

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: CHIKEUR Aymen

DJAIL Siradj Edinne

Thème:

**ETUDE DE LA VARIATION SPATIALE DU
COEFFICIENT DE DELIVRANCE DE SEDIMENTS
-SDR- CAS DU BASSIN VERSANT D'OUED
CHEMORA**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. BERGHOUT Ali..... Université de M'sila Encadreur

Doctorant BEN AMOR Samir Université de Batna 2 Co-Encadreur

Dr. Université de M'sila Examineur

Dr. Université de M'sila Examineur

Année universitaire : 2019 /2020

الملخص

يعتبر تآكل التربة وما ينتج عنه من ترسب عاملاً رئيسياً في مشاكل مستجمعات المياه في العديد من البلدان النامية مثل الجزائر

نستخدم حوض واد شمرة الهيد وجرافي كمنطقة عمل. درسنا الرواسب التي تصل إلى مخرج الحوض من خلال دراسة

التباين في نسبة توزيع رواسب SDR وذلك بدراسة نموذج -RUSLE-

Résumé

L'érosion des sols et la sédimentation qui en résulte sont un facteur majeur dans les problèmes de bassin versant dans de nombreux pays en développement tels que l'Algérie

Nous utilisons le bassin hydrographique de l'oued Shamora comme zone de travail. Nous avons étudié les sédiments qui atteignent l'exutoire du bassin en étudiant la variation spatiale du rapport de distribution des sédiments SDR -avec le modèle RUSLE-

Summary

Soil erosion and the resulting sedimentation are a major factor in watershed problems in many developing countries such as Algeria ;

We use the watershed of Wade Chemora as a work area. We studied the sediments that reach the outlet of the basin by studying the spatial variation of the SDR sediment distribution ratio By studying the RUSLE model.

REMERCIEMENT:

*Tout d'abord, nous tenons à remercier d'abord
Que Dieu nous accorde toute détermination et volonté
La force de faire cet humble travail.*

*En présentant ce mémoire, nous aimerions d'abord
Nous exprimons notre profonde gratitude à notre promoteur,
Mr.*

*BERGHOUT Ali, pour sa confiance, pour lui
Avec des encouragements constants et un suivi étroit de notre
travail en dirigeant ce mémoire.*

*Nous tenons également à remercier et à exprimer notre
profonde*

*Nos respects à tous les membres du jury qui nous ont
gentiment donné*

*Honoré d'assister à la discussion du maître pour jugement
La qualité du travail effectué.*

*Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué
De près ou de loin dans le développement de cette affaire.*

DEDICACE:

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère Mère et à mon cher Père, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affectations sans limite.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance:

A mon Cher frère, Haithem

A mes Chères Sœurs, Sirin et son mari " Fateh " et leurs enfants, " Ossama et Tawbah", Rihab, Hana, Balsam.

A toute ma famille.

à mes amis

Dans et hors des études (DRIFDja3bout)S

A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.

Aymen

DEDICACE :

Je dédie cette mémoire :

*À mes chers parents, **ma mère** et **mon père***

*Pour leur amour, leur soutien et leurs encouragements,
que Dieu les protège et leur accorde longue vie.*

À mes frères

À ma sœur

À toute la famille, sans exception

*À mes amis et camarades avec qui j'ai passé mes
années d'école.*

Sans oublier que tous les enseignants du primaire,

Professeurs de collège, lycée et université, bien sûr

Pour ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Siradj-Eddine

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GENERAL :	10
CHAPITRE 01 :Description physiographique du milieu d'étude	12
1.1. Introduction :	12
1.2. Aperçu géographique :	12
1.3 Description physiographique :	13
1.3.1. Orographie :	13
A. Le relief :	13
B. La plaine :	13
C. Piémont :	13
1.3.2 Lithologie :	14
• Le Crétacé :	14
• Le Tertiaire :	14
• Le Quaternaire:	15
1.3.3. Les pentes :	16
1.3.4 Occupation du sol :	18
1.3.5. Classification de la végétation :	19
A. Les surfaces bien protégées :	19
B. Les surfaces incomplètement protégées :	19
C. Les surfaces mal protégées ou nues :	19
1.4 Caractéristiques morpho-métriques et réseau hydrographique des bassins versants :	20
1.4.1. Présentation :	21
1.4.2. Profils en long :	23
1.4.3. §Le temps de concentration :	24
1.4.4. Récapitulatif :	25
1.5. Conclusion :	26
CHAPITRE 02 :Les modèles d'estimation d'érosion et taux de livraison des sédiments	
SDR	28
2.1. Introduction:	Erreur ! Signet non défini.
2.2 L'érosion de sol :	29
2.2.1. Processus: Erosion hydrique - Transport solide - Dépôt des sédiments :	30
A. Le détachement :	31
B. Le transport :	31

C. La sédimentation :.....	32
2.2.2. Facteurs influençant l'érosion :.....	33
A. Le facteur climatique :.....	33
B. Le facteur de la topographie :.....	33
C. Le facteur de couvert végétal :.....	34
D. Le facteur de la nature du sol :.....	34
2.2.3. L'impact de l'érosion dans l'Algérie :.....	35
2.3. Les modèles d'estimation d'érosion :.....	35
A. Equation universelle des pertes en sols (USLE) :.....	36
B. Modèle RUSLE :.....	39
C. Équation universelle de perte de sol modifiée (MUSLE) :.....	40
D. Modèle EPM "Erosion Potentiel Méthode":.....	41
2.3. Le taux de livraison des sédiments (SDR) :.....	42
2.3.1. Modèles tenant compte de la variation spatiale :.....	43
A.Modèle mathématique :.....	43
B.Modèles empiriques :.....	45
2.4. Conclusion :.....	48
CHAPITRE 03 :Estimation du taux de livraison de sédiment SDR.....	50
3.1. Introduction :.....	50
3.1.1. Le taux annuel de pertes en sol (A) :.....	50
3.2. Comparaison entre les résultats simulés par la modélisation et mesurés à la station de Chemora :.....	54
3.3. Calcul du rapport de la livraison de sédiment (SDR) :.....	57
3.3.1. A l'échelle mensuelle et annuelle par RUSLE :.....	61
3.4. Conclusion :.....	66
CONCLUSION GENERALE :	68
Références Bibliographiques :	69
Annexes :	71

LISTE DES TEBLEAUX:

Tableau 1-1 : Répartition des classes des pentes dans le bassin versant d'Oued Chemora.	17
Tableau 1-2 : Les principales caractéristiques physiographiques du bassin Chemora.	25
Tableau 2-1 :L'état d'envasement de quelques barrages algériens (Remini et al,2003)	35
Tableau 3-1 : Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées et mesurées du bassin versant d'Oued Chemora (Septembre 1989 à Aout 1990).....	54
Tableau 3-2 : Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d'Oued Chemora (Septembre 1989 à Aout 1990).....	55
Tableau 3-3 : Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d'Oued Chemora (Septembre 1991 à Aout 1992).....	56
Tableau 3-4 :Variation des valeurs de SDR à l'échelle mensuelle du bassin d'Oued Chemora (Septembre 1989 à Aout 1990).....	61
Tableau 3-5 : Variation des valeurs de SDR à l'échelle mensuelle du bassin d'Oued Chemora (Septembre 1990 à Aout 1991).....	61
Tableau 3-6 : Variation des valeurs de SDR à l'échelle mensuelle du bassin Chemora (Septembre 1991 à Aout 1992).....	62

LISTE DES FIGURES:

Figure 1.1. (a) : Bassin versant Algériens.....	13
Figure 1.1 (b) : Bassin versant d'Oued Chemora dans l'ensemble des Hauts plateaux Constantinois	13
Figure 1.2: Bassin versant d'Oued Chemora.....	14
Figure 1.3: Bassin versant d'Oued Chemora	16
Figure 1.4: Bassin versant d'Oued Chemora	18
Figure 1.5: carte d'occupation du sol de Bassin versant d'Oued Chamora Caractéristiques morpho-métriques et réseau hydrographique des bassins versants :	20
Figure 1.6 : carte du réseau hydrographique de Bassin versant Oued Chemora.....	22
Figure 1.7 : Profil en long d'Oued Chemora	24
Figure 2.1: Processus typiques d'érosion et de sédimentation d'après ASCE-1970 dans les bassins versants. (Ana Luiza Borges, 1993).....	30
Figure 2.2: Mécanisme de l'érosion.....	30
Figure 2.3: Effet Splash (Gourfi, 2014).....	31
Figure 2.4: Diagramme de (Hjulström F. 1935)	32
Figure 2.5: Mécanisme de l'érosion hydrique (Melalih, 2012).....	33
Figure 2.6: la relation linéaire entre le taux d'érosion E et le rendement en sédiments Y	43
Figure 2.7: Visualisation schématique pour relier Y et E.....	44
Figure 2.8: Relations entre SDR et(a) SLP, et (b) R	1
Figure 3.1: Carte du taux d'érosion calculé par A dans le bassin d'Oued Chemora du 1989 -1990	51
Figure 3.2: Carte du taux d'érosion calculé par A dans le bassin d'Oued Chemora du 1990 - 1991	52
Figure 3.3: Carte du taux d'érosion calculé par RUSLE dans le bassin d'Oued Chemora du 1991 - 1992	53
Figure 3.4: Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d'Oued Chemora (Septembre 1990 à Aout 1991).....	55
Figure 3.5 : Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d'Oued Chemora (Septembre 1990 à Aout 1991).....	56
Figure 3.6 : Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d'Oued Chemora (Septembre 1991 à Aout 1992).....	57
Figure 3.7: Carte du pourcentage d'argile dans le bassin versant Chemora	59
Figure 3.8: Carte de la variation du SDR dans le bassin versant Chemora	60
Figure 3.9 : Carte du taux d'érosion calculé par RUSLE dans le bassin d'Oued Chemora arrivé à la station de Chemora du Septembre 1989 à Aout 1990	63
Figure 3.10: Carte du taux d'érosion calculé par RUSLE dans le bassin d'Oued Chemora arrivé à la station de Chemora du Septembre 1990 à Aout 1991	64
Figure 3.11: Carte du taux d'érosion calculé par RUSLE dans le bassin d'Oued Chemora arrivé à la station de Chemora du Septembre 1989 à Aout 1990	65

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERAL :

L'érosion du sol et la sédimentation qui en résulte sont les principaux problèmes des bassins versants dans de nombreux pays en développement (comme l'Algérie). Par conséquent, l'érosion du sol et la production de sédiments dans le bassin versant sont des contraintes importantes à l'utilisation durable des terres, à la qualité des eaux et à l'état et à la capacité des barrages. Les matières transportés depuis le bassin versant, dans les lits des cours d'eau jusqu'à l'exutoire du bassin, présentent un pourcentage des matières totales érodées appelé rendement ou coefficient de délivrance de sédiments -SDR-.

Ce rendement en sédiments "coefficient de délivrance de sédiments - SDR -" dépend des facteurs de perte de sol essentiellement la nature du sol et du réseau hydrographique assurant le transport de sédiments et ces facteurs varient spatialement dans le bassin.

Dans ce contexte rentre notre étude intitulée "Etude de la variation spatiale du coefficient de délivrance de sédiments - SDR - cas du bassin versant Oued Chemora"

Le travail a été mené dans la vallée de l'Oued Chemora, située dans les Aurès (Est de l'Algérie).

Il est scindé en trois principaux chapitres :

- Premier chapitre définit la zone de notre étude : Bassin versant de oued Chemora.
- Le second chapitre est consacré à la description des différents modèles d'estimation du coefficient de délivrance de sédiments - SDR -.
- Le dernier chapitre sera consacré à l'application du modèle choisie dans notre zone de l'étude.
- En fin, le mémoire sera conclu par une conclusion générale.

CHAPITRE 01 :
Description
physiographique du milieu
de l'étude

CHAPITRE 01 : Description physiographique du milieu d'étude

1.1. Introduction :

Le bassin versant d'Oued Chemora a été choisi comme bassin d'application de notre travail pour la diversité des données qui y sont disponibles. Nous présentons dans ce chapitre les principales caractéristiques du bassin.

1.2. Aperçu géographique :

La zone d'étude le bassin d'Oued Chemora appartient au grand bassin hydrographique "les hauts plateaux constantinois".

Le grand bassin hydrologique les hauts plateaux constantinois N°07 selon la nomenclature de l'ANRH englobe sept (07) sous bassins versants (ANRH, 2005) dont le bassin versant d'Oued Chemora, est situé dans le massif des Aurès. Il couvre une superficie de 741 km² (à la station de Chemora), dont les rebords sont constitués des massifs montagneux des Aurès au Sud, Djebels Bou-Arif au Nord-Ouest, Djebels Asker et Ras er Rih au Sud-Ouest, Djebels Tizagrouit au Sud-est, et Djebels Ammrane au Nord-Est. La conjonction des facteurs géographiques et climatiques (semi-aridité) a donné naissance à un écoulement endoréique ; L'eau s'écoule à l'intérieur des terres vers des lacs salés (Sebkhas, Garaas) qui constituent de ce fait leur niveau de base géomorphologique et leur exutoire hydrologique.

L'Oued Chemora résulte de la jonction de trois principaux affluents : Oued Reboa, Oued Morri et Oued Soudhes.

L'Oued Chemora se perd après un trajet d'environ 30 km, dans les lacs salés des hautes plaines Constantinoises, il s'agit de Sebkhet-Djendli, Gaaret-Ank-Djmel, et Gaaret El Taraf.

Le bassin versant englobe 7 Communes et 3 Daïras qui s'étendent des communes Oued Tagat Foum Toub (Sud) jusqu'à la commune de Chemora (Nord) selon les coordonnées géographiques suivantes :

- Longitude varie entre 6,24° et 6,64° et Latitude varie entre 35,32° et 35,61°

1.3. Description physiographique :

1.3.1. Orographie :

Il est possible de subdiviser le bassin d'Oued Chemora en trois milieux naturels bien distincts :

A. Le relief :

La zone se compose d'une chaîne de montagnes de hauteur variable entre 1400 m et 2321 m, et ce secteur constitue la partie la plus irriguée

B. La plaine :

Il occupe la majeure partie de la zone du bassin et s'étend au nord et à l'est.

C. Piémont :

Il est délimité par des courbes de niveau de 1200 m et 900 m et s'étend jusqu'aux rives des lacs salés ont une pente inférieure à 8%. Cette partie du bassin est drainée principalement par Oued Chemora.

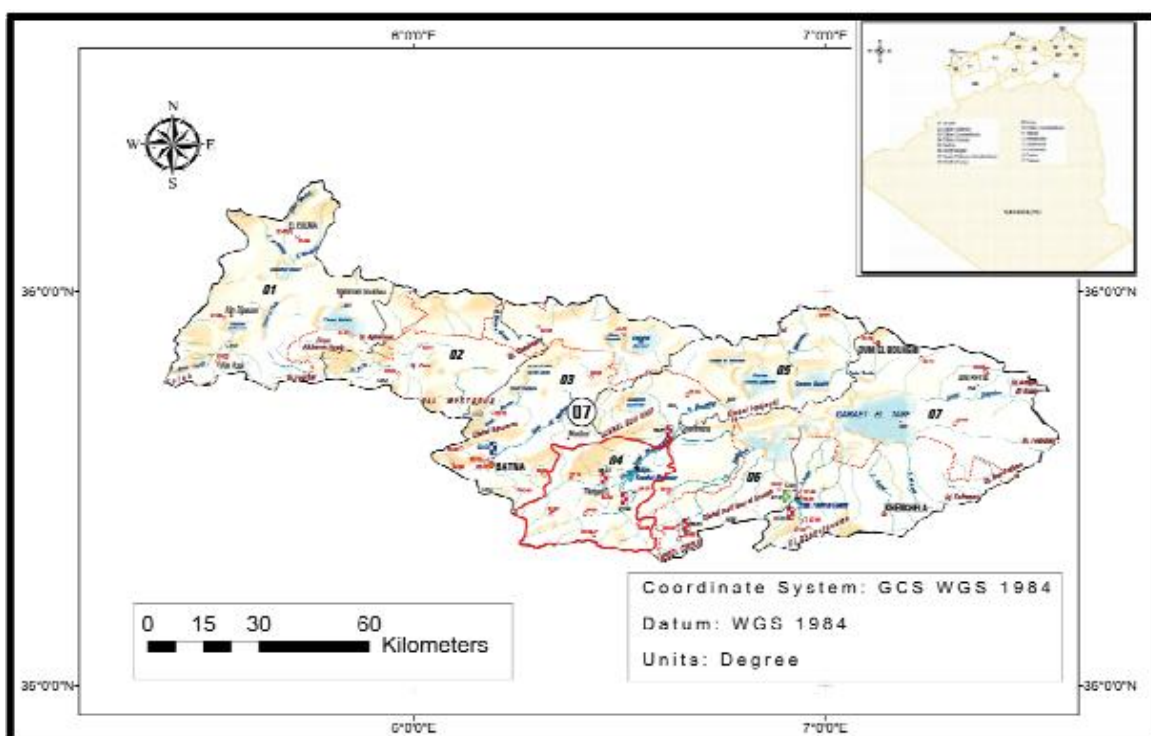


Figure C.1. (a) : Bassin versant Algériens

Figure C.1 (b) : Bassin versant d'Oued Chemora dans l'ensemble des Hauts plateaux Constantinois

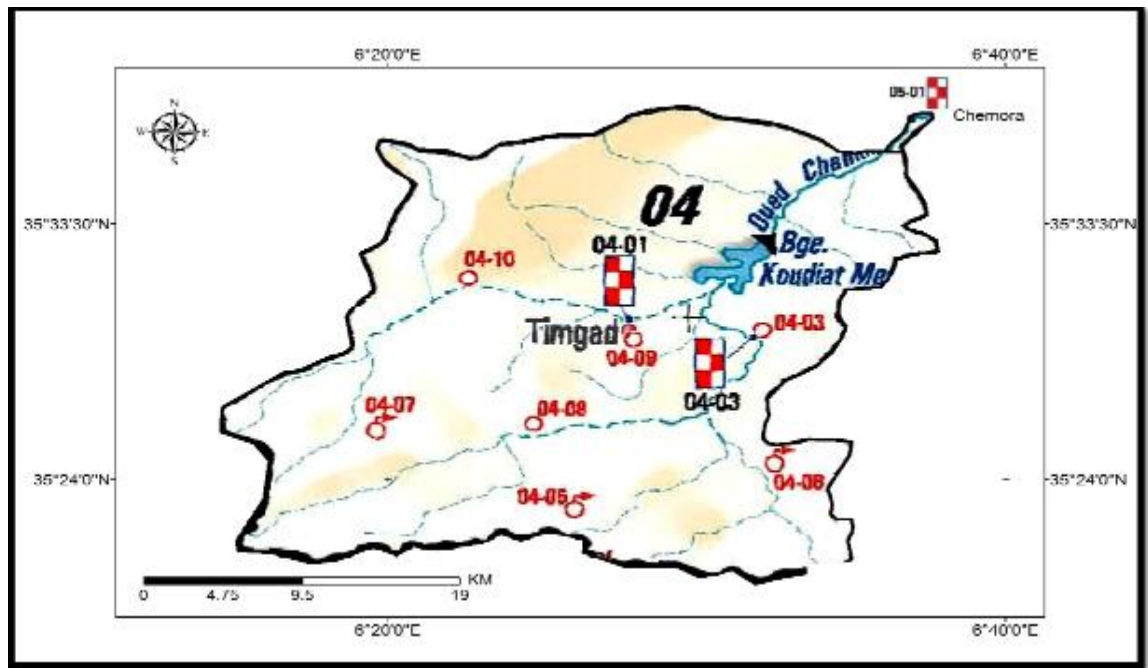


Figure C.2: Bassin versant d'Oued Chemora

1.3.2. Lithologie :

La nature rocheuse de la zone a un effet évident sur le régime alimentaire du cours d'eau en termes d'érosion du sol et de transport solide. Les terrains les plus anciens qui affleurent dans le secteur étudié sont attribués au Crétacé, et les plus récentes au Quaternaire (Laffite, 1939) .

- **Le Crétacé :**

Il constitue les principaux affleurements des monts des Aurès et des Djebels Bou-Arif. La série de Crétacé inférieur à une extension réduite, elle affleure au Nord-Oued du bassin (Dj.Bou-Arif), il s'agit d'une série à dominante calcaire, bien litée et attribuée à l'Aptien. Alors que le Crétacé supérieur qui s'étend du Cénomaniens au Maastrichtien, est constitué essentiellement de marno-calcaire et de marne dominant, il apparaît sur la majorité des reliefs.

- **Le Tertiaire :**

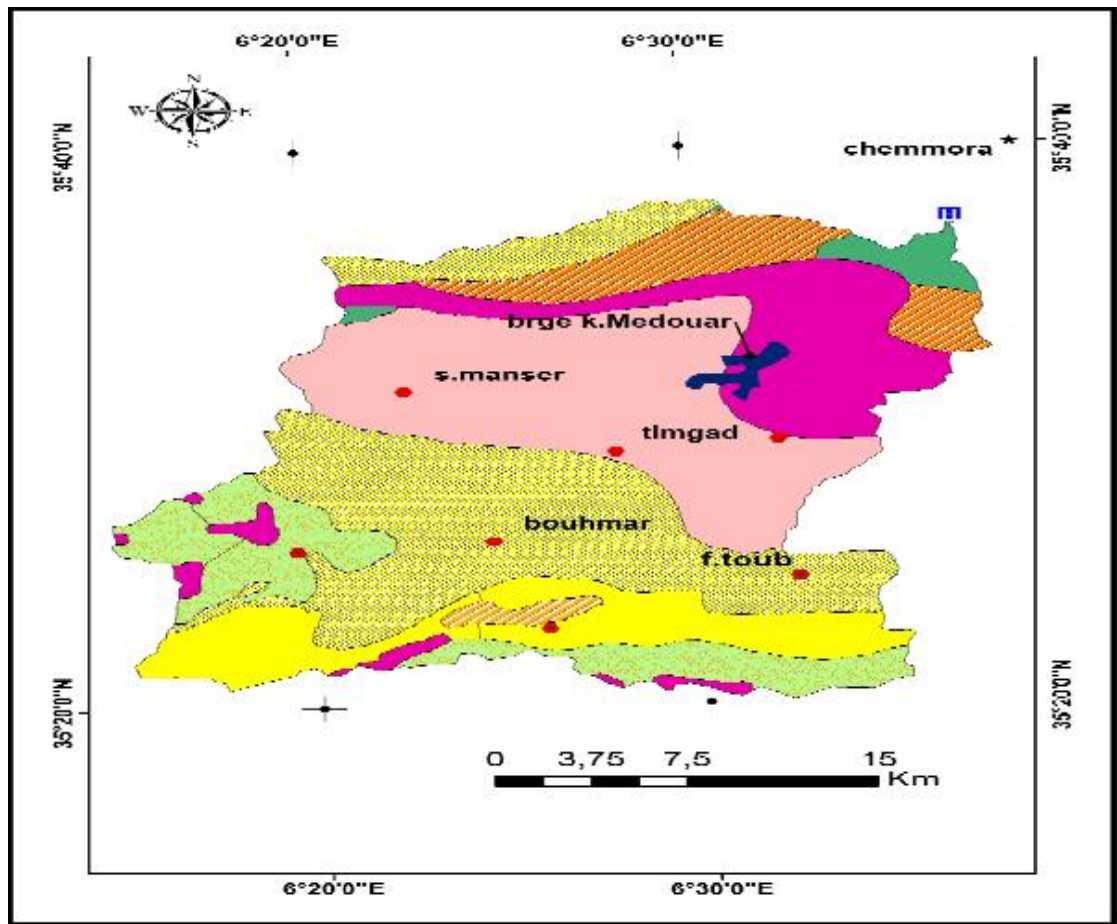
Les terrains attribués au Miocène et Pliocène non différencié, affleurent largement dans le secteur d'étude, il s'agit d'une série constituée par alternance d'argile silteuse et de grès, qui occupent les reliefs de Gloua-Ouchal, Djebels Tagratine ; Et des Grès blancs et grossiers qui affleurent en de nombreux endroits par de vastes surfaces

allant jusqu'à 50km². Alors que la formation conglomératique constituée de marne, conglomérats, et de calcaire, a une extension très limitée, elle affleure au Sud-Ouest du bassin.

- **Le Quaternaire :**

Il est représenté par les nappes d'éboulis d'origine calcaire ou gréseuse, localisées sur les flancs de Djebels Timagout ; Les alluvions récentes formées le long des Oueds (Reboa-Chemora) ; Les glacis polygénique nappant les reliefs, qui couvrent de très vastes surfaces et organisés en pente douce ; Et les croûtes calcaires qui affleurent en de nombreux endroits localisés dans le Nord-Ouest du bassin. En résumé la surface du bassin se compose de :

Bassin de relief peut accentuer constitué de majorité de formations stables : glacis quaternaire (27%), grès turonien (16%), marnes calcaires boisées du crétacé moyen dominant le sud du bassin (10%) Dans le bassin inférieur de Chemora les formations Quaternaires, formations gréseuses et les argiles siliceuses étendent sur les zones de faible pente, et s'effectue le dépôt de la charge solide arrachée aux versants occupe 43% de la surface.



Legend

- alluvions actuelles: lacs, marécages, dayas, chotts, sebkhas, limons et croutes gypso-salines
- calcaires, calcaires dolomitique, marnes, argiles ci
- calcaires, intercalations marnieuses cm
- couches marnocalcaires intercalées de couches lacustres et des couches rouges continentalesei*
- faciès calcaireux à rudistes ct
- faciès plus carbonatés à faciès plus marnieux, marnocalcairescs
- marnes au sommet, conglomérat et calcaires à la base mi
- poudingues et calcaires lacustres poudingues rouges au sommet, argiles rouges, des grès ou sable bruns à la base me
- brge k. Medouar
- ★ Localité
- station hydrométrique
- station pluviographique
- station pluviométriques

Figure 0.3: Bassin versant d'Oued Chemora

1.3.3. Les pentes :

En sciences de la terre, l'érosion est un processus qui se produit à la surface du globe (comme l'écoulement de l'eau ou les pentes), qui élimine le sol, les roches ou les

matières dissoutes d'un endroit sur la croûte terrestre et les transfère à un autre endroit. . Il a donc fallu construire une carte des pentes pour étudier l'érosion. La topographie (pentes) est l'un des facteurs les plus importants de la détérioration de l'environnement physique. Les pentes ont été présentées en dix (10) classes bien différenciées (3-4).

Tableau 0-1: Répartition des classes des pentes dans le bassin versant d'Oued Chemora.

Classes	Surfaces (km ²)	Surfaces (%)
0 - 4	195,96	25,61
4 - 9	195,16	25,50
9 - 14	118,73	15,51
14 - 19	92,42	12,08
19 - 24	65,37	8,54
24 - 29	42,31	5,53
29 - 34	25,78	3,37
34 - 40	15,93	2,08
40 - 48	8,26	1,08
48 - 58	3,53	0,46
58 - 73	1,55	0,20
73 - 100	0,30	0,04
Total	765,30	100

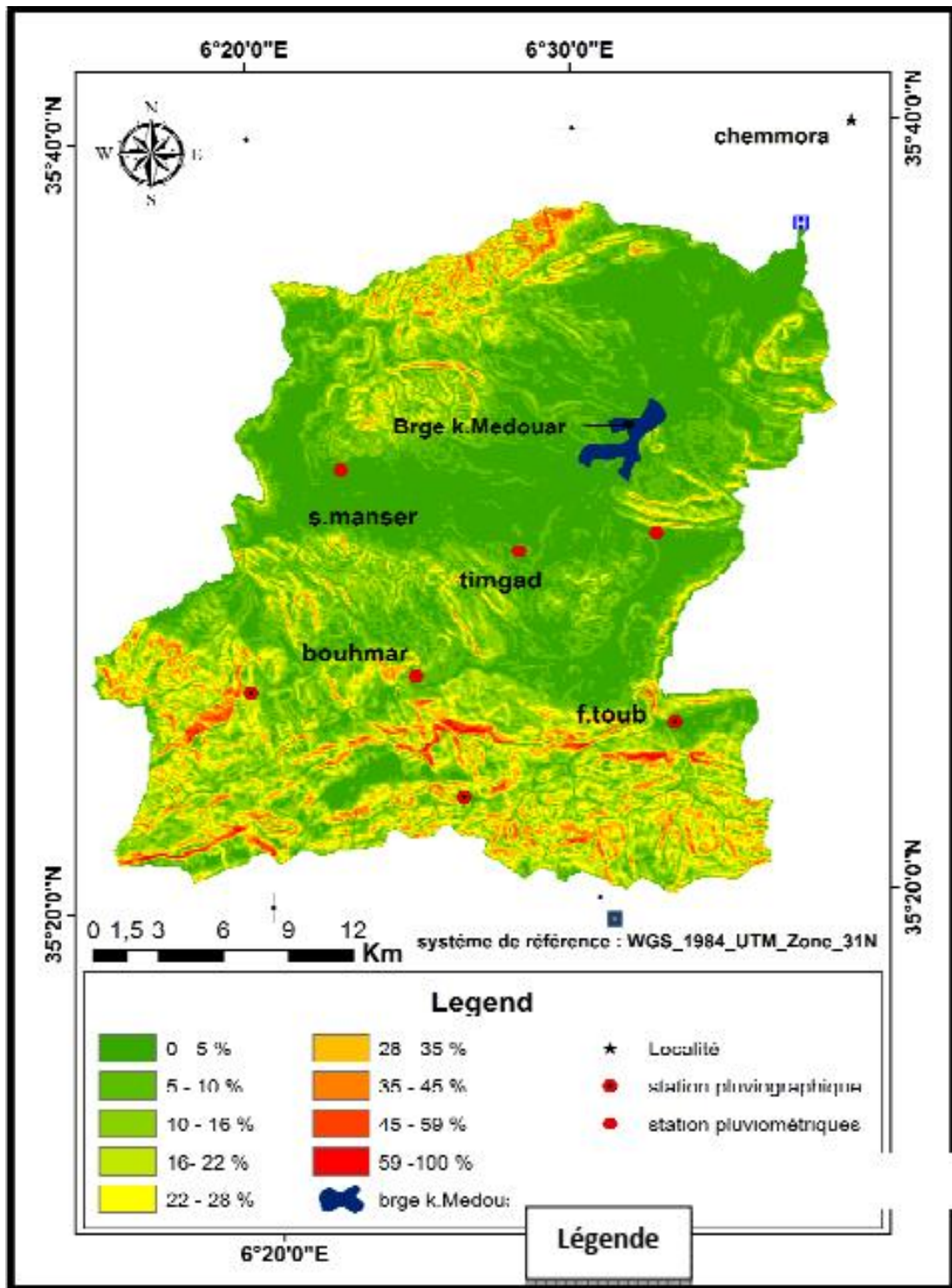


Figure 0.4: Bassin versant d'Oued Chemora

1.3.4. Occupation du sol :

La couverture végétale contribue à réduire considérablement les taux d'érosion du sol, ce qui est directement proportionnel à la densité de cette couverture. La couverture végétale augmente la cohésion du sol et la résistance à l'érosion.

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 (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.

1.3.5. 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.

B. Les surfaces incomplètement protégées :

Ce sont les surfaces partiellement nues en permanence et les surfaces saisonnièrement protégées, dont les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives et des crues inondantes. Il s'agit généralement des terres de culture destinées soit pour la céréaliculture, qui occupe densément le sol pendant une période de l'année et de l'arboriculture qui laisse le sol nu en permanence entre les arbres. Ainsi la pratique de la jachère nue est dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection.

C. Les surfaces mal protégées ou nues :

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

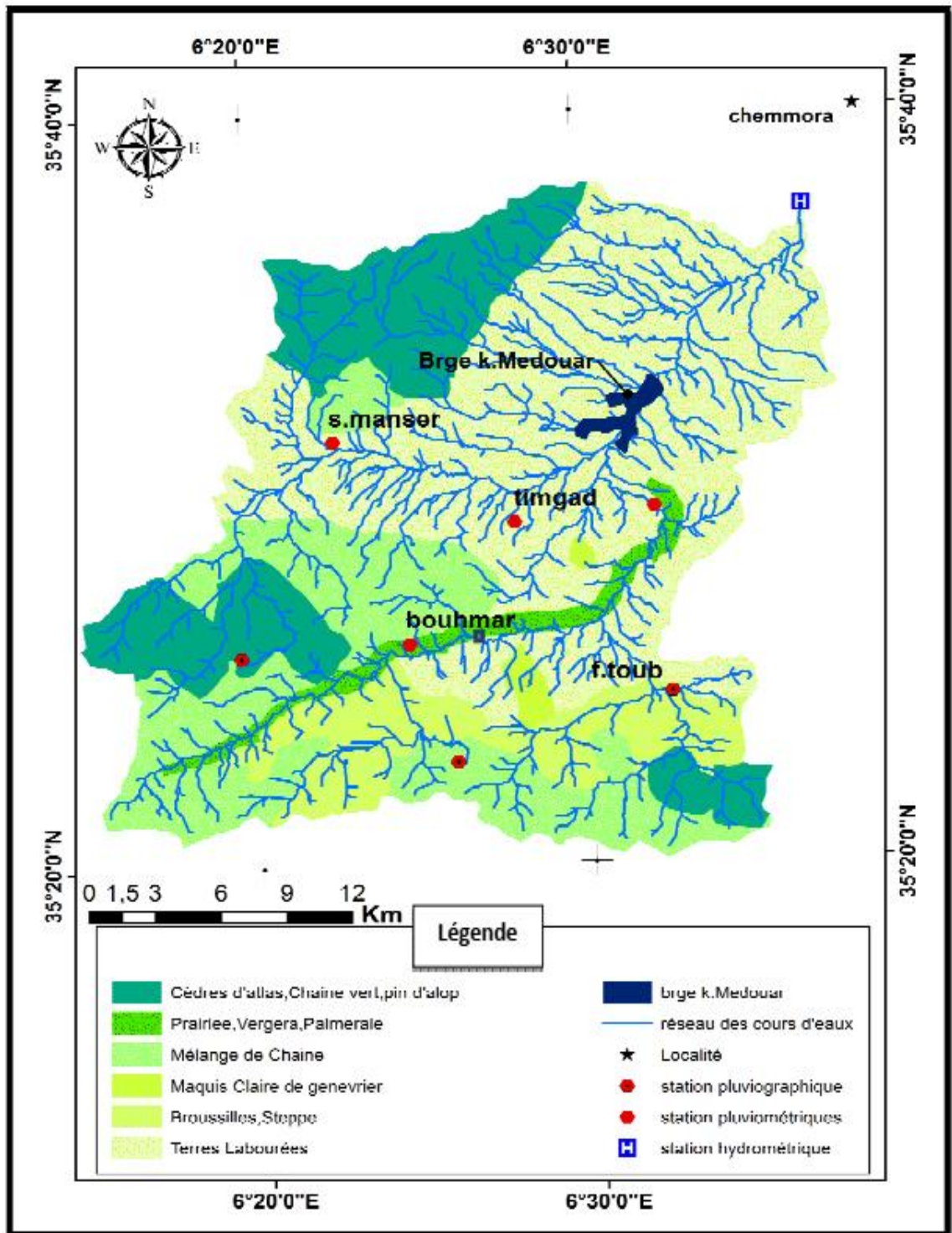


Figure C.5: carte d'occupation du sol de Bassin versant d'Oued Chemora
Caractéristiques morpho-métriques et réseau hydrographique des bassins versants :

Les différents paramètres morpho-métriques 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.

1.3.6. Présentation :

L'Oued Chemora résulte de la jonction de deux affluents : Oued Reboa et Oued Soudhes, qui drainent respectivement une surface de 324,86 et 218,00km², dont la confluence donne naissance à l'Oued Chemora qui reçoit sur sa rive gauche les Oueds de Taguedai et Amizraguen. L'Oued Chemora se perd après un trajet d'environ 30km, dans les lacs salés de hautes plaines Constantinoises, il s'agit de SebkhetDjendli, GarâetAnkDjemel, et Garâet et Tarf (cartes n° 3-2).L'Oued Reboa prend forme à l'amont par la jonction des deux Oueds : Oued Taga issu desmassifs montagneux des Aurès et coule dans la direction SW-NE draine une surface de 154,83km²; L'Oued SebaaRegroud résulte de la confluence des Oueds de Khanguet El-Akra etFoumToub drainant un sous bassin d'une surface de 106,11 km². L'Oued Reboa traverse la valléeentre DraâCharf et Glouaouchal avec une orientation SW-NE, jusqu'à DraâOuledMakhlouf oùil rencontre les roches gréseuses, et change brusquement de direction vers le Nord-Ouest pourrecevoir l'Oued Morri sur sa rive gauche (superficie de son bassin 21,75 km²), et reprend ensuite son orientation SW-NE pour confluer avec l'Oued Soudhes à environ 3km.

L'Oued Soudhes résulte aussi de la jonction de deux Oueds : Ait Fedhala (Berloudi) qui prend sa source au Nord-Ouest de Djebels Tagratine et qui draine un sous bassin d'une surface de41,83 km², et Enza N'sdira qui prend naissance à partir de la confluence de l'Oued El-Kaine etl'Oued Bel-Achir qui se forment dans les massifs de Djebels Ras er-Rih drainant un sous bassin d'une surface de 82,38 km². L'Oued Soudhes coule à travers les plaines au Sud de DjebelsTagratine, avant de confluer avec l'Oued Reboa, il reçoit sur sa rive gauche l'Oued Guergour, enaval de la ville de Timgad.

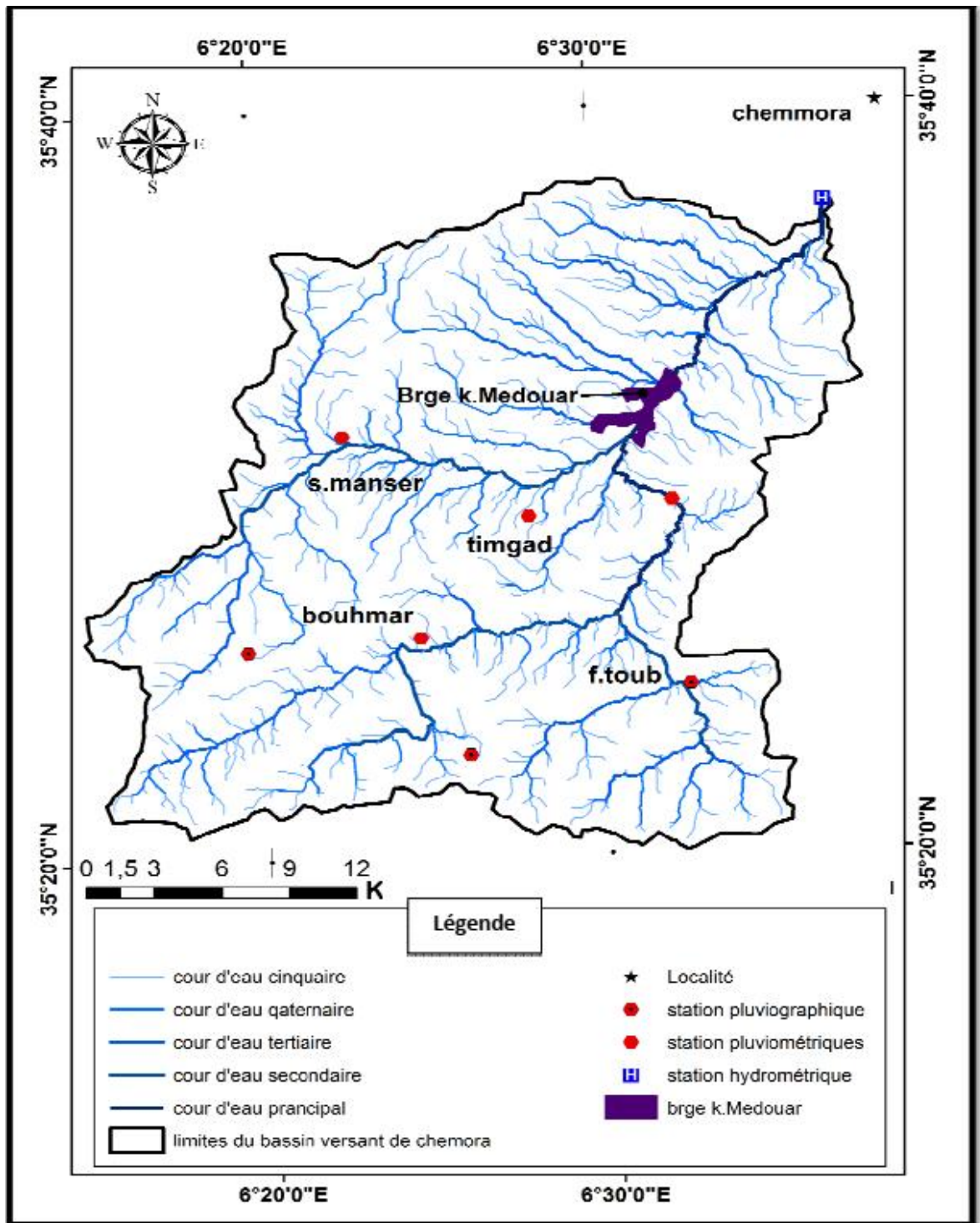


Figure C.6: carte du réseau hydrographique de Bassin versant Oued Chemora

1.4.2. Profils en long :

Le profil en long de l'Oued Chemora et ses principaux affluents, permet d'apporter des éléments complémentaires à la densité de drainage, au vu de rôle déterminant des pentes des talwegs sur le ruissellement superficiels, et sur la vitesse d'écoulement lors des crues.

L'Oued Chemora présente généralement des pentes faibles et régulières, sur son cours principal (entre 0.4 et 1.7%), et des fortes pentes sur les affluents qui drainent les massifs montagneux (5 à 16%), mais avec des ruptures dues à des seuils rocheux, nettement marquée de l'Oued Taga (Kh. Bousberga) en amont de chef-lieu de Bouhmar, et celle de l'Oued Sebaa Regroud à environ 3km avant sa confluence avec l'Oued Taga.

La forte déclivité des affluents qui drainent les flancs abrupts des massifs montagneux, accentuent les vitesses de propagation des crues, et favorisent l'érosion fluviale. Ce dernier a le rôle principal dans l'accumulation des matériaux déposés dans les vallées alluviales.

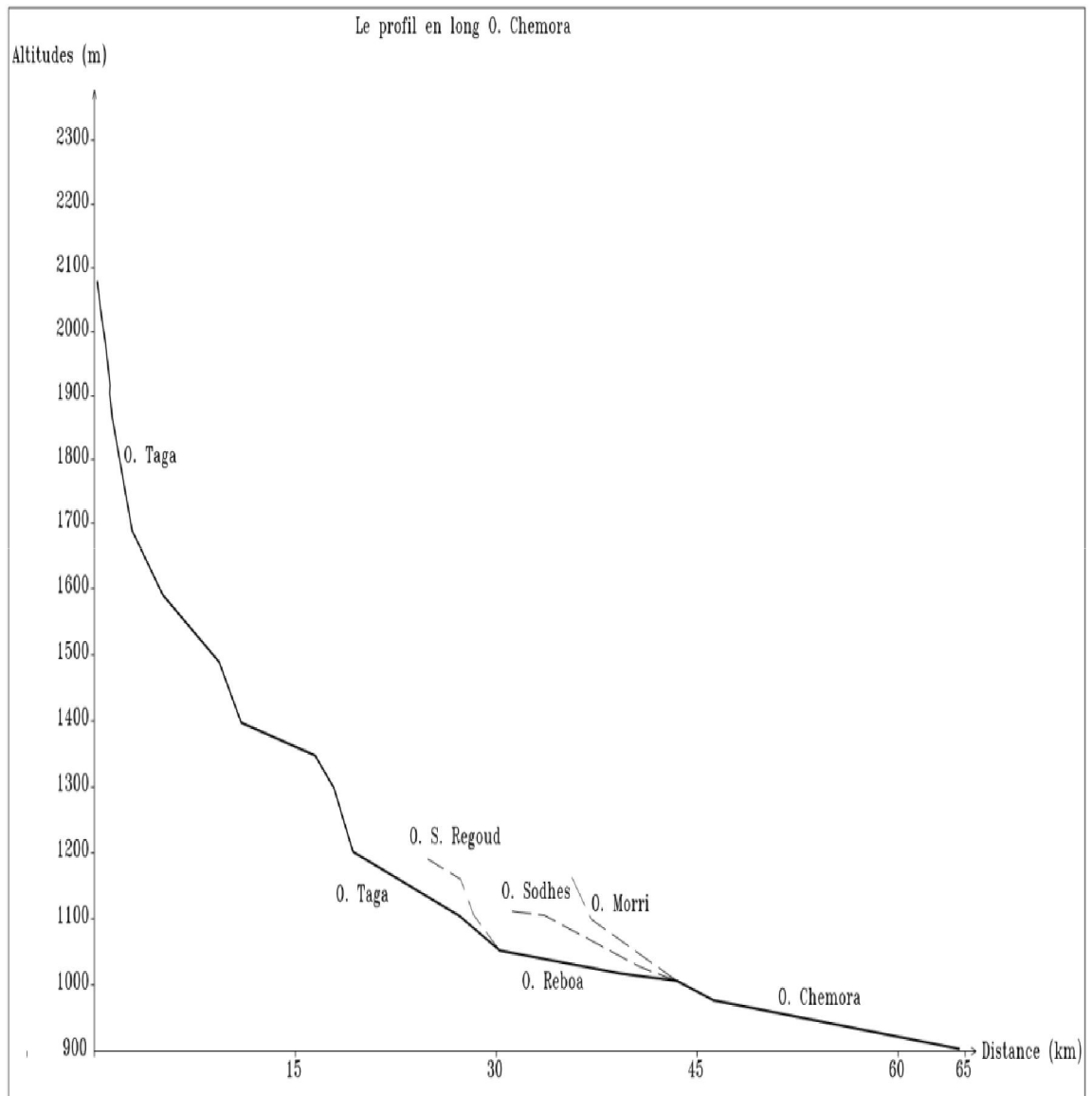


Figure C.7: Profil en long d'Oued Chemora

1.4.3. 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. Il est déterminé par la formule de GIANDOTTI Les deux sous bassin de Reboa et Soudhes, situés au Sud où l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief, présentent des temps de concentration rapprochés : 7,28 heures pour Rbône et 7,62 heures pour oued Soudhes ; Le sous bassin

de Morri situé aux piémonts des Aurès, présente un temps de concentration court (3,73 heures) en raison de leur faible extension.

Le bassin versant de l'Oued Chemora au site du barrage de K. Medaour et celui à la station de Chemora, présentent un temps de concentration et plus long : 11,04 et 12,83 heures, en raison de la prédominance de la plaine en allant vers le Nord avec l'augmentation de la surface du bassin de l'Oued Chemora qui emboîte les sous bassins décrits précédemment.

1.4.4. Récapitulatif :

L'analyse morpho-métrique est la base de toute étude hydrologique, elle permet de quantifier les différentes caractéristiques du milieu physique d'un bassin versant.

Le calcul numérique des caractéristiques topographiques et hydrographiques sert comme moyen de comparaison entre les sous bassins. Alors que l'approche cartographique reflète avec fidélité la réalité du terrain, mais la qualité de l'information reste toujours relative.

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

On distingue deux reliefs différents : Les secteurs montagneux qui présentent des caractéristiques morpho-métriques 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 morpho-métriques et géométriques du bassin se résument dans le tableau suivant :

Tableau C-2 : Les principales caractéristiques physiographiques du bassin Chemora.

Paramètre	Valeur	Unité
Surface du bassin versant (S)	765.438	km ²
Périmètre du bassin versant (P)	149.716	km
Le plus long talweg (Lp)	58,0	km

Indice de compacité de Graveleuse (KG)	1,51	-
Longueur du rectangle équivalent (L)	62,62	km
Largeur du rectangle équivalent (l)	12,22	km
Altitude maximale (Hmax)	2297	m
Altitude minimale (Hmin)	882	m
Altitude moyenne (Hmoy)	1274	m
Altitude à 95% de la superficie du bassin (H95%)	1000	m
Altitude à 05% de la superficie du bassin (H05%)	1790	m
Indice de pente global (Ig)	12,62	m/km
Dénivelée spécifique (Ds)	349,15	m
Densité de drainage (Dd)	1,20	km/km ²

1.5. Conclusion :

Les caractéristiques naturelles et climatiques du bassin ont permis de mettre en évidence la différence dans ses qualifications d'érosion de surface du terrain et du ruissellement. La partie sud du bassin de la vallée de Chemora, la couverture végétale s'est érodée dans la plupart des zones et des pluies fortes et irrégulières, plus ou moins. Ce qui génère des pertes en sol importantes d'amont en aval.

La distribution rocheuse du bassin versant de la vallée de Chemora montre des zones de potentiel d'érosion moyenne dans le sud-ouest et le reste des secteurs à forte érosion rocheuse favorable qui coïncide avec le manque de végétation contribue à la dérive.

CHAPITRE 02 :

*Les modèles d'estimation
d'érosion et taux de
livraison des sédiments SDR*

CHAPITRE 02 : *Les modèles d'estimation d'érosion et taux de livraison des sédiments SDR*

2.1. Introduction :

L'érosion et le transport et le dépôt de sédiments sont des problèmes environnementaux majeurs qui affectent la société par la perte de sol, la réduction de la capacité des réservoirs et l'intensification de la pollution de l'eau et des inondations.

Ce processus comprend le détachement des particules du sol par l'énergie cinétique des gouttes de pluie ou du ruissellement (d'érosion hydrique), le transport des particules de sol détachées par le ruissellement et le dépôt de sédiments.

En ce qui concerne l'érosion du sol et le transport des sédiments par ruissellement, chaque particule qui traverse une section de mesure doit remplir deux conditions : (a) elle doit être érodée à un endroit quelconque des versants à l'amont et (b) elle doit être transportée par l'écoulement (ruissellement) de l'endroit d'érosion vers l'exutoire du bassin (Einstein, 1950) .

Donc, l'érosion des sols et, par conséquent, les problèmes générés par l'excès de production de sédiments sont limités par la disponibilité de sédiments sur les versants et par la capacité de transport de l'écoulement.

Divers modèles d'érosion ont été développés pour prévoir les intensités d'érosion du sol par l'eau. Ces modèles diffèrent considérablement en termes de complexité, d'entrées et d'échelles spatiales et temporelles, de sorte que différentes approches de modélisation peuvent conduire à des taux d'érosion des sols sensiblement différents, même lorsque le même modèle est appliqué dans la même région (Shen, 2009) .(Merritt, 2003).

Il a caractérisé divers modèles d'érosion existants basés sur des données empiriques, conceptuelles, et bases physiques. Les modèles empiriques sont généralement basés sur une analyse des observations, et les besoins en données pour ces modèles sont moindres que pour les modèles conceptuels et physiques. Les paramètres utilisés dans les modèles empiriques peuvent être obtenus par étalonnage, et ils sont souvent transférés à partir d'étalonnages sur des sites expérimentaux (Merritt, 2003).

2.2 L'érosion de sol :

Erosion vient de "ERODERE", verbe latin qui signifie "ronger". L'érosion est le détachement des particules de sol de leur environnement, transportées par un agent de transport (eau, air) et déposées dans un autre milieu. L'érosion se produit lorsque les forces qui entraînent et transportent les matériaux sont plus importantes que celles qui résistent à leur mouvement.

L'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité (Girard, 2005) .

L'érosion apparaît sous plusieurs formes :

- L'érosion hydrique.
- L'érosion aratoire ou mécanique sèche
- L'érosion thermique
- L'érosion chimique
- L'érosion causée par les êtres vivants

L'action d'agents érosifs sur les reliefs conduit à la production et au transport d'une certaine quantité de sédiments. Les sols et les roches sont arrachés, transportés et déposés, générant un flux de sédiments sur les pentes et les thalwegs dont la dynamique est encore mal connue. Les processus d'érosion et de dépôt qui peuvent se développer dans les bassins versants (Figure 2-1) sont différenciés selon l'agent érosif: vent, pluie, ruissellement ou selon la source des sédiments: chenaux, ravines, berges, plaines inondables...

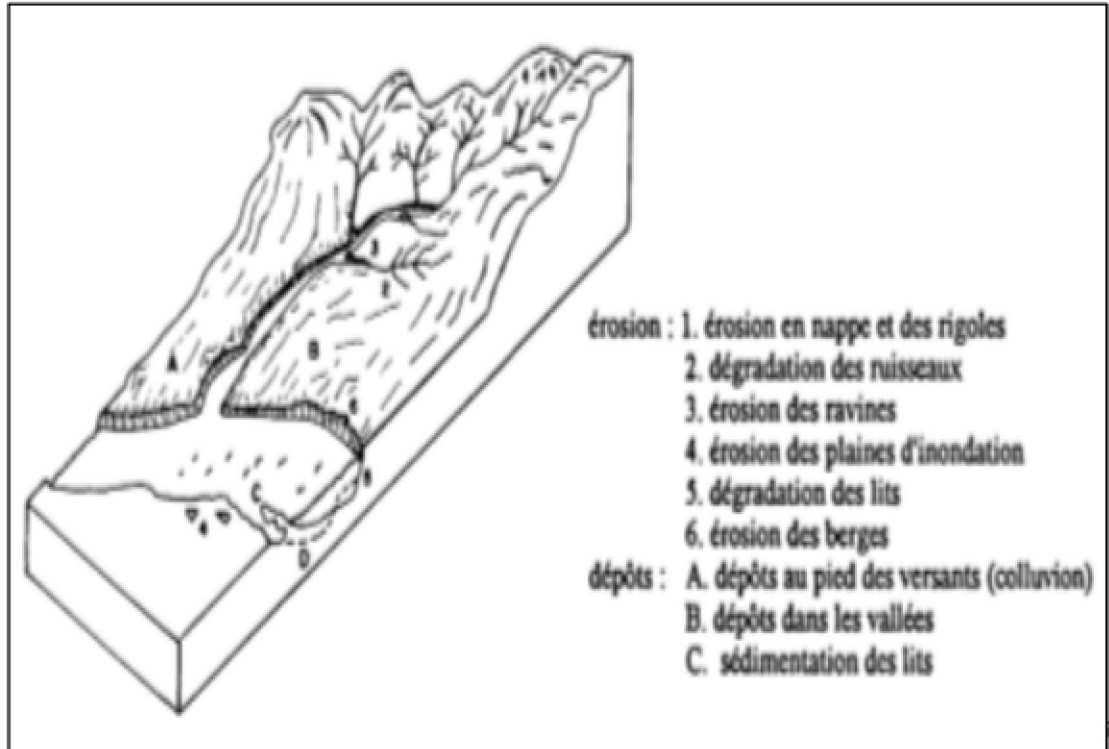


Figure 0.1: Processus typiques d'érosion et de sédimentation d'après ASCE-1970 dans les bassins versants. (Ana Luiza Borges, 1993)

2.2.1. Processus : Erosion hydrique -Transport solide - Dépôt des sédiments :

Le processus se compose de trois principaux mécanismes :

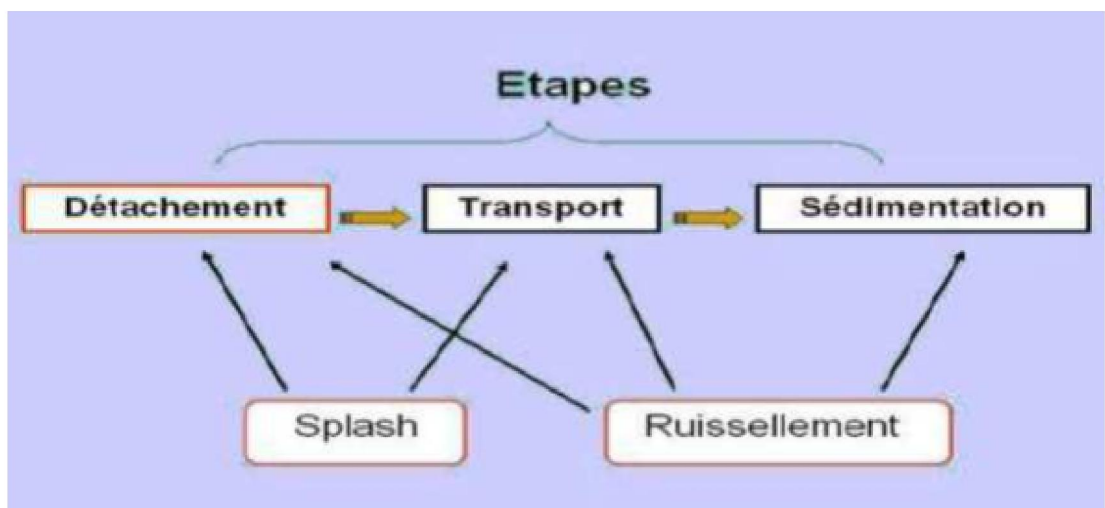


Figure 0.2: Mécanisme de l'érosion

A. Le détachement :

Le détachement de sol se produit sous l'action de deux agents érosifs : la pluie et le ruissellement.

L'impact des gouttes de pluies sur la surface de sol provoque le détachement des particules de sol qui seront éjectés de la surface et transportés, avant de se déposer à la surface. Ce rejaillissement d'eau et de sol est désigné par le terme de splash. Et le ruissellement est un moteur essentiel de l'érosion, il détache, transporte et exporte des fragments de sol (Leguédois, 2003).

Le détachement des particules du sol par la pluie est donc lié à l'intensité et la quantité de la pluie, à la surface du bassin et au type de sol.

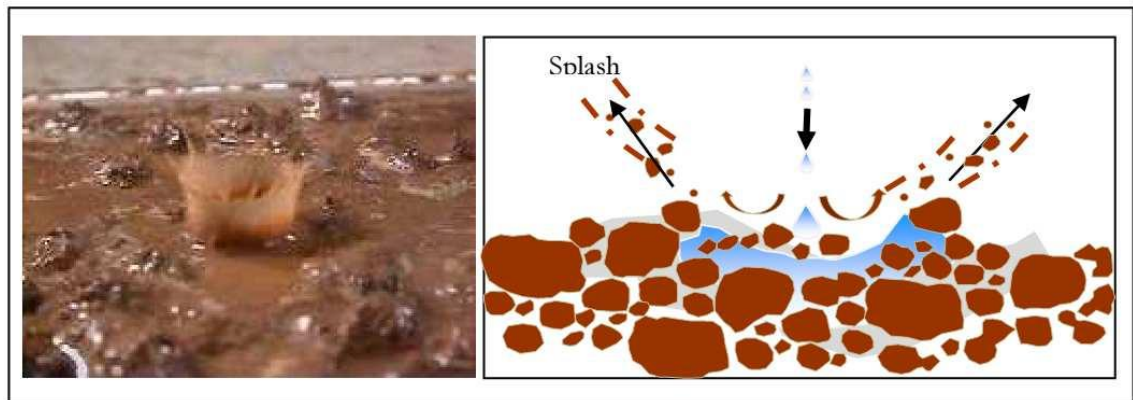


Figure 0.3: Effet Splash (Gourfi, 2014)

L'énergie cinétique des gouttes E_c s'écrit :

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \text{ (I-1)}$$

Où : E_c : l'énergie cinétique (J)

m : la masse de la goutte (kg)

v : la vitesse (m/s)

B. Le transport :

Les particules de sols détachés sont transportées vers le bas des pentes sous l'action des écoulements de surface par suspension, saltation et traction sur des distances plus ou moins importantes (ChabaanChayma, 2016).

Il existe d'autres facteurs qui influencent le mouvement et le transport des particules de sol tels que la gravité, le vent, la pente, la vitesse d'eau ruisselé, la capacité de transport de l'écoulement et la concentration ou la charge en sédiments.

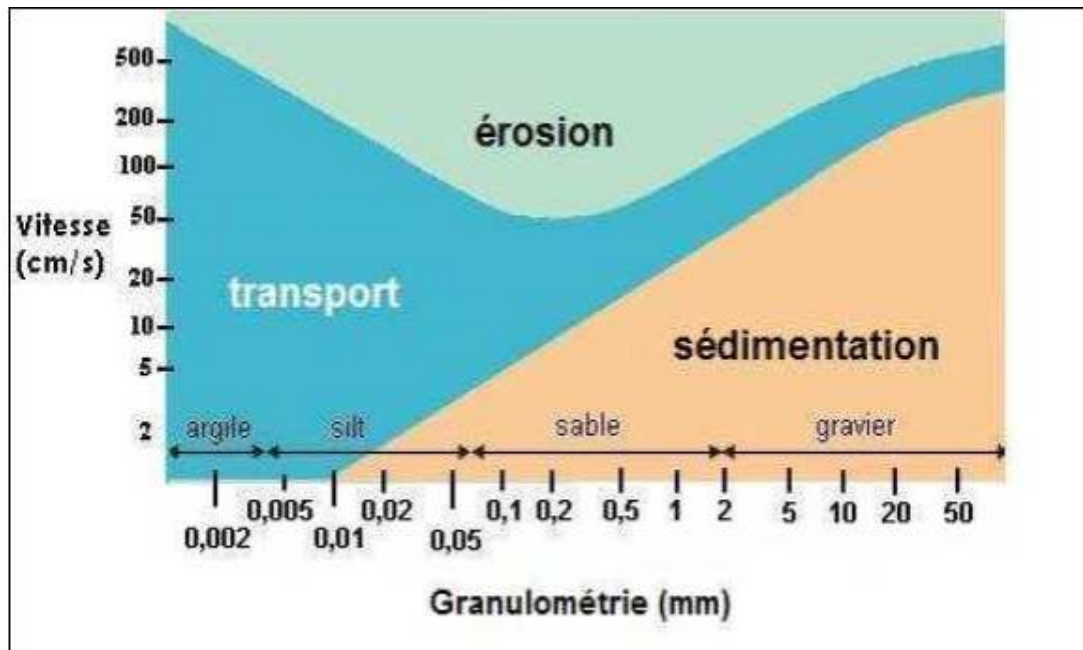


Figure 0.4: Diagramme de(Hjulström, 1935)

C. La sédimentation :

La sédimentation est le mécanisme qui contrôle et peut limiter la quantité de sédiments exportés. Elle se produit quand la capacité de transport de l'écoulement est dépassée. Les particules les plus grossières sont les premières à sédimenter, les plus fines étant transportées plus loin.

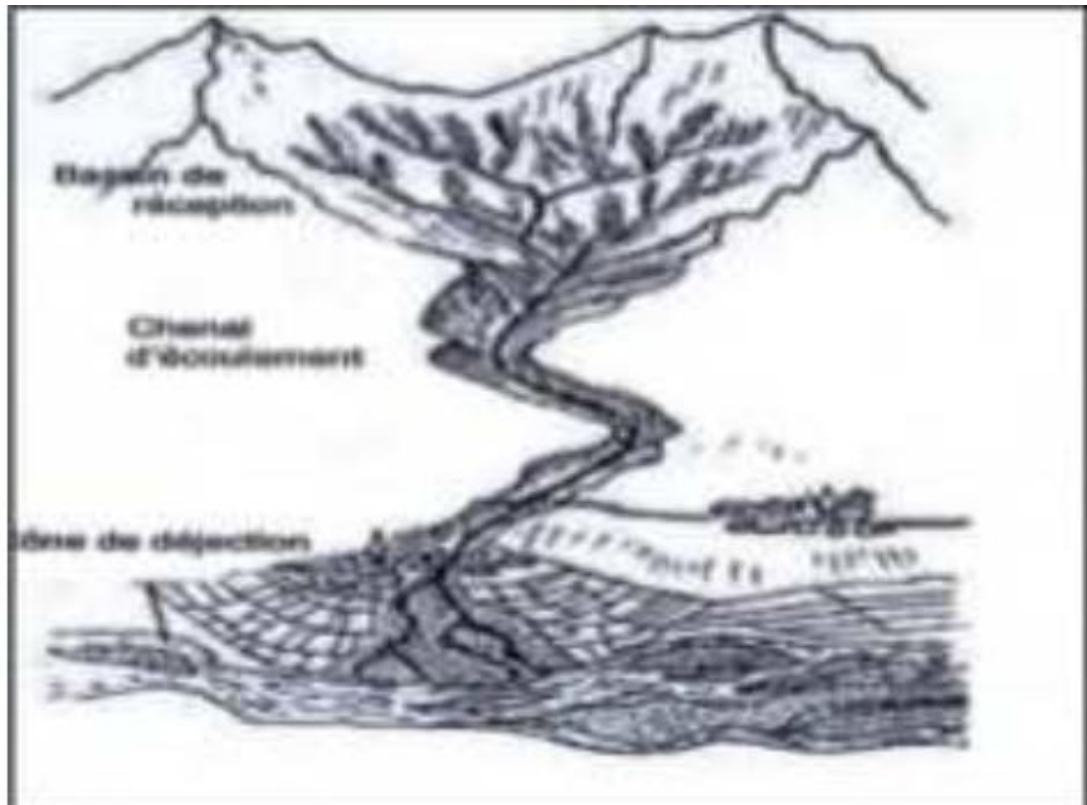


Figure 0.5: Mécanisme de l'érosion hydrique (Melalih, 2012).

2.2.2. Facteurs influençant l'érosion :

Deux principaux types de facteurs de l'érosion peuvent être distingués :

A. Le facteur climatique :

Le climat est un facteur important influençant l'érosion hydrique par la nature des précipitations et la température. Un climat agressif comme celui des régions arides et semi-arides se caractérise par de fortes précipitations pendant une courte période et de longues périodes de sécheresse. Les deux éléments augmentent l'érosion, les températures élevées assèchent et fissurent le sol, ce qui augmente sa vulnérabilité à l'érosion et les fortes pluies s'accompagnent d'énergies cinétiques élevées pour détacher et emporter autant de sol que possible (Nice, 2008).

B. Le facteur de la topographie :

Plusieurs chercheurs ont mis en évidence l'effet de la topographie sur l'érosion. Nombreux sont ceux qui ont montré que la topographie agit sur le ruissellement et les pertes en sol par deux composantes (Borst H.L., 1940);(Wischmeier, 1978)

- La longueur de la pente car plus la pente est longue, plus les eaux ont tendance à se concentrer graduellement dans les fissures ou rainures, ce qui entraîne un apport considérable en eau et en sédiments.

- Le degré de la pente car plus le degré de l'inclinaison des versants est important, plus l'énergie cinétique de l'écoulement et la détachabilité des particules du sol sont importantes.

C. Le facteur de couvert végétal :

La présence ou l'absence du couvert végétal à la surface du sol détermine son comportement hydrologique. En effet, la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol, le ruissellement et le transport solide sont corrélés positivement avec le taux de recouvrement de la végétation (Hawkins, 1978-1979).

C'est le facteur le plus important dans la lutte contre l'érosion, de sorte qu'il protège le sol de l'érosion en interceptant et en retardant la chute des gouttes de pluie à la surface du sol permettant ainsi la dissipation de son énergie cinétique, ce qui diminue l'effet "splash". Il favorise également l'infiltration d'eau et l'entretien du sol grâce à son système racinaire, et son développement en surface ralentit le ruissellement par rapport au sol nu.

D. Le facteur de la nature du sol :

Le facteur de sol le plus important est la résistance (stabilité) des agrégats à l'impact des gouttes de pluie. Cette résistance ou stabilité est influencée positivement par la présence d'agents liants tels que les argiles, la matière organique et le calcium. Ainsi, les sols de texture limoneuse sont généralement plus sensibles que les sols argileux en raison de leur faible stabilité structurelle. En ce qui concerne la stabilité des agrégats, la matière organique est l'un des facteurs les plus importants. (Berghout, 2017) Donc Il existe trois propriétés essentielles des sols pour déterminer leur érodibilité et évaluer leur résistance à l'érosion :

- La teneur en limon et notamment en argile ;
- Matière organique qui assure la cohésion du sol ;
- Les caractéristiques minéralogiques et chimiques des sols qui ont un rapport avec la cohésion.

2.2.3. L'impact de l'érosion dans l'Algérie :

En Algérie, L'érosion hydrique affecte de plein fouet les ouvrages hydrauliques, conséquence d'un envasement rapide, face à cet épineux problème l'Algérie tente bien que mal d'y remédier. Cependant des mesures ont été effectuées au niveau de ces ouvrages dans le but de mesurer l'ampleur de ce phénomène qui est l'envasement. (Mokhtari, 2009.)

Des chiffres alarmants de l'état d'envasement des barrages algériens sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 0-1:L'état d'envasement de quelques barrages algériens (Remini, 2003)

Barrage	Mise en eau	Capacité Initiale (106m3)	Envasement moyen annuel (106m3/an)
Année	Mm ³	Mm ³	Mm ³
OUEDFODDA	1932	228	2.66
GHRIB	1939	280	3.2
DJORF EL TORBA	1934	350	1.3
S.B.M.A	1978	235	1
LACHEFFIA	1965	175.68	0.17
EGHILEMDA	1953	154.8	1.6
BOUHANIFIA	1944	73	0.78
BENI BAHDELS	1940	63	0.2
BAKHADA	1936	37.6	0.27
FOUM EL GHERZA	1950	47	0.8
ZERDEZAS	1936	14.9	0.25
HAMIZII	1935	21	0.35
MEFROUCH	1936	16	0.12
K'SOB	1940	11.6	0.3
FOUM EL GUEISS	1939	3	0.03

2.3. Les modèles d'estimation d'érosion :

Un modèle est la représentation simplifiée, sous une forme physique ou mathématique, d'un système complexe dans lequel les réponses produites par des sollicitations externes sont difficilement prévisibles à cause du très grand nombre de facteurs en jeu (Jetten V., 2003)

La modélisation est une représentation des phénomènes physiques sur le terrain à travers un outil informatisé comme l'ACGIS afin d'établir la réalité sur place en un modèle réduit pour pouvoir l'utiliser à des fins intéressants. L'utilisation de la modélisation peut aider à la prise de décision pour la conservation des ressources en sols, en établissant des plans de développement et en évaluant les risques d'érosion.

Plusieurs formules et méthodes qui impliquent tous les paramètres physiques sont utilisées pour la quantification de l'érosion hydrique. Les formules les plus utilisées sont les suivantes :

A. Equation universelle des pertes en sols (USLE) :

Meyer (1984) a résumé l'évolution de l'USLE (Universal Soil Loss Equation) en distinguant plusieurs périodes. La première période (1890-1940) est caractérisée par la compréhension et la description, de manière qualitative, de la plupart des facteurs qui affectent l'érosion. Il s'agit notamment des études de pluie de Laws (1940) et des analyses d'impact des gouttes de pluie rapportées par Ellison (1944, 1947). Au cours de la période 1940-1954, des travaux dans la ceinture de maïs des États-Unis ont abouti à une procédure d'estimation de la perte de sol qui intégrait l'influence de la longueur et de l'intensité de la pente, les pratiques de conservation et les pratiques culturelles. En 1946, un comité national américain a réévalué les valeurs des facteurs en ajoutant un paramètre pour les précipitations, produisant ainsi l'équation de Musgrave. À partir de 1954, USLE a été développé par le Département de l'agriculture des États-Unis (USDA)(Berghout, 2017).

Des études sur de petites parcelles sous pluies naturelles et simulées ont formé la base de données USLE. Jusqu'en 1978, les résultats expérimentaux ont fourni des données supplémentaires pour finalement donner la forme définitive d'USLE (Wischmeier, 1978)

L'équation universelle de la perte de sol est un modèle empirique basé sur l'analyse statistique de 10 000 placettes expérimentales. Il permet de prédéterminer les pertes annuelles moyennes de sol pour une parcelle donnée, dans des conditions bien définies.

Cette équation se présente sous la forme d'un produit de 5 facteurs indépendants, chacun représente une équation paramétrique à plusieurs variables sous sa forme simplifiée, ce modèle s'écrit :

$$A = R. K. LS. C. P \quad (\text{II -2})$$

Où :

A : perte annuelle moyenne de sol (t/ha/an) ;

R : indice d'érosivité potentielle de la précipitation (MJ mm/ha/an) ;

K : indice d'érodibilité des sols à l'érosion hydrique (tonne. heure / Newton. Hectare) ;

LS : facteur topographique dépendant de la pente et sa longueur ;

C : facteur de culture, incluant le couvert végétal (occupation du sol) ;

P : facteur de conservation et d'aménagement ;

Ce modèle présente un certain nombre de points faibles :

Inaptitude à estimer les pertes en terre sur une courte période (saison ou épisode pluvieux isolé).

Il considère les facteurs de l'érosion comme indépendants, alors qu'il existe des nombreuses interactions entre ceux-ci (Berghout, 2017).

• **Le facteur d'agressivité climatique (R) :**

Il est défini comme le produit de l'énergie cinétique (E_c) et l'intensité maximale en 30 minutes (I_{30}).

$$R = E_c \times I_{30} \quad (\text{II-3})$$

$$\text{Avec : } E_c = 11,9 + 8,73 \log(I) \quad (\text{II-4})$$

E_c : L'énergie cinétique en $J/m^2/mm$ de pluie ;

I : l'intensité moyenne de la pluie (mm/h) ;

R : peut-être déterminé pour des périodes variables (1 averse à une moyenne de plusieurs années) ;

Lorsqu'il est utilisé comme paramètre du modèle de Wischmeier, l'indice R est généralement calculé comme la moyenne de plusieurs années.

• **Le facteur sol (K) :**

Le facteur sol caractérise l'érodibilité du sol, c'est-à-dire sa sensibilité à l'érosion. Ce facteur sans dimension mesure la plus ou moins grande résistance relative d'un sol à l'érosion.

WISCHMEIER propose un mode de calcul de K, à partir des paramètres suivants :

Pour une première approximation :

-La somme des pourcentages de limon et sable fins ;

-Le pourcentage de sable ;

-La teneur en M.O ;

Et pour une approche plus précise :

-La structure,

-La perméabilité,

On peut également déterminer K par la formule suivante :

$$100K = 2,1.M1,14.10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3) \quad (\text{II-5})$$

Où :

M : déterminé à partir de : $M : (\% \text{ sable très fin} + \text{ limon}) \times (100 - \% \text{ argile})$;

a : est le pourcentage de matière organique,

b : est le code de la perméabilité,

c : est le code de la structure,

• **Le facteur topographique (LS) :**

Il tient compte à la fois de la longueur de la parcelle L et de l'inclinaison de la pente S.

Les deux facteurs L et S sont combinés en un seul facteur topographique qui permet d'évaluer globalement l'influence de la pente sur la vitesse de l'érosion. Les relations établies par WISCHMEIER permettent également de déterminer L et S :

$$LS = (1/22.15) m \times (0.06543 + 0.045 \times \alpha + 0.065 \times \alpha^2) \quad (\text{II -6})$$

Où :

L : facteur de longueur de pente (-),

l : la longueur de la pente (m),

22,13 : longueur de la parcelle standard (m),

m : exposant dépendant de plusieurs paramètres dont la pente,

m : 0,5 lorsque la pente < 10 %,

m : 0,6 lorsque la pente > 10 %,

S : le facteur de pente (-),

α : la pente (%)

Le facteur C ou indice de culture :

Il est défini dans l'équation de l'USLE comme le rapport entre l'érosion mesurée sur une parcelle de référence (jachère nue) et une parcelle test sous une culture bien précise. Il existe des tableaux pour déterminer C en fonction de la couverture végétale, des effets du Much (couche de protection sur le sol) et des techniques culturales.

La valeur du facteur C dépend de plusieurs variables :

- La couverture des feuilles et des branches qui interceptent les gouttes de pluie et dissipent une partie de leur force érosive :

- La couverture végétale au sol composée de résidus de culture et de végétation vivante à la surface du sol ;

- La biomasse du sol qui améliore l'écoulement de l'eau dans le sol ainsi que la capacité de rétention et le type et la fréquence de travail du sol qui influent la porosité ;

La rugosité de surface et la compaction du sol (Berghout, 2017).

• **Le Facteur P ou indice des aménagements antiérosifs :**

Il permet d'évaluer l'action des pratiques visant à modifier la vitesse, le profil, la pente ou la direction de l'écoulement en surface et à réduire ainsi l'érosion. Par exemple, la culture en pente transversale, la culture en courbes de niveau, la culture en bandes alternées, l'aménagement de terrasses, la présence de bandes enherbées ou encore l'enherbement des rangs dans le sens de la pente sont des types d'actions antiérosives (Hafida, 2010).

Le facteur P est le rapport de la perte de sol observée sur le terrain étudié travaillé mécaniquement d'une certaine façon et protégé contre l'érosion d'une certaine façon avec celle qui a lieu sur la parcelle de référence où le terrain est labouré fréquemment dans le sens de la plus grande pente.

B. Modèle RUSLE :

L'USLE a été conçu pour estimer l'érosion des nappes à partir de la pente des collines, mais pas pour traiter les dépôts de sol et l'érosion des canaux ou des ravines dans un bassin versant (Renard, 1991).

$$A = R. K. LS. C. P. \quad (2 -7)$$

L'USLE a été améliorée, dans le but du développement de l'équation universelle de perte de sol révisée (RUSLE) qui a la même équation de l'USLE, mais avec des améliorations pour vérifier les facteurs. (Manuel d'agriculture N° 703 1997 USDA). Ses améliorations se résument en (Unité hydrographique Aquin - Saint Luis du Sud 2010) :

- Numérisation d'algorithmes pour faciliter les calculs.

-Nouvelles valeurs d'érosivité de pluies-écoulement (R) dans l'ouest des USA (conditions arides) basées sur plus de 1200 localités.

- Développement d'un terme de susceptibilité du sol à l'érosion périodiquement variable(K) et des méthodes alternatives d'estimation de (K) quand le monogramme n'est pas applicable (cas où la texture du sol ne se trouve pas dans le monogramme).
- Une nouvelle méthode pour calculer le facteur couverture-gestion (C), utilisant les sous facteurs qui incluent l'utilisation préalable de la terre, de cultures, couverture végétale du sol (incluant des fragments de roche sur la superficie), et rugosité du terrain.
- Nouvelles formes d'estimer les facteurs de largeur et magnitude de la pente (LS) qui considèrent les pourcentages d'érosion en sillons et inter-sillons.
- La capacité d'ajuster le (LS) pour les pentes de forme variable ; et de nouvelles valeurs de pratiques de conservation (P) pour les cultures dans les bandes alternées, utilisation de drainage souterrain et prairies.

C. Équation universelle de perte de sol modifiée (MUSLE) :

Une version de l'USLE, qui est largement utilisée pour estimer le rendement en sédiments, est l'USLE modifié (MUSLE)(Williams, 1977).

Le MUSLE est destiné à estimer le rendement en sédiments pour un seul événement. Le modèle a été développé à partir des données recueillies à partir de 778 événements de tempête individuels dans 26 bassins versants avec des superficies allant de 15 à 1500 ha au Texas. L'équation la mieux ajustée pour les données est exprimée comme suit :

$$Y = 11,8 (Q \times qp) 0,56 \times K \times C \times P \times LS \quad (II - 8)$$

Où :

Y - est le rendement en sédiments d'une tempête individuelle (t) ;

Q- est le volume de ruissellement de la tempête (m³) ;

qp-est le taux de ruissellement de pointe (m³ s⁻¹) ;

Les autres termes, K, C, P et LS sont les mêmes que ceux de l'USLE.

L'utilisation du MUSLE nécessite des données météorologiques pour connaître les débits et volumes ruisselés.

D. Modèle EPM “Erosion Potentiel Méthode”:

Le modèle EPM "Erosion Potentiel Méthode"(Gavrilovic, 1972), a été développé dans les années 50 par Gavrilovic dans les bassins versants de la rivière Morava en Serbie (Dragicevic N, A review of the Gavrilovic method (Erosion Potential Method), 2016).

La méthode a pour objectif de quantifier les risques d'érosion hydrique et de développer des pratiques adaptées pour la réduction des pertes des sols. Elle est applicable à divers types d'érosion (érosion en nappes, érosion en rigoles et en ravins et sapement de berges), ce qui la diffère de l'Equation Universelle de prédiction des pertes en sol (USLE, RUSLE) qui ne s'applique qu'à l'érosion en nappe.

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

$$G = T \times H \times \pi \times \sqrt{Z^3} \quad (\text{II}_9)$$

Où :

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

T : Coefficient de la température ;

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

Avec :

t₀: Température moyenne annuelle en (C°),

H : Précipitation moyenne annuelle en (mm),

Z : Coefficient d'érosion,

$$Z = Xa \times Y \times (\varphi + \sqrt{Ja}) \quad (\text{II} - 11)$$

Où :

Xa: 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'érosion 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 (%).

2.3. Le taux de livraison des sédiments (SDR) :

Le taux de livraison des sédiments (SDR) est défini comme la fraction de l'érosion brute qui est transportée à partir d'un bassin versant donné dans un intervalle de temps donné. C'est un scalaire sans dimension et peut être exprimé comme :

$$\text{SDR} = Y / E \text{ (II -19)}$$

Où :

Y : Est le rendement annuel moyen en sédiments par unité de surface ;

E : Est l'érosion annuelle moyenne sur cette même zone ;

Essentiellement, le SDR est un facteur d'échelle utilisé pour tenir compte des différences de rendement moyen des sédiments surfaciques entre les échelles de mesure. Il représente la quantité de sédiments réellement transportée des sources d'érosion à la sortie du bassin versant par rapport à la quantité totale de sol détachée sur la même zone en aval de ce point. Il a souvent une valeur comprise entre 0 et 1 en raison des dépôts de sédiments. Des valeurs supérieures à 1 ont également été trouvées lors d'événements ou lorsque l'érosion des berges ou des ravines prédomine.

Les méthodes d'estimation du SDR peuvent être grossièrement regroupées en trois catégories :

- La première catégorie concerne des sites spécifiques où des données suffisantes sur le rendement en sédiments et le débit des cours d'eau sont disponibles. Des méthodes telles que la courbe de volume de sédiment (débit solide) en fonction de l'écoulement (débit liquide) (Gregory, 1973) ou le relevé des dépôts de sédiments dans les réservoirs sont souvent utilisés.

De telles approches ne conviennent pas pour estimer la distribution spatiale du rendement en sédiments pour un grand bassin car les mesures requises sont rarement disponibles dans chaque sous bassin versant.

- La deuxième catégorie utilise des relations empiriques qui relient le SDR aux caractéristiques morphologiques les plus importantes d'un bassin versant, comme la surface et la pente etc...
- La troisième catégorie tente de construire des modèles basés sur des processus hydrologiques et hydrauliques fondamentaux dans la majorité de ces modèles, la livraison et le dépôt de sédiments sont prédits par le couplage entre le ruissellement et le conditionnement de l'érosion/dépôt sur la capacité de transport des sédiments (Flanagan, 1995). Malgré le mérite de la description physique, les modèles existants ne sont souvent pas adaptés aux applications à l'échelle du bassin.

2.3.1. Modèles tenant compte de la variation spatiale :

A. Modèle mathématique :

- Le concept du modèle SDR empirique est basé sur la subdivision d'un bassin versant en deux éléments de stockage, à savoir (i) le stockage en pente et (ii) le stockage par canal de réseau. La représentation schématique de la relation linéaire entre le taux d'érosion E et le rendement en sédiments Y est illustrée :



Figure 0.6: la relation linéaire entre le taux d'érosion E et le rendement en sédiments Y

L'exportation de sédiments en fonction du temps de la zone d'érosion vers le stockage du canal est exprimée en $y_h(t)$. Relation linéaire entre $y_h(t)$ et la capacité de stockage des versants correspondante est alors exprimée comme (Poerbandono, 2006):

$$\frac{S_h(t)}{t_h} = E - y_h(t) \quad (5)$$

Avec $S_h(t)$ = quantité de stockage de sédiments dans l'élément de pente et t_h = temps de résidence des sédiments dans le stockage des pentes. Relation linéaire entre le rendement en sédiments Y avec les approvisionnements du stockage de canal réseau est exprimé comme suit :

$$\frac{S_n(t)}{t_n} = y_h(t) - Y \quad (6)$$

Avec $S_n(t)$ = quantité de stockage de sédiments dans l'élément canal du réseau et t_n = temps de résidence des sédiments dans le stockage du canal réseau.

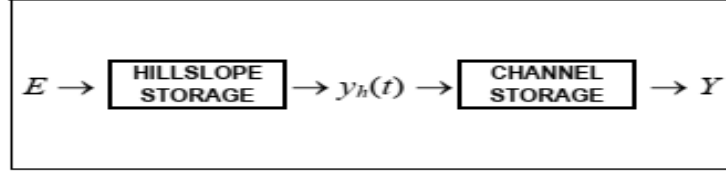


Figure 0.7: Visualisation schématique pour relier Y et E.

Solution analytique des eqs. (5) et (6) est dérivé du fait que 2 est une fonction de loi de puissance du temps de résidence des sédiments (t_h et t_n) et de la durée effective des précipitations (t_{er}):

$$SDR = \frac{t_n}{t_n - t_h} \left(1 - e^{-t_{er}/t_n} \right) - \frac{t_n}{t_n - t_h} \left(1 - e^{-t_{er}/t_h} \right) \text{ for } t_n \neq t_h$$

$$SDR = \frac{1}{2} \left(\frac{t_{er}^2}{t_n^2} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{t_{er}^3}{t_n^3} \right) + \dots \quad \text{for } t_n = t_h$$

Avec $SDR = Y / E$. Temps de résidence des sédiments dans l'élément de pente ou le canal du réseau devient le facteur déterminant pour exprimer la capacité de captage à transport des sédiments. Puisque la particule de sédiment est transportée par l'écoulement de l'eau, Le temps de séjour est ensuite estimé sur la base du temps de parcours de l'eau comme suit :

$$T_h = T_{hw} F_h \quad (7a)$$

$$T_n = T_{nw} F_n \quad (7b)$$

Avec T_{hw} = temps de trajet à travers la pente, T_{nw} = temps de trajet à travers le canal du réseau, alors que F_h et F_n sont la fonction de multitude étant :

$$F_h = e^{(y_h w_s)} F_h \quad (8a)$$

$$F_n = e^{(y_n w_s)} F_n \quad (8b)$$

Avec w_s = vitesse de sédimentation dans la colonne d'eau, alors que γ_h et γ_n sont facteurs inversement proportionnels liés à la profondeur d'écoulement, dans lesquels $\gamma_h = h_h^{-1}$ et $\gamma_n = h_n^{-1}$,

Avec h_h et h_n sont les profondeurs d'écoulement à travers le versant et le canal du réseau, respectivement. La vitesse de sédimentation est estimée en utilisant :

$$w_s = \left(\frac{4\rho_s g d}{3\rho C_D R_{ep}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Avec ρ_s = densité des sédiments, ρ = densité de l'eau, g = accélération due à la gravité, d = granulométrie, $R_{ep} = w_s d / \nu$ étant le nombre de Reynolds pour la vitesse de sédimentation donnée et granulométrie du sédiment, ν = viscosité cinématique de l'eau et C_D = traînée coefficient :

$$C_D = \frac{24}{R_{ep}} (1 + 0.15 R_{ep}^{0.687}) \quad (10)$$

B. Modèles empiriques :

Plusieurs modèles empiriques ont été établis pour l'estimation du SDR ; on cite :

1- En fonction du temps de parcours des sédiments :

Dans cette méthode le SDR est donné en fonction du temps de parcours des sédiments exprimé en fonction de la surface du bassin et le débit du cours d'eau et le coefficient de réponse du bassin a été développée . Cette relation est donnée par :

$$SDR = \exp(-\beta T)$$

Où :

β : est le coefficient de réponse du sous bassin versant ;

T (hr) : est la somme du temps mis par les sédiments pour arriver à l'exutoire, en supposant que les sédiments prennent le même temps que le ruissellement.

2- En fonction de la géomorphologie du bassin :

- L'une des méthodes les plus utilisées pour estimer le SDR pour bassins versants à grande échelle, est la fonction de puissance empirique de la zone SDR :

$$SDR = \alpha A^\beta$$

Où : A : (km²) est le bassin versant, α et β une constante et un exposant d'échelle sont des paramètres empiriques (Maner, 1958; Roehl, 1962). Les données de terrain issues d'études menées dans différents bassins versants du monde montrent que la relation entre le SDR et la surface change considérablement pour chaque bassin versant.

- Williams et Berndt (1977) ont proposé un modèle pour le calcul du SDR en fonction de la pente du cours d'eau principal.

L'équation est écrite comme suit : $SDR = 0,627 \times SLP^{0.403}$

Où : SLP : pente en pourcentage du cours d'eau principal.

- Maner a proposé l'équation suivante :

$$\text{Log SDR}(\%) = 2.943 - 0.82 \text{ colog } \frac{R}{L}$$

R/L : Le rapport de la longueur du relief est le rapport entre le relief du bassin (R) et la longueur du bassin (L).

L : est la longueur maximale du bassin versant parallèle au chenal principal,

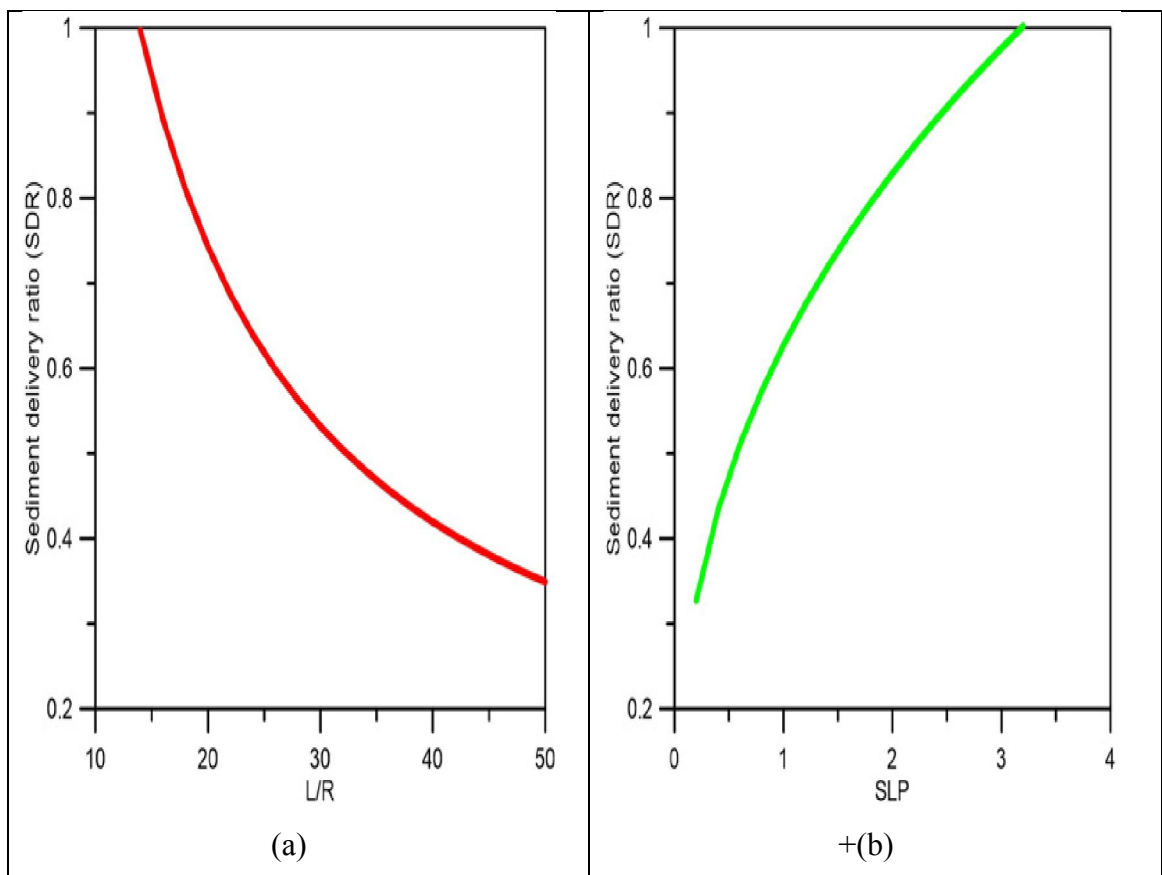


Figure 0.8: Relations entre SDR et(a)**SLP, et (b) R**

- Formule de Roehl (1962), dans laquelle l'indice SDR est décrit en fonction de la 'aire du bassin versant (F [mi²]):

$$\text{Log SDR} = 1,91349 - 0,33853 \cdot \log (10 \cdot F) \quad (1)$$

- Formule de Maner (1958), dans laquelle le SDR dépend de la différence de hauteur entre le plus bas et le point le plus élevé du bassin versant (R_R), et longueur du bassin versant (L), exprimée en miles :

$$\text{Log SDR} = 2,962 + 0,869 \cdot \log R_R - 0,854 \cdot \log L \quad (2)$$

- La formule de Renfro (1975), fondée sur l'étude des 14 bassins versants du Texas, basée sur les travaux de Maner des années 1950 ont valorisé SDR en fonction de la surface du bassin (F), exprimés en miles carrés :

$$\text{Log SDR} = 1,7935 - 0,1419 \cdot \log F \quad (3)$$

- la formule développée par Vanoni en 1975 basée sur l'analyse des quantités des sédiments résultent de plus de 300 bassins versants de l'europe et des États-Unis, où le bassin versant l'aire (F) est exprimée en miles carrés :

$$\text{SDR} = 0,42 \cdot F^{-0,125} \quad (4)$$

- Formule mise au point par le Département de l'agriculture des États-Unis (Boyce, 1975) qui est une extension du modèle Vanoni, dans lequel le la zone de captage (F) est exprimée en miles carrés :

$$\text{DTS} = 0,51 \cdot F^{-0,11} \quad (5)$$

- Formule de Boyce [1975], dans laquelle le bassin l'aire (F) est également exprimée en miles carrés :

$$DTS = 0,31 \cdot F^{-0,3} \quad (6)$$

- Formule développée par Williams et Brendt (1972), qui est une équation régionale pour les bassins versants situés au Texas, où le SDR dépend de la pente du cours d'eau principal (I), dans forme :

$$SDR = 0,627 \cdot I^{0,403} \quad (7)$$

- Formule de Mutchler et Bowie (1972), en dont le débit de sédimentation dépend de la zone de captage (F) exprimée en miles carrés et le ruissellement annuel (R_A), où R_A est calculé comme le produit de la constante 0,09, des précipitations moyennes annuelles (P) et du débit de ruissellement (R_V):

$$SDR = 0,488 - 0,006 \cdot F + 0,01 \cdot R_A \quad (8)$$

- Formule de Williams (1977), développée pour les bassins versants situés au Texas, prend en compte les CN [-] curve number, l'aire du bassin versant (F [mi²]), la différence de hauteur entre le point le plus bas et le plus haut du bassin versant (R_R) et la longueur du bassin versant (L), exprimée en miles:

$$SDR = 1,366 \cdot 10^{-11} \cdot F^{-0,1} \cdot \left(\frac{R_R}{L}\right)^{0,363} \cdot CN^{5,444} \quad (9)$$

3- En fonction de la lithologie du sol :

Walling (1983) a suggéré que le rapport de livraison des sédiments SDR peut être calculé à partir des proportions d'argile dans sol et dans les sédiments.

$$SDR (\%) = C_{sol} (\%) / C_{sed} (\%) \quad (15)$$

Où : $C_{sol} (\%)$ = Le pourcentage d'argile dans le sol du bassin.

$C_{sed} (\%)$ = Le pourcentage d'argile dans les sédiments(%).

2.4. Conclusion :

Des informations sur le rendement en sédiments d'un bassin versant sont très souvent nécessaires pour la planification, la conception et l'évaluation des projets de conservation des sols, la conception et l'exploitation des réservoirs, les mesures de contrôle de la pollution de l'environnement et de l'eau, et les programmes de lutte contre la sécheresse et les inondation.

CHAPITRE 03 :

*Estimation du taux de
livraison de sédiment SDR*

CHAPITRE 03 : *Estimation du taux de livraison de sédiment SDR*

3.1. Introduction :

Le rapport de la livraison de sédiment (SDR) est le pourcentage de l'érosion transporté à partir de la source dans un intervalle de temps donné arrivé à l'exécutoire. Dans cette étude, nous nous concentrons sur la variation du SDR à l'échelle spatiale.

Dans les modèles d'érosion, le SDR est généralement traité comme une moyenne de tout le bassin, cependant, l'utilisation du SDR spatialement variables pourrait améliorer la prédiction spatiale des sources critiques de sédiments, c'est-à-dire l'identification des zones affectant directement la qualité de l'eau des cours d'eau. Une telle information améliore les techniques de gestion des ressources naturelles et des investissements. La littérature récente a décrit plusieurs approches paysagères pour représenter la variabilité du SDR dans l'espace, dont certaines ne tiennent compte que topographie, tandis que d'autres considèrent la topographie, les caractéristiques de la couverture du sol et la composition du sol du bassin. Cette dernière varie d'un endroit à un autre, par conséquent le SDR. Le but de ce chapitre est d'évaluer la variation spatiale du SDR dans le bassin versant d'Oued Chemora. L'érosion a été évaluée à l'aide du modèle RUSLE à l'échelle annuelle et mensuelle sur une période de trois ans, qui s'étale du Septembre 1989 à Aout 199 (Amor, 2019/2020).

3.1.1. Le taux annuel de pertes en sol (A) :

Les cartes de l'érosion potentielle mensuelles et annuelle durant la période du (Septembre 1989 au Aout 1992) présentées en dessous pour le bassin versant d'Oued Chemora résultent de la superposition des cartes des principaux facteurs du modèle RUSLE (carte d'agressivité des pluies R; carte du facteur topographique LS ; carte de l'érodibilité des sols K ; carte de l'occupation des sols C ; carte de pratiques culturales P) dans un environnement SIG (ArcGis).

Les valeurs de l'indice (A) synthétique ainsi obtenues par multiplication varient de 0 à 1817 t/ha/an avec une moyenne de 17.85 t/ha/an pour la période (Septembre 1989 à Aout 1990) ;

Les valeurs de l'indice (A) varient de 0 à 1260 t/ha/an avec une moyenne de 11.62 t/ha/an pour la période (Septembre 1990 à Aout 1991) ;

Les valeurs de l'indice (A) varient de 0 à 826 t/ha/an avec une moyenne de 11.26 t/ha/an pour la période (Septembre 1991 à Aout 1992).

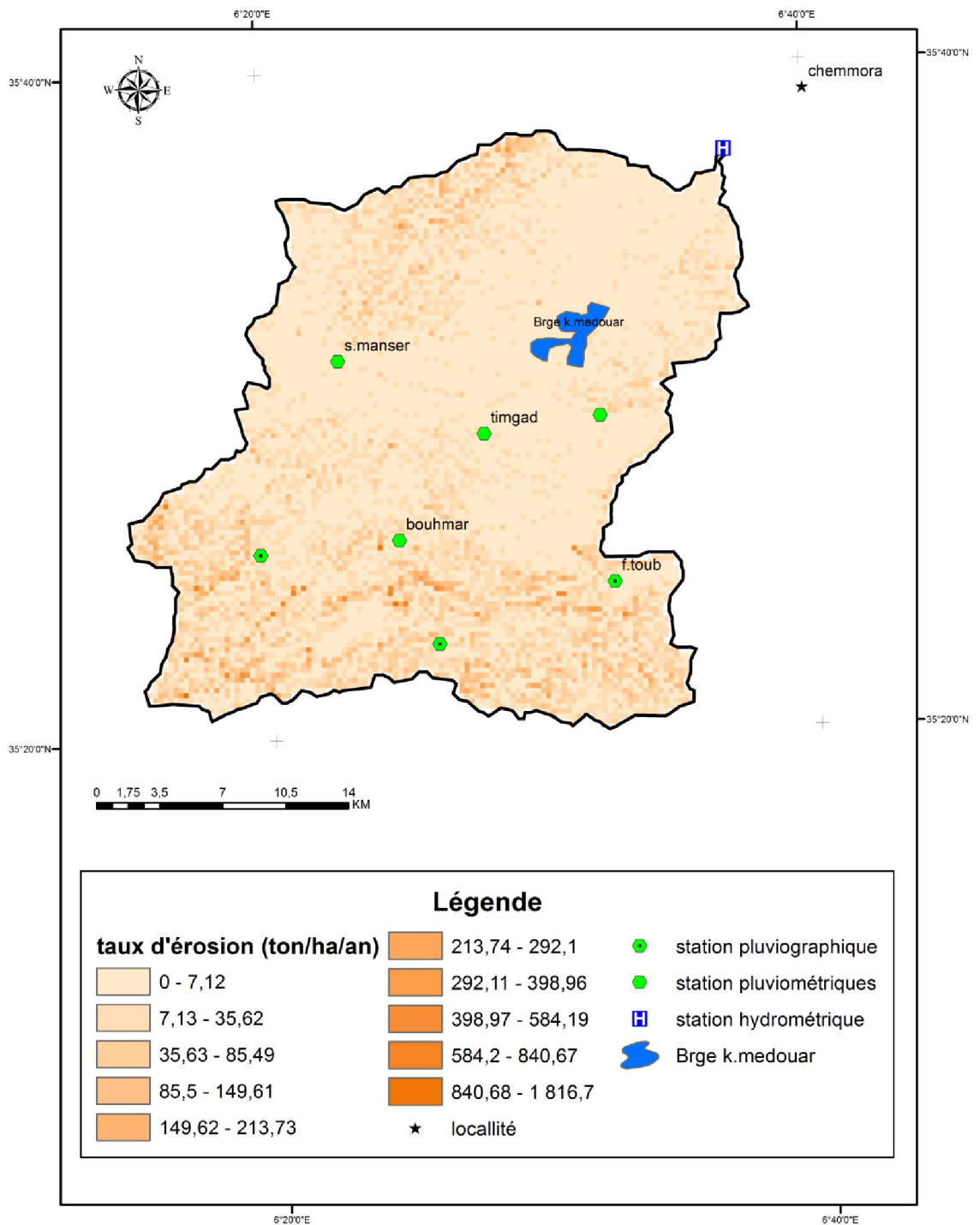


Figure 0.1: Carte du taux d'érosion calculé par A dans le bassin d'Oued Chemora du 1989 -1990

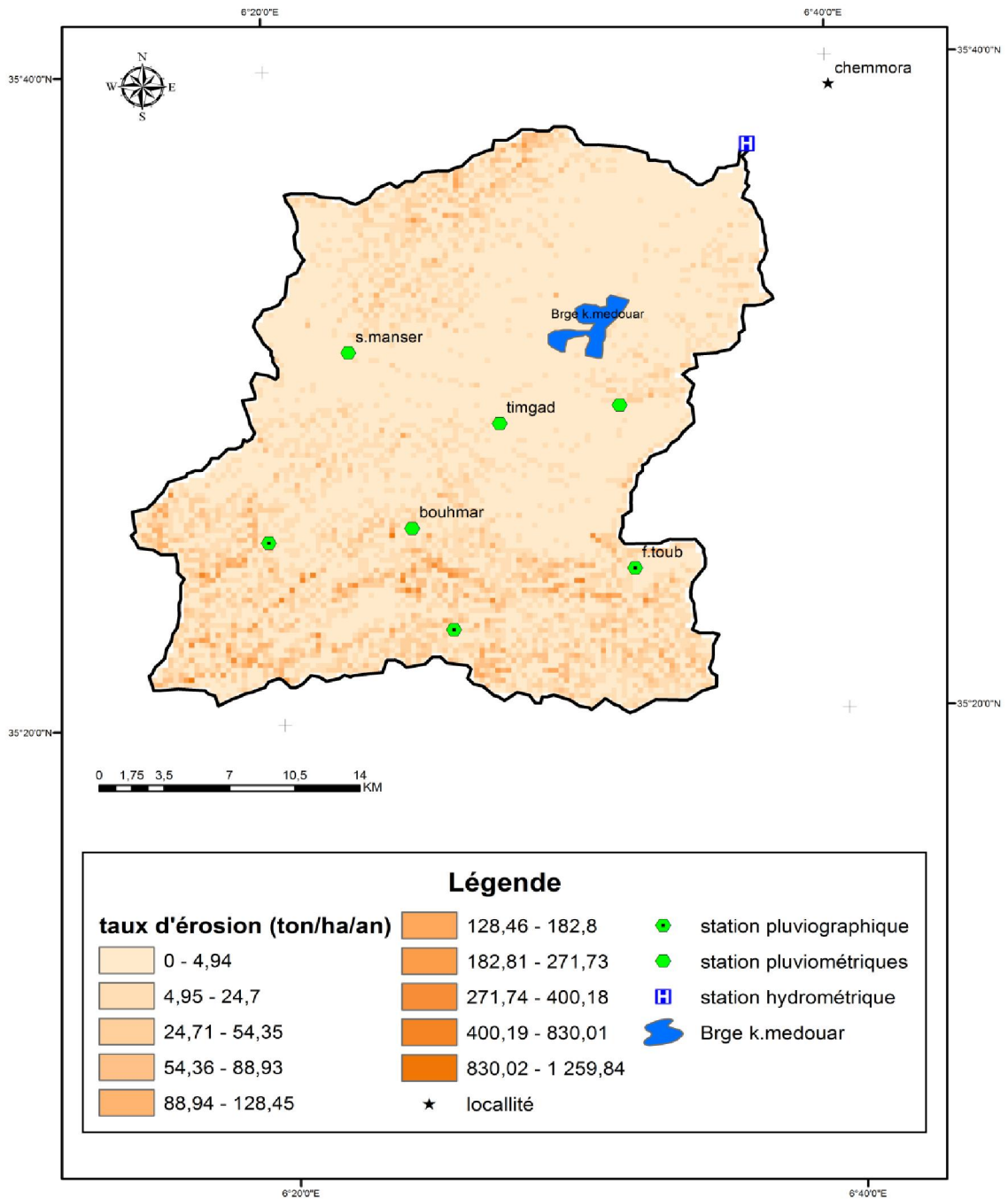


Figure 0.2: Carte du taux d'érosion calculé par A dans le bassin d'Oued Chemora du 1990 - 1991

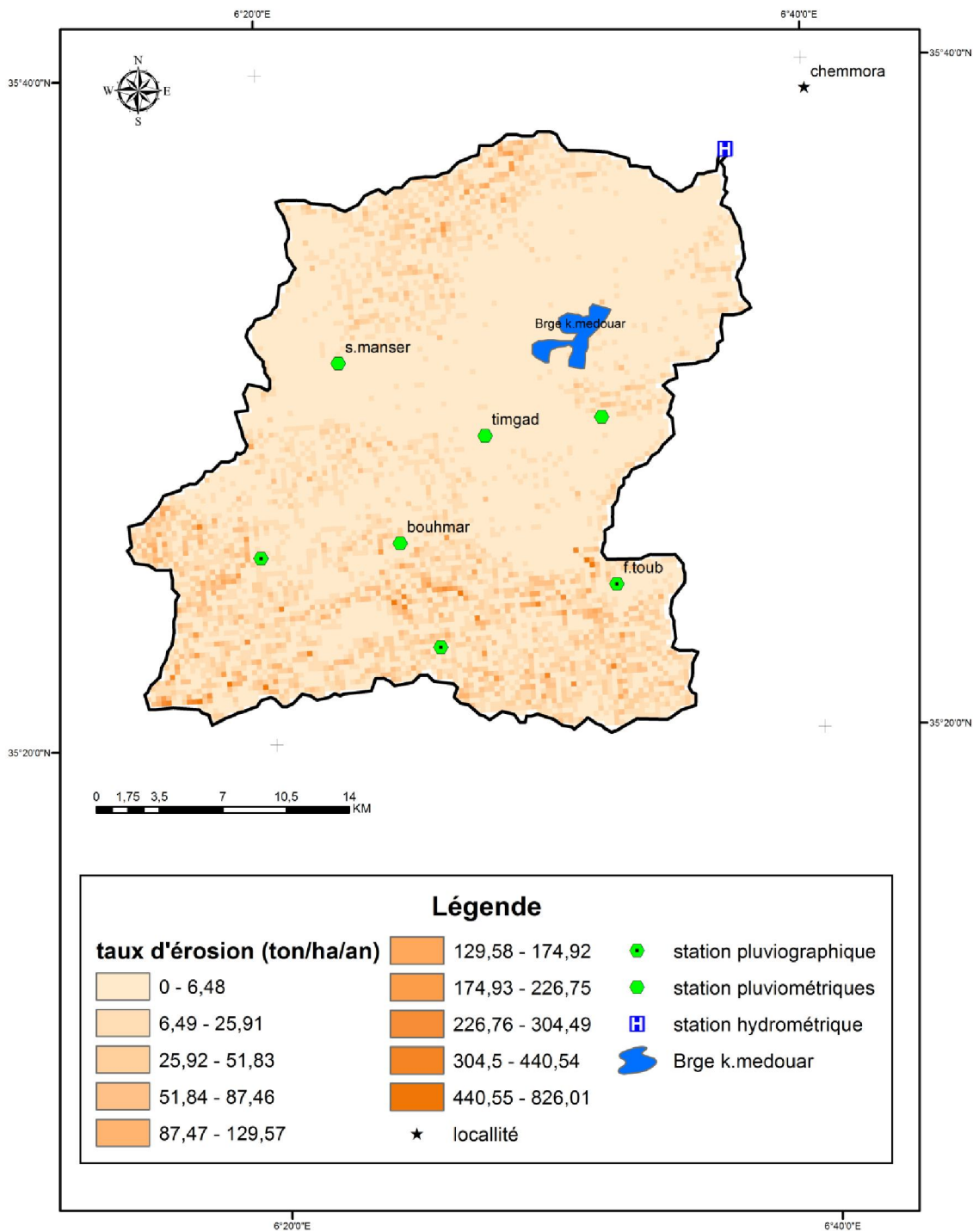


Figure 0.3: Carte du taux d'érosion calculé par RUSLE dans le bassin d'Oued Chemora du 1991 - 1992

3.2. Comparaison entre les résultats simulés par la modélisation et mesurés à la station de Chemora :

Pour la quantification et la variabilité des apports solides simulés par modélisation (RUSLE) et mesurés à la station hydrométrique de Chemora durant la période (Septembre 1989 à Aout 1992), nous classons les taux d'érosion et les apports solides mois par mois à l'échelle mensuelle et annuelle pour les résultats de modélisation par RUSLE.

Les résultats de ce classement sont récapitulés dans les tableaux et les figures suivants :

Tableau 0-1: Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées et mesurées du bassin versant d'Oued Chemora (Septembre 1989 à Aout 1990)

Mois	Apports solides simulés (Ass) par RUSLE (ton)	Apports solides mesurés (As) (ton)
Septembre	3681326.9	340873,7
Octobre	4500.6	4996,6
Novembre	686.0	220,4
Décembre	2245.4	0
Janvier	97922507.5	263425,8
Février	0.2	20060,0
Mars	1479045.2	4482,3
Avril	3241240.8	18663,9
Mai	1151606.4	349544,4
Juin	8.2	34241,7
Juillet	260.7	18957,8
Aout	25539202.2	2057,4
Total	133022629.8	1057524,2

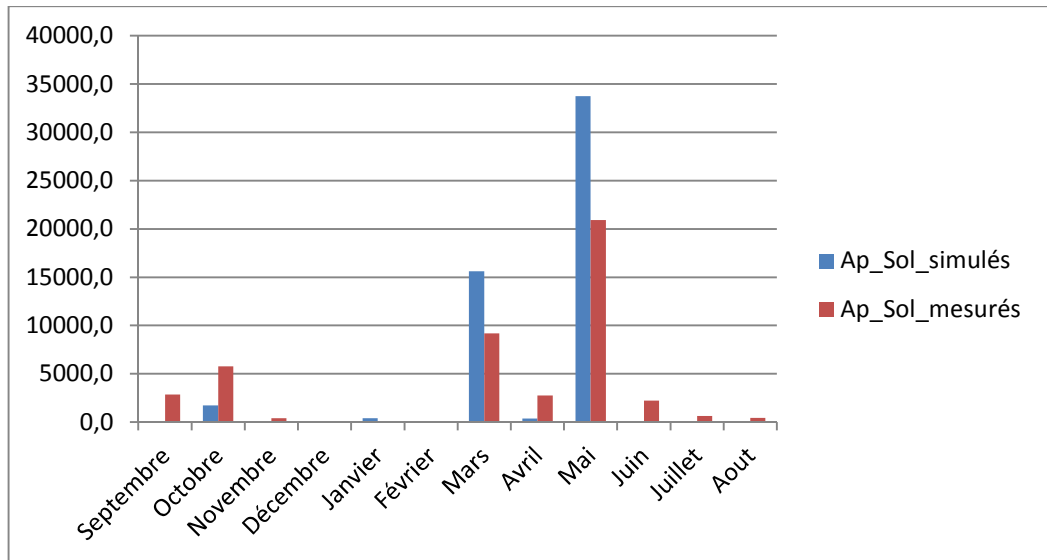


Figure 0.4: Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d’Oued Chemora (Septembre 1990 à Aout 1991)

Tableau 0-2: Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d’Oued Chemora (Septembre 1989 à Aout 1990)

Mois	Apports solides simulés (Ass) par RUSLE (ton)	Apports solides mesurés (As) (ton)
Septembre	570385.9	2130,92
Octobre	9.5	1983,96
Novembre	7005209.1	16092,12
Décembre	4870059.7	587,84
Janvier	1018.2	2939,2
Février	721853.3	1910,48
Mars	72549742.3	241381,8
Avril	531440.8	48276,36
Mai	119003.9	6539,72
Juin	67730.8	74949,6
Juillet	24321.2	25791,48
Aout	5814.9	0
Total	86466589.2	422583,48

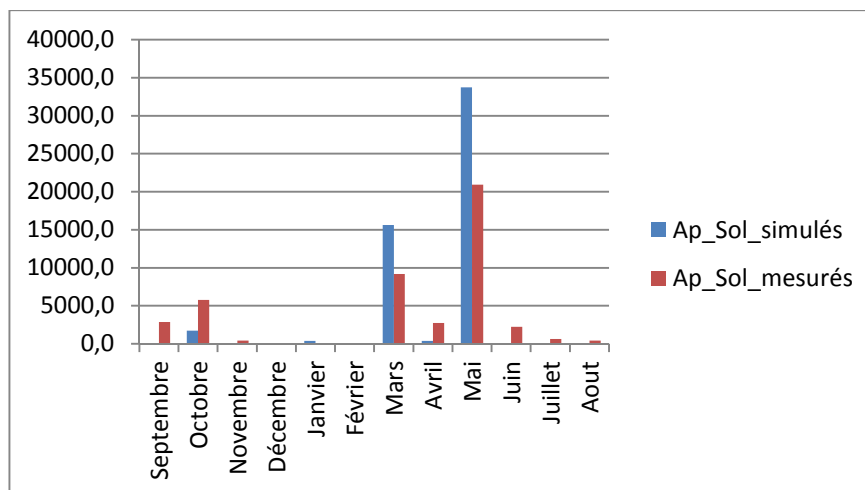


Figure 0.5: Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d'Oued Chemora (Septembre 1990 à Aout 1991)

Tableau 0-3: Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d'Oued Chemora (Septembre 1991 à Aout 1992)

Mois	Apports solides simulés (Ass) par RUSLE (ton)	Apports solides mesurés (As) (ton)
Septembre	105427.1	28436,76
Octobre	2793488.6	57828,76
Novembre	26485.6	4041,4
Décembre	35182.8	220,44
Janvier	630402.8	146,96
Février	22850.9	587,84
Mars	25144203.6	91923,48
Avril	606354.7	27408,04
Mai	54376436.3	209344,52
Juin	0.0	22264,44
Juillet	67746.7	6319,28
Aout	5751.3	4261,84
Total	83814330.6	452783,76

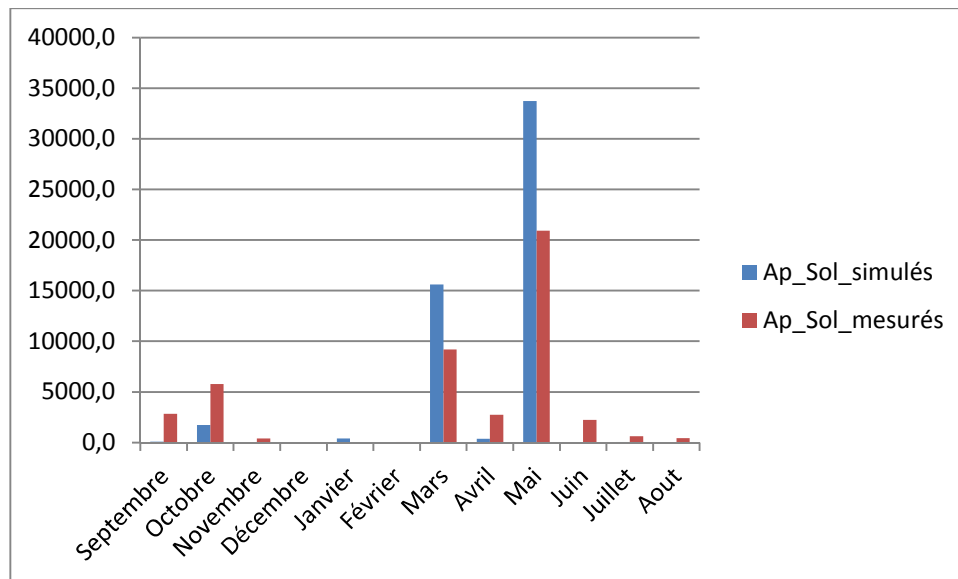


Figure 0.6: Variabilité mensuelle des quantités des apports solides érodées simulées Ass et mesurées As du bassin versant d’Oued Chemora (Septembre 1991 à Aout 1992)

La comparaison entre les résultats des apports solides simulés par les modèle RUSLE et les résultats mesurés à la station hydrométrique de Chemora (tableaux 3.1 ,3.2, 3.3,3.4) et figures (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6), montre que ces résultats ne sont pas similaires que se soit à l'échelle mensuelle ou à l'échelle annuelle.

3.3. Calcul du rapport de la livraison de sédiment (SDR) :

Les modèles USLE, RUSLE et MUSLE estime les quantités érodées (la source), il ne prend pas en compte le transport et le dépôt des sédiments. Nous allons estimer la partie des sédiments arrivant à la station hydrométrique durant les différents mois à l'aide du modèle du rapport de distribution des sédiments (SDR).

Plusieurs modèles sont disponibles pour l’estimation de SDR à l’échelle du bassin versant (cités dans le deuxième chapitre) parmi eux :

- 1er groupe : Celle qui estimé à partir du rapport entre le rendement en sédiments, mesuré à la sortie du bassin versant, et la perte brute de sol due à l'érosion, estimée par l'équation universelle de la perte de sol révisé (RUSLE), appelée $SDR_{réel}$, selon l'équation :

$$\text{SDR} = \left(\frac{\text{SY}}{\text{A}} \right) \times 100 \quad (\text{V-1})$$

Où :

SY- est le rendement des sédiments qui ont effectivement quitté le bassin versant (t ha-1),

A - est la perte de sol par unité de surface (t ha-1) estimée par RUSLE.

- 2ème Celle qui estimée à l'aide du modèle du rapport de distribution des sédiments (SDR) de Walling (1983) :

$$\text{SDR (\%)} = C_{\text{sol (\%)}} / C_{\text{sed (\%)}} \quad (15)$$

Ou : $C_{\text{sol (\%)}}$ = Le pourcentage d'argile dans le sol du bassin.

$C_{\text{sed (\%)}}$ = Le pourcentage d'argile dans les sédiments (%).

L'approche utilisée dans cette étude est la suivante :

L'évaluation du SDR pour chaque mois en utilisant la procédure du premier groupe c'est à dire l'estimation de ce paramètre à partir des données mesurées à la sortie du bassin versant au niveau de la station hydrométrique de Chemora. Ensuite, en appliquant le modèle de Walling (1983), appartenant au deuxième groupe, nous allons estimer les rapports SDR en fonction du pourcentage de l'argile dans le sol (lithologie) et en exploitant les données du sol du site SOILGRIDS.ORG.

La figure suivante représente la carte du pourcentage d'argile extraite du site **SOILGRIG.ORG**

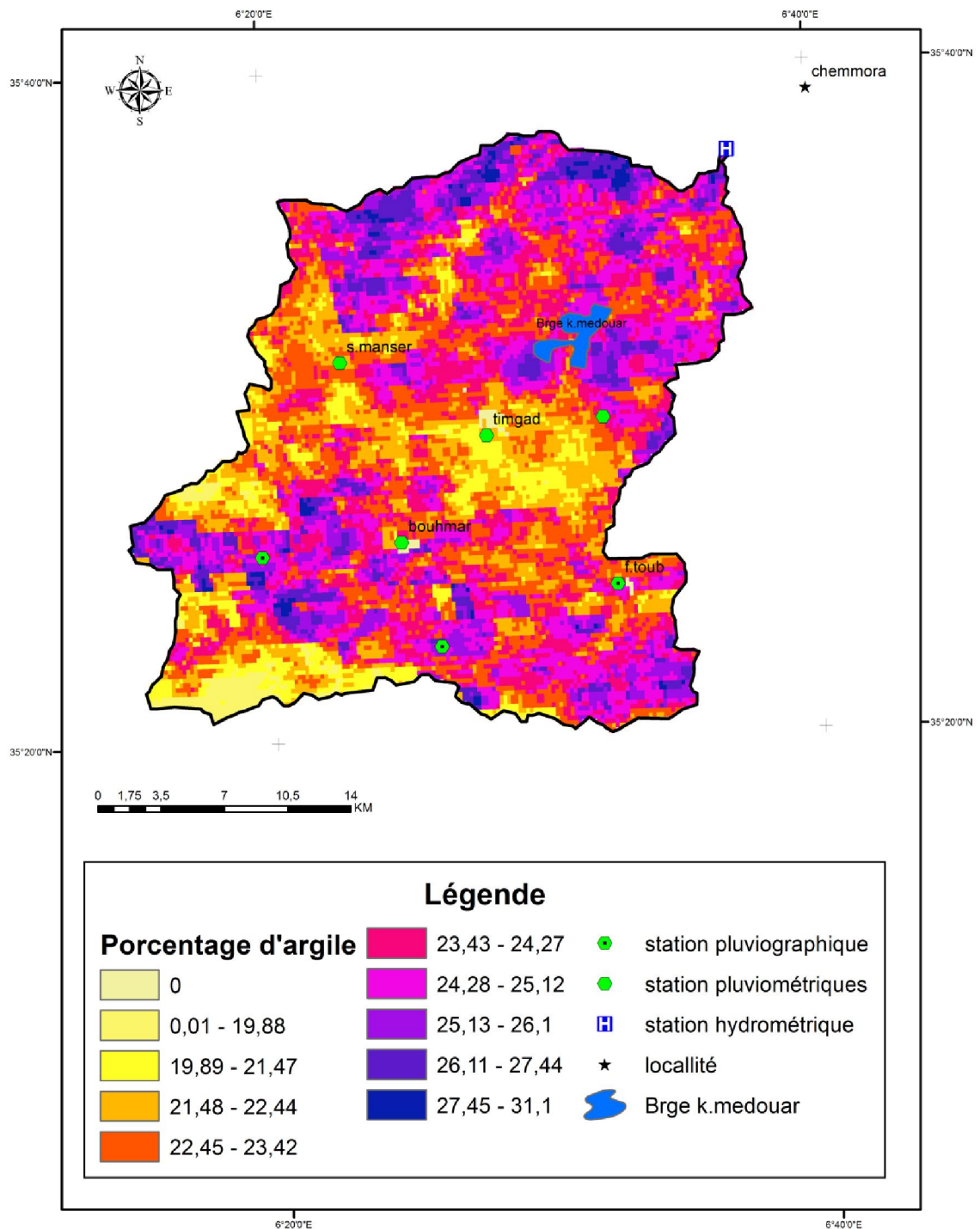


Figure 0.7: Carte du pourcentage d'argile dans le bassin versant Chemora

On applique l'équation de Walling, on obtient la carte de la répartition spatiale du SDR dans le bassin versant de Chemora.

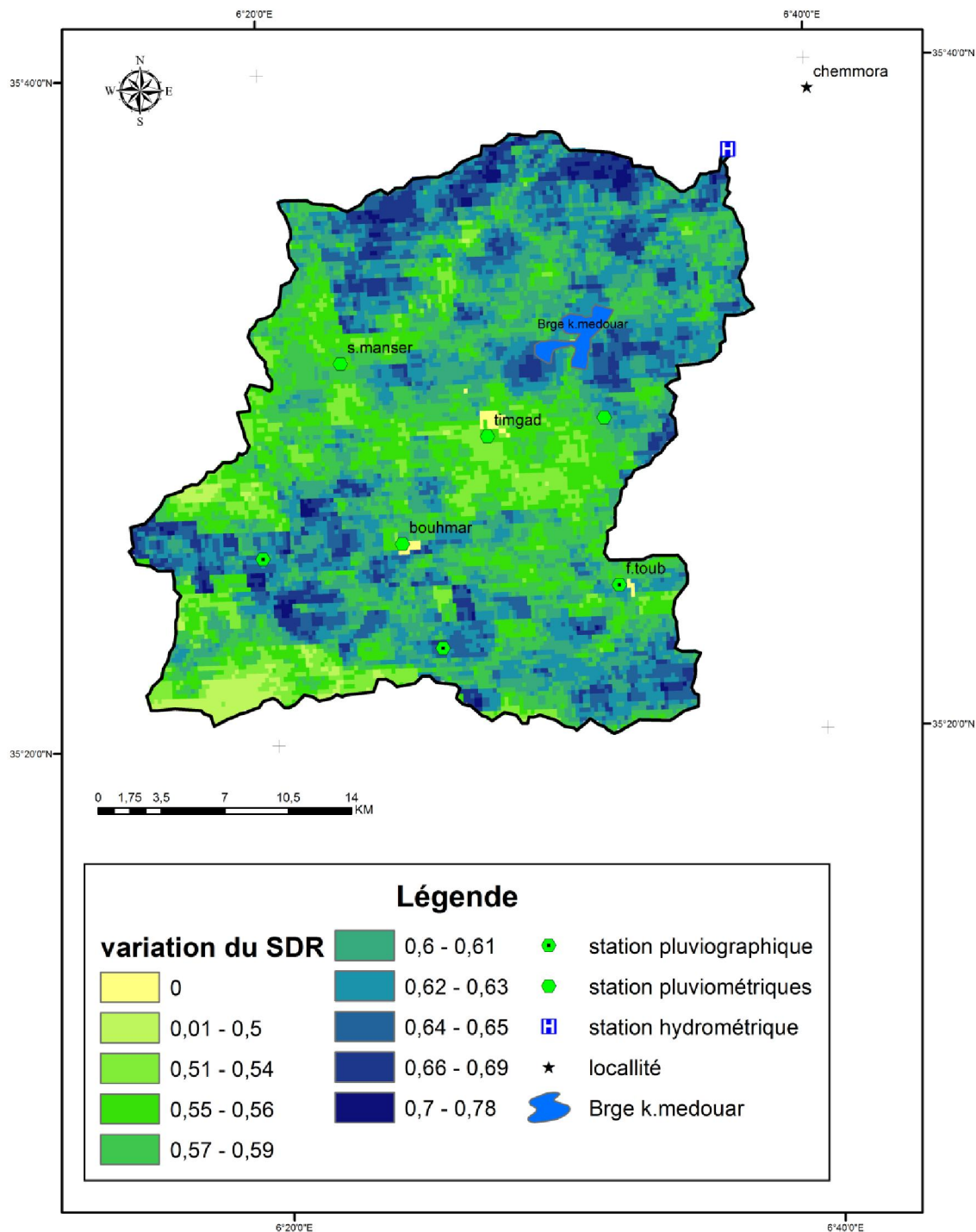


Figure 0.8: Carte de la variation du SDR dans le bassin versant Chemora

Les résultats de SDR obtenus par les deux équations précédentes (V-1) et (V-2) pour les deux méthodes de modélisation du Septembre 1989 à Aout 1992 sont présentés dans les tableaux et les figures suivants :

3.3.1. A l'échelle mensuelle et annuelle par RUSLE :

Tableau 0-4: Variation des valeurs de SDR à l'échelle mensuelle du bassin d'Oued Chemora (Septembre 1989 à Aout 1990)

Mois	SDR _{réel} Calculées par l'équation1 (IV-1)	SDR Calculées par l'équation2 (IV-2) de WALLING
Septembre	14,09	0,59
Octobre	168,96	0,59
Novembre	48,90	0,59
Décembre	0,00	0,59
Janvier	0,41	0,59
Février	0,00	0,59
Mars	0,46	0,59
Avril	0,88	0,59
Mai	46,19	0,59
Juin	/	0,59
Juillet	/	0,59
Aout	0,01	0,59
Total	1,21	0,59

Tableau 0-5 : Variation des valeurs de SDR à l'échelle mensuelle du bassin d'Oued Chemora (Septembre 1990 à Aout 1991)

Mois	SDR _{réel} Calculées par l'équation1 (IV-1)	SDR Calculées par l'équation2 (IV-2) de WALLING
Septembre	0,88	0,59
Octobre	/	0,59
Novembre	0,54	0,59
Décembre	0,03	0,59
Janvier	682,53	0,59
Février	0,63	0,59
Mars	0,79	0,59
Avril	21,48	0,59
Mai	12,99	0,59
Juin	261,66	0,59
Juillet	250,75	0,59
Aout	0,00	0,59
Total	1,16	0,59

**Tableau 0-6: Variation des valeurs de SDR à l'échelle mensuelle du bassin
Chemora (Septembre 1991 à Aout 1992)**

Mois	SDR_{réel} Calculées par l'équation1 (IV-1)	SDR Calculées par l'équation2 (IV-2) de WALLING
Septembre	43,46	0,59
Octobre	3,34	0,59
Novembre	24,59	0,59
Décembre	1,01	0,59
Janvier	0,04	0,59
Février	4,14	0,59
Mars	0,59	0,59
Avril	7,28	0,59
Mai	0,62	0,59
Juin	/	0,59
Juillet	15,03	0,59
Aout	119,40	0,59
Total	0,87	0,59

Après superposition des cartes du facteur A déterminées par le modèle RUSLE et la carte du SDR, on trouve les cartes du sols érodé réellement arrivé à la station de Chemora.

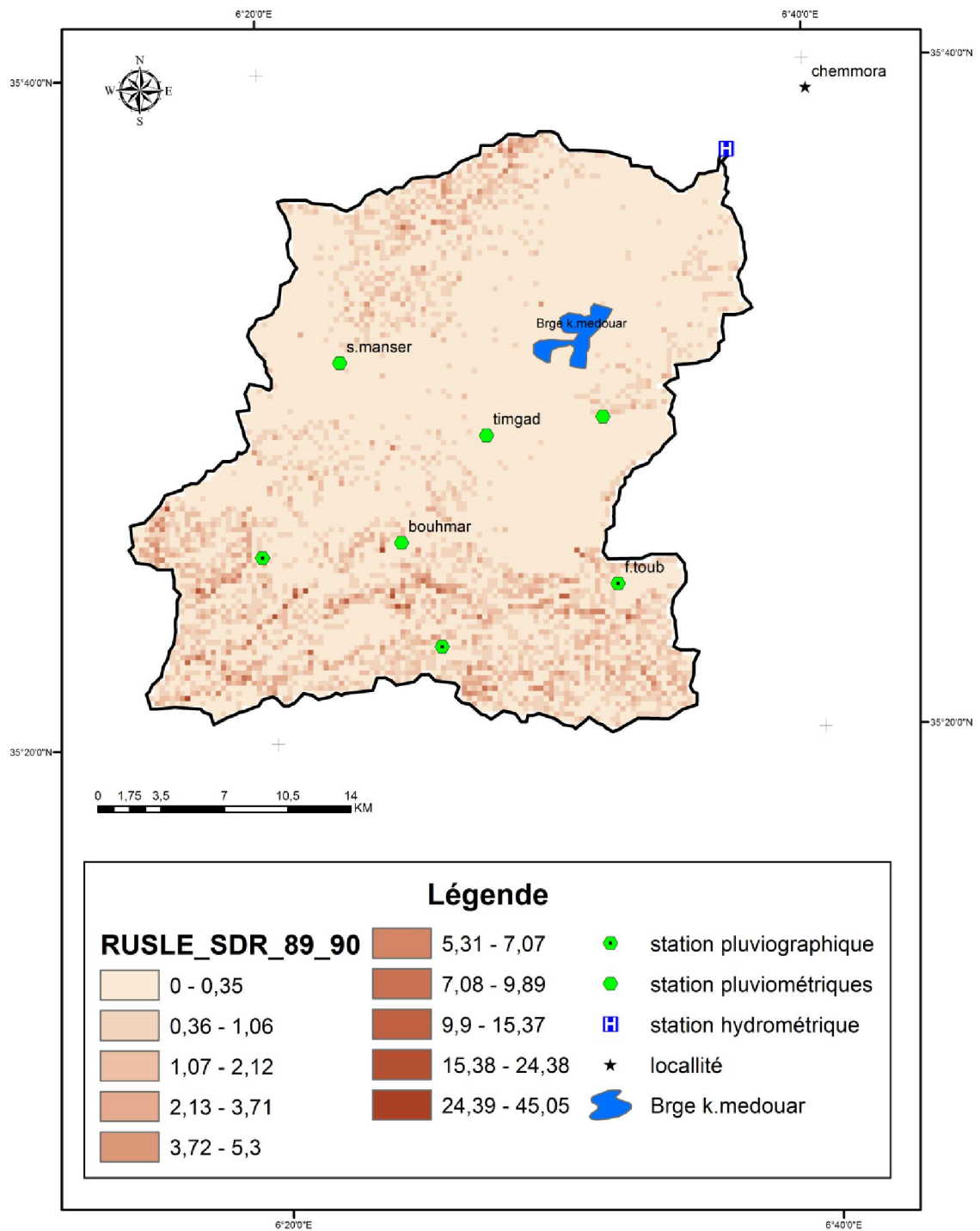


Figure 0.9: Carte du taux d'érosion calculé par RUSLE dans le bassin d'Oued Chemora arrivé à la station de Chemora du Septembre 1989 à Aout 1990

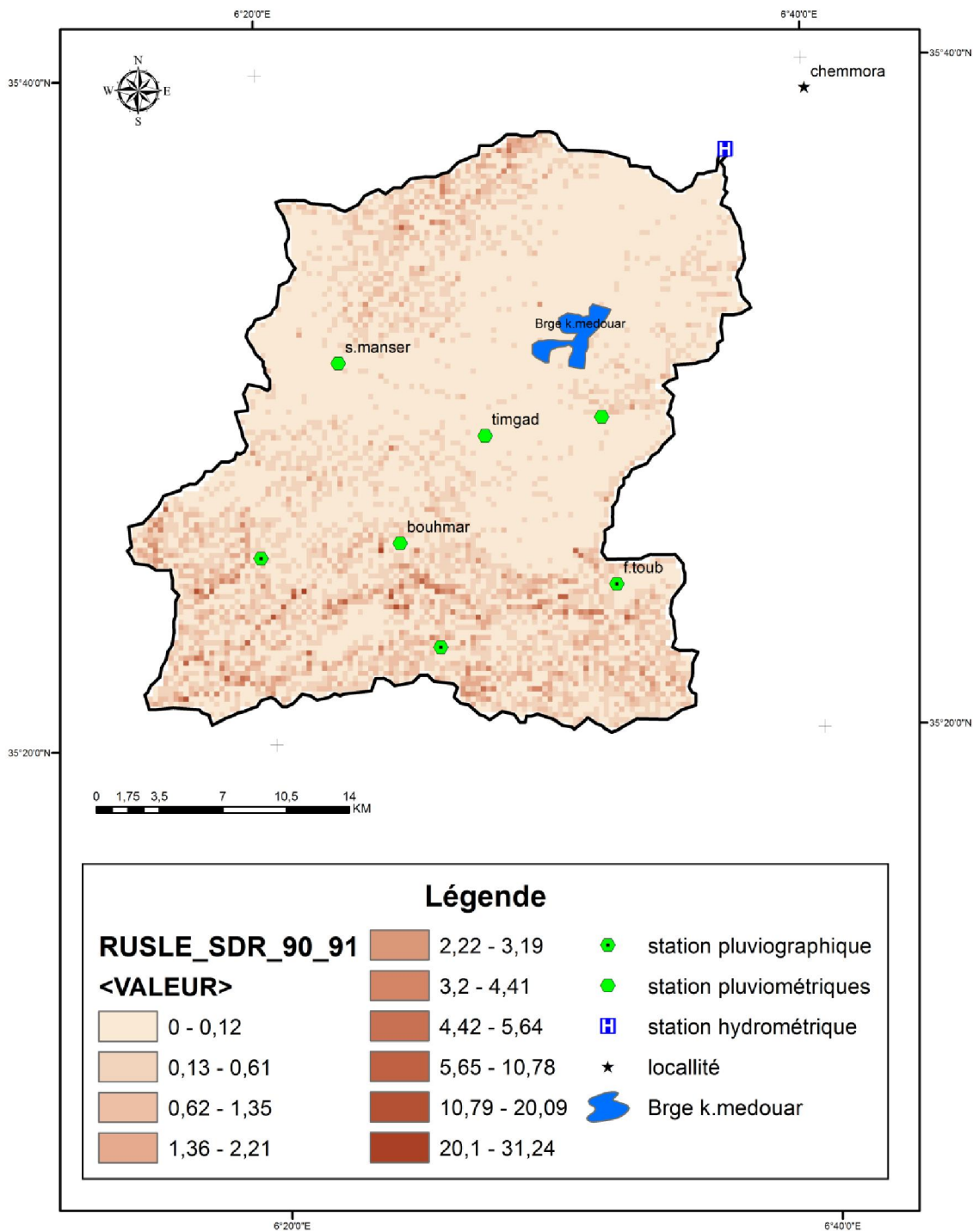


Figure 0.10: Carte du taux d'érosion calculé par RUSLE dans le bassin d'Oued Chemora arrivé à la station de Chemora du Septembre 1990 à Aout 1991

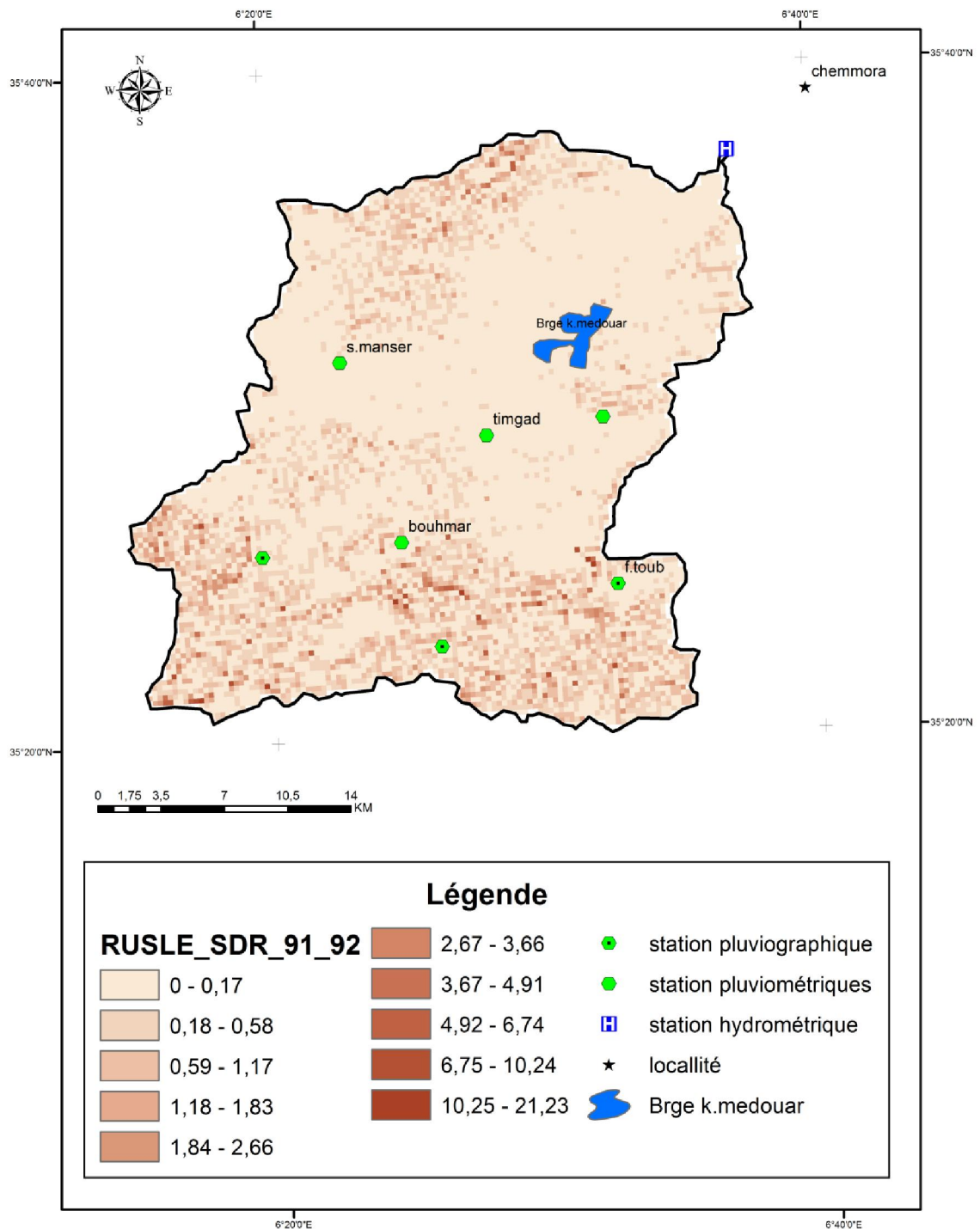


Figure 0.11: Carte du taux d'érosion calculé par RUSLE dans le bassin d'Oued Chemora arrivé à la station de Chemora du Septembre 1989 à Aout 1990

Les valeurs des quantités érodées arrivées à l'exécutoire du bassin varient de 0 à 45,05 t/ha/an avec une moyenne de 0.42 t/ha/an pour la période (Septembre 1989 à Aout 1990) ;

Les valeurs des quantités érodées arrivées à l'exécutoire du bassin varient de 0 à 31,24 t/ha/an avec une moyenne de 0.27 t/ha/an pour la période (Septembre 1990 à Aout 1991) ;

Les valeurs des quantités érodées arrivées à l'exécutoire du bassin varient de 0 à 21,23 t/ha/an avec une moyenne de 0.26 t/ha/an pour la période (Septembre 1991 à Aout 1992).

3.4. Conclusion :

L'analyse des résultats nous a conduits aux conclusions suivantes :

-Entre septembre 1989 et août 1990, le taux d'érosion variait de 0 à 9 046 tonnes/ha/an La moyenne est de 69,82 tonnes/ha/an, et l'apport solide annuel total est de 874 117,1 tonnes.

-Le taux d'érosion de septembre 1990 à août 1991 varie de 0 à 7775 tonnes/ha/an La moyenne est de 36,47 tonnes/ha/an, et l'apport annuel total est de 365 680,7 tonnes.

-Entre septembre 1991 et août 1992, le taux d'érosion variait de 0 à 3339 tonnes/ha/an La moyenne est de 28,73 tonnes/ha/an, et l'apport annuel total est de 520 188,5 tonnes.

-88,13 % de la surface du bassin versant de l'Oued Chemora est plat à faible.

Pour les pentes dont le taux d'érosion est inférieur à 7,0 tonnes/ha/an, selon la classification établie aux États-Unis basée sur la tolérance des sols agricoles à la perte (Sadiki, Saïdati, Auajjar, Faleh, Macaire 2004). L'autre partie, représentant 3,75 % de la superficie du bassin, a

Matériaux fragiles issus de l'écaillage de la végétation dans les zones vallonnées ; ils sont situés

Les pentes des montagnes escarpées ont un taux d'érosion supérieur à 20 tonnes/ha/an.

Cela signifie que le sol est très dégradé, ce qui aura un impact négatif sur la production et la production Perte élevée dans la même catégorie.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Au terme de ce travail, nous pensons avoir contribué à la connaissance pour mieux comprendre le mécanisme de l'érosion et du transport des matières en suspension, ainsi que l'évaluation, en l'impact de l'espace, du climat et de l'utilisation des terres sur l'érosion hydrique et la quantité de sédiments transportés à l'exutoire du bassin. En particulier, ce travail a été appliqué au bassin versant d'Oued Chemora situé dans la partie Nord des Aurès appartient au grand bassin versant « Hauts de Constantine » numéro 7 Selon la nomenclature adoptée par l'ANRH.

A travers les résultats obtenus nous constatons que :

- La quantité de sédiments disponibles pour le transport dépend de l'importance et fréquence des agents d'érosion, type de sol, topographie et utilisation des terres territoire.
- L'évaluation de l'érosion hydrique et du transport des sédiments nécessite des analyses et des études de simulation qui prend en compte les évolutions spatiales et temporelles de ces paramètres à l'échelle du bassin versant.
- Application du modèle hydrologique à l'aide du système d'information géographique (SIG) Il est possible d'analyser une grande quantité de données qui peuvent définir la sédimentologie de l'eau d'un bassin versant.

Perspectives :

A titre de perspectives, deux points importants sont à développer pour avancer dans l'étude de la variation du SDR :

- a. Segmentation du bassin versant en unités spatiales de calcul relativement homogènes en fonction de la disponibilité des stations hydrométriques.
- b. Utilisation de d'autres modèles pour l'estimation du SDR.

Références Bibliographiques :

Amor, M. B. (2019/2020).

ANRH. (2005). Cadre du réseau hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux.

Berghout, A. (2017). Modélisation du transport solide dans certains bassins versants du nord-est.

Borst H.L., W. R. (1940). Rain simulator studies of slop on erosion and runoff. USDA, soil. p. .p : 30.

ChabaanChayma. (2016). Modélisation de l'érosion hydrique par le modèle SEAGIS cas du bassin. Mémoire de projet de fin d'étude. Université El Manar.

Dragicevic N, K. B. (2016). 201.

Dragicevic N, K. B. (2016). A review of the Gavrilovic method (Erosion Potential Method).

Einstein, H. (1950). The bed load function for sediment transportation in open channels. (*Soil Conservation Service*),, p. 78 p.

Flanagan, D. J. (1995). The Water Erosion Prediction Project (WEPP) Models for Use in Natural Resource Management.

Gavrilovic, S. (1972). Inzenjering o bujicnimtokovimaieroziji. Izgradnja (special issue), PPT,, Beograd., Serbia.

Girard, M.-C. W.-C. (2005). Sols et environnement. p. 816 p.

Gregory, K. a. (1973). Drainage Basin form and processes: a geomorphological approach. p. 458 p.

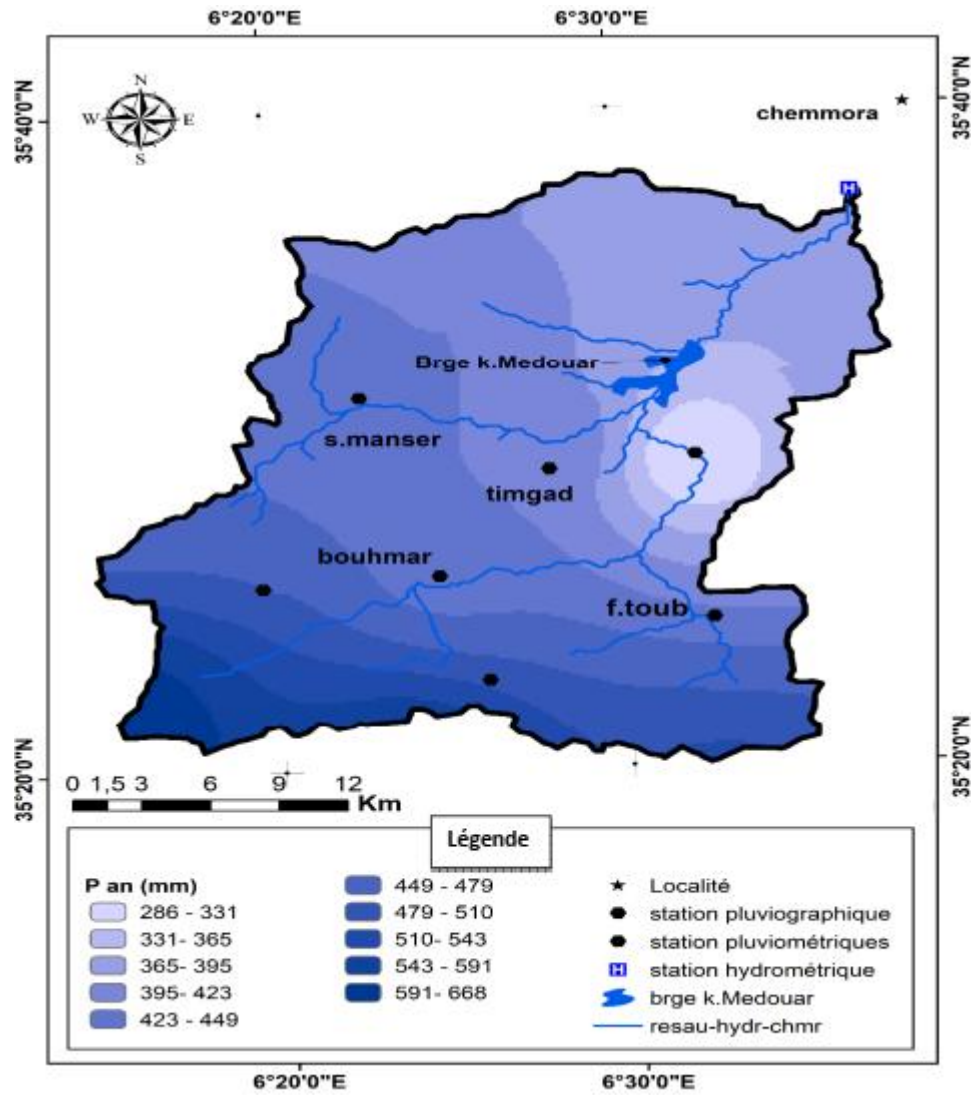
Hafida, Z. (2010). Conservation des sols et de l'eau. Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs. Salé, Département Sol Eau Biodiversité, Tabriquet, Maroc.

Hawkins, G. G. (1978-1979). Hydrologic impact of grazing on infiltration: A critical review. *Water Ressources Res. Deterministic hydrologic modelling of grazing system onreview. Water Ressources Res*, pp. 305-313.

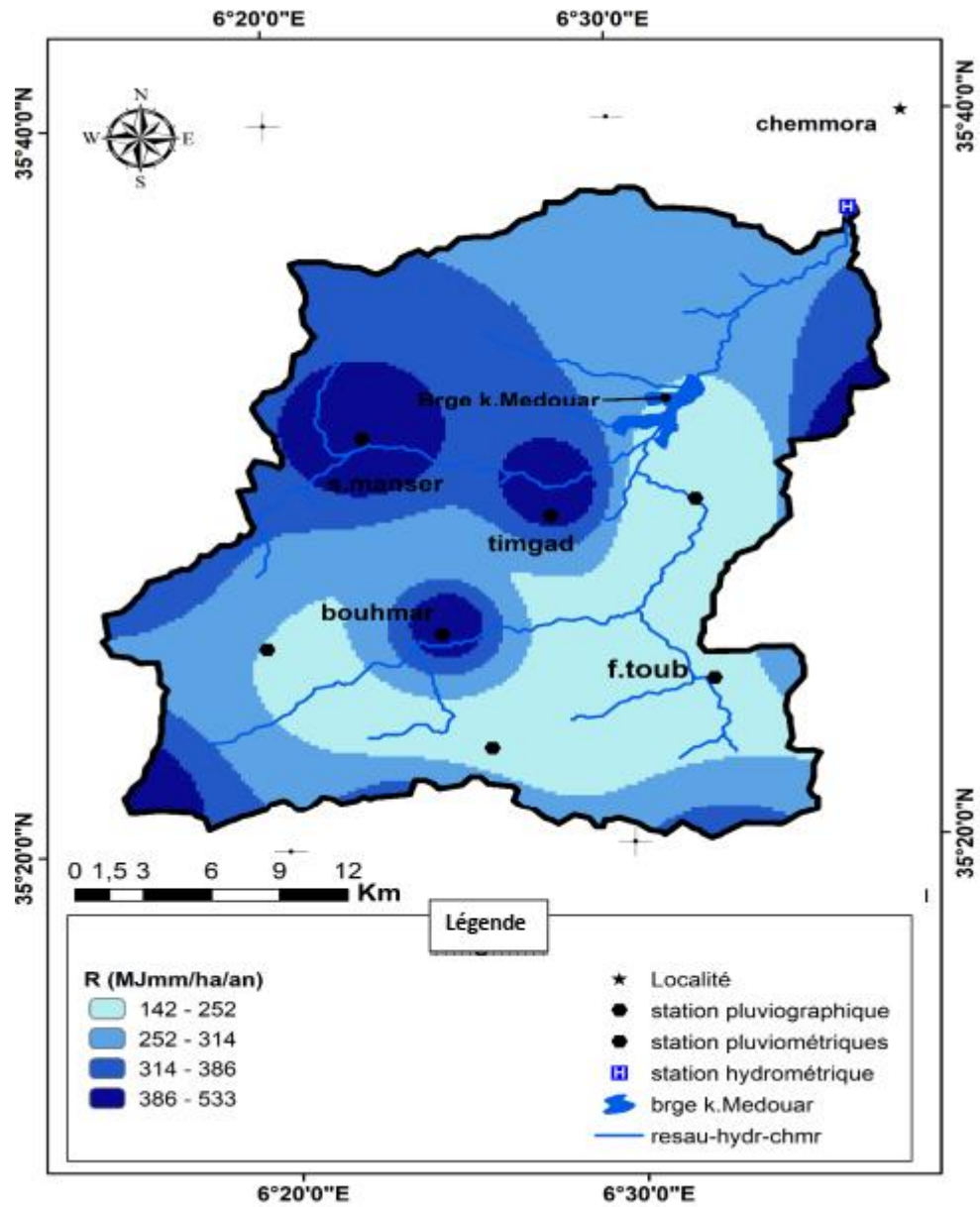
Hjulström, F. (1935). Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Delivery Ratio Based on Physical Principles, a CSIRO Land and Water, Canberra, ACT. Australia.

- Jetten V., G. G. (2003). Erosion models: quality and spatial predictions.
- Laffite, R. (1939). Etude de géologie de l'Aurès. Doctorat ès Sciences Paris, Bull. Serv. Carte. pp. n° 15, 484 p., 26 fig., 35 cartes.
- Leguédais, S. (2003). Mécanismes de l'érosion diffuse des sols. modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Université d'Orléans.
- Merritt, W. L. (2003). A review of erosion and sediment transport.
- Mokhtari, E. (2009.). Contribution à l'étude du transport solide en suspension Bassin de Annaba., Faculté Sciences de l'Ingénieur.
- Nice, U. (2008). La dégradation des sols dans le monde ; université nicesphianapolis site. universitenicesphianapolis.
- Poerbandono, A. B. (2006). Evaluasi Perubahan Perilaku Erosi Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu dengan Pemodelan Spasial. *Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan II*.
- Remini, A. K. (2003). Envasement des barrages, EDOC. Alger.
- Renard, K. G. (1991). RUSLE: Revised universal soil loss equation. J. Soil Water Conserv.
- Shen, Z. G. (2009). A comparison of. p. 96.
- Williams, J. a. (1977). Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. Amer. Sot. Agr. Eng.
- Wischmeier, W. a. (1978). Predicting rainfall erosion losses—a guide for conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook,.

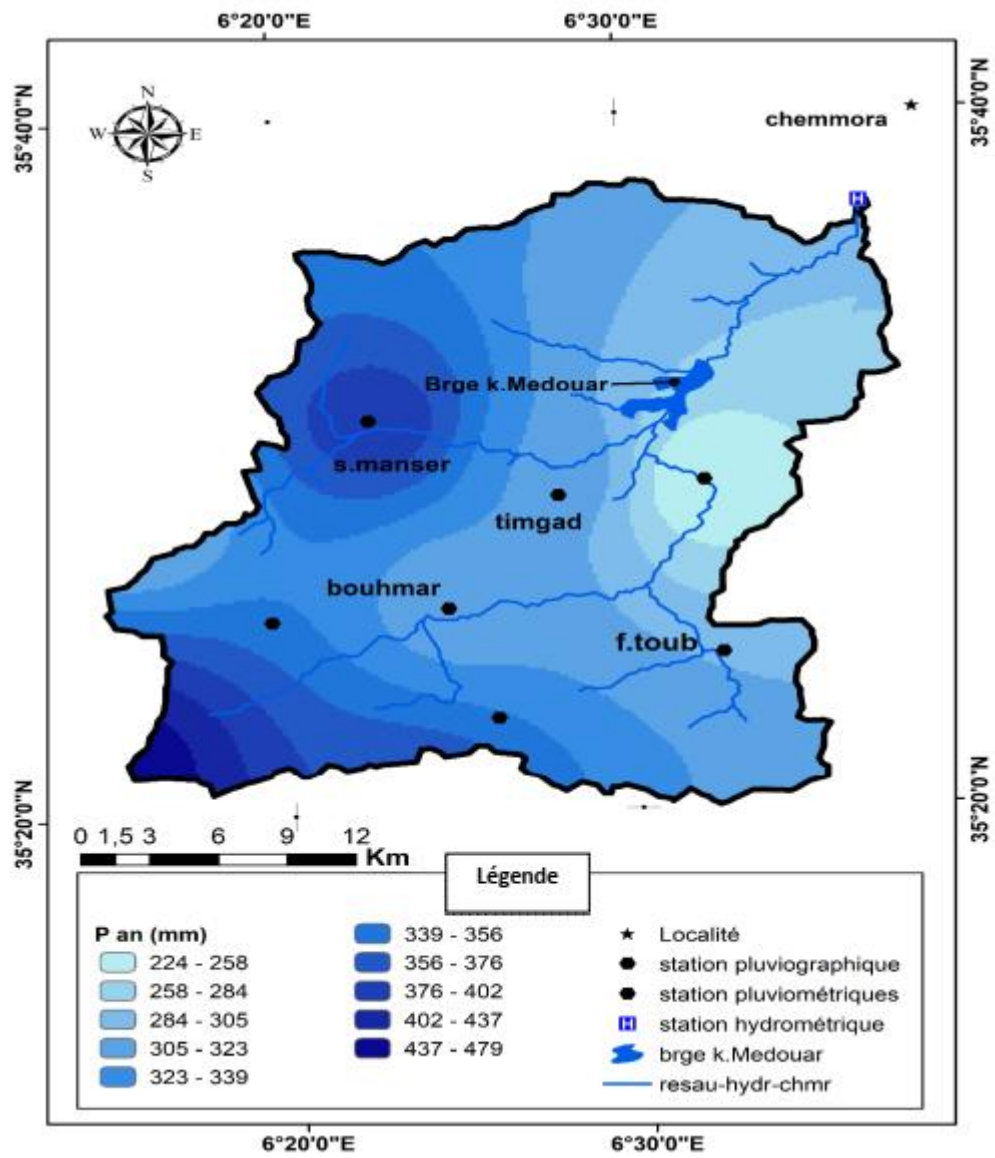
Annexes :



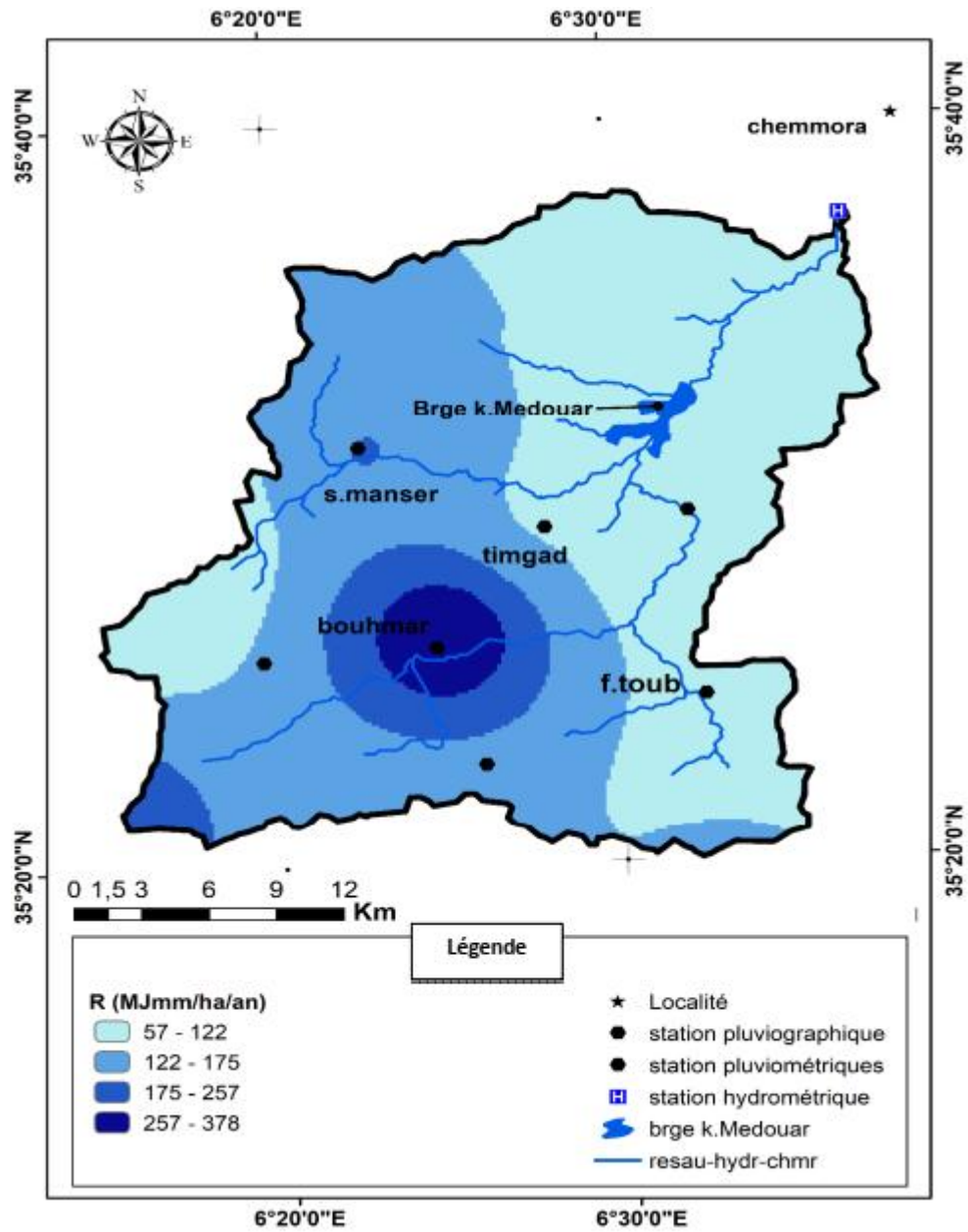
Précipitations annuelles dans le bassin d'Oued Chemora en (mm) du Septembre 1989 à Aout 1990



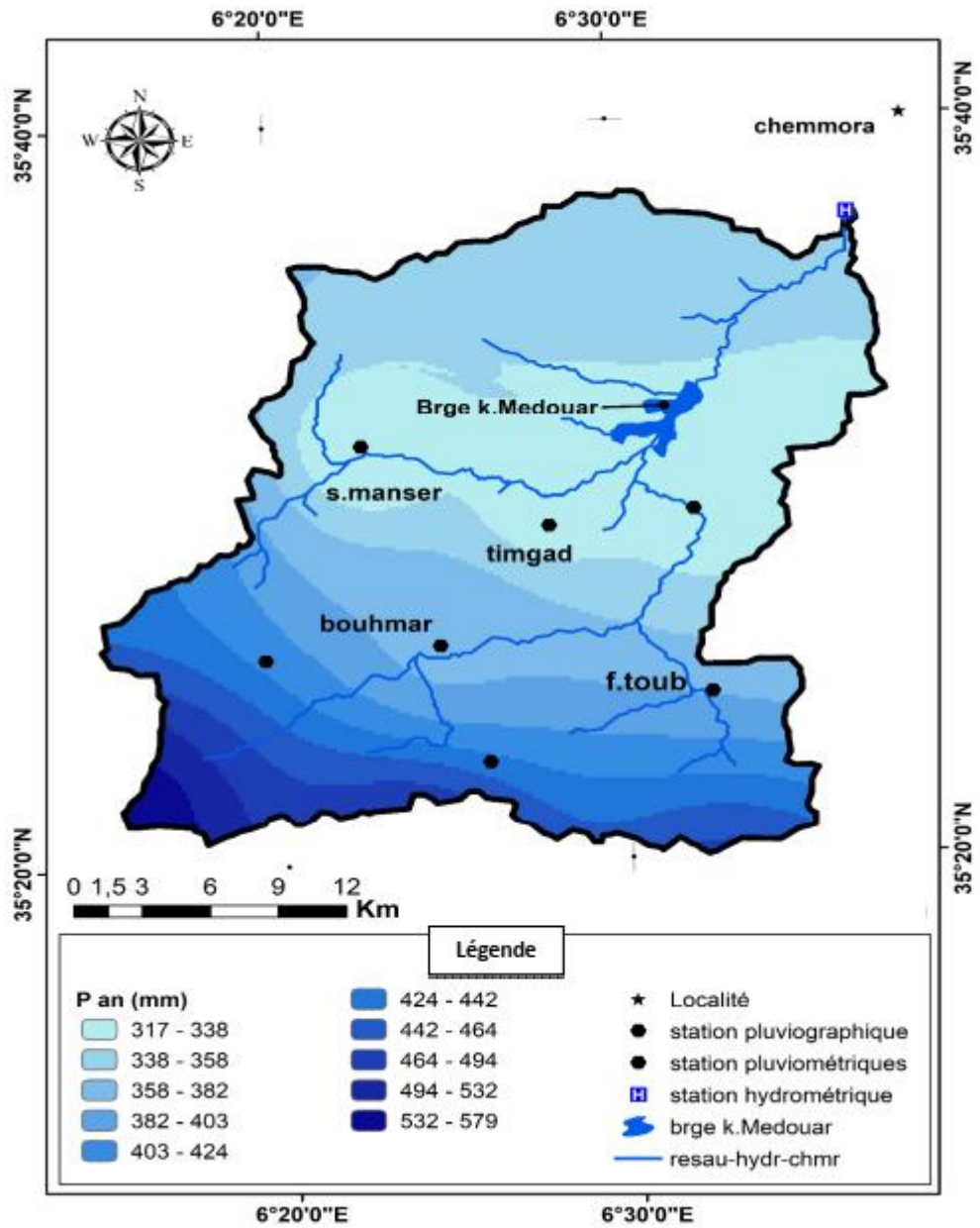
Facteur R annuel de l'érosivité potentielle de la précipitation
 R (Mj mm/ha/an) dans le bassin d'Oued Chemora du Septembre 1989 à Aout 1990



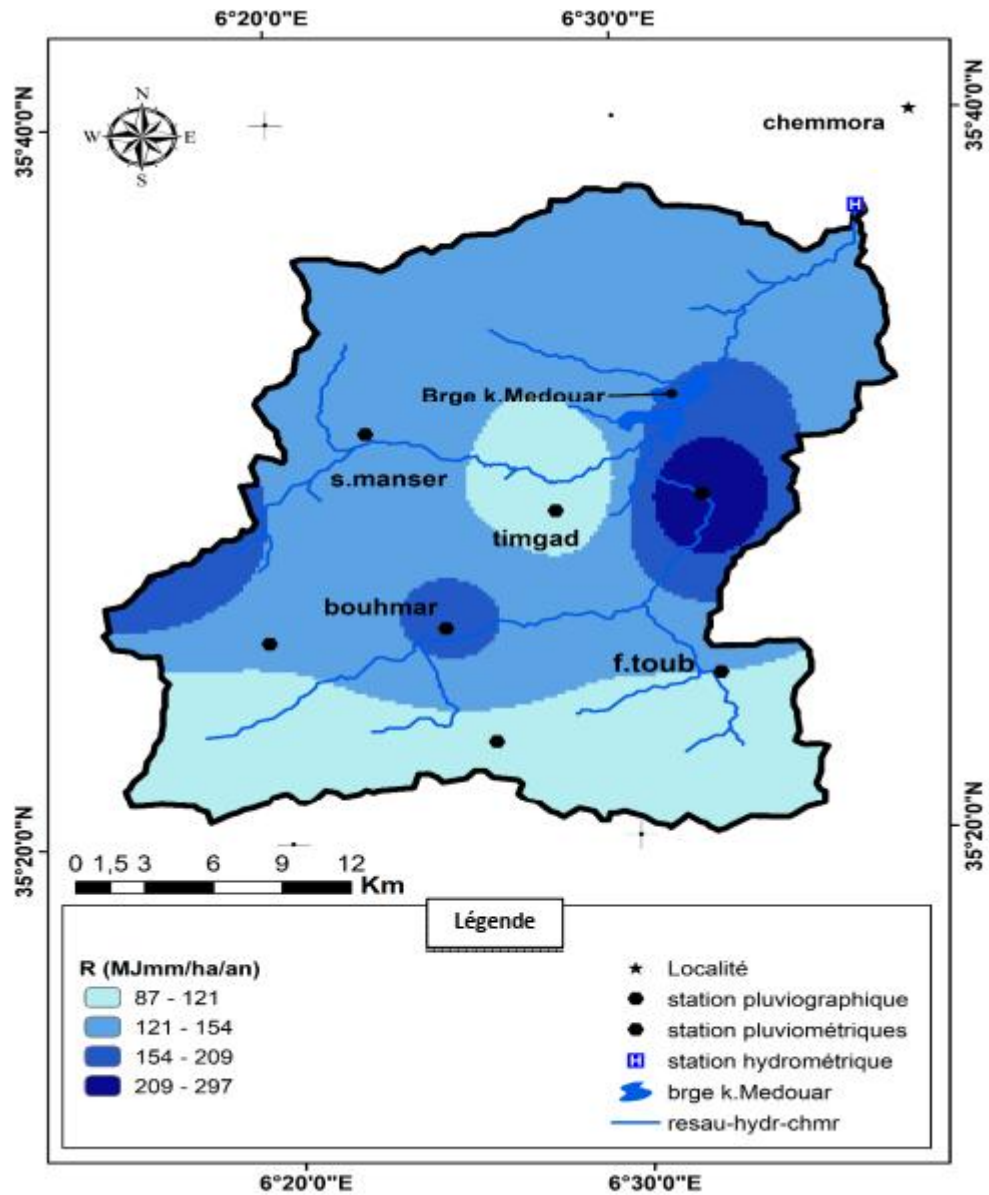
Précipitations annuelles dans le bassin d'Oued Chemora en (mm) du Septembre 1990 à Aout 1991



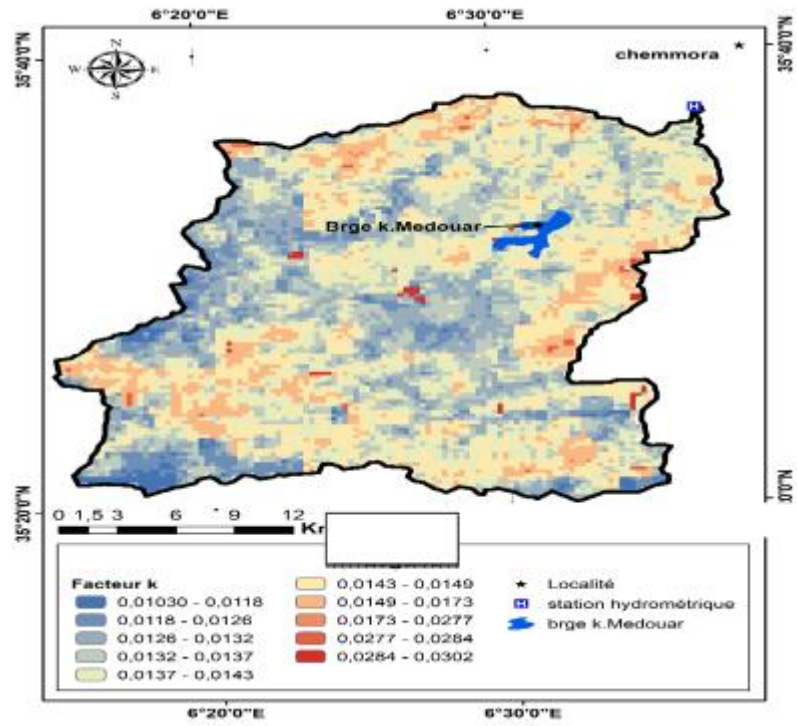
Facteur R annuel de l'érosivité potentielle de la précipitation
 R (Mj mm/ha/an) dans le bassin d'Oued Chemora du Septembre 1990 à Aout 1991



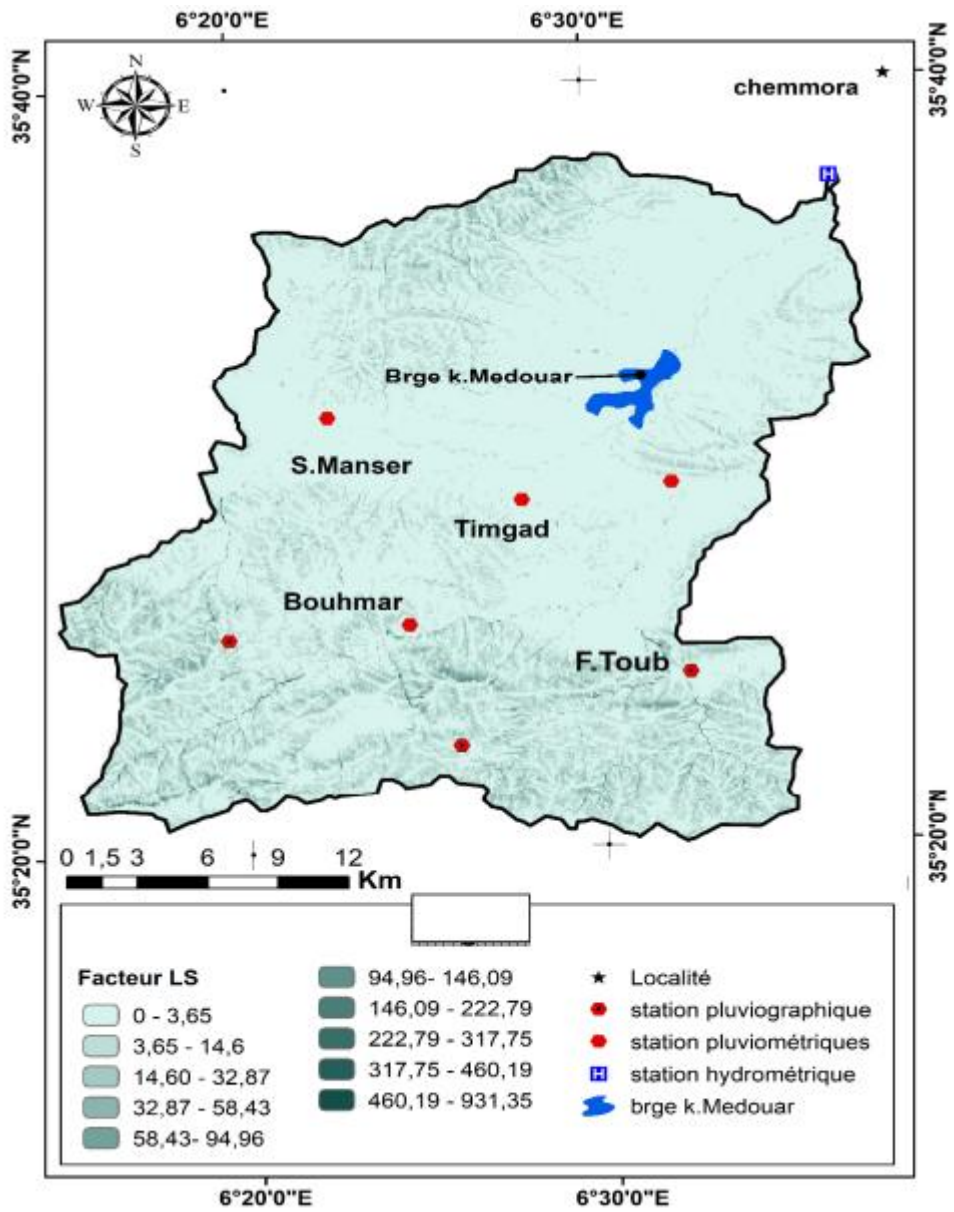
Précipitations annuelles dans le bassin d'Oued Chemora en (mm) du Septembre 1991 à Aout 1992



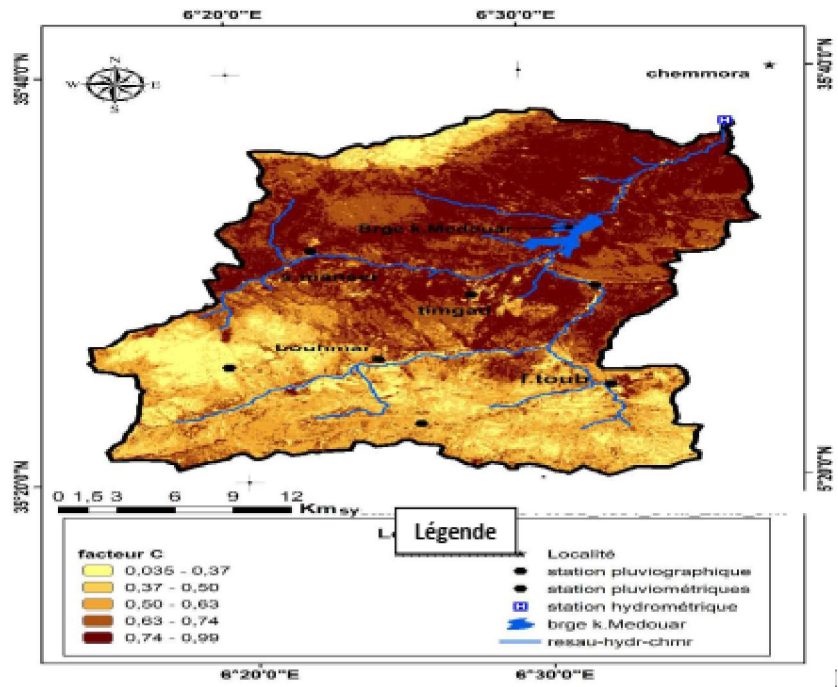
Facteur R annuel de l'érosivité potentielle de la précipitation
 R (Mj mm/ha/an) dans le bassin d'Oued Chemora du Septembre 1991 à Aout 1992



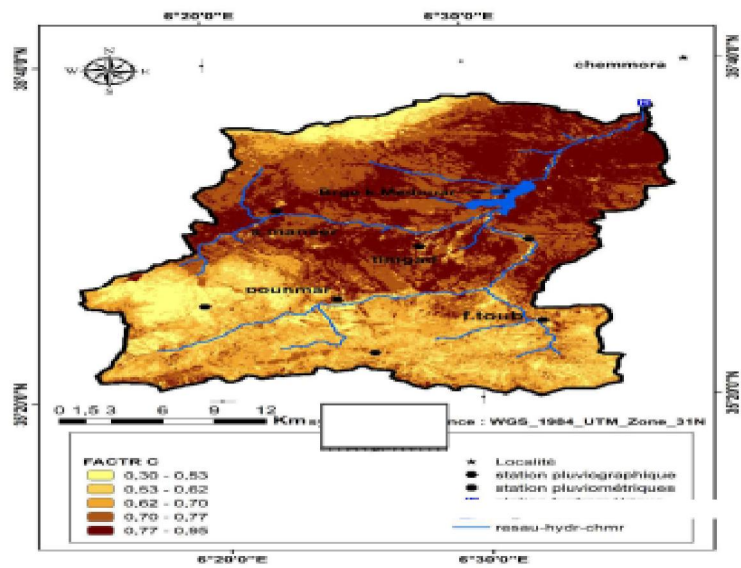
Carte du facteur K



Carte du facteur LS



Carte de distribution spatiale du facteur C du 11 Octobre 1989



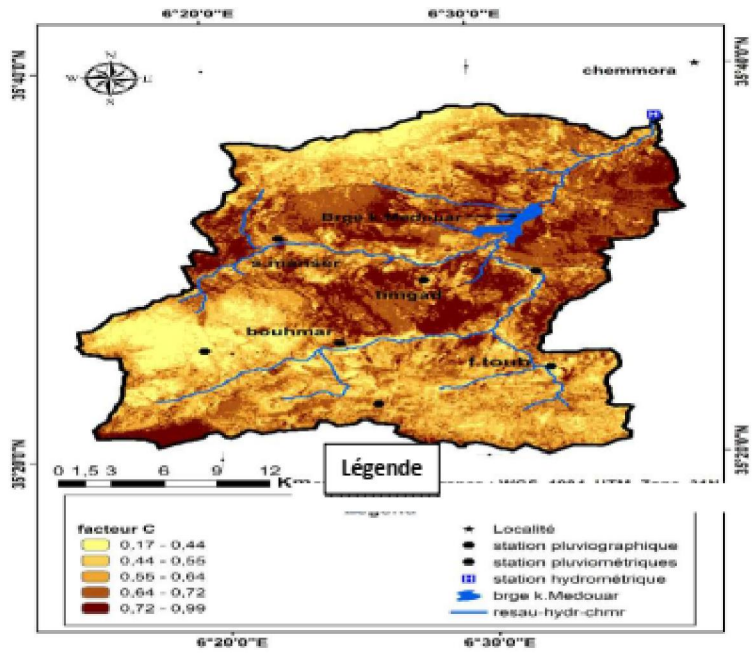
Carte de distribution spatiale du facteur C moyenne annuel du Septembre 1989 à Aout 1990



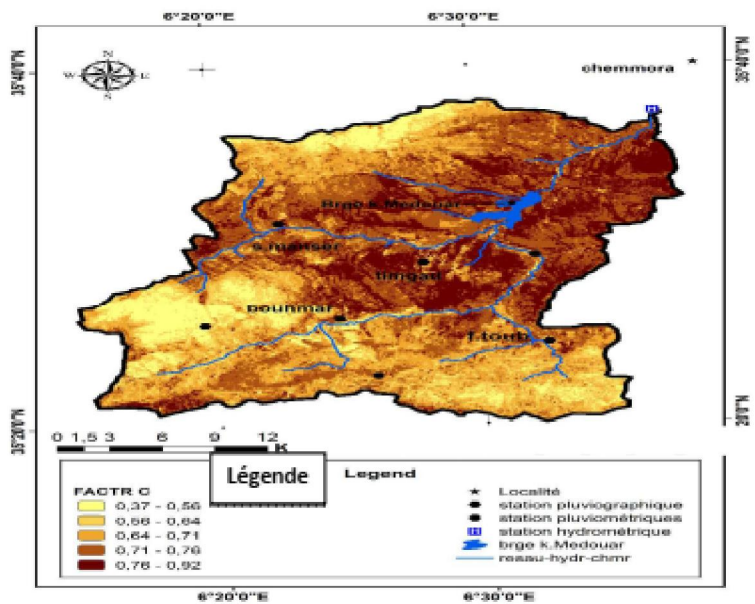
Carte des valeurs du NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 23 Mars 1991



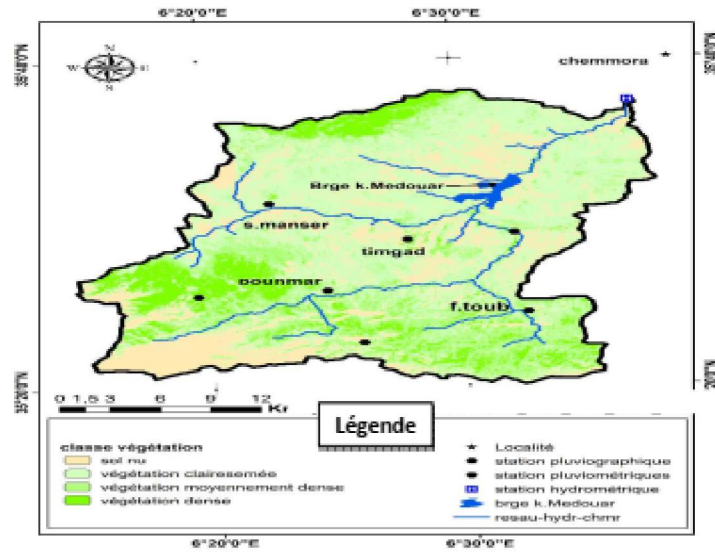
Carte des valeurs du NDVI moyenne annuel du Septembre 1990 à Aout 1991



Carte de distribution spatiale du facteur C - 23 Mars 1991



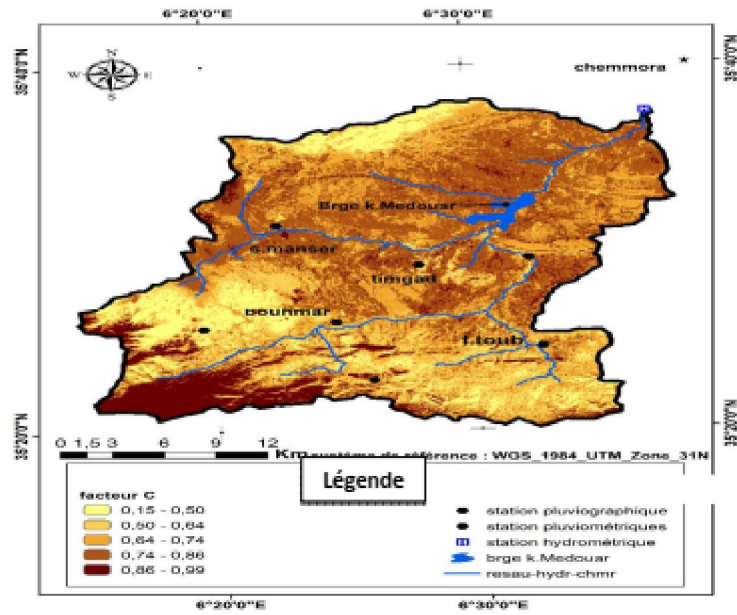
Carte de distribution spatiale du facteur C moyenne annuel du Septembre 1990 à Aout 1991



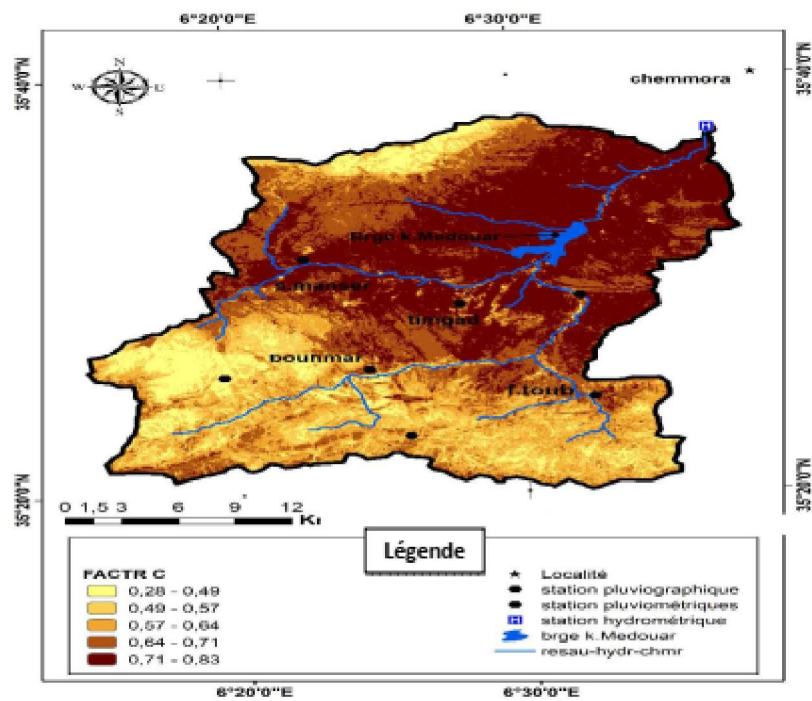
Carte des valeurs du NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT5 du 21 Janvier 1992



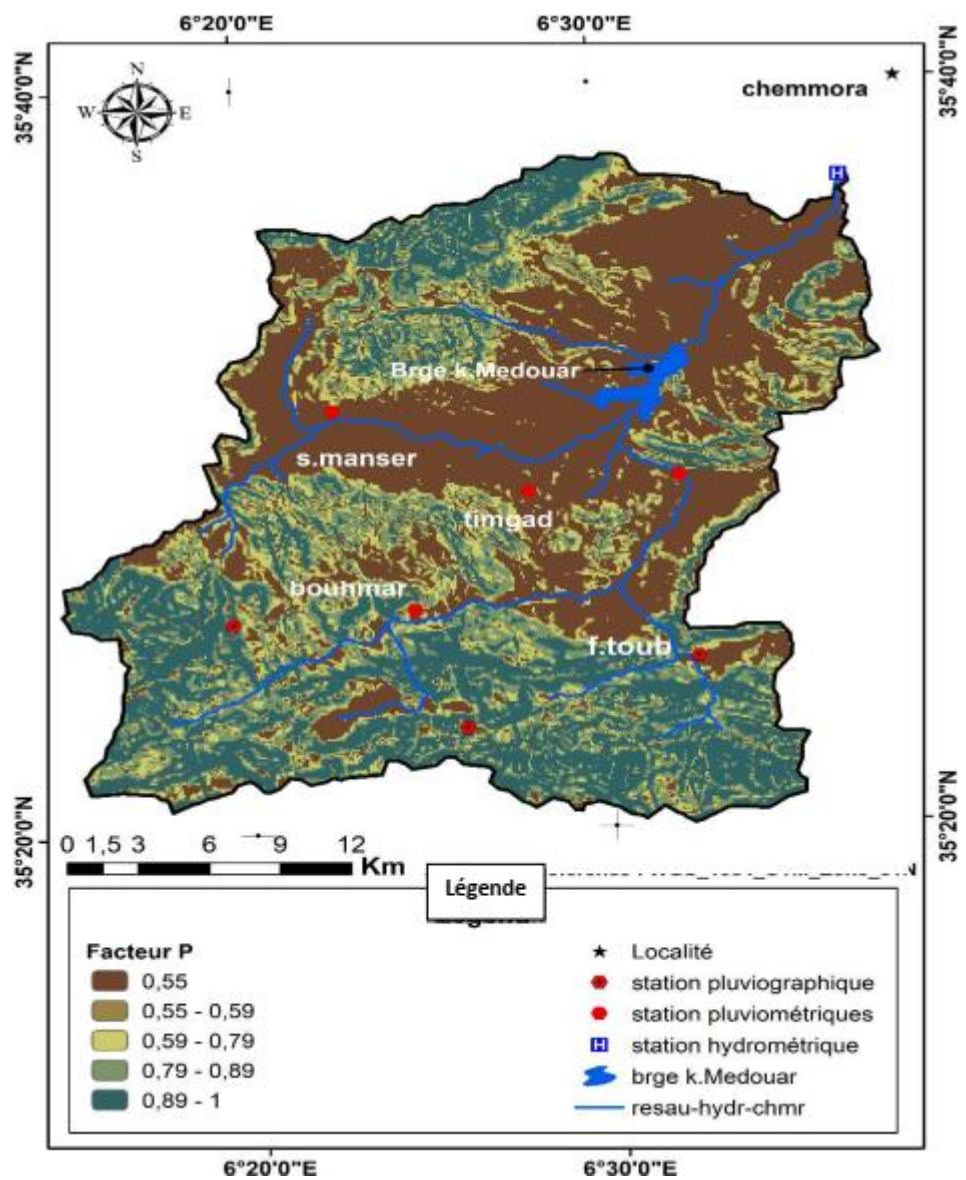
Carte des valeurs du NDVI moyenne annuel du Septembre 1991 à Aout 1992



Carte de distribution spatiale du facteur C - 21 Janvier 1992



Carte de distribution spatiale du facteur C moyenne annuel du Septembre 1991 à Aout 1992



Carte du facteur P