiments. $\rho = 2.65 \text{ t/m}^3$

SDR : coefficient de délivrance (%)

Il est estimée généralement par la méthode de service de conservation du sol (USDA Soil Conservation Service (1972)):

$$SDR = 0.4724 * A^{-0.125} \quad (IV-9)$$

A = Surface du bassin versant en (Km²)

$$SDR = 0.4724 * 1317.2^{-0.125}$$

$$SDR = 0.19$$

D'où

$$G = 1923393,73 * 0.19 * 2.65 = 968428,7438 \text{ ton/an}$$

Afin de comparer les résultats du modèle EPM avec les valeurs mesurées dans la station de M'chounech on délimite le bassin jusqu'à la station de M'chouneche puis on calcule le volume moyen total des sédiments érodés (Figure IV-31)

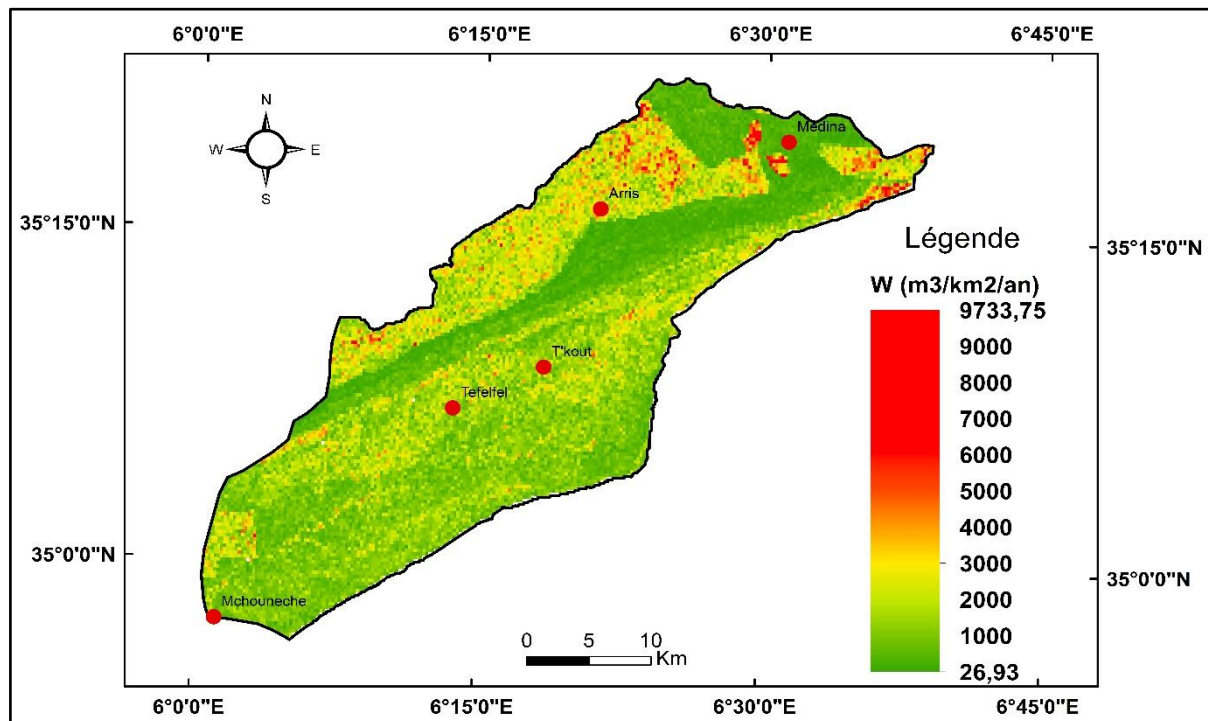


Figure IV- 31 : Volume annuel moyen des sédiments érodés dans le bassin versant jusqu'à M'chouneche (W)

Tableau IV- 8 : Le volume annuel moyen des sédiments érodés à M'chouneche W (m3/an).

Classes (W)	Surface	W moyenne	W
m ³ /km ² /an	km ²	m ³ /km ² /an	m ³ /an
26,93 - 500	189,93	313,82	59603,46
500 - 1000	246,79	746,95	184340,22
1000 - 1500	222,21	1234,27	274267,92
1500 - 2000	141,69	1733,84	245668,38
2000 - 2500	93,65	2228,33	208683,29
2500 - 3000	60,95	2728,60	166308,11
3000 - 3500	31,86	3221,00	102621,06
3500 - 4000	16,31	3720,59	60682,76
4000 - 4500	10,07	4201,20	42306,12
4500 - 5000	5,28	4716,41	24902,63
5000 - 5500	2,71	5202,80	14099,58
5500 - 6000	2,15	5728,36	12315,97
6000 - 6500	0,97	6324,66	6134,92
6500 - 7000	0,83	6716,05	5574,32
7000 - 9733,75	0,69	7855,25	5420,12
TOTAL	1026,09	56672,14	1412928,87

$$G = 1412928,87 * 0.19 * 2.65 = 711409,688 \text{ ton/an}$$

La quantité des sédiments enregistré est 743109.36 ton/an

$$L'écart = \frac{743109.36 - 711409.688}{743109.36} = 4\%$$

IV-5- Rapprochement mensuelle :

Pour la quantification et la variabilité des taux d'érosion et des apports solides simulés à une échelle plus fine, nous avons appliqué le modèle EPM à l'échelle mensuelle pour le bassin versant à la station de M'chouneche.

IV-5-1- La température moyenne mensuelle dans le bassin versant jusqu'à M'chouneche :

Avec la même méthode on calcule le facteur de la température mensuelle (T) pour le bassin versant à la station de M'chouneche les résultats sont présentés dans (figure IV-32 - Figure IV-55)

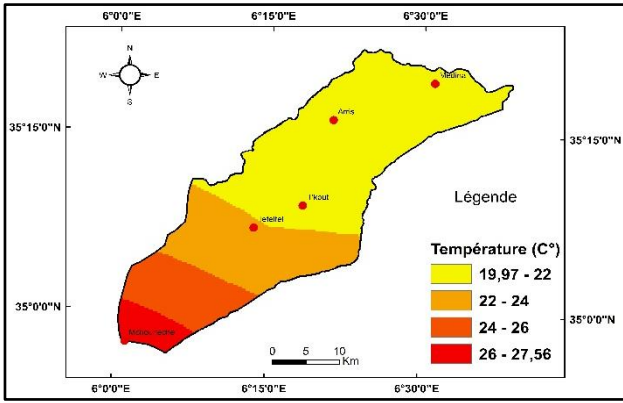


Figure IV- 32 : La température moyenne du Septembre

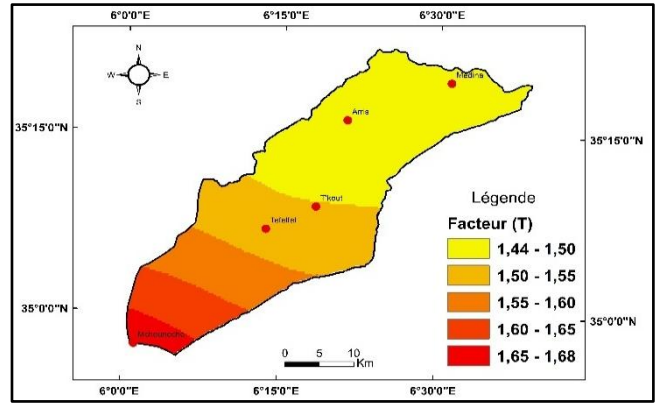


Figure IV- 33 : Facteur de la température du Septembre

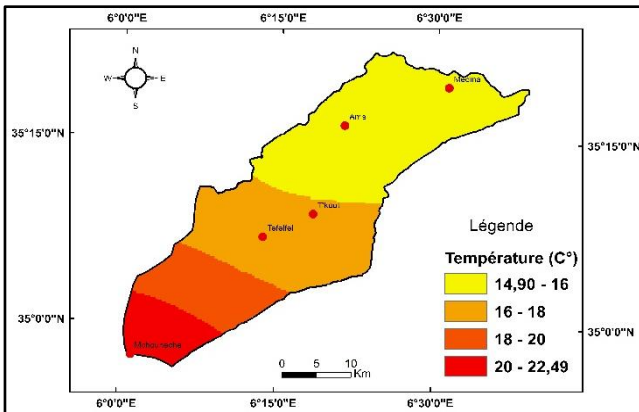


Figure IV- 34 : La température moyenne d'Octobre

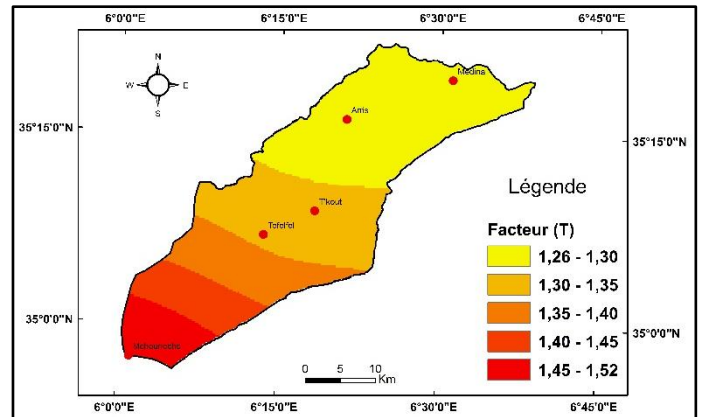


Figure IV- 35 : Facteur de la température (T) d'Octobre

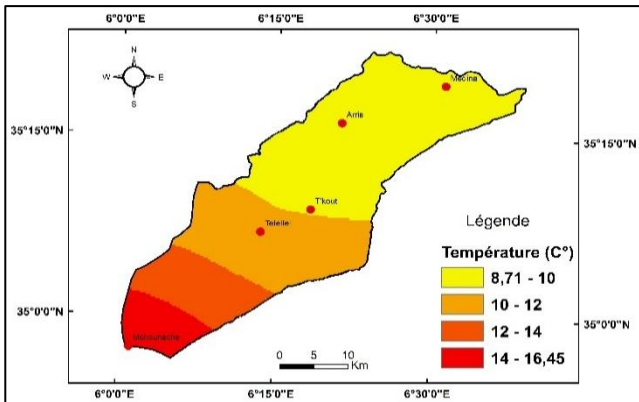


Figure IV- 36 : La température moyenne de Novembre

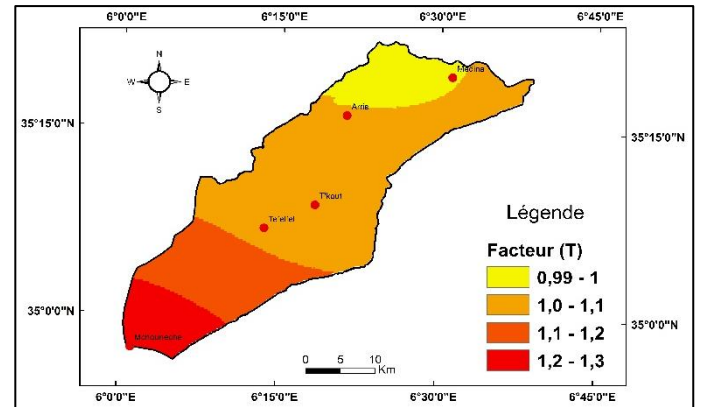


Figure IV- 37 : Facteur de la température (T) de Novembre

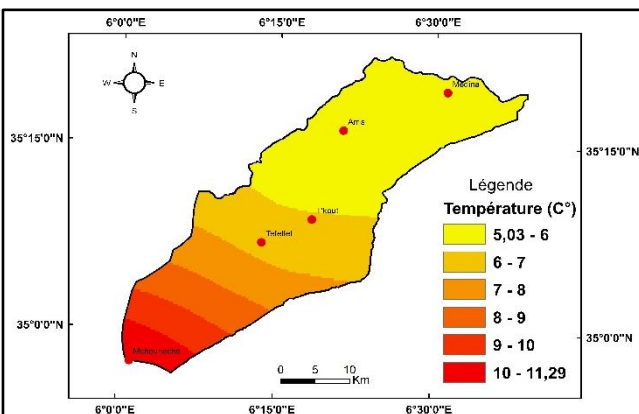


Figure IV- 38 : La température moyenne de Décembre

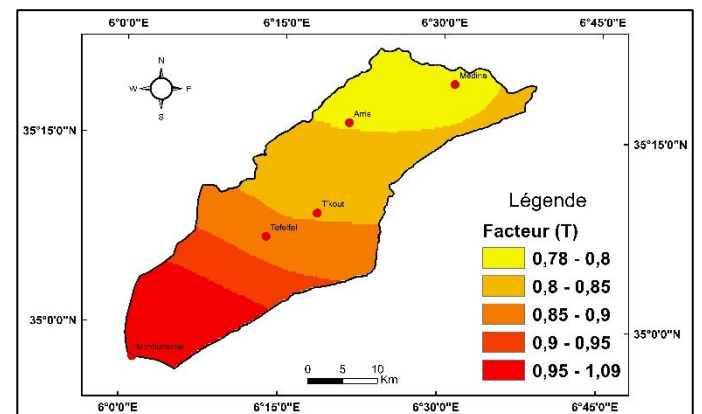


Figure IV- 39 : Facteur de la température (T) de Décembre

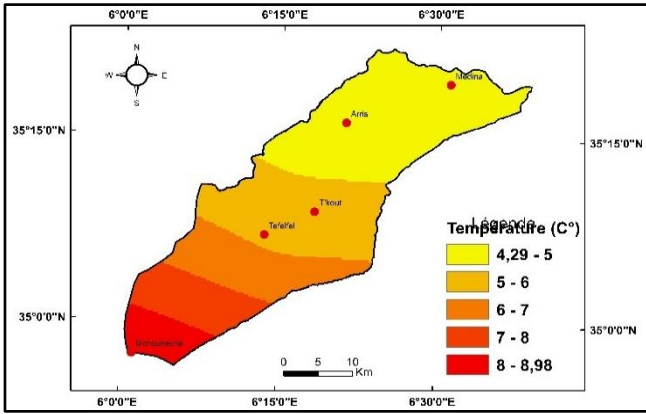


Figure IV- 40 : La température moyenne de Janvier

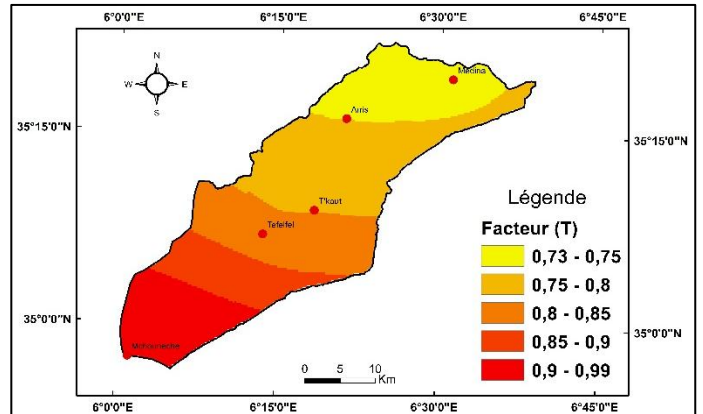


Figure IV- 41 : Facteur de la température (T) de Janvier

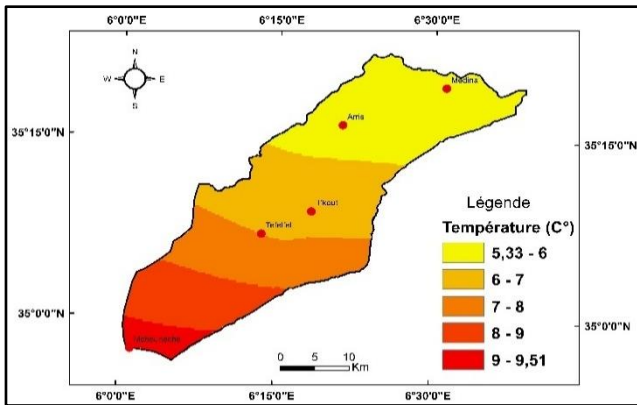


Figure IV- 42 : La température moyenne de Février

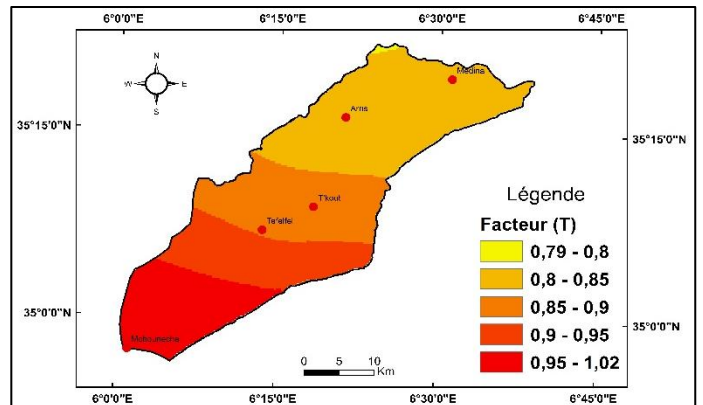


Figure IV- 43 : Facteur de la température (T) de Février

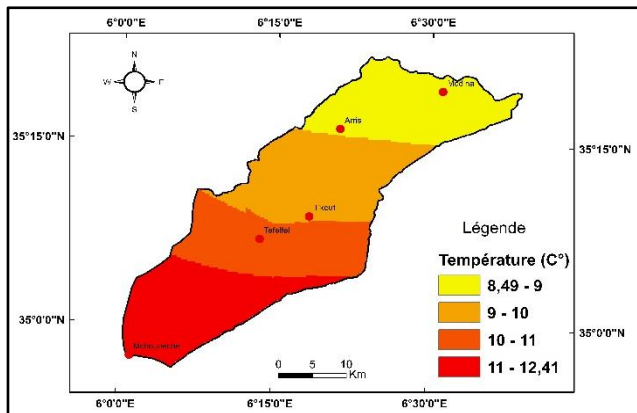


Figure IV- 44 : La température moyenne de Mars

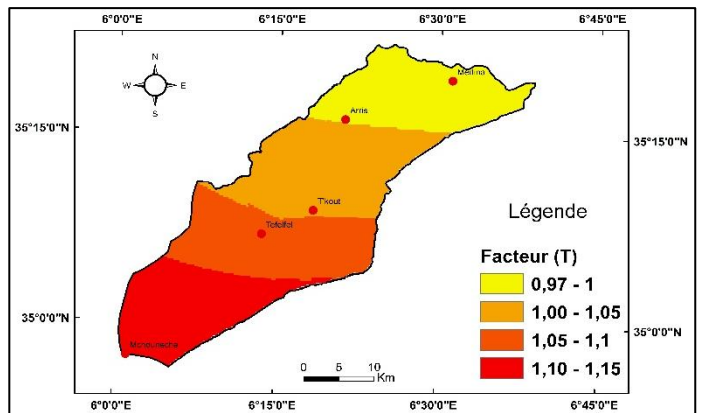


Figure IV- 45 : Facteur de la température (T) de Mars

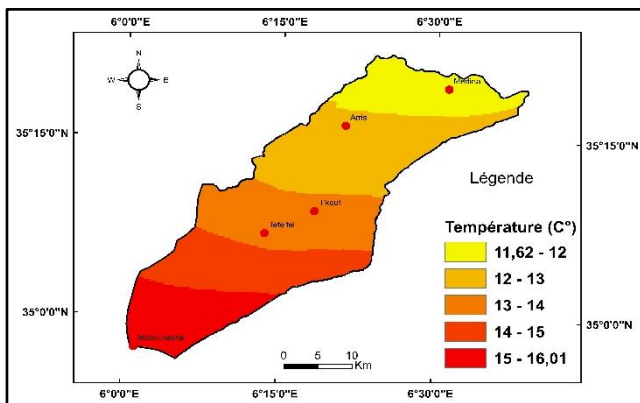


Figure IV- 46 : La température moyenne d'Avril

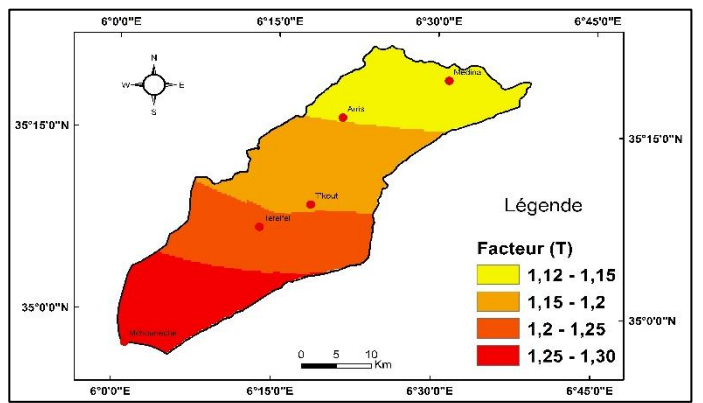


Figure IV-47 : Facteur de la température (T) de Avril

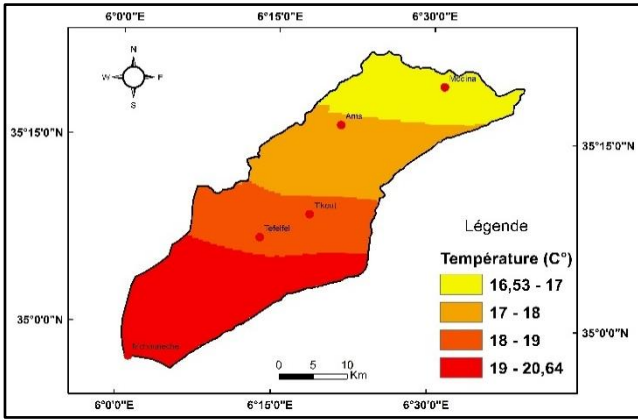


Figure IV-48 : La température moyenne de Mai

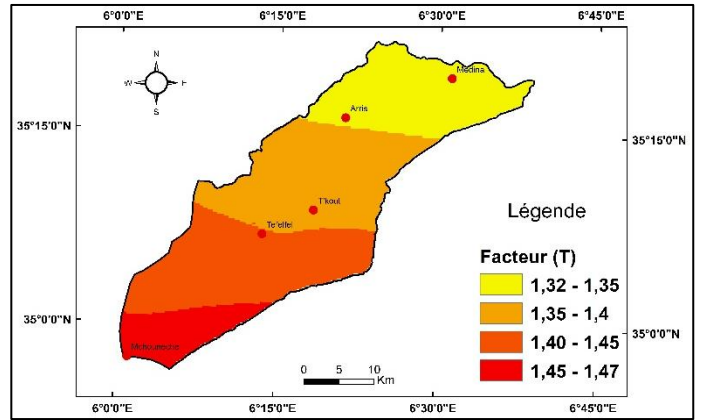


Figure IV-49 : Facteur de la température (T) de Mai

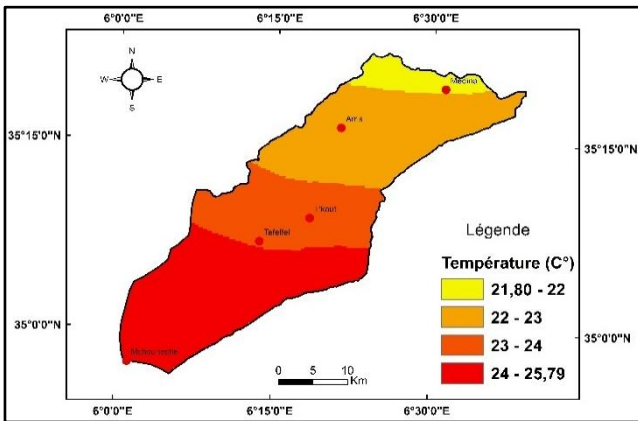


Figure IV-50 : La température moyenne de Juin

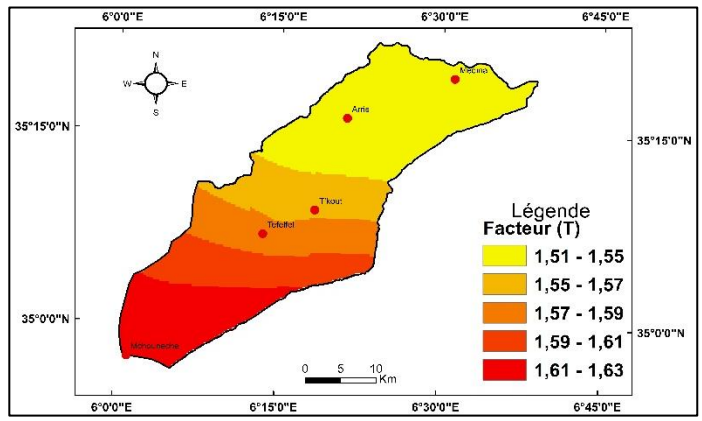


Figure IV-51 : Facteur de la température (T) de Juin

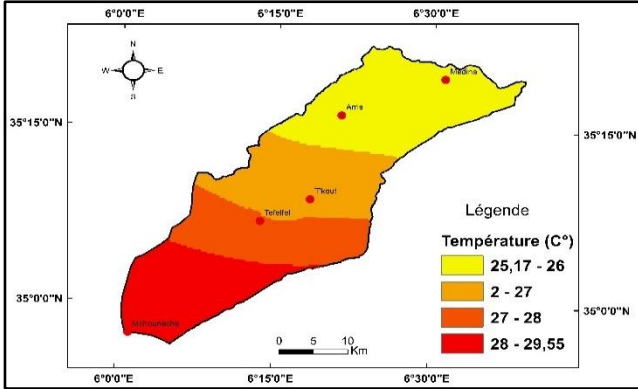


Figure IV-52 : La température moyenne de Juillet

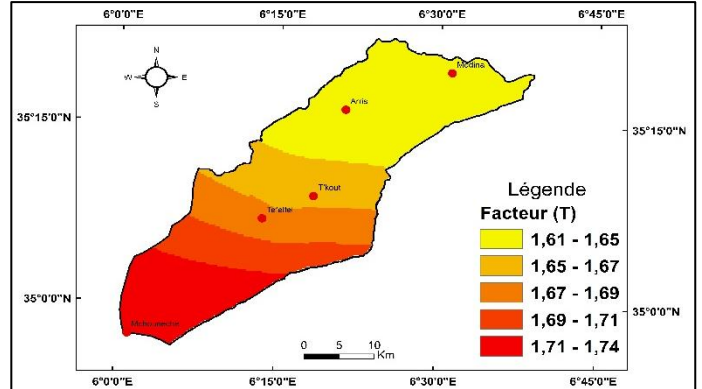


Figure IV- 53 : Facteur de la température (T) de Juillet

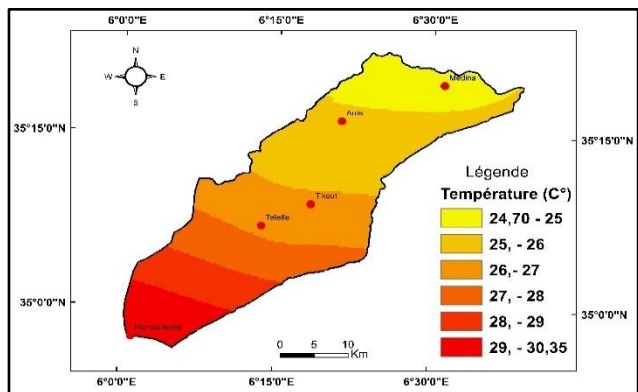


Figure IV- 54 : La température moyenne d'Aout

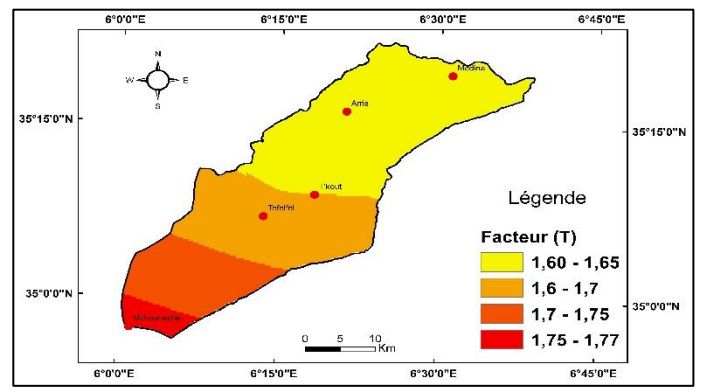


Figure IV- 55 : Facteur de la température (T) d'Aout

IV-5-2- Précipitation moyenne mensuelle dans le bassin versant jusqu'à M'chouneche H en (mm) :

Les précipitations moyenne mensuelle en (mm) pour le bassin versant à la station de M'chounech sont présentées dans les (Figures IV-56 - Figures IV-67)

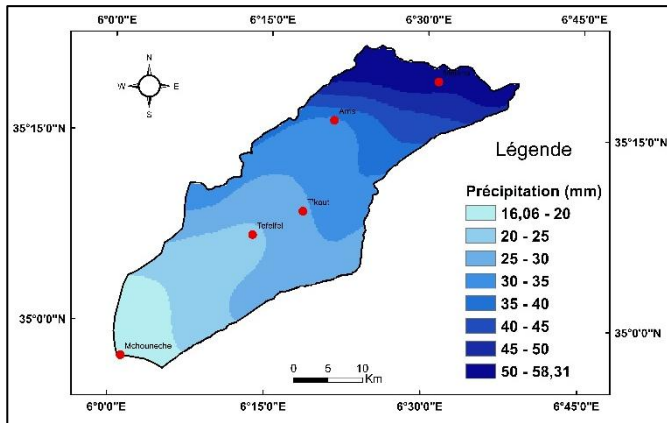


Figure IV- 56 : La précipitation moyenne mensuelle du Septembre

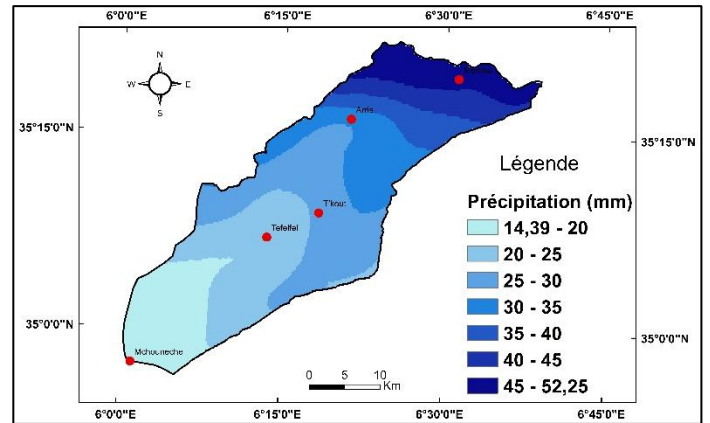


Figure IV- 57 : La précipitation moyenne mensuelle d'Octobre

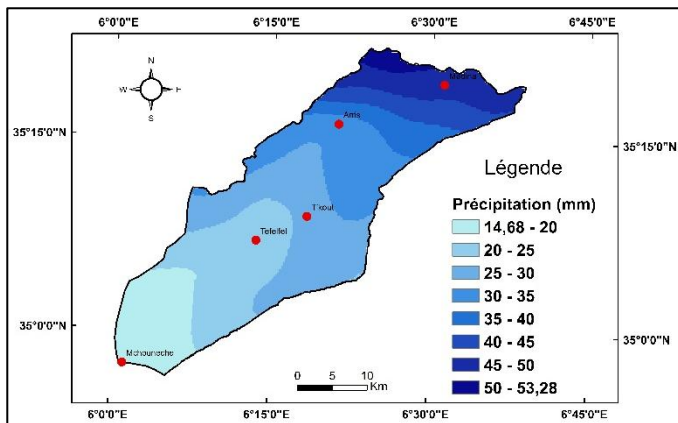


Figure IV- 58 : La précipitation moyenne mensuelle de Novembre

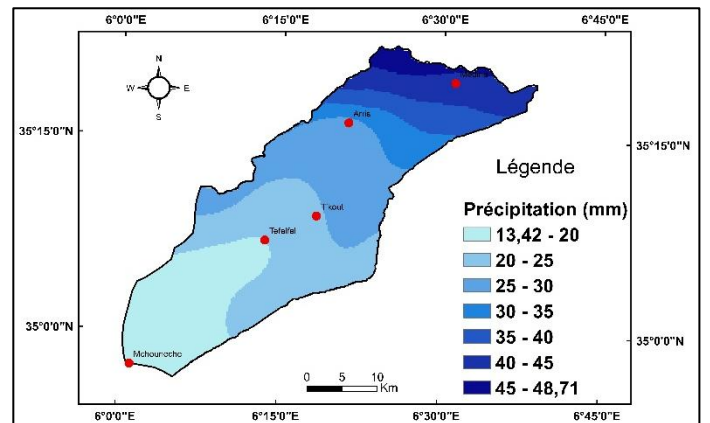


Figure IV- 59 : La précipitation moyenne mensuelle de Décembre

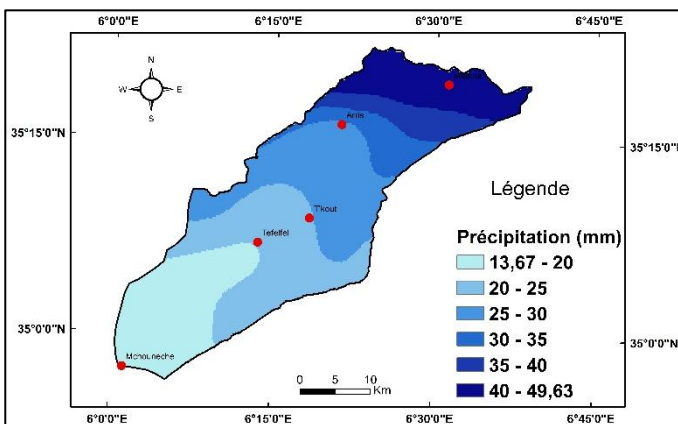


Figure IV- 60 : La précipitation moyenne mensuelle de Janvier

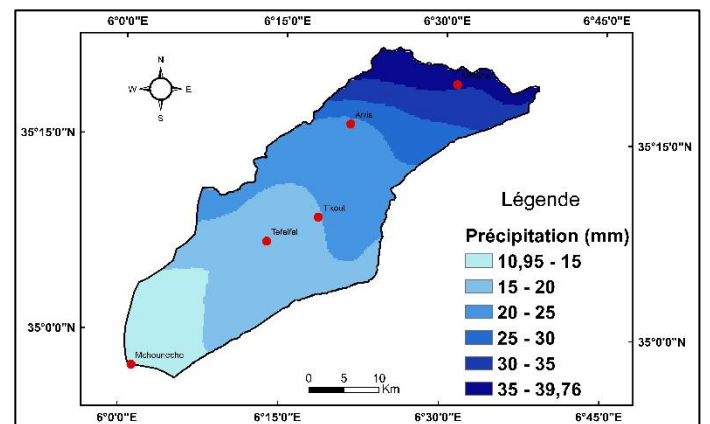


Figure IV- 61 : La précipitation moyenne mensuelle de Février

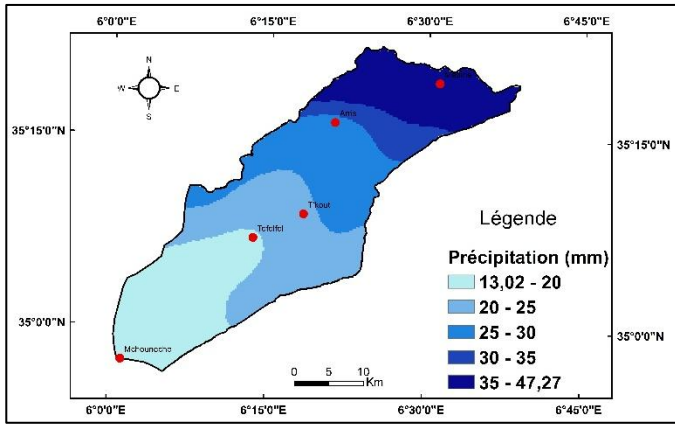


Figure IV- 62 : La précipitation moyenne mensuelle de Mars

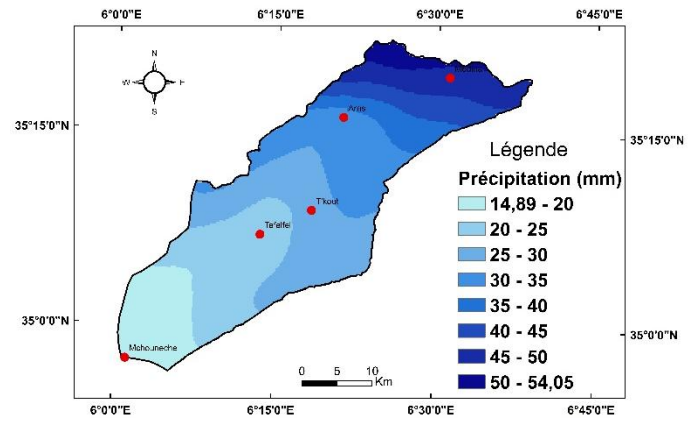


Figure IV- 63 : La précipitation moyenne mensuelle d'Avril

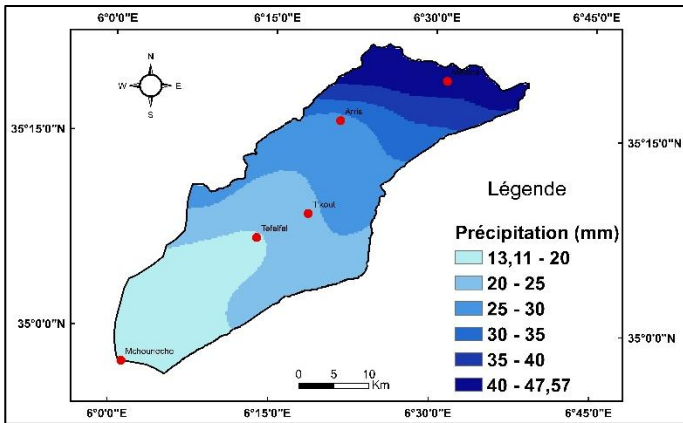


Figure IV- 64 : La précipitation moyenne mensuelle de Mai

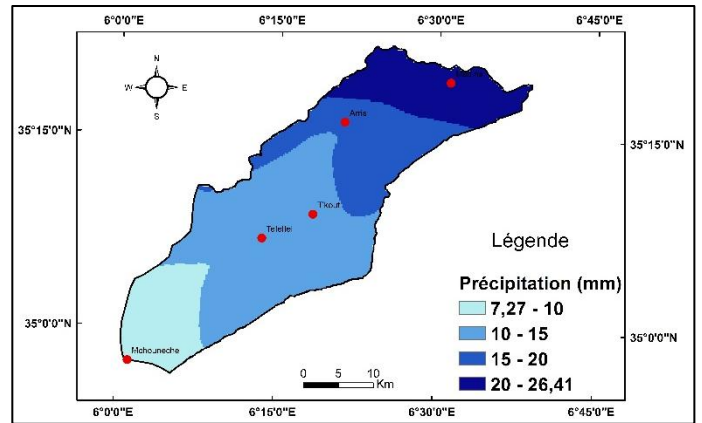


Figure IV- 65 : La précipitation moyenne mensuelle de Juin

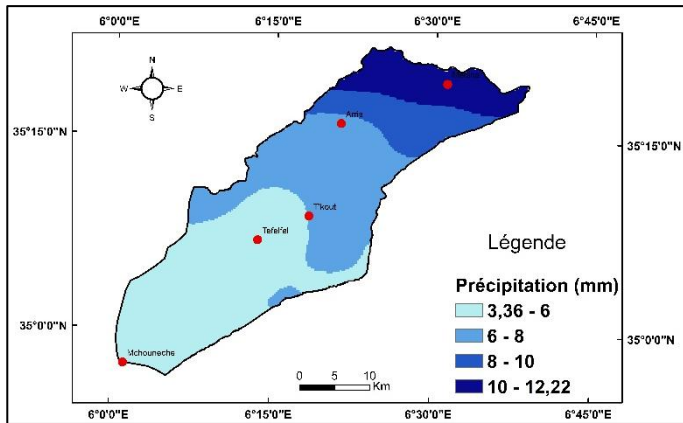


Figure IV- 66 : La précipitation moyenne mensuelle de Juillet

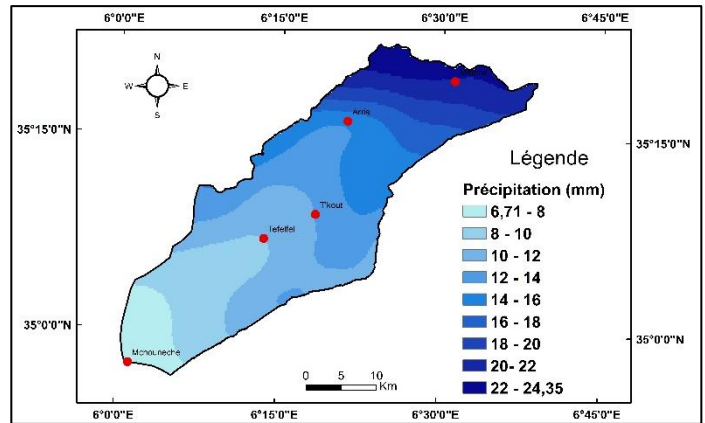


Figure IV- 67 La précipitation moyenne mensuelle d'Aout

IV-5-3- Coefficient de protection mensuelle du sol (Xa) dans le bassin versant jusqu'à M'chouneche :

Les valeurs mensuelles de (Xa) du bassin versant jusqu'à la station de M'chouneche sont déterminées à partir des cartes (Xa) du bassin versant d'Oued Labiod.

(Xa) mois de Janvier représentant des quatre mois d'Hiver (Janvier, Février, Mars)

(Xa) mois de Mars représentant des quatre mois de Printemps (Mars, Avril, Mai)

(Xa) mois de Juin représentant des quatre mois d'Eté (Juin, Juillet, Aout)

(Xa) mois de Septembre représentant des quatre mois d'Automne (Septembre, Octobre, Novembre)

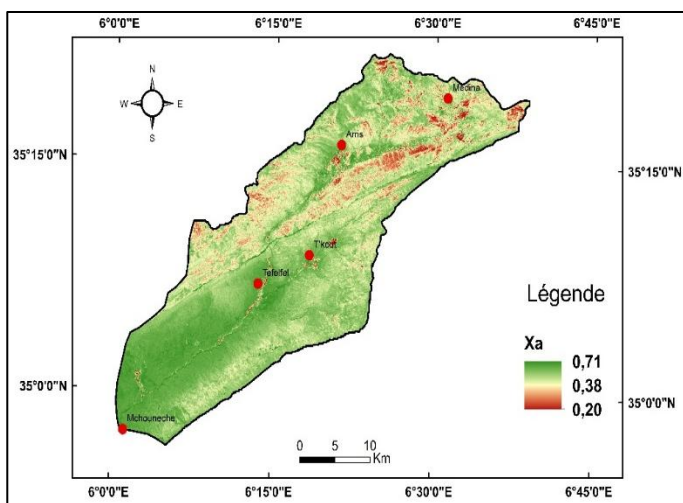


Figure IV- 68 : Le facteur (Xa) (Septembre, Octobre, Novembre)

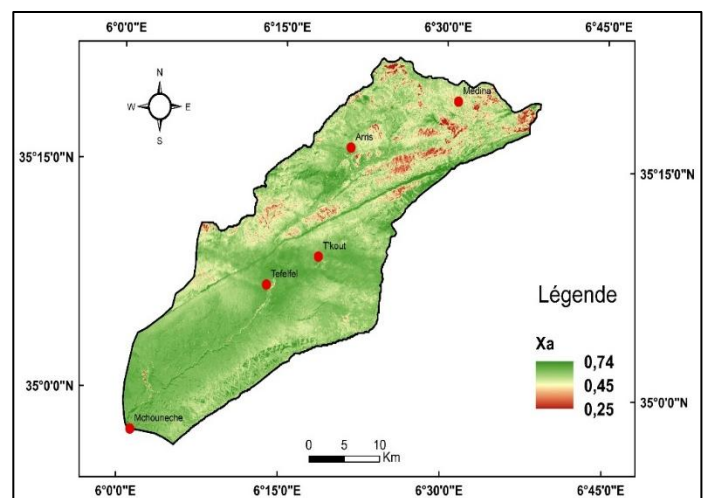


Figure IV- 69 : Le facteur (Xa) (Décembre, Janvier, Février)

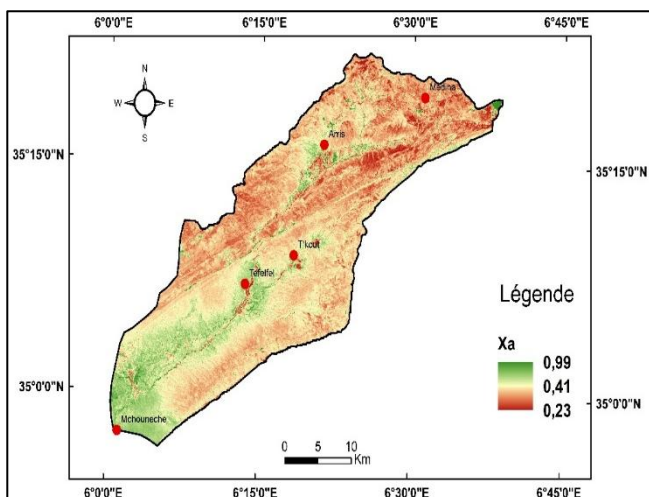


Figure IV- 70 : Le facteur (Xa) (Mars, Avril, Mai)

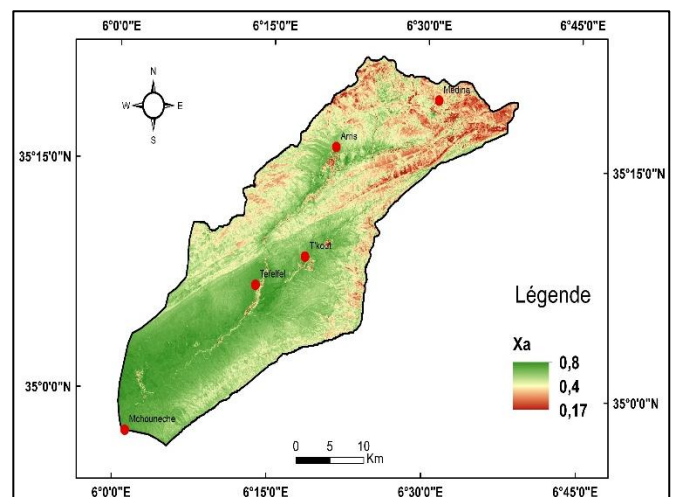


Figure IV- 71 : Le facteur (Xa) (Juin, Juillet, Aout)

IV-5-4- Coefficient d'érodibilité du sol (Y) dans le bassin versant jusqu'à M'chouneche :

La carte du facteur Y du bassin versant jusqu'à la station de M'chouneche est déterminée à partir de la carte du facteur Y pour le bassin versant d'Oued (Figure IV-72)

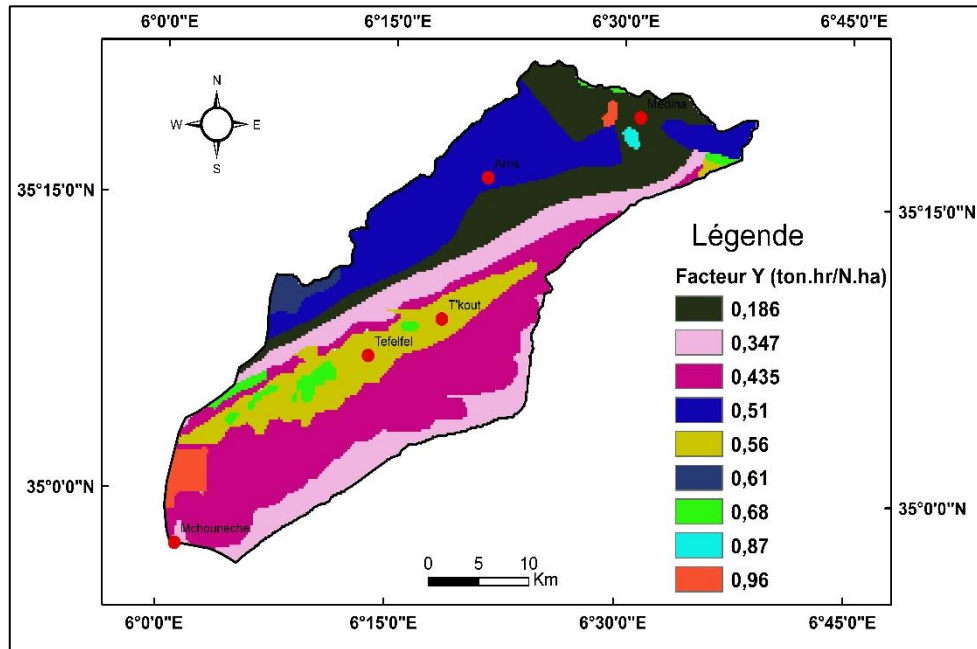


Figure IV- 72 Carte du facteur Y (SI) à partir des données Y interpolées du nomogramme de l'érodibilité des sols (Foster 1982)

IV-5-5- Coefficient de type de l'érosion mensuelle (ϕ) dans le bassin versant jusqu'à M'chouneche :

La carte du facteur (ϕ) du bassin versant jusqu'à la station de M'chouneche est déterminée à partir de la carte du facteur (ϕ) du bassin versant d'Oued Labiod

(ϕ) mois de Janvier représentant des quatre mois d'Hiver (Janvier, Février, Mars)

(ϕ) mois de Mars représentant des quatre mois de Printemps (Mars, Avril, Mai)

(ϕ) mois de Juin représentant des quatre mois d'Eté (Juin, Juillet, Aout)

(ϕ) mois de Septembre représentant des quatre mois d'Automne (Septembre, Octobre, Novembre)

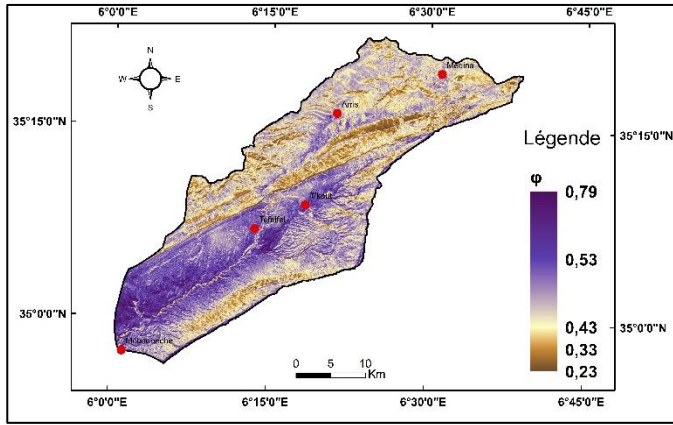


Figure IV- 73 : Le facteur (ϕ) (Septembre, Octobre, Novembre)

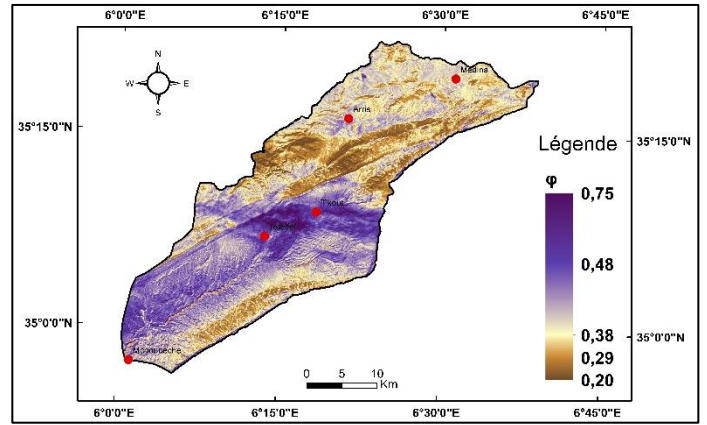


Figure IV- 74 : Le facteur (ϕ) (Décembre, Janvier, Février)

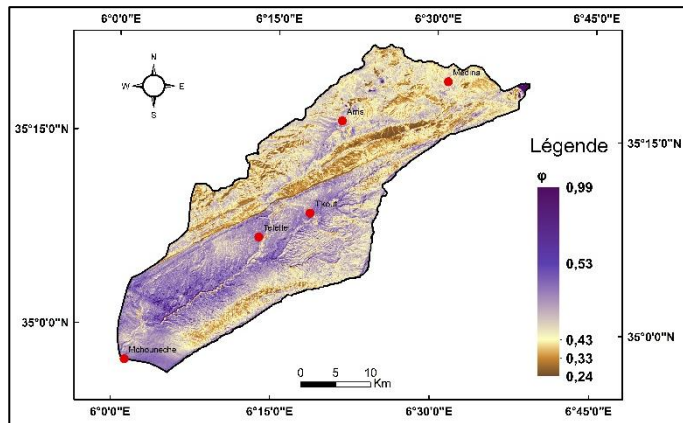


Figure IV- 75 : Le facteur (ϕ) (Mars, Avril, Mai)

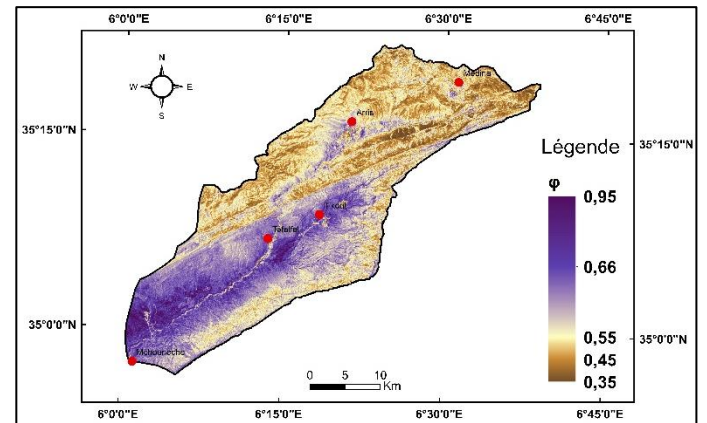


Figure IV- 76 : Le facteur (ϕ) (Juin, Juillet, Aout)

IV-5-6- Les pentes J_a dans le bassin versant jusqu'à M'chouneche en (%) :

La carte des pentes (J_a) du bassin versant jusqu'à la station de M'chouneche est déterminée à partir de la carte des pentes du bassin versant d'Oued Labiod

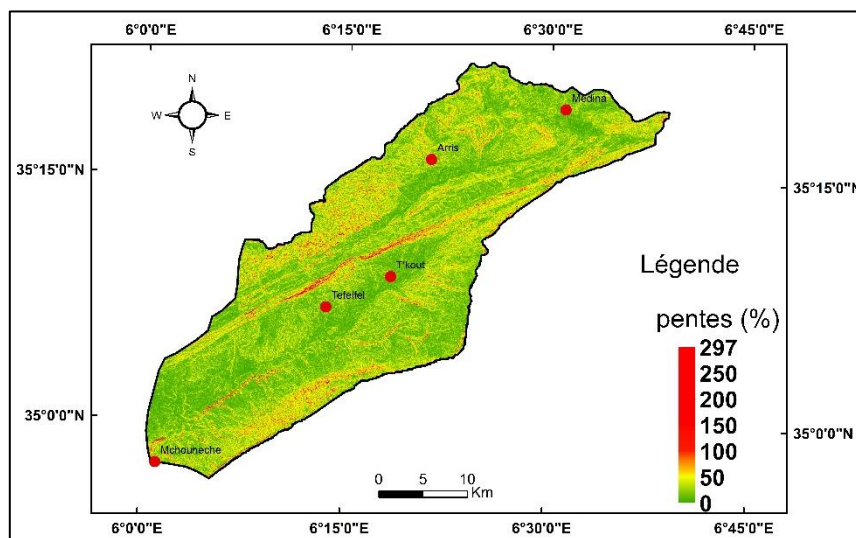


Figure IV- 77 : Carte des pentes J_a (%)

IV-5-7- Coefficient d'érosion mensuelle dans le bassin versant jusqu'à M'chouneche (Z) :

De la méthode on calcule le facteur mensuelle (Z) à M'chouneche, les valeurs de (Z) mois de Janvier représentant des quatre mois d'Hiver (Janvier, Février, Mars)

(Z) mois de Mars représentant des quatre mois de Printemps (Mars, Avril, Mai)

(Z) mois de Juin représentant des quatre mois d'Eté (Juin, Juillet, Aout)

(Z) mois de Septembre représentant des quatre mois d'Automne (Septembre, Octobre, Novembre

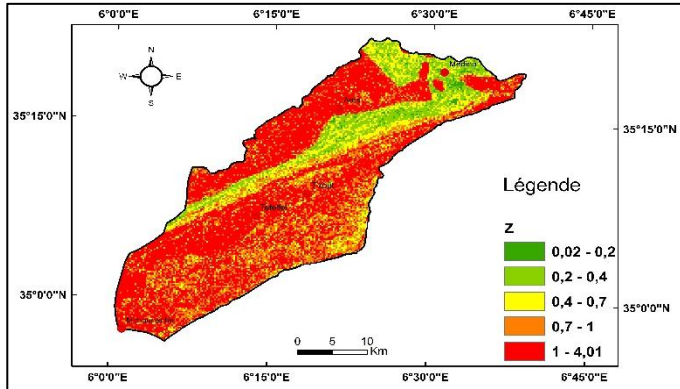


Figure IV- 78 : Coefficient d'érosion (Z) (Septembre, Octobre, Novembre)

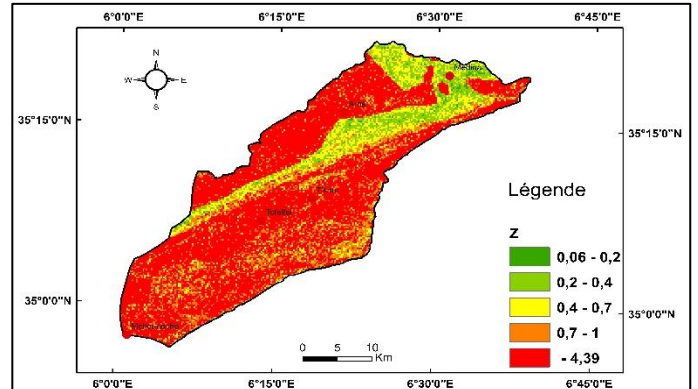


Figure IV- 79 Coefficient d'érosion (Z) (Décembre, Janvier, Février)

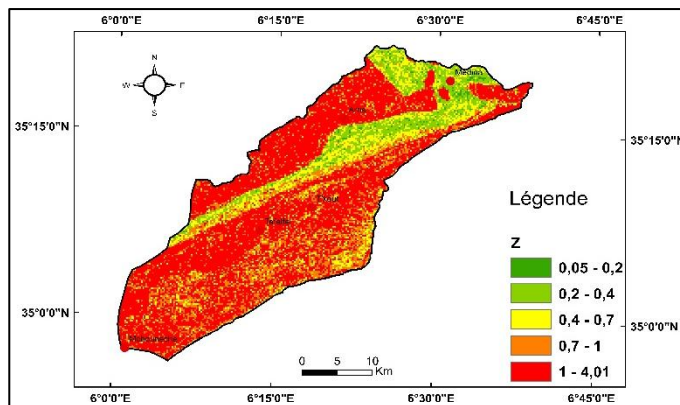


Figure IV- 80 Coefficient d'érosion (Z) (Mars, Avril, Mai)

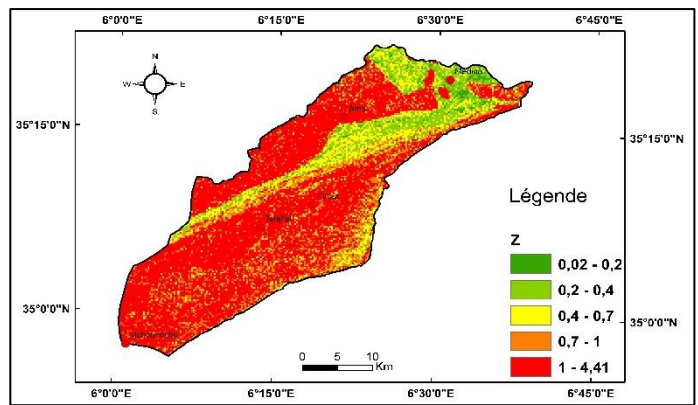


Figure IV- 81 : Coefficient d'érosion (Z) (Juin, Juillet, Aout)

IV-5-8- Volume moyen mensuel des sédiments érodés dans le bassin versant jusqu'à M'chouneche (W) :

En utilisant les cartes de (Coefficient d'érosion mensuelle, Précipitation moyenne mensuelle, La température moyenne mensuelle) et à l'aide de logiciel Arcgis On calcule le Volume moyen mensuel des sédiments érodés (W)

$$W = T * H * \pi * \sqrt{Z^3}$$

Nous classons les taux d'érosion et les apports solides mois par mois, les résultats de ce classement sont présentés dans les Figures IV-82 à Figures IV-93) et récapitulés dans les tableaux (IV-09 et IV-10).

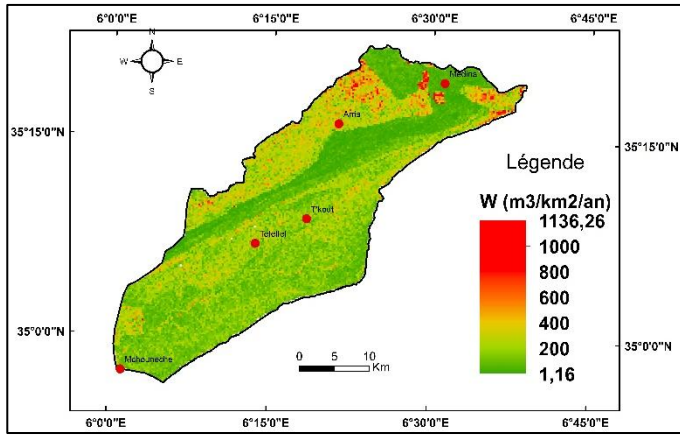


Figure IV- 82 : Volume moyen des sédiments (W) du Septembre

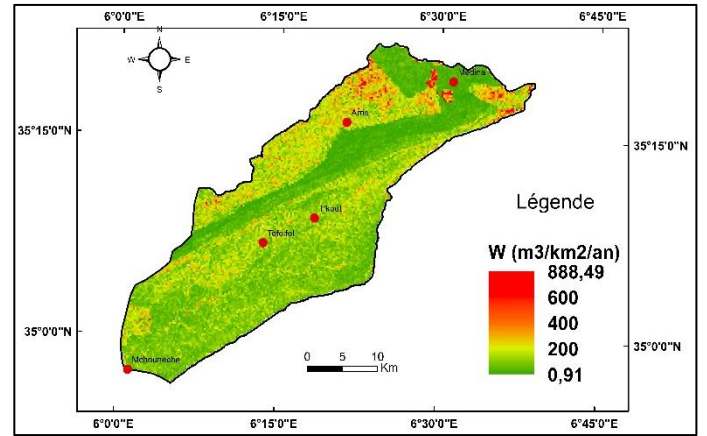


Figure IV- 83 : Volume moyen des sédiments (W) d'Octobre

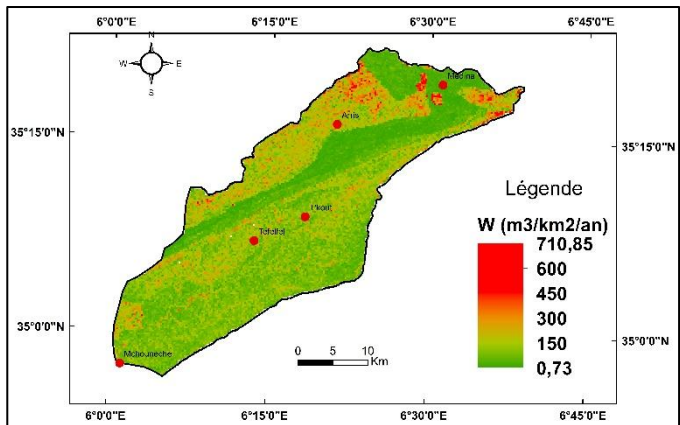


Figure IV- 84 : Volume moyen des sédiments (W) du Novembre

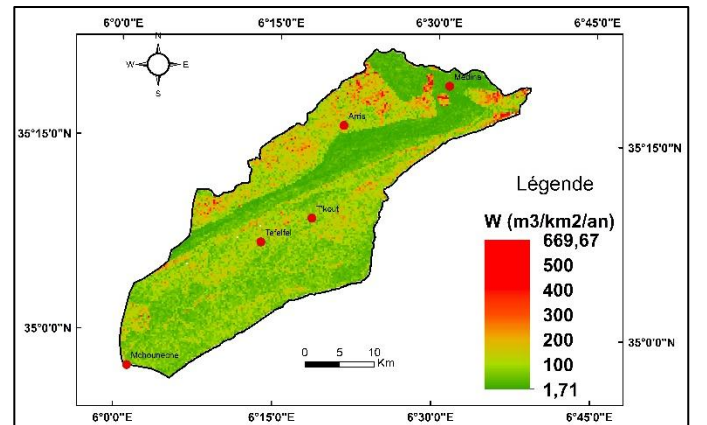


Figure IV- 85 : Volume moyen des sédiments (W) du Décembre

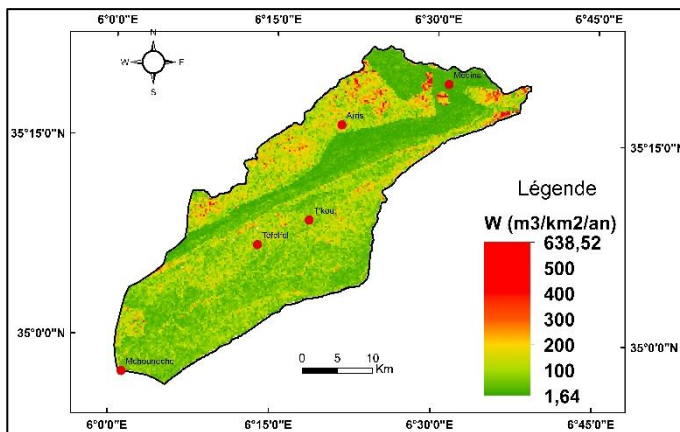


Figure IV- 86 : Volume moyen des sédiments (W) du Janvier

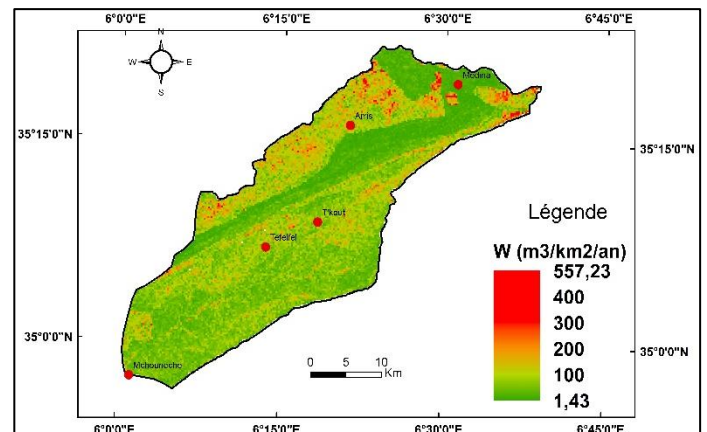


Figure IV- 84 : Volume moyen des sédiments (W) du Février

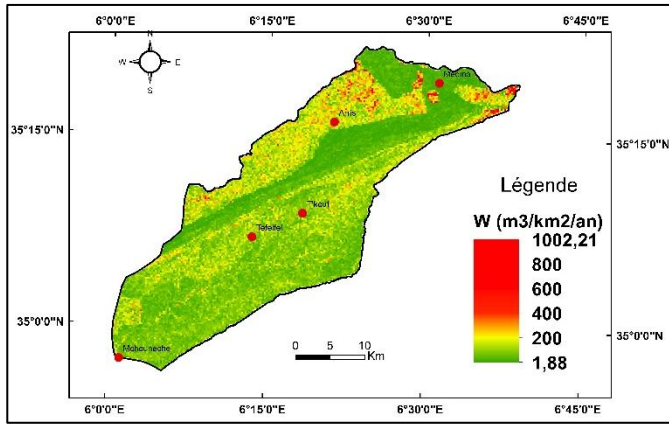


Figure IV- 88 : Volume moyen des sédiments (W) du Mars

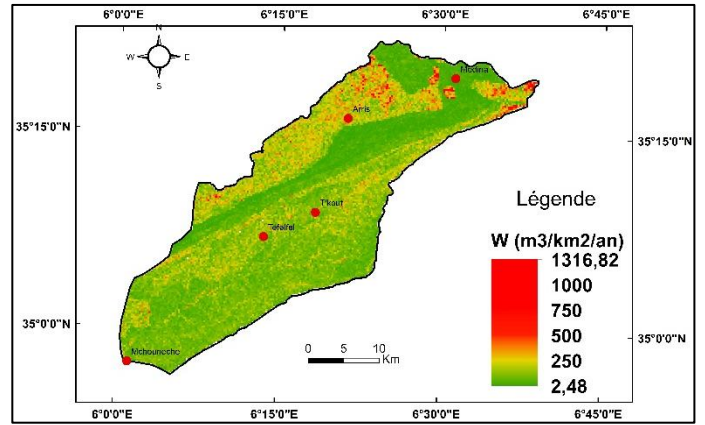


Figure IV- 89 : Volume moyen des sédiments (W) d'Avril

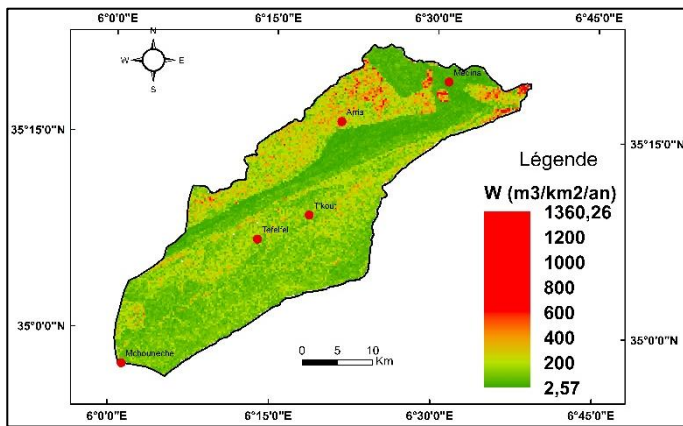


Figure IV- 90 : Volume moyen des sédiments (W) du Mai

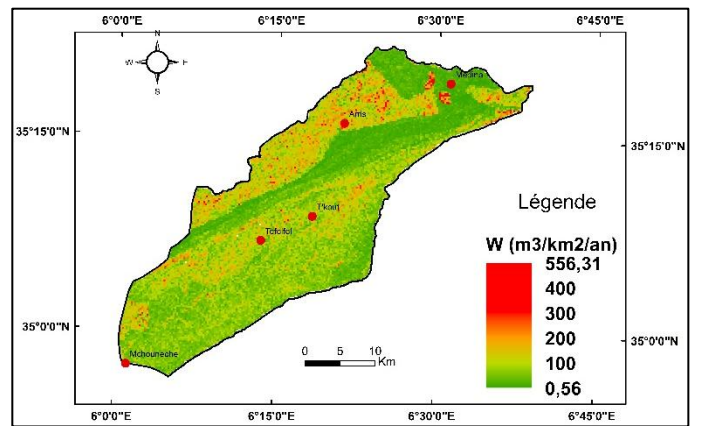


Figure IV- 91 : Volume moyen des sédiments (W) du Juin

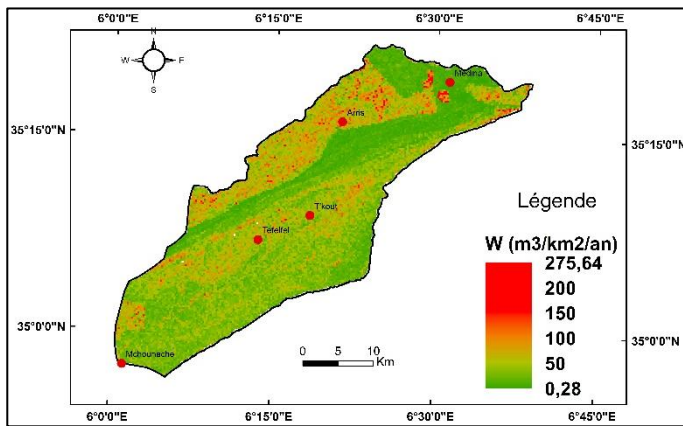


Figure IV- 92 : Volume moyen des sédiments (W) du Juillet

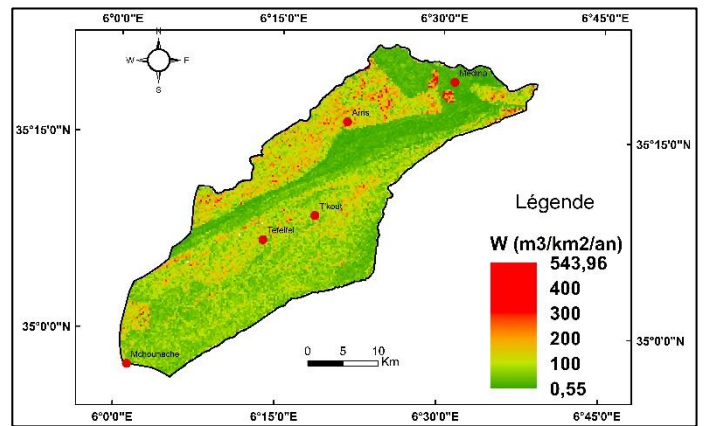


Figure IV- 93 : Volume moyen des sédiments (W) d'Aout

Tableau IV- 9 : Variabilité mensuelle des taux d'érosion et des quantités des apports solides érodées du bassin d'Oued Labiod.

Mois	W (ton)	G (ton)
Septembre	458076,03	87034,45
Octobre	360294,21	68455,90
Novembre	294598,61	55973,74
Décembre	260572,75	49508,82
Janvier	249123,86	47333,53
Février	216524,98	41139,75
Mars	275917,04	52424,24
Avril	360516,11	68498,06
Mai	368436,97	70003,02
Juin	237160,99	45060,59
Juillet	117002,33	22230,44
Aout	231646,72	44012,88
Total	3429870,60	651675,41

Tableau IV- 10 : Variation mensuelle des quantités apports solides érodées (EPM & enregistrement).

Mois	EPM			Mesurés	
	W (ton)	A.S. (ton)	A.S. (%)	A.S. (ton)	A.S. (%)
Septembre	458076,03	87034,45	13,36	226247,8	30,45
Octobre	360294,21	68455,90	10,50	105967,4	14,26
Novembre	294598,61	55973,74	8,59	55281,4	7,44
Décembre	260572,75	49508,82	7,60	5680,5	0,76
Janvier	249123,86	47333,53	7,26	3610,4	0,49
Février	216524,98	41139,75	6,31	38973,2	5,24
Mars	275917,04	52424,24	8,04	68817,8	9,26
Avril	360516,11	68498,06	10,51	56982	7,67
Mai	368436,97	70003,02	10,74	64027,1	8,62
Juin	237160,99	45060,59	6,91	60153,7	8,09
Juillet	117002,33	22230,44	3,41	23259,3	3,13
Aout	231646,72	44012,88	6,75	34108,7	4,59

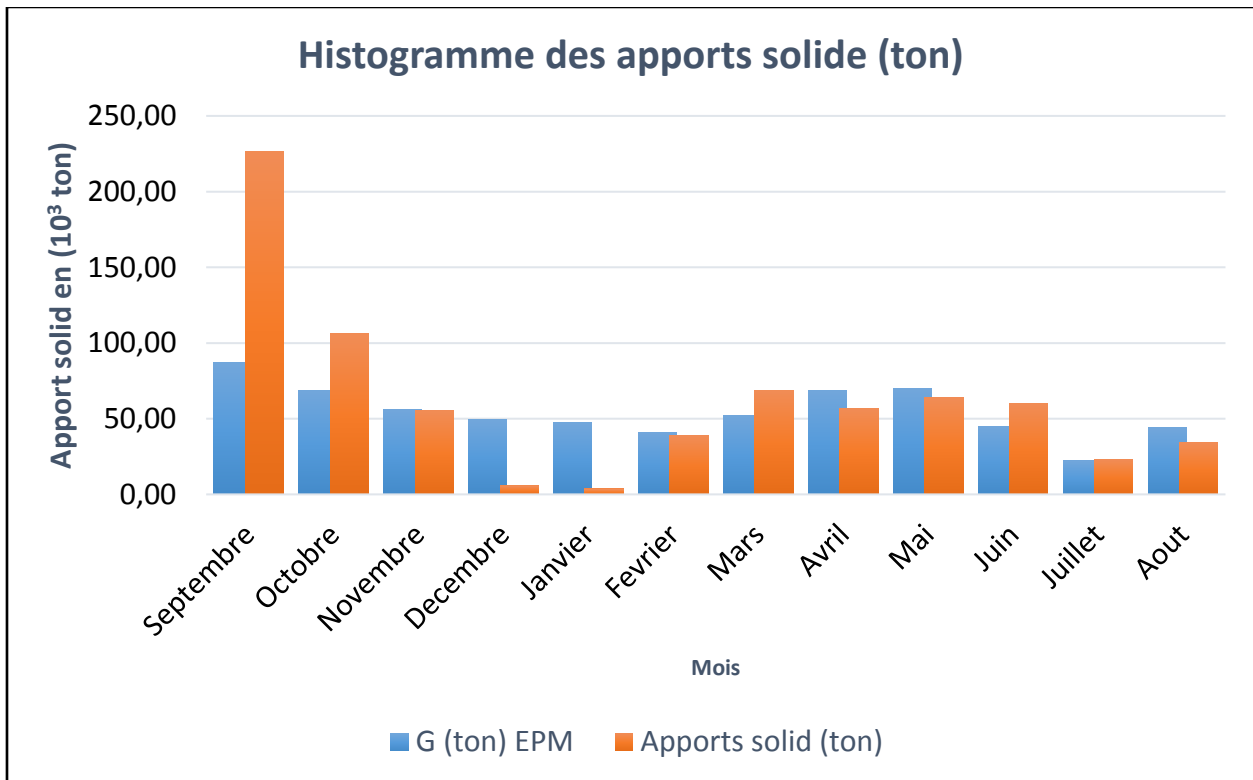


Figure IV- 94 : Variation mensuelle des quantités apports solides érodées (EPM & enregistrement).

Pour conclure, la comparaison entre les résultats des pourcentages des sédiments érodés des bassins (estimés par EPM) arrivés à l'exutoire du bassin (SDR), et les sédiments mesurés au niveau de la station hydrométrique de M'CHOUNECHE (Tableaux IV-10 et Figure IV-94) montre une bonne concordance en ce qui concerne les résultats d'érosions à l'échelle annuelle et leur répartition à l'échelle mensuelle.

IV-5- Conclusion générale

Il est important d'évaluer l'exactitude des estimations de l'aléa érosion des sols, provenant de n'importe quel modèle, qui pourraient être employées dans le contexte de la protection des sols. C'est l'objectif principal de cette étude, qui est l'application du modèle EPM dans le bassin versant d'Oued Labiod, pour estimer l'érosion du sol et d'étudier sa distribution spatiale. Les résultats sont comparés avec les valeurs enregistrées au niveau de la station hydrométrique de M'chouneche.

La comparaison entre les résultats des sédiments érodés du bassin (estimés par EPM) arrivant à l'exutoire (SDR), et les sédiments mesurés au niveau de la station hydrométriques M'CHOUNECHE montre une bonne concordance en ce qui concerne les résultats d'érosions à l'échelle annuelle (différence de 6%). Par contre, à l'échelle mensuelle, la différence atteint 17%; leur répartition à l'échelle mensuelle est acceptable.

Cependant si on tient compte de la variation mensuelle du coefficient de délivrance (SDR) durant l'année, les valeurs du SDR réellement moins en hiver qu'en été à cause de l'état de sol qui diffère d'une saison à un autre, c'est possible qu'on aura des résultats plus proches des mesures à l'échelle mensuelle.

Dans l'ensemble, le modèle donne des résultats acceptables permettant d'identifier les zones les plus sensibles à l'érosion, à risque et les zones nécessitant une action prioritaire dans le bassin. Il présente un outil d'amélioration de la gestion du phénomène.

En perspective un point important doit être développé pour avancer dans la modélisation du phénomène d'érosion c'est l'étude de variation du coefficient de délivrance à l'échelle spatiale et temporelle.

Bibliographie

ANRH 2005. Cadre du réseau hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux ANRH; Alger

Annuaire pluviométrique de l'Algérie 1973. Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique sous-direction des ressources en eau, service hydrologie année 1972 –1973.

ANSER A., 1998, la pluviométrie en Algérie du Nord : évolution et variabilité (1931-1995), Thèse de doctorat d'état, Université de Constantine, Institut des Sciences de la terre, 260p.

Belleudy, P., Valette A., Graff B., 2009. Passive hydrophone monitoring of bedload in River beds: first trials and exploration: USGS. Scientific Investigations Report.

Cote M., 1998a, Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, Rhumel, n° 6, pp. 57-71. ANRH, (2002)"Carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie au 1/500 000" (2 feuilles, notice de 42 pages). Ministère des Ressources en Eau, éd. I.N.C.T., Alger,

BERGHOUT, 2017 ; MODELISATION DU TRANSPORT SOLIDE DANS CERTAINS BASSINS VERSANTS DU NORD EST DE L'ALGERIE ; Thèse de doctorat Béjaia 2017

Chaumont M. et Paquin C., 1971. Carte pluviométrique de l'Algérie, éch. 1/50 000. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord, Alger. 4 feuilles. 1 notice

Demmak A., 1982, Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie Septentrionale. Thèse de Docteur- Ingénieur. Université Paris 6. France. 323 P. + Cartes.

Demmak A., 1982. recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins. AISH. 144 :403-414.

Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G., and Moldernhauer, W. G. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J. Soil. Water Conserv. 3fr 355-359.

MILEVSKI I., (2008): Estimation of Soil Erosion Risk in the Upper part of Bregalnica Watershed Republic of Macedonia, Based on Digital Elevation Model and Satellite Imagery, 5th ICGIS 2008, Istanbul.

Roche Marcel 1963. Hydrologie de surface Gauthier-Villars ORSTOM, Paris.

Univ. Nice 2008. La dégradation des sols dans le monde ; universite nice sphia antipolis site internet.

USDA (1972). Sediment sources, yields, and delivery ratios. In National Engineering Handbook, Section 3 Sedimentation.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses--A guide to conservation planning: Agricultural Handbook no. 537, Sci. and Educ. Admin., U.S. Dept. Agr., Washington, D.C.

ZORN, M. AND KOMAC, B. (2008): Response of soil erosion to land use change with particular reference to the last 200 year (Julian Alps, Western Slovenia). Presented at XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. Bled, Slovenia.