

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Etude de l'érosivité des pluies sur le bassin de la Soummam
par le biais de SIG et télédétection..**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0033-16

APA Citation (APA توثيق):

**Benachour, Mohamed Mansour (2016). Etude de l'érosivité des pluies sur le bassin de
la Soummam par le biais de SIG et télédétection.[Thèse de master, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



DEPARTEMENT Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : Assainissement

THEME :

Etude de l'érosivité des pluies sur le bassin de la Soummam par le biais de SIG et télédétection.

Présenté par :

M^r : BENACHOUR MOHAMED MANSOUR

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

NOM ET PRENOM	GRADE	QUALITE
M ^{me} H.MEDDI	M.C.B	Présidente
M ^r A.AMMARI	M.C.B	Membre
M ^{me} S.HOULI	M.A.A	Membre
M ^r A.BOUFEKANE	M.A.A	Membre
M ^{me} C.SALHI	M.A.A	Encadreur

Juin 2016

Dédicace



A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pause pour regarder en arrière et se rappeler toutes Les personnes qui ont partagé avec nous tous les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais. Ces personnes qui nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.

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

- A mes chers parents : Abdelhafid et Hassina
- A mon frère et ma sœur : Abdelhadi et Ouissal
- A mes grandmères : Traki et Houria
- A toute ma famille sans exception
- A mes amis : Sami, Yasser, Khalil, Mohamed, Oussama, Abdelhaq, Billel, Younes, Ibrahim, Yahia, Chama, Didine , Khouloud.....
- A tous mes enseignant et toute la famille de ENSH.

BENACHOUR MOHAMED MANSOUR



Remerciement



Je remercie mon Dieu qui m'a donné la force et la sagesse
pour achever ce
modeste travail.

J'adresse tous mes respects et mes remerciements à ceux qui m'ont
aidé de près ou de loin pour l'élaboration de cette étude et
particulièrement à

- Mon encadreur M^{me} Salhi.C pour ses orientations et son soutien.
- A tous les enseignants de l'E N S H qui ont contribué à ma formation.
- Aux membres de jury qui ont bien voulu examiner mon travail et de l'apprécier à sa juste valeur.

BENACHOUR MOHAMED MANSOUR

ملخص

إن دراسة نمط تساقط الأمطار و مدى تأثيرها على انجراف التربة، يعتبر عنصرا أساسيا في كل استراتيجيات المحافظة على المياه و التربة، التطور الفلاحي، بالإضافة إلى تهيئة مشاريع الري. إذافمن المؤكد أن المعرفة الجيدة لمدى تأثير تساقط الأمطار على تحريض الانجراف يساعد بشكل كبير على التصدي لهذه الظاهرة.

و في هذا الإطار كان اهتمامنا بشكل دقيق دراسة تأثير تساقط الأمطار على انجراف التربة بحوض الصومام والذي يمس أربع ولايات مختلفة (بويرة، بجاية، برج بوعريريج و سطيف) ، كونه عنصر جد محدد في هذه العملية، حيث أظهرت النتائج أن الجزء الغربي و الجنوبي من الحوض هما الأكثر عرضة للانجراف بالمقارنة مع الجزء الشرقي، أما الشمال فهو الأقل عرضة للانجراف بسبب كثافة غطائه النباتي.

Résumé

L'étude du régime des pluies et de ses effets érosifs sur le sol, constituent un élément de base dans toutes les stratégies de conservation des eaux et des sols, de développement agricole et d'aménagement hydraulique. Il est certain dans ce sens, que la bonne connaissance du potentiel érosif de la pluie peut aider les aménageurs à lutter contre l'érosion et à réduire l'envasement des retenues. Dans ce cadre, il est indispensable d'insister essentiellement sur l'agressivité des pluies en tant que facteur déterminant de l'érosion hydrique. Comme cadre spatial, nous avons choisi le bassin versant de la SOUMMAM, les résultats ont montrés que l'érosivité des pluies varie d'un point à un autre ou l'ouest et le sud du bassin présentent un grand risque d'érosivité par rapport a l'Est, avec un nord plus au moins en sécurité vis -a -vis l'agressivité des pluies vue la densité de son couvert végétal.

Abstract

The study of the rain regime and its erosive effects on the soil constitutes basic elements in all water reservation, soil, agricultural development and the hydraulic arrangement strategies. It is certain in this sense that the good knowledge of the erosive potential of rain is able to help the arrangers to fight erosion and to reduce reserve arrangements. In this context, we focus essentially on the rain aggressiveness as determinant factor of hydric erosion. As spatial context, we choose the drainage basin of SOUMMAM. The results shows that the west and the south of our basin are more vulnerable to the rain erosivity than the Est, concerning the north, is in security in front of the rain erosivity because of the density of his vegetal cover.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction	01
I-1 EROSION :.....	01
I-1-1 Historique :.....	01
I-1-2 Définitions :.....	02
I-1-3 Différentes formes d'érosion :.....	02
I-1-4.L'érosion en Algérie	04
I-1-5 L'érosion dans le monde	06
I-2 EROSION HYDRIQUE	08
I-2-1 Définitions :	08
I-2-2 Mécanisme :.....	08
I-2-2-1 Le détachement	08
I-2-2-2 Le transport	10
I-2-2-3 La sédimentation	11
I-2-3 Quelques Dégâts causés par l'érosion hydrique	11
I-3 ÉQUATION UNIVERSELLE DES PERTES EN TERRE.....	14
I-3-1 Le facteur de pluies R (agressivité des pluies)	15
I-4 Quelques Etudes d'érosivité des pluies en Algérie et dans le monde.....	15
Conclusion	18

Chapitre II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II -1 Situation géographique	19
II -2 Relief	20
II -3 Réseau hydrographique	20
II -4 Climat	21
II-5 Température	21
II-6 Pluviométrie	22
II-7 Transport solide en suspension	24
Conclusion	24

Chapitre III : OUTILS ET METHODES DE CALCUL

Introduction :.....	25
III-1 Méthodes de calcul de l'indice d'érosivité des pluies	25
III-1-1 Indice d'érosivité de WISCHMEIER	25
III-1-2 formule de Rango&Arnoldus (1987).....	26
III-1-3 Indice d'érosivité de HUDSON.....	26
III-1-4 Indice d'érosivité de FOURNIER.....	26
III-1-5 Formule de (Cormary, 64).....	27
III-1-6 Formule de Roose (1975 à 1981)	27
III-2 Outils de calcul	28
III-2-1 le système d'information géographique	28
III-2-1-1 Description du logiciel ArcGis	29
III-2-1-2 Fonctionnalités du logiciel ArcGis	29
III-2-1-3 Cartographie et visualisation dans ArcGis	30
III-2-1-4 Présentation rapide d'ArcMap.....	32
III-2-2 la Télédétection :.....	36
III-2-2-1 Définition de la télédétection	36

III-2-2-2 Principe de la télédétection	36
III-2-2-3 Domaines d'application de la télédétection	37
III-2-2-4 Avantages et inconvénients de la télédétection.....	37
Conclusion	37

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction.....	38
IV-1 Traitement Données	38
IV-1-1 Homogénéisation.....	38
IV-1-2 Ajustement des séries pluviométriques	41
IV-2 Exploitation des données	41
IV-2-1 Courbes isohyètes de pluies annuelles moyennes	41
IV-2-2 Calcul de l'index de l'érosivité des pluies R de WISHCMEIER	42
IV-3 Cartographie de l'érosivité des pluies a l'aide du logiciel ArcGis	44
IV-3 -1 Données de base	44
IV-3-2 Le Krigeage	45
IV-3-3 Résultats	47
IV- 4 Indice de végétation (NDVI)	49
IV-4-1 C'est quoi NDVI	49
IV-4-2 Relation érosivité des pluies – couvert végétal	49
IV-4-3 Etapes de détermination de l'indice NDVI	49
IV-4-4 Carte de l'NDVI du bassin de la Soummam(2015).....	50
IV-4-5 Carte de l'NDVI du bassin de la Soummam(2003).....	53
IV-4-6 Le couvert végétal du bassin de la Soummam.....	55
IV-4-6 Interprétation des résultats	57

IV-5 Quelques techniques pratiques pour lutter contre l'érosion hydrique	58
IV-5-1 Les stratégies traditionnelles de lutte anti-érosive	58
IV-5-2 Les stratégies modernes d'équipement hydraulique	59
Conclusion.....	61

Conclusion générale

Liste des figures

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1 Glissement rotationnel en coups de cuillère (d'après Neboit, 1991).....	03
Figure I.2 Montagne de Bouira.....	05
Figure I.3 Erosion a Mitidja	05
Figure I.4 zones concernées par l'érosion dans le monde.....	07
Figure I.5 érosion au Mexique	07
Figure I.6 Eclatement des agrégats.....	09
Figure I.7 détachement par splash.....	09
Figure I.8 détachement par ruissèlement.....	10
Figure I.9 Décapage de la surface du sol.....	11
Figure I.10 dégradation de la structure.....	12
Figure I.11 Érosion des berges par le cours d'eau d'une rivière.....	12
Figure I.12 Sédiments pénétrant dans une voie d'eau.....	13
Figure I.13 Inondations boueuses.....	13
Figure I.14 Ensablement des lits de rivière.....	14

Chapitre II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Figure II.1 : Carte des grands bassins versants d'Algérie (ANRH, 2001).....	19
Figure II.2 : Bassin versant de la Soummam.....	19
Figure II.3 : réseau hydrographique du bassin.....	21
Figure II.4 Emplacement des stations pluviométriques.....	23
Figure II.5 pluies annuelles du bassin de la Soummam.....	23

Chapitre III : OUTILS ET METHODES DE CALCUL

Figure III.1 ArcMap source (ArcGISresource center).....	30
Figure III.2 ArcGlobe source (ArcGISresource center).....	31
Figure III.3 ArcScene source (ArcGISresource center).....	31
Figure III.4 Modes d'affichage dans ArcMap source (ArcGISresource center).....	33
Figure III.5 Modes d'affichage dans ArcMap source (ArcGISresource center).....	34
Figure III.6 couches cartographiques ArcMap source (ArcGISresource center).....	34

Figure III.7 Table des matières ArcMap source (ArcGISresource center).....	35
Figure III.8 utilisation de tables ArcMap source (ArcGISresource center).....	35
Figure III.9 Les trois éléments de la télédétection.....	36

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Figure IV.1 Résultats du test de double masse (TenietEnasr).....	40
Figure IV.2 Résultats du test de double masse (Mchedellah).....	41
Figure IV.3 Isohyètes des pluies annuelles moyennes du bassin de la SOUMMAM.....	42
Figure IV.4 histogramme des valeurs de R pour chaque station pluviométrique.....	44
Figure IV.5 : Mosaique des photos rasters	45
Figure IV.6 Fenêtre d'ajout des données.....	45
Figure IV.7 barre d'outils geostatisticalanalyst.....	46
Figure IV.8 type de krigeage.....	46
Figure IV.9 barre d'outils geostatisticalwizard.....	46
Figure IV.10 Cartographie de la variation du facteur R de l'érosivité des pluies sur le bassin de la Soummam-Algérie	48
Figure IV.11 Carte des valeurs du NDVI (mars2016)	51
Figure IV.12 Carte des valeurs du NDVI (juillet2015)	52
Figure IV.13 Carte des valeurs du NDVI (octobre 2003).....	53
Figure IV.14 Carte des valeurs du NDVI (aout2003)	54
Figure IV.15 Carte du couvert végétal	55
Figure IV.16 terrasses soutenues par des talus	58
Figure IV.17 terrasses soutenues par des murs.....	58
Figure IV.18 vue sur des billons.....	59
Figure IV.19 Couverture permanente du sol	60
Figure IV.20 Rideau.....	60
Figure IV.21 banquettes continues avec des oliviers.....	61

Liste des tableaux

Chapitre II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau II.1 : températures moyenne mensuelles.....	21
Tableau II. 2 : caractéristiques des stations pluviométriques utilisées.....	22

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau IV.1 station d'El esnam sh.....	39
Tableau IV.2 station de Sidi Embarek.....	39
Tableau IV.3 résultats de test d'homogénéisation des stations pluviométriques.....	40
Tableau IV.4 Facteur R de l'érosivité des pluies pour chaque station.....	43
Tableau IV.5 classes des valeurs de R obtenues.....	47
Tableau IV.6 Résultats d'interprétation.....	57

Introduction générale

L'érosion hydrique est un phénomène géologique naturel qui a façonné la surface de la terre au cours des âges **géologiques** (**White, 1986**). Les changements climatiques et des paysages sous l'influence de la pression démographique et l'extension des cultures d'exploitation, ont contribué à l'augmentation de l'exposition des terres au processus de ruissellement, et par conséquent, à la dégradation des sols par l'érosion (**Vezena et Bonn, 2006**). Diverses sortes d'activités humaines, pratiques agricoles, exploitations forestières, pâturages, construction des routes et bâtiments tendent à modifier les phénomènes d'érosion, en l'accéléralant souvent de façon considérable (**Wachal, 2007**).

En Algérie, l'érosion hydrique est un problème majeur. Elle devient dangereuse dès qu'elle dépasse le seuil tolérable et son intensité varie d'une zone à l'autre. Elle a été reconnue comme un problème environnemental dans les années 1930 par les colons et les agronomes (**Aubert, 1986**). Plus de 120 millions de tonnes de sédiments sont rejetées en mer chaque année, réduisant ainsi la durée de vie des barrages (**Demmak, 1982**).

Dans cet aspect ; notre étude est portée sur la cartographie de la variation de l'érosivité des pluies sur le bassin de la **Soummam** afin de prévoir le risque érosif de ces pluies, et prendre les précautions nécessaires pour lutter contre les dégâts causés par l'érosion hydrique (envasement des barrage, décapage de la surface du sol, dégâts aux infrastructures routières....).

CHAPITRE I

Etude bibliographique

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Le suivi du régime des pluies et la détermination de son potentiel et de ses effets érosifs sur le sol, constituent un élément de base dans toutes les stratégies de conservation des eaux et des sols, de développement agricole et d'aménagement hydraulique. Il est certain dans ce sens, que la bonne connaissance du potentiel érosif de la pluie peut aider les aménageurs à lutter contre l'érosion.

I-1 EROSION :

I-1-1 Historique :

L'érosion façonne la Terre depuis qu'elle est émergée... Et depuis plus de 7 000 ans, l'Homme s'acharne à lutter contre l'érosion pour protéger ses terres contre l'agressivité des pluies et du ruissellement (**Roose, 1994**). On prend donc conscience que les civilisations humaines qui se sont succédées dans l'histoire, ont été soumises aux effets de l'érosion et ont du faire face pour faire pérenniser leurs activités. La civilisation Maya qui a perduré entre 2000 ans avant J-C et 900 ans après J-C dans la région Mésoaméricaine (du Mexique actuel au Guatemala), est l'un des exemples les plus marquants de l'impact de la dégradation des terres due à l'érosion pluviale, sur la décadence des grandes civilisations de l'humanité. Les Mayas étaient des agriculteurs qui avaient développé une agriculture itinérante sur brulis dans les basses terres fertiles. Leur démographie a très vite augmenté au fil des générations, les poussant à gagner du terrain sur les hautes terres où une déforestation effrénée a conduit à l'érosion hydrique des sols entraînant l'ensablement des lacs en aval et l'épuisement des sols (**Montgomery, 2007**). Une famine s'en est suivie et c'est elle qui est la cause principale de la décadence de cette brillante civilisation. Cependant le développement technologique de l'agriculture des siècles après la civilisation des Mayas, n'a pas résolu le problème de l'érosion hydrique des sols sur les activités humaines. La France du XII^e Siècle et L'Egypte actuel (dans les années 1930) entre autres, ont connu une dégradation progressive des terres à cause de l'érosion pluviale qui était très fortement liée à l'augmentation de la densité de la population dans les campagnes et les villes. Ce qui a eu pour conséquence d'annuler la jachère, il s'en est suivi une baisse de productivité du sol et des périodes de famine retentissantes (**Roose, 1994**).

I-1-2 Définitions :

- L'érosion des sols désigne le processus naturel de détachement et d'entraînement de leurs particules par la pluie (érosion hydraulique) et le vent (érosion éolienne). C'est cette érosion qui entraîne la dégradation des terres cultivées et la destruction des sols. **(Abdelaziz L. MERZOUK ,2010).**
- L'érosion du sol, soit le mouvement du sol d'un lieu vers un autre, survient sous l'effet de trois principaux phénomènes. Elle se produit naturellement sur les terres agricoles par l'action du vent et de l'eau, et peut être accélérée par certaines activités agricoles (p. ex., les jachères, les cultures en rang). Elle est aussi provoquée directement par la méthode de travail du sol, qui entraîne un mouvement progressif du sol vers le bas des pentes, donnant ainsi lieu à une perte de sol au sommet et à une accumulation à la base des pentes. **(L.J.P van Vliet, G.A. Padbury, H.W. Rees et M.A. Matin, 2001).**
- L'érosion des sols est un terme commun qui est souvent confondu avec la dégradation des sols dans son ensemble, mais, qui en fait ne concerne que les pertes absolues de sol en terme de couche arable et d'éléments nutritifs. C'est l'effet le plus visible de la dégradation des sols, mais cela ne couvre pas l'ensemble de ses aspects. L'érosion des sols est un processus naturel dans les zones montagneuses, mais elle est souvent amplifiée par de mauvaises pratiques de gestion. **(Site officiel FAO).**

I-1-3 Différentes formes d'érosion :

a. Erosion mécanique sèche : Ce type d'érosion est un processus (arrachement + transport + dépôt) sans intervention de l'eau, peu connu, très peu quantifié, qui par gravité et par simple poussée des instruments aratoires, décape les horizons superficiels des hauts de pente et des ruptures de pente, pousse ces masses de terre vers le bas de la toposéquence où elles s'accumulent soit en talus, en bordure de parcelles, soit en colluvions concaves de texture peu différente des horizons d'origine. **(Roose et al, 1990).**

b. Erosion en nappe ou le stade initial de l'érosion hydrique : On parle d'érosion en nappe ou aréolaire (sheet erosion) parce que l'énergie des gouttes de pluie s'applique à toute la surface du sol et le transport des matériaux détachés s'effectue par le ruissellement en nappe. C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion. (Roose, 1973 et Poesen, 1988).

c. Erosion linéaire : Lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, il se forme d'abord des flaques; ensuite ces flaques communiquent par des filets

d'eau et lorsque ces filets d'eau ont atteint une certaine vitesse, 25 cm par seconde d'après **Hjulström (1935)**, ils acquièrent une énergie propre qui va créer une érosion limitée dans l'espace par des lignes d'écoulement. Cette énergie n'est plus dispersée sur l'ensemble de la surface du sol, mais elle se concentre sur des lignes de plus forte pente.

d. Erosion en masse : La cause des mouvements de masse (lents ou rapides) est à rechercher dans le déséquilibre entre d'une part, la masse de la couverture pédologique, de l'eau qui s'y trouve stockée et des végétaux qui la couvrent et d'autre part, les forces de frottement de ces matériaux sur le socle de roche altérée en pente sur lequel ils reposent (pente limites de 30 à 40 degrés = 65 %). Ce déséquilibre peut se manifester progressivement sur un ou plusieurs plans de glissement (figure I.1), suite à l'humectation de ce(s) plan(s) ou par dépassement dans la couverture pédologique du point d'élasticité (creeping avec déformations sans rupture) ou de liquidité (coulées boueuses). (**Neboit, 1991**).

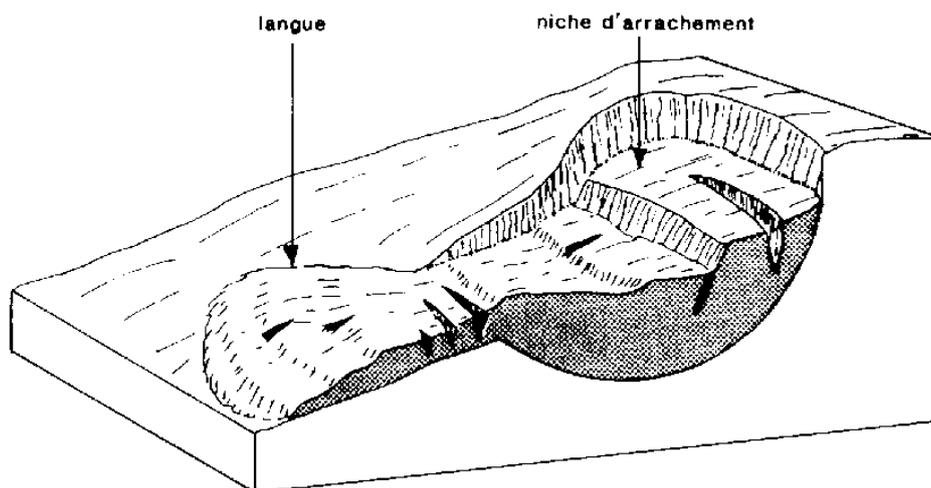


Figure I.1 Glissement rotationnel en coups de cuillère (d'après Neboit, 1991).

e. Erosion éolienne : L'érosion éolienne prend de l'importance en Afrique de l'Ouest dans les zones tropicales sèches, là où la pluviosité annuelle est inférieure à 600 mm, où la saison sèche s'étend sur plus de six mois et où la végétation de type steppique laisse de larges plaques de sol dénudé. Ailleurs elle peut aussi se développer dans des conditions de préparation du sol qui amènent une pulvérisation importante des matériaux superficiels secs. (**Heusch, 1988**).

I-1-4 L'érosion en Algérie

L'érosion hydrique reste un problème majeur en Algérie Septentrionale dont le principal facteur est le ruissellement dont la répartition spatiale est contrôlée par celles des précipitations, des caractéristiques géologiques et biophysiques (topographie, couvert végétal,...). L'érosion se manifeste principalement sur les sols en pente et constitue une des principales causes de dégradation des sols dans les massifs montagneux en zones semi arides. Elle s'est accélérée suite aux défrichements des forêts et maquis qui protégeaient les sols sensibles. **(Mohammed Achite, et al, 2006).**

En Algérie du Nord, particulièrement l' Ouest du pays, les dispositions socioéconomiques, comme d'ailleurs les conditions hydroclimatiques sont naturellement réunies pour intensifier et favoriser le déclenchement de ce mécanisme néfaste qui potentiellement menace l'équilibre de l'environnement tant à l'échelle régionale que locale **(Dekiche et al., 1997).**

L'érosion hydrique affecte 28 %des terres de l'Algérie du Nord. Ce sont les terres à fortes pentes des massifs telliens qui sont les plus touchées. L'érosion se manifeste par la formation de rigoles et de ravines sur tout le versant avec affleurement de la roche- mère et une évolution en bad- lands **(Hadjiat, 1997).**

L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, est la région la plus érodée du pays ; viennent ensuite les régions du Centre (27%) et de l'Est (26%) **(Ministère de l'environnement et l'aménagement du territoire, 2000).**

En général, l'érosion spécifique varie entre 2000 et 4000 t/km².an **(Demmak, 1982)**, L'Algérie est de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion. (Figures I.2 et I.3).



Figure I.2 Montagne de Bouira

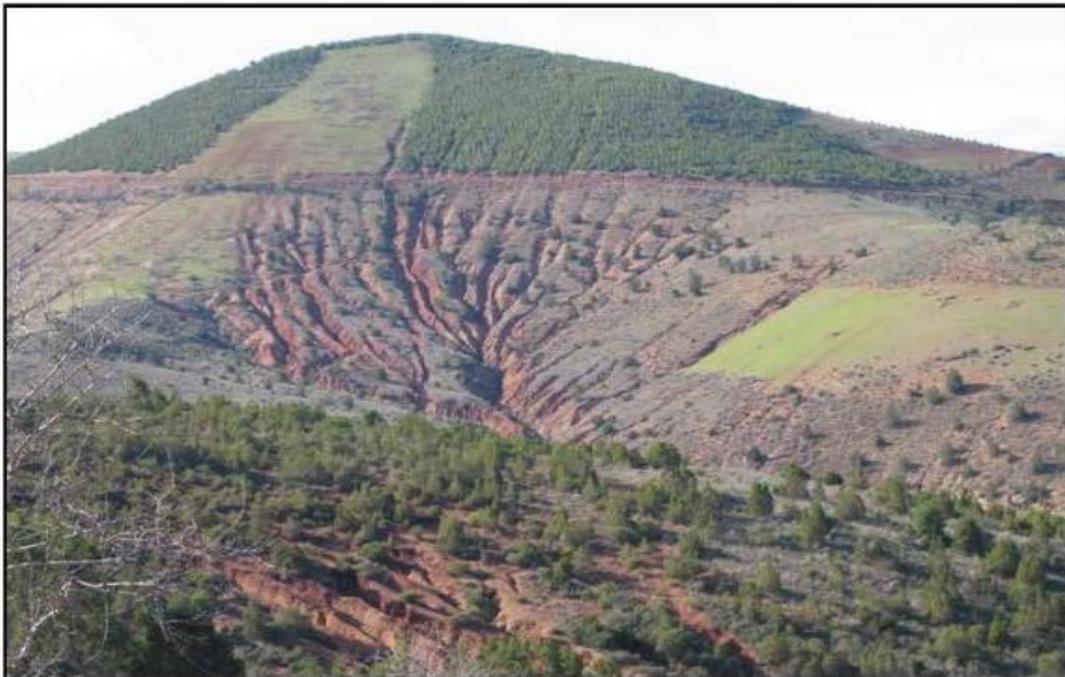


Figure I.3 Erosion a Mitidja

I-1-5 L'érosion dans le monde

L'érosion est un problème dont la gravité varie beaucoup d'un site à un autre.

Kanwar (1982), au congrès de l'Association Internationale des Sciences du Sol à New Delhi a montré que sur 13.500 millions d'hectares de surface exondés dans le monde, 22 % sont cultivables et seulement 10 % sont actuellement cultivés (soit 1.500 millions d'ha). Ces dix dernières années, les pertes en terres cultivables ont augmenté jusqu'à atteindre 7 à 10 millions d'ha/an, suite à l'érosion, la salinisation ou l'urbanisation. A ce rythme, il faudrait trois siècles pour détruire toutes les terres cultivables. L'érosion est donc un problème sérieux à l'échelle mondiale mais il est bien plus préoccupant dans certaines régions du monde.(figures I.4 et I.5).

Aux Etats-Unis, vers 1930, 20 % des terres cultivables ont été gravement endommagées par l'érosion suite à la mise en culture inconsidérée des prairies de la Grande Plaine par les colons européens, peu habitués à ces conditions semi-arides. C'est l'époque sombre des "dust bowl", nuages de poussières qui obscurcissaient complètement l'air dans la Grande Plaine. Ces phénomènes, impressionnant l'opinion publique, ont déterminé le Gouvernement américain à former un grand service de conservation de l'eau et des sols mettant à la disposition des agriculteurs volontaires un appui technique et financier dans chaque canton. Parallèlement, un réseau de stations de recherches a été mis en place, qui, trente ans plus tard, aboutit à la formulation de l'équation universelle de perte en terre, connue sous le nom de USLE (Wischmeier et Smith, 1960; 1978). En **1986, Lovejoy et Napier** remarquent qu'après cinquante ans d'investissement massif en hommes et en moyens, encore 25 % des terres cultivées perdent plus de 12 t/ha/an, limite reconnue tolérable. Le problème reste donc à l'ordre du jour, même si aujourd'hui on s'intéresse plus à la pollution et à la qualité des eaux qu'à la conservation des sols.

En France, **Gobillot et Hénin (1956)** lancèrent une enquête qui permit d'estimer que 4 millions d'hectares de terres cultivées étaient dégradées par l'érosion hydrique ou éolienne. Le danger étant considéré comme limité, les crédits de recherche dans ce domaine furent peu importants. Aussi, la France ne dispose toujours pas de référentiel de lutte antiérosive, ce qui pose bien des problèmes dans le cas des études d'impact.

Pour l'ensemble de la Communauté Economique Européenne (CEE), **De Ploey (1990)** estime que 25 millions d'hectares ont été gravement affectés par l'érosion. La France totaliserait 5 millions d'hectares et le coût des nuisances occasionnées par l'érosion s'élèverait à 10 milliards de FF., sans compter la valeur intrinsèque des sols perdus, difficilement chiffrables.

Des chiffres bien plus dramatiques donnèrent l'alarme dans les pays tropicaux. **Combeau, en 1977**, rapporte que 4/5 des terres de Madagascar sont soumises à l'érosion accélérée; 45 % de la surface de l'Algérie est affectée par l'érosion, soit 100 ha de terre arable perdus par jour de pluie.

En Tunisie, Hamza (1992) a évalué les transports solides moyens évacués chaque année par les différents bassins versants. En tenant compte d'une profondeur moyenne des sols de 50 centimètres, ce seraient 15000 ha de terres qui se perdent en mer par érosion hydrique chaque année.

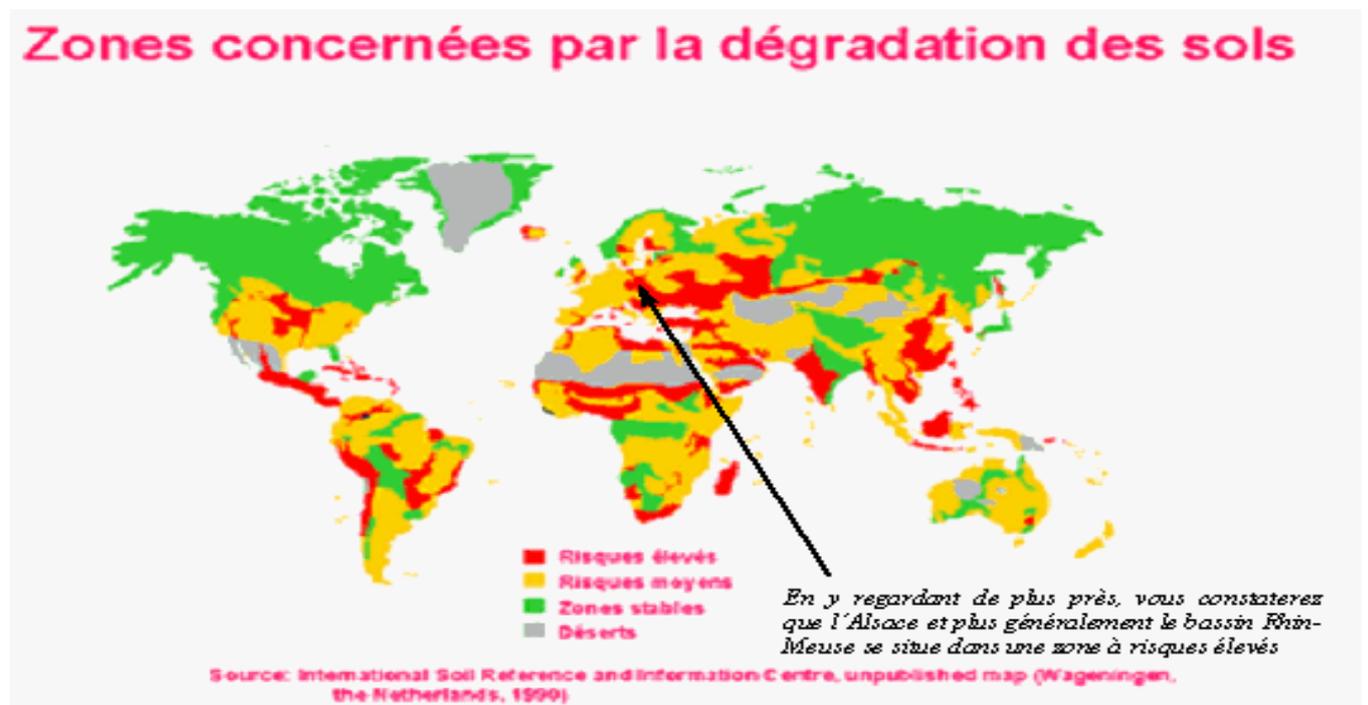


Figure I.4 zones concernées par l'érosion dans le monde



Figure I.5 érosion au Mexique

I-2 EROSION HYDRIQUE

I-2-1 Définitions :

- L'érosion hydrique est un phénomène complexe, qui menace particulièrement les potentialités en eau et en sol. Elle se définit comme le détachement et le transport de particules de sol de son emplacement d'origine par différents agents vers un lieu de dépôt. Donc, les trois étapes par lesquelles passe l'érosion sont le détachement, le transport et la sédimentation. Cependant, il est à signaler que la pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine du détachement, du transport et du dépôt des particules du sol arrachées. **(Ali Smiri, 2012)**.
- L'érosion hydrique du sol peut être définie comme le détachement et la translocation des particules de sol en le déplaçant par l'eau à partir de leur emplacement d'origine à de nouvelles zones de dépôt. L'érosion des sols est communément reconnue par des incisions ou des sédimentations qui se forment à la surface de la terre **(Lafren et Roose, 1997)**.
- L'érosion hydrique du sol peut se définir comme étant le phénomène par lequel le sol perd, sous l'action de l'eau, certaines ou toutes ses particules. **Morgan (1986)**

I-2-2 Mécanisme :

Selon **(Ali Smiri, 2012)** Les principaux mécanismes conduisant à l'érosion hydrique sont :

I-2-2-1 Le détachement :

Les principaux mécanismes conduisant au détachement sont :

1. L'humectation par l'effet de l'impact de gouttes de pluies : Les quatre processus qui peuvent être identifiés comme responsables de la désagrégation sont :

a/ L'éclatement, correspondant à la désagrégation par compression de l'air piégé lors de l'humectation (figure I.6). L'intensité de l'éclatement dépend entre autres, du volume d'air piégé, donc de la teneur en eau initiale des agrégats et de leur porosité.

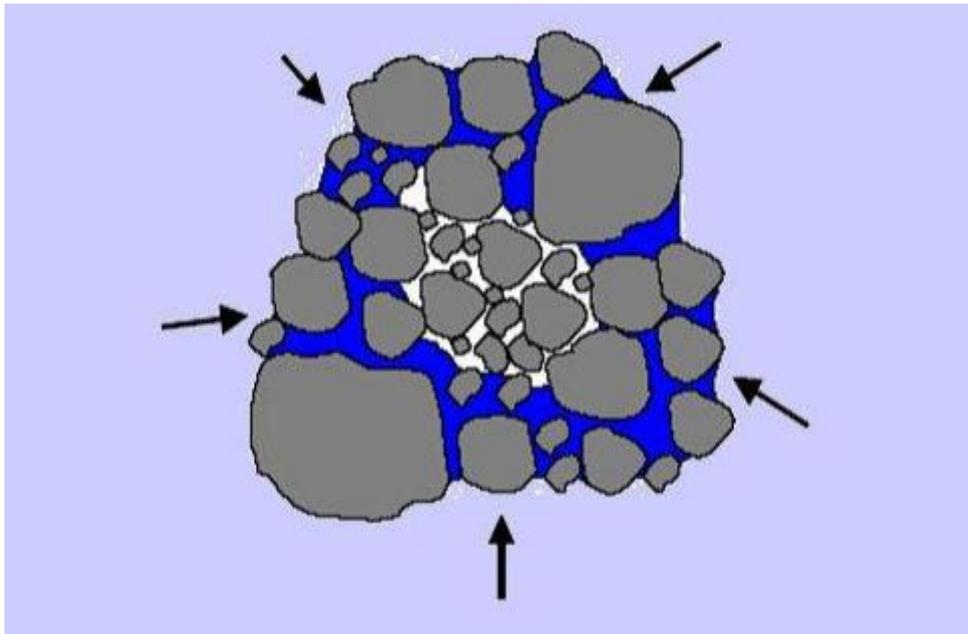


Figure I.6 Eclatement des agrégats

b/ Le gonflement différentiel. Ce phénomène intervient suite à l'humectation et la dessiccation des argiles, entraînant des fissurations dans les agrégats. L'importance de ce mécanisme dépend en grande partie de la teneur et de la nature de l'argile des sols.

c/ La dispersion physico-chimique. Elle correspond à la réduction des forces d'attraction entre particules colloïdales lors de l'humectation. Elle dépend de la taille et la valence des cations (particulièrement du sodium) pouvant lier les charges négatives dans le sol.

d/ La désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie (= Détachement par splash) (figure I.7). L'impact des gouttes de pluie peut fragmenter les agrégats et surtout détacher les particules de leur surface.

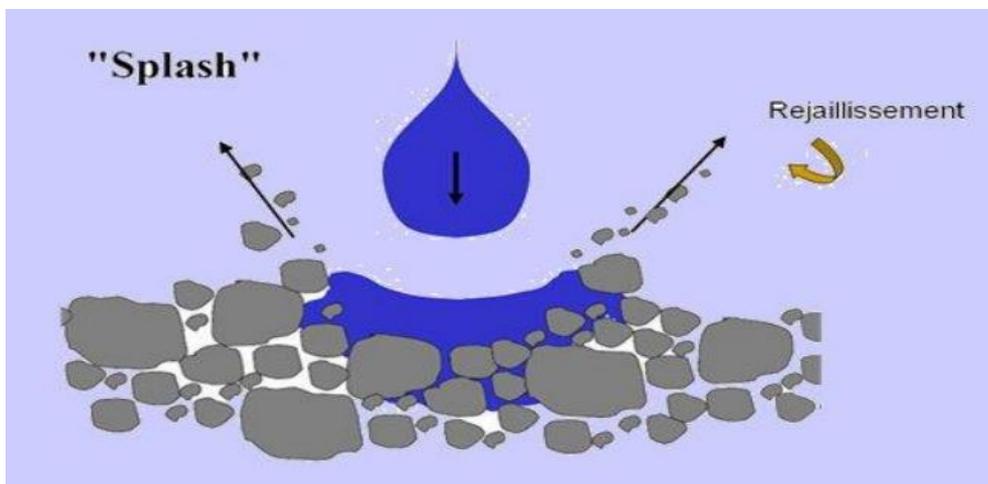


Figure I.7 détachement par splash

2. Le ruissellement

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (ruissellement "Hortonien"), soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (ruissellement par saturation).

Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux. Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace pouvant donner naissance soit une érosion diffuse et /ou soit une érosion concentrée.

Il est donc à noter qu'il y a détachement par ruissellement (figure I.8) lorsque la force de friction de l'eau sur les particules du sol est supérieure à la résistance du sol au cisaillement comme schématisé sur le graphique suivant :

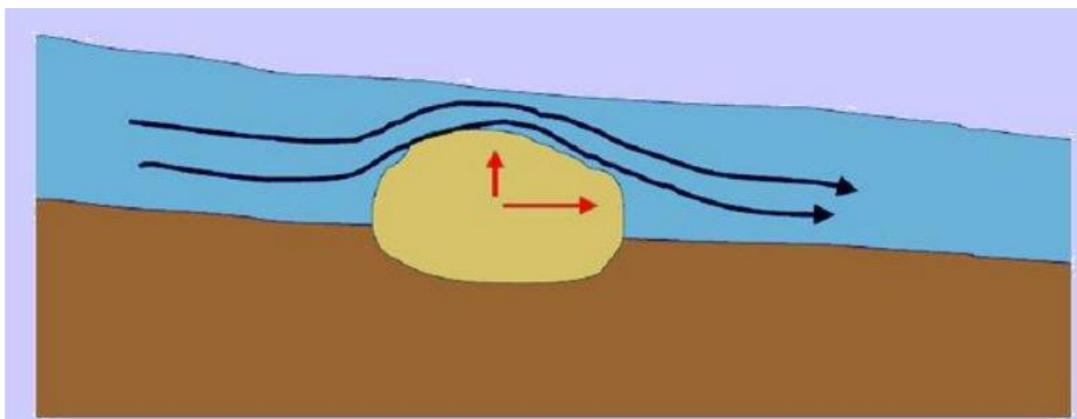


Figure I.8 détachement par ruissèlement

I-2-2-2 Le transport :

Il est dû à la fois aux gouttes d'eau de pluie (par rejaillissement= effet splash) et aux eaux de ruissellement. Ainsi, le transport est assuré par ces eaux. Cependant, il est à signaler que le mode de transport par effet splash est généralement négligeable sauf sur pente forte. Alors que les eaux de ruissellement sont les plus responsables du transport des particules du sol détachées.

I-2-2-3 La sédimentation :

L'agent responsable de la sédimentation est l'eau de ruissellement. Les particules arrachées du sol se déposent entre le lieu d'origine et l'aval en fonction :

1. de leur dimension 2. De leur densité 3. De la capacité de transport du ruissellement ou du cours d'eau.

Les particules se déposent dans l'ordre suivant :

1. sable 2. Sable fin 3. Limon.

Les argiles et l'humus colloïdal sont généralement transportés jusqu'à l'embouchure du cours d'eau où il se dépose soit après évaporation de l'eau, soit après floculation.

I-2-3 Quelques Dégâts causés par l'érosion hydrique :

Parmi les signes et effets physiques visibles de la dégradation du sol causés par l'érosion peuvent être cités les éléments ci-dessous et ce, dépendamment des lieux à savoir les dégâts engendrés en amont et en aval :

1. Sur site, c.à.d. en amont, on peut citer quelques exemples avec illustration par certaines photos:

– Pertes en terre et en éléments nutritifs (figure I.9) : les griffes, fines rigoles formées par l'eau, particulièrement en haut des pentes, sur le bord des pistes ou dans les champs sillonnés par les labours, elles deviennent des ravines par élargissement dû à la concentration de ruissellement excessif.



Figure I.9 Décapage de la surface du sol.

- Pertes d'engrais et de matière organique
- Destruction de la structure du sol (figure I.10)



Figure I.10 dégradation de la structure.

- L'érosion des rives (figures I.11) entraîne non seulement le recul des rives des cours d'eau, menaçant ainsi la disparition d'habitats fauniques, mais également une augmentation de la charge particulaire des eaux du fleuve.



Figure I.11 Érosion des berges par le cours d'eau d'une rivière.

2. hors site ; A côté des dégâts bien visibles concernant les terres cultivées, il existe des dégâts en aval beaucoup plus insidieux provoqué par l'augmentation du ruissellement et l'entraînement des particules du sol. (Figure I.12).

- charger les rivières en M.E.S (matières en suspension). L'augmentation de la turbidité des eaux modifie l'équilibre trophique. L'entraînement des particules de sols dans les eaux superficielles s'accompagne également de celui des intrants agricoles (engrais, pesticides) et des polluants d'origine industrielle, urbaine et routière.



Figure I.12 Sédiments pénétrant dans une voie d'eau.

– Inondations boueuses :



Figure I.13 Inondations boueuses.

– Ensablement des lits de rivière :



Figure I.14 Ensablement des lits de rivière.

I-3 ÉQUATION UNIVERSELLE DES PERTES EN TERRE

L'équation universelle des pertes en terre (Universal Soil Loss Equation ou USLE) prévoit le taux annuel moyen d'érosion à long terme sur la pente d'un champ, en fonction de la configuration des pluies, du type de sol, de la topographie, du système cultural et des pratiques de gestion. L'USLE prévoit uniquement l'importance des pertes en terre qui résultent des érosions en nappe ou en rigoles sur une pente simple, sans toutefois tenir compte des pertes en terre supplémentaires qui peuvent être attribuables aux autres formes d'érosion associées au ravinement, au vent ou au travail du sol. Ce modèle de prévision de l'érosion a été conçu pour mesurer l'influence du système cultural et du système de gestion sur l'érosion, mais il peut aussi servir à prévoir l'érosion dans un cadre qui n'est pas agricole, notamment sur des chantiers. L'USLE peut servir à comparer les pertes en terre provenant d'un champ donné soumis à un système cultural et à un système de gestion particuliers, à des taux de « pertes en terre tolérables » ou encore aux pertes observées avec un autre système cultural ou un autre système de gestion, afin de déterminer la pertinence des mesures de conservation du sol dans la planification des activités agricoles. **(R.P. Stone et D. Hilborn, 2012).**

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (I.1)$$

Ou :

A exprime les pertes de terre annuelles moyennes possibles à long terme en tonnes par acre par année.

R correspond au facteur de pluie et de ruissellement par secteur géographique, Plus les précipitations sont intenses et plus elles durent longtemps, plus grands sont les risques d'érosion.

K représente le facteur d'érodibilité du sol. Il s'agit de la perte de terre moyenne en tonnes/acre par unité de superficie pour un sol particulier, dans un champ travaillé constamment laissé en jachère, qui possède une pente dont les caractéristiques ont été arbitrairement fixées à 72,6 pi pour la longueur et à 9 % pour l'inclinaison. Le facteur K est une mesure de la vulnérabilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement. La texture est le principal facteur qui influence le facteur K, mais la structure, la teneur en matière organique et la perméabilité du sol ont aussi un rôle à jouer.

LS est le facteur de longueur et d'inclinaison de la pente. Le facteur LS représente un rapport des pertes de terre sous des conditions données, aux pertes de terre en un endroit caractérisé par une inclinaison « standard » de 9 % et une longueur de pente de 72,6 pieds. Plus la pente est forte et longue, plus élevé est le risque d'érosion.

C correspond au facteur de culture (végétation) et de gestion. Ce facteur sert à déterminer l'efficacité relative des systèmes de gestion du sol et des cultures en termes de prévention des pertes de terre.

P correspond au facteur de pratique de conservation. Il reflète les effets des pratiques qui réduisent la quantité d'eaux de ruissellement et la vitesse de ruissellement et qui réduisent de ce fait l'importance de l'érosion. Le facteur P représente le ratio des pertes de terre associées à une pratique de conservation aux pertes de terre associées à la culture en lignes dans le sens de la pente. Les pratiques de conservation les plus couramment utilisées sont le travail du sol à contre-pente, la culture suivant les courbes de niveau et la culture en bandes.

I-3-1 Le facteur de pluies R (agressivité des pluies) :

Définitions :

- C'est l'énergie des gouttes des pluies qui déclenche le processus de destruction des agrégats et le ruissellement assure leur transport (**Roose et Lelong, 1976**).
- l'index R caractérise l'agressivité des pluies et permet d'estimer à partir d'une averse, la quantité de terre pouvant être arrachée à un sol, dans des conditions standard (sol nu, pente 9%, longueur 75 pieds. Il s'obtient en sommant, pour une période donnée, les valeurs Ri caractérisant un épisode pluvieux. (**WISCHMEIER, 1978**).
- R est appelé facteur pluie ou indice d'érosivité (rainfall factor). Il a été défini comme le produit de l'énergie de la pluie par son intensité maximum en 30 minutes. Il peut aussi être considéré comme l'indice moyen annuel d'érosion par la pluie. (**Ali Smiri, 2012**).

I-4 Quelques Etudes d'érosivité des pluies en Algérie et dans le monde :

- **Thèse : Application des techniques nucléaires et de la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued mina (Toumi Samir, 2013)**

- Facteur d'érosivité des précipitations R :

Des informations sur les précipitations et sur l'intensité de ces précipitations sont nécessaires pour avoir une estimation directe du facteur R. Comme ces données ne sont pas disponibles dans les stations météorologiques couvrant la région d'étude, une méthode simplifiée a été utilisée pour estimer R.

$$\log R = 1,74 \log \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_i^2}{P} \right) + 1,29$$

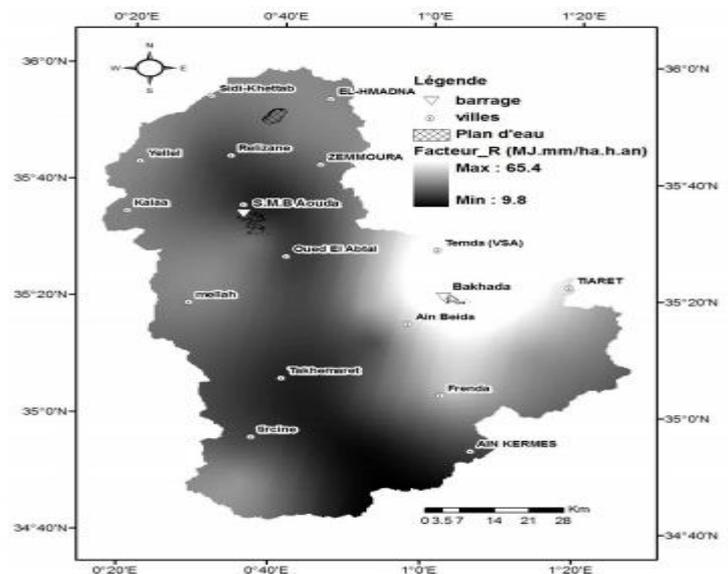


Fig. 55: carte d'érosivité des pluies.

- **Thèse : Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol a l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'el Hamel (Boussaâda) Algérie.(T. Mostephaoui, 2013).**

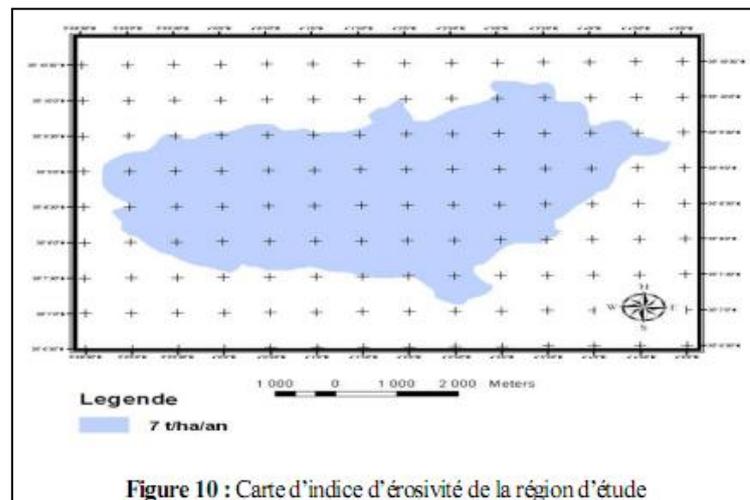
Facteur climatique R :

formule de Roose (1977) permet de connaitre la valeur annuelle de R lorsqu'on ne dispose que des précipitations. :

$$R = 0,0295.P1$$

P1= 206.06 mm, la moyenne annuelle de l'année 2009.

Dans notre cas $R \approx 7t/ha/an$



- **Thèse : Etude de l'érosivité des pluies et de l'érodibilité des sols dans le tell Oranais,(Maamar Kouadri kaddour, 2012).**

Les valeurs obtenues montrent que l'agressivité des pluies dans notre région d'étude est très élevée durant les saisons d'Hiver et d'Automne. Les risques érosifs à la fin du Printemps sont moindres, compte tenu du développement de la végétation à ce stade, mais ils subissent beaucoup plus d'érosion pendant la saison d'Automne, là où le couvert végétal est absent.

- **Thèse : Érosivité des pluies dans la région du cap bon (Tunisie), (Helioui y, Hajri j, 2015).**

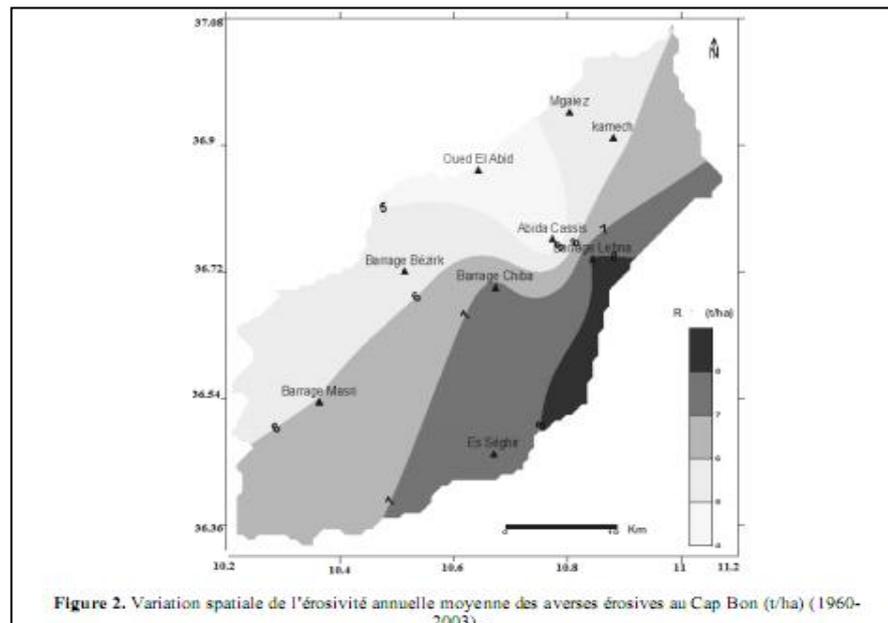
L'indice de Wischmeier (R) est calculé de la manière suivante :

$$R = I_{30} * E_c * K$$

E_c : l'énergie cinétique de l'averse. exprimé en joules/m²/mm

I_{30} : l'intensité maximale pendant 30 mn de l'averse, exprimée en mm/heure

K : le coefficient qui dépend de système d'unités



L'érosivité de la pluie au Cap Bon possède une forte variabilité spatiale, En effet, les moyennes diminuent du Sud-est vers l'Ouest. Cette constatation rappelle déjà les résultats obtenus par d'autres recherches (Benzarti, 1996 ; Mansouri, 2001). L'érosivité est ainsi plus lente et plus régulière dans la partie Sud-ouest qui englobe essentiellement la plaine de Grombalia. La moyenne érosive la plus importante est observée à la station de barrage Lebna (8,14 t/ha), station située sur la côte Est du Cap Bon. Elle est la plus exposée au flux d'Est, source d'inondations, ce qui explique en partie l'importance de l'érosivité dans ce secteur (Henia, 1980).

Conclusion

L'étude bibliographique nous a permis de connaître au mieux les contours de notre étude, et de bien comprendre et maîtriser le sujet qu'on aborde, afin de sortir avec les résultats attendus et d'arriver aux objectifs tracés.

CHAPITRE II

Présentation de la zone d'étude

Chapitre II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II-1 Situation géographique :

Vaste de 9125 km², le bassin versant de la Soummam se trouve au Nord de l'Algérie. Il est caractérisé par la présence de deux plateaux (le plateau du Bouira et le plateau du Sétif) et de la vallée de la Soummam. Il est limité au Nord par les montagnes de la grande Kabylie (massif du Djurdjura), par la mer méditerranée et les chaînes côtières de la petite Kabylie. Au Sud, il est limité par les monts de Hodna (Benhamiche, 1997). Le bassin de la Soummam fait partie des bassins versants tributaires de la Méditerranée (Figure II.1). Il est composé de 10 sous bassins versants (figure II.2), et s'étend dans la direction est-ouest, descendant dans la région du Sétif un peu vers le Sud (Vlastimir, 1965).

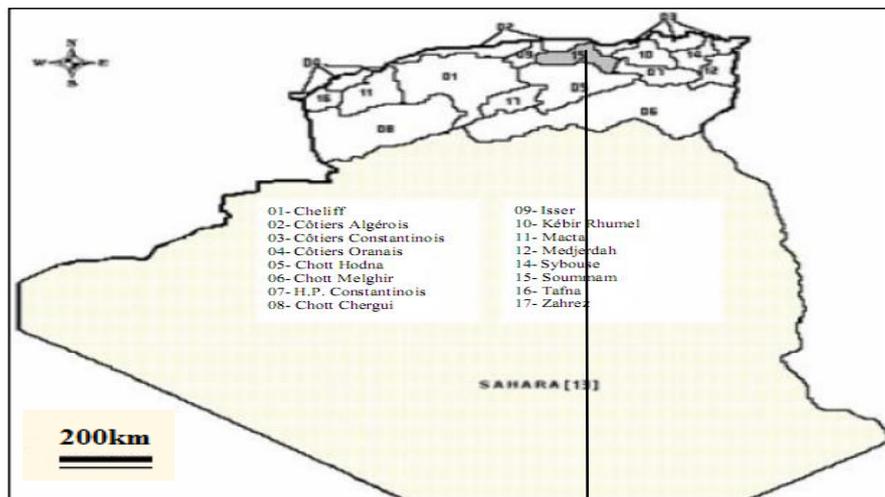


Figure II.1 : Carte des grands bassins versants d'Algérie (ANRH, 2001)

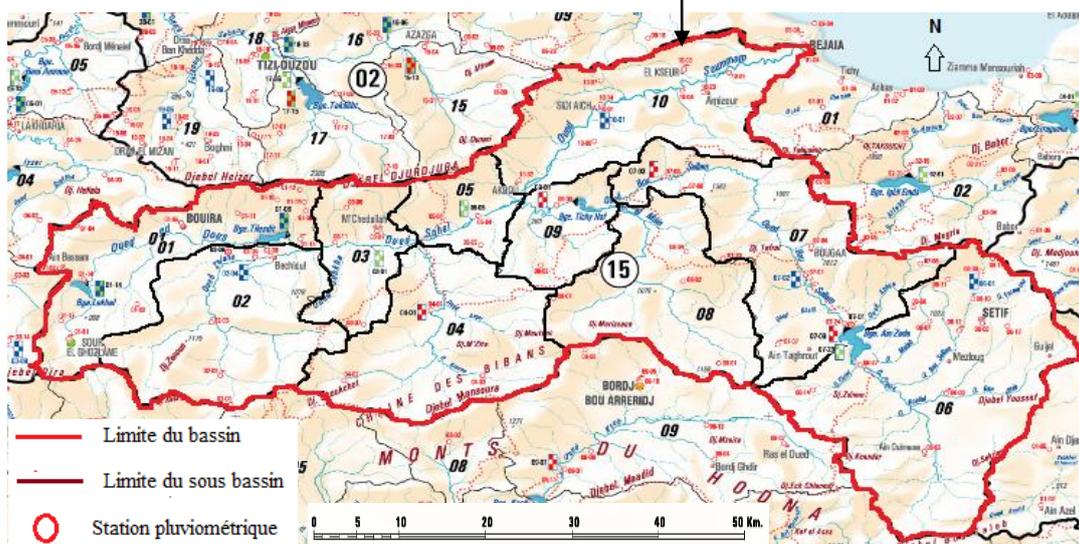


Figure II.2 : Bassin versant de la Soummam

II-2 Relief :

De Bouira à akbou la chaîne de djurdjura n'est en aucun endroit inférieure à 1500 m, de Akbou en allant vers la mer, la hauteur diminue graduellement, le bassin versant de la Soummam est hydrographiquement très développé, trois rivières et leurs affluents constituent son squelette.

Le Sahel affluent venant du nord-ouest, le Bousselam venant du sud-est, la Soummam qui se forme à Akbou au confluent du Sahel et Bousselam et coule du nord-est vers la mer.

Le Sahel étant de plus en plus important, il est formé à partir de Oued Zeiane et Oued Eddous.

Il est à constater que la région est bien pourvue du point de vue richesse en eau, ajoutant à ces réserves des barrages. **(Zouggaghef, Mouni L & Tafer M, 2014).**

II-3 Réseau hydrographique :

La Soummam constitue un réseau hydrographique dense et bien fourni, particulièrement dans sa partie située dans l'Atlas tellien : Djurdjura, Babors et Bibans. Son bassin versant couvre une superficie de 9125 km² étalée sur quatre wilayas : Bouira, Bordj Bou Arréridj, Sétif et Béjaïa. Avec le Cheliff, la Tafna et le Rhummel, la Soummam est l'un des plus grands cours d'eau d'Algérie (figure II.3).

Les cours d'eau s'organisent en réseaux hydrographiques, assemblages de rivières principales et de leurs affluents. Les ruisseaux se jettent dans les rivières les plus importantes qui, elles-mêmes, vont constituer le principal cours d'eau. Pour cette raison, on dit que ces réseaux de rivières et de vallées sont hiérarchisés. Les réseaux hydrographiques drainent des bassins. Chaque bassin est séparé des bassins voisins par une ligne de partage des eaux qui correspond souvent à des accidents structuraux (sommets d'anticlinaux, d'escarpements de failles,...). **(Zouggaghef, Mouni L & Tafer M, 2014).**

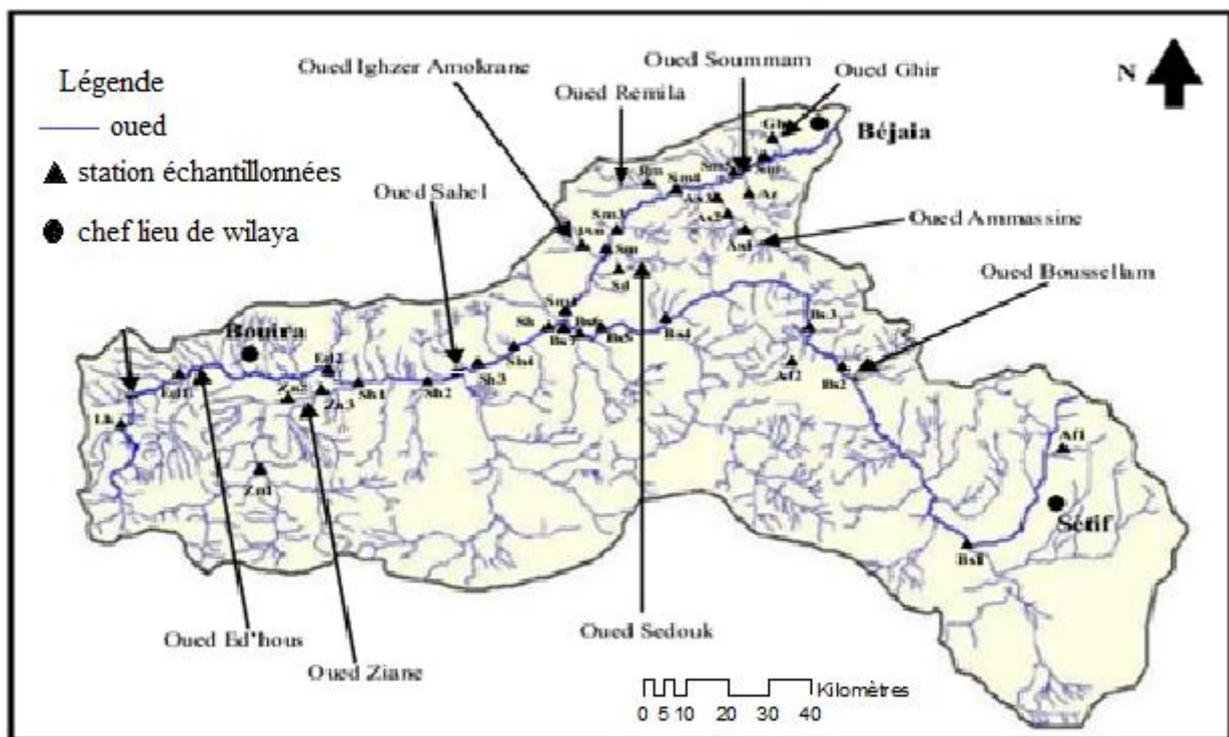


Figure II.3 : réseau hydrographique du bassin.

II-4 Climat :

Le climat y est chaud et tempéré. En été, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. Selon la classification de Köppen-Geiger, le climat est de type Csa. Avec une température annuelle moyenne de 16.2 °C. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 550 mm.

II-5 Température :

La station météorologique de Bouira offre une série de 27 années de 1985 jusqu' à 2013. Les températures mensuelles moyennes, maximales et minimales sont regroupées au Tableau ci-après:

Tableau II.1 : températures moyenne mensuelles.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy-Ann
T moy	8,6	9,2	10,6	13,0	16,8	22,1	26,2	26,4	22,5	17,5	12,6	9,8	16,3
T max	17,1	18	21,3	23,1	28,2	33,3	38,7	39,8	37,1	29,4	24,9	22,3	39,8
T min	1,4	2,3	2,4	3,1	5,1	8,1	9,1	11,7	10,5	7,8	4,1	2,4	1,40

Il ressort du tableau II.1 que le mois le plus chaud est le mois d'Aout avec une température d'environ 40° et le mois le plus froid c'est le mois de janvier avec une température minimale de 1.4°.

II-6 Pluviométrie :

La pluie est l'agent principal de l'érosion. L'énergie des gouttes précipitées désagrège les fines particules du sol qui peuvent ensuite être entraînées par le ruissellement en fonction de sa capacité de transport.

Quinze (15) stations pluviométriques, dispersées d'une manière homogène sur tout le bassin d'étude, ont été utilisées dont leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau II.2 et leurs répartition spatiale est illustrée en figure II.4.

Tableau II. 2 : caractéristiques des stations pluviométriques utilisées

Code de la station	Nom de la station	Coordonnées Lambert		Altitude (m)	Période d'observation	Nombre d'années	Pluie annuelle moyenne(mm)
		X (km)	Y (km)				
150101	Sour-elghouzlane	590.6	316.45	882	1985-2011	26	431,19
150201	Khemis	616.5	303.2	1055	1985-2011	26	409,48
150301	Mchedellah	640.9	341.7	450	1985-2011	26	295,54
150204	EL ESNAM SH	620.4	335.5	435	1968-2011	43	321,96
150401	PORTES DE FER	650.7	324.2	500	1968-2011	43	290,2
150503	IGHIL ALI	658.9	338.95	700	1968-2011	43	382,45
150608	BOUIRA COLIGNY	732	326.65	1010	1968-2011	43	390,44
150614	TIXTER	715	308.2	960	1968-2011	43	230,07
150706	AIN ABESSA	733.1	336.4	1100	1968-2011	43	561,04
150707	BIR KASDALI	709.5	318.4	980	1968-2011	43	389,69
150801	SIDI EMBAREK	699.15	313.8	1011	1968-2011	43	333,88
150807	TENIET ENASR	671.2	327.45	1021	1968-2011	43	465,42
150904	SIDI YAHIA	672.1	348.5	255	1974-2011	37	394,84
151004	Dne MAOUCHI AHMED	692.3	373.05	71	1968-2011	43	483,28
151007	TIFRA	678.75	375.75	450	1968-2011	43	748,1

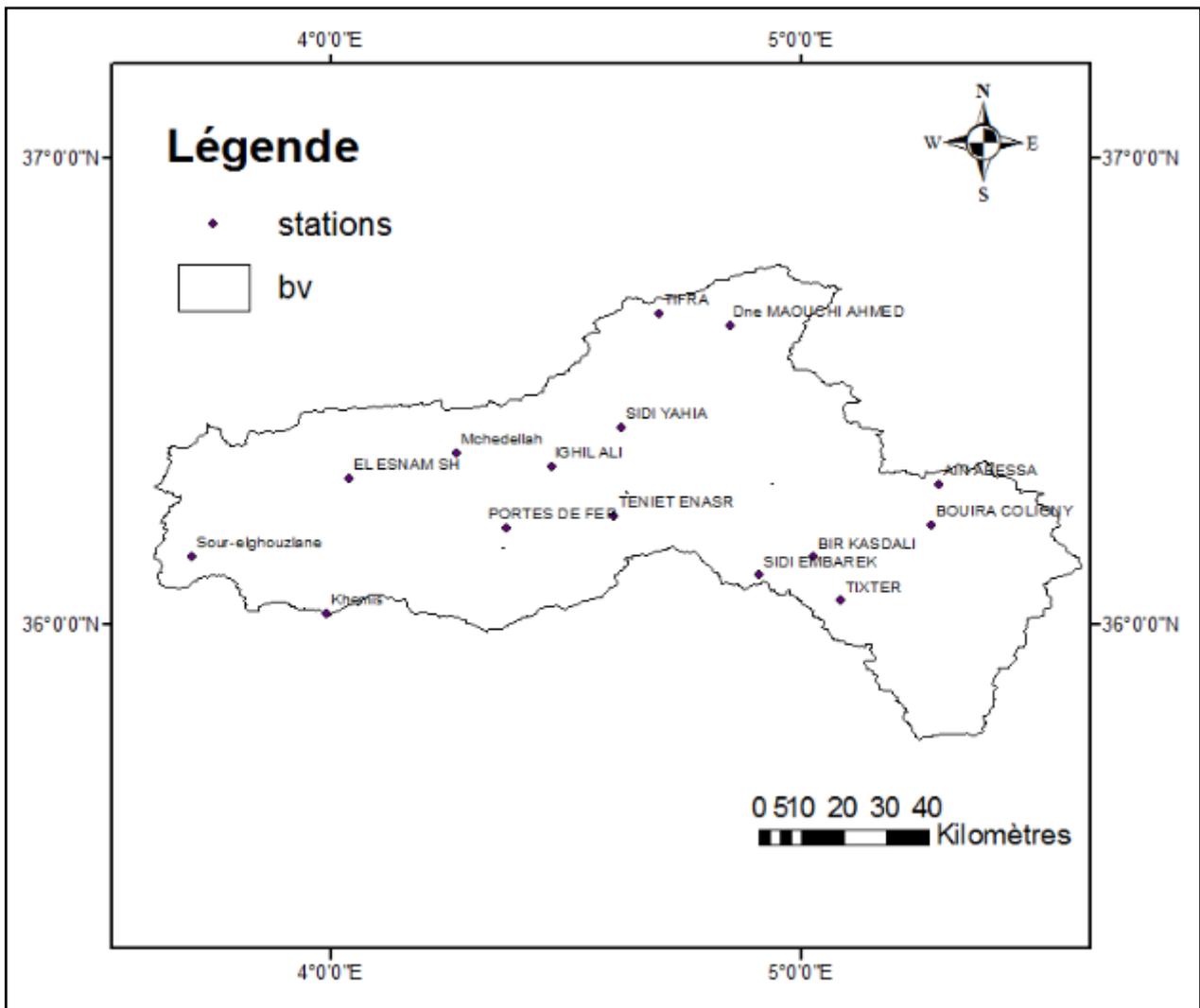


Figure II.4 Emplacement des stations pluviométriques.

- La répartition de la pluie moyenne interannuelle est indiquée en figure II.5.

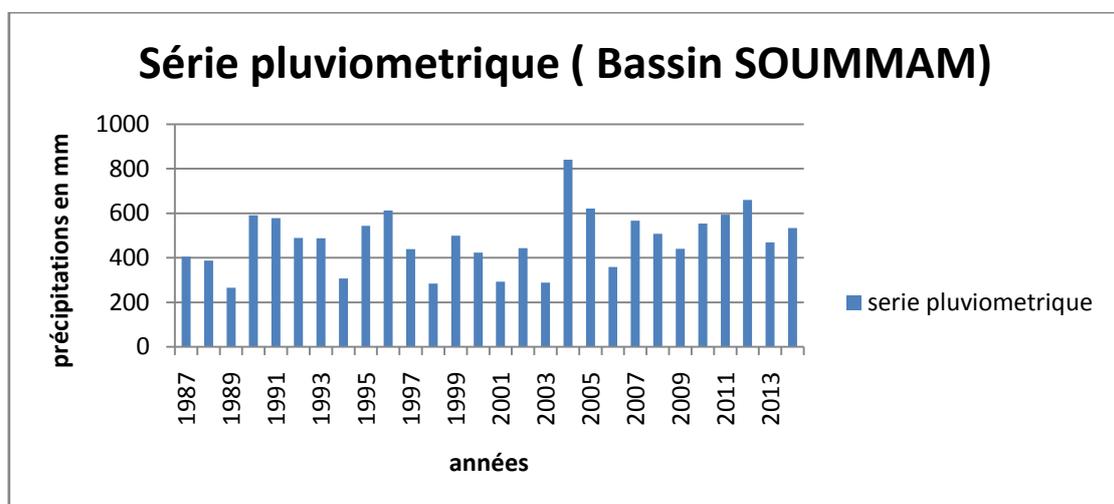


Figure II.5 pluies annuelles du bassin de la Soummam

Il en ressort de la figure ci-dessus et du tableau II.2 que la pluviométrie moyenne annuelle pour l'ensemble du bassin est de 481 mm oscillant entre 300 et 1000 mm en augmentant d'Ouest vers l'Est.

II-7 Transport solide en suspension :

L'estuaire du bassin versant de la Soummam reçoit une partie importante du volume des rejets urbains et industriels, en plus des eaux chargées qui viennent de l'amont.

La qualité des eaux à l'estuaire est nettement dégradée, vue que les concentrations des MES sont très élevées et dépassent de loin les normes relatives aux eaux de surfaces (>50 mg/l), en plus d'une charge en matières dissoutes exprimées par des conductivités électriques (CE) assez élevées comprise entre 1,26 et 13,22 mS/cm. Les concentrations en oxygène dissout (OD) sont relativement faibles (entre 2,82 et 5,4 mg/l). On constate une nette variation temporelle de ces paramètres (MES, CE, OD) durant la période d'étude ce qui est dû principalement aux variations des taux de précipitation (facteur naturel), en plus des rejets urbains et industriels dont le volume est très irrégulier dans le temps (facteur anthropique). **(C. Allili–Ailane, B. Laignel & K. Madani, 2012).**

Conclusion

Dans cette partie les données nécessaires de la zone d'étude ont été définies du point de vue géographique, topographie, climatologie, ainsi que le réseau hydrographique du bassin de la Soummam, cela va servir par la suite à établir la carte d'érosivité des pluies, objectif du présent travail.

CHAPITRE III

Méthodes et outils de calcul

Chapitre III : OUTILS ET METHODES DE CALCUL

Introduction :

Les outils et les méthodes ont une grande complémentarité entre eux, ou les outils servent à appliquer les méthodes théoriques, les traiter, les analyser et enfin s'aboutir à des solutions et des résultats concrets.

III-1 Méthodes de calcul de l'indice d'érosivité des pluies (R) :

L'objectif de notre étude c'est de calculer l'indice d'érosivité R, et d'établir la carte de l'agressivité des pluies sur le bassin de la Soummam, et pour cela, différentes formules et méthodes pour le calcul de cet indice ont été énumérées à savoir :

III-1-1 Indice d'érosivité de WISCHMEIER :

L'indice d'érosivité le plus communément utilise a été propose par WISCHMEIER et Small (1958), Le calcul de R nécessite la connaissance du produit de 2 facteurs, a savoir :

- Energie globale E_g en m.Tonne/ha qui peut représenter la somme des énergies unitaire E_u .
- Intensité maximale observée en 30 mn en cm/h.

Soit :

$$R = E_g \cdot I_{30mn} = \sum_i^n (E_u \cdot h_i) \cdot I_{30mn} \quad (II.1)$$

Où h représente la lame d'eau précipitée pendant la durée de l'intensité homogène I_h

E_u est donnée par Wischmeier et est égale à :

$$E_u = 210 + 89 \log I_h \quad (II.2)$$

L'index **R** est exprimé en m.t.m/ha.h.

III-1-2 formule de Rango & Arnoldus (1987)

La formule de Rango & Arnoldus (1987) a été appliquée à douze stations se trouvant dans ou à proximité du bassin versant de l'oued Boussouab en introduisant que Les précipitations annuelles et mensuelles :

$$\log R = 1,74 \cdot \log \sum \left(\frac{P_i^2}{P} \right) + 1,29 \quad (\text{II.3})$$

Où P_i représente les précipitations mensuelles et P les précipitations annuelles en mm.

III-1-3 Indice d'érosivité de HUDSON

L'indice d'érosivité de HUDSON est simplement déterminé par la somme des énergies cinétiques des tranches de pluie, calculées sur la base de l'expression :

$$E_{cin} = 11,87 + 8,73 \log i \quad (\text{II.4})$$

Pour autant que leur intensité dépasse 25 mmh^{-1} . Bien que reposant sur des observations effectuées pour des averses tropicales, il est possible d'appliquer cet indice sous des climats plus tempérés, en abaissant le seuil de déclenchement de l'érosion, par exemple à 10 mmh^{-1}

III-1-4 Indice d'érosivité de FOURNIER

L'indice d'érosivité proposé par **FOURNIER** (1960) permet uniquement de caractériser de manière relative le caractère érosif de régimes climatiques dans leur ensemble. Cet indice s'exprime par le rapport du carré de la pluviométrie moyenne (p_i) du mois le plus arrosé, à la pluviométrie annuelle moyenne :

$$\varepsilon_F = \frac{p_{i, \max}^2}{P_{\text{annuel}}} \quad (\text{II.5})$$

Cet indice présente une bonne corrélation avec l'érosion annuelle moyenne des grands bassins fluviaux du globe. Une forme modifiée de cet indice, qui consiste à effectuer la somme des indices de **FOURNIER** pour les douze mois de l'année, a été proposé par **ARNOLDUS** (1981):

$$\varepsilon'_F = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_{\text{annuel}}} \quad (\text{II.6})$$

Cet indice modifié présente une meilleure corrélation avec l'indice d'érosivité de **WISCHMEIER et Smith**. La forme des relations entre l'indice de **FOURNIER** modifié et **R** varie cependant avec la zone climatique considérée

III-1-5 Formule de (Cormary, 64) :

Ce facteur est obtenu à partir du dépouillement des données de la pluviométrie portant sur plusieurs années. Les valeurs du facteur R sont déterminées à l'aide de la formule suivante (Cormary, 64) :

$$R = k \cdot A \cdot B \cdot C \quad (\text{II.7})$$

Où :

R : agressivité des pluies ; k : coefficient régional

A : pluviométrie moyenne inter-annuelle ; B : pluie maximale d'une heure et de période de retour 2 ans ; C : l'intensité maximale de 24 heures et de période de retour 2 ans.

Cette formule présente le plus grand nombre de paramètres, d'où ses résultats sont plus fiables que d'autres formules, mais pour avoir ses données, il faudra un suivi spécifique de la variation des précipitations afin de pouvoir calculer les paramètres B et C.

III-1-6 Formule de Roose (1975 à 1981) :

Une Compilation et analyse de 20 à 50 années de mesures, ont abouti à la proposition de relations empiriques simples, liant l'indice R_{am} , à la hauteur de pluie annuelle moyenne H_{am} mesurée sur la même période (5 à 10 ans sont nécessaires au minimum).

Les relations suivantes sont adoptées:

$$R_{am} = 0,50 H_{am} \pm 0,05$$

(II.8)

En fonction des régions étudiées, on distingue:

$$\begin{array}{l} R_{am} = 0,35 H_{am} \pm 0,05 \text{ en région montagneuse} \\ R_{am} = 0,60 H_{am} \pm 0,05 \text{ sur la frange côtière} \\ R_{am} = 0,50 H_{am} \pm 0,05 \text{ pour les autres zones} \end{array}$$

La formule de Roose ne prend en considération que la hauteur de pluie annuelle moyenne, d'où ça sera difficile d'avoir des résultats corrects et fiables à partir de cette formule.

III-2 Outils de calcul :

L'étude est basé principalement sur l'utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) afin de faire ressortir la carte d'érosivité des pluies qui sera exploitée par la suite pour l'établissement d'une carte des risque d'érosion dans un futur travail et la télédétection était un appuis supplémentaire pour renforcer les résultats trouvés.

III-2-1 le système d'information géographique (SIG) :

L'apparition de systèmes d'information géographique (SIG) dans la mi-1960 reflète les progrès de la technologie informatique et de l'influence de la révolution quantitative en géographie. Le SIG a évolué de façon spectaculaire comme un outil de cartographie automatisée et la gestion des données au début, et comme un espace capable de traiter des données après, et récemment, il est impliqué dans science de l'information géographique. Une première définition par Calkins et al. (1977) stipule que:

Un système d'information géographique est un progiciel intégré conçu spécifiquement pour être utilisé avec des données géographiques et qui peut effectuer une gamme de tâches de gestion de ces données. Ces tâches comprennent la saisie de données, stockage, l'extraction et la production, en plus d'une grande variété de processus descriptifs et analytiques.

D'après cette définition, on constate que les SIG gère les données géographiques, qui comprennent à la fois la position géographique et les d'attributs (attributs) qui décrivent les caractéristiques géographiques. Le point fort des SIG est la superposition de données à référence spatiale dans des couches, ce qui permet de délimiter leurs relations spatiales. Les domaines d'application des SIG sont aujourd'hui beaucoup plus (larges).

Dans les SIG, des modèles sont utilisés pour convertir la variation géographique en un objet discret. Il Ya généralement deux grands types de modèles: raster et vecteur. Un modèle raster divise la zone d'étude dans une grille régulière de cellules dans un ordre spécifique (similaire aux pixels numériques), chaque cellule contenant une valeur unique. Au sein d'une couche raster, il peut y avoir être de nombreuses zones (également appelées, régions et polygones), avec chaque zone étant un ensemble d'emplacements contigus qui présentent la même valeur. Toutes les zones individuelles qui ont les mêmes caractéristiques forment une classe d'une couche raster.

Le vecteur est le modèle de données traditionnel basé sur les vecteurs. Son élément fondamental est un point. Les lignes sont créées en reliant les points et les zones sont définies par des ensembles de lignes.

La création d'une base de données vectoriel implique principalement trois étapes: (1) l'entrée de données spatiales, (2) l'entrée de données d'attribut, et (3) lien entre les données spatiales et d'attribut. Les données spatiales sont entrées via des points et des lignes numérisées, ou à partir d'autres sources numériques. Les attributs sont des données qui décrivent les caractéristiques spatiales et qui peuvent être saisies ou importés à partir d'une autre base de données numériques. **(TOUMI Samir, 2013).**

Dans notre étude, le logiciel **ArcGis** est utilisé comme un outil de cartographie.

III-2-1-1 Description du logiciel ArcGis :

ArcGis est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGis est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias.

ArcGis permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des Smartphones et d'ordinateurs de bureau. **(AHBARIA.2005).**

III-2-1-2 Fonctionnalités du logiciel ArcGis :

- ✓ Automatiser le processus de caractérisation physique des bassins (délimitation, Morphométrie,);
- ✓ Calcul et extraction des données d'entrée pour les modèles hydrologiques et Hydrauliques à partir des cartes et donnée SIG (MNT, occupation du sol, Sols, Images,)
- ✓ Interface graphique simple à manipuler pour une gamme de modèles hydrologiques et hydrauliques diversifiée, afin de préparer leurs fichiers de simulations ;
- ✓ Exporter les couches de données exigées par le modèle utilisé
- ✓ Exécution des simulations de la majorité des modèles hydrologiques et hydrauliques qu'il contient.

- ✓ Rassembler les informations géographiques
- ✓ Créer et gérer des bases de données géographiques
- ✓ Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale
- ✓ Créer des applications basées sur la carte

III-2-1-3 Cartographie et visualisation dans ArcGis :

Trois applications d'ArcGIS Desktop peuvent être utilisées pour la cartographie et la visualisation :

- **ArcMap** est l'application principale utilisée dans ArcGIS Desktop pour la cartographie (figure III.1), la mise à jour, l'analyse et la gestion des données. Elle est utilisée pour la cartographie et la visualisation en 2D.

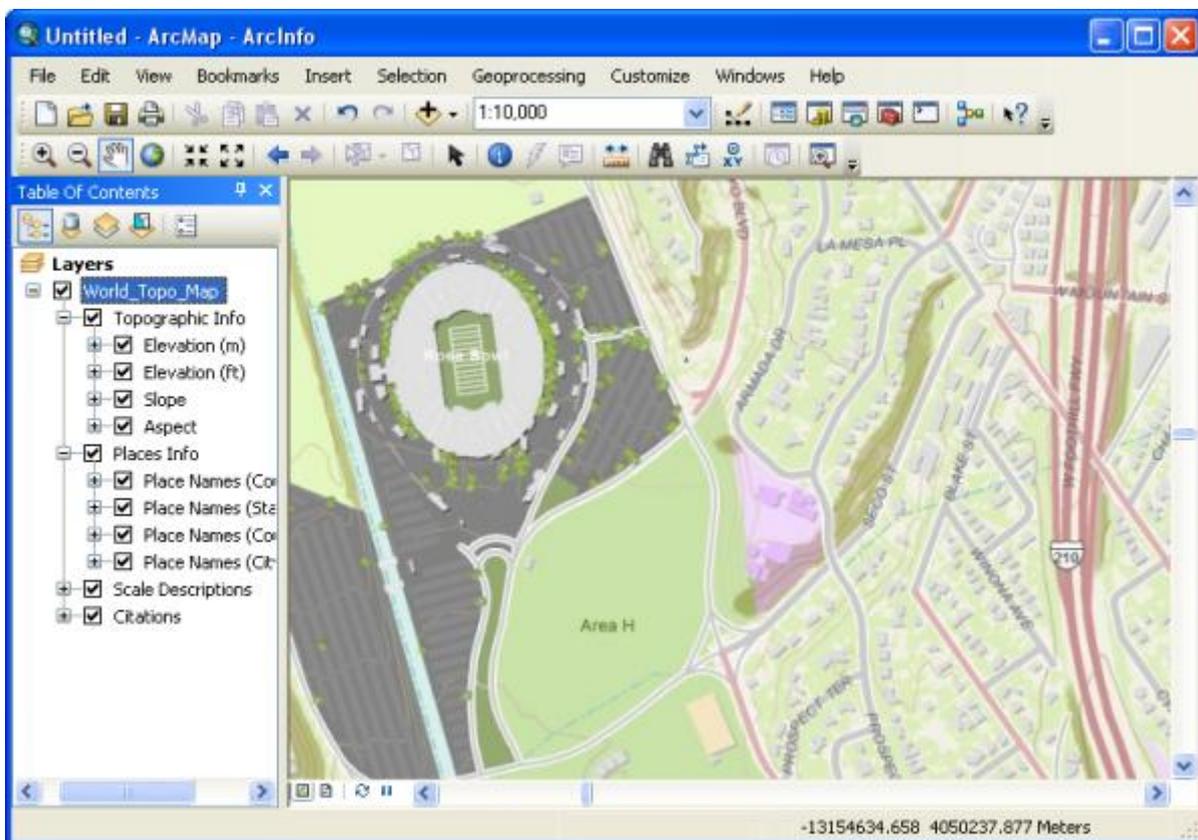


Figure III.1 ArcMap source (ArcGIS resource center)

- **ArcGlobe** est utilisée pour une visualisation en 3D uniforme des données géographiques à l'aide d'un affichage global continu (figure III.2). Cette application est généralement conçue pour être utilisée avec des jeux de données volumineux affichés selon divers niveaux de détails. ArcGlobe fait partie de l'extension optionnelle 3D Analyst d'ArcGIS.

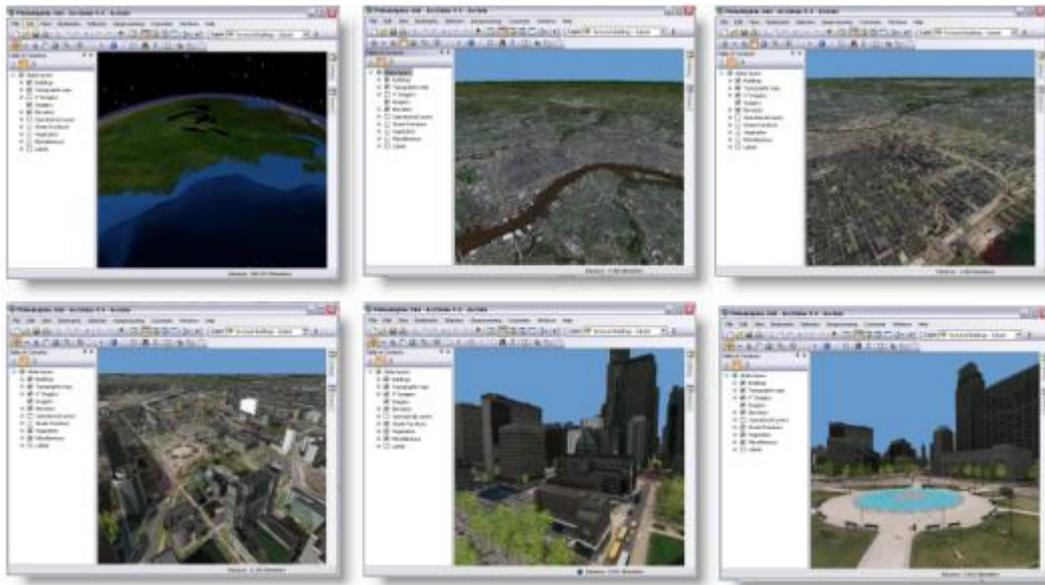


Figure III.2 ArcGlobe source (ArcGIS resource center)

- **ArcScene** est utilisée pour la visualisation 3D de scènes ou de surfaces ciblées (figure III.3). Elle crée un affichage en 3D de la scène, que vous pouvez parcourir et qui vous permet d'interagir avec les zones d'intérêt qu'elle comprend. ArcScene fait également partie de l'extension optionnelle 3D Analyst d'ArcGIS.

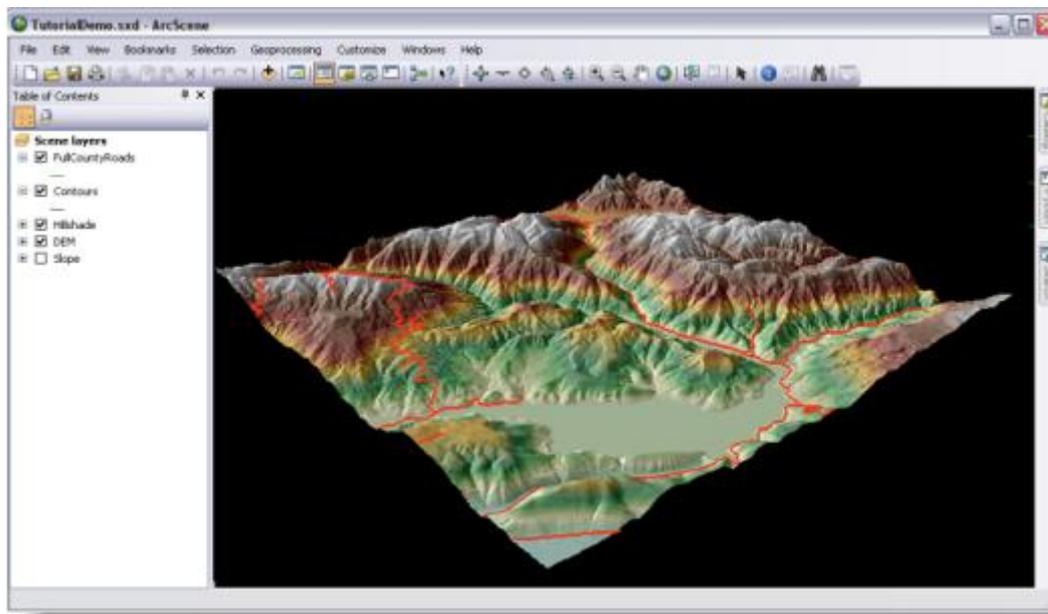


Figure III.3 ArcScene source (ArcGIS resource center)

III-2-1-4 Présentation rapide d'ArcMap :

ArcMap représente les informations géographiques sous forme d'un ensemble de couches et les autres éléments sous forme d'une vue de carte. Il y a deux vues cartographiques principales dans ArcMap : le mode Données et le mode Mise en page.

Le bloc de données présente une fenêtre géographique, ou bloc cartographique, dans laquelle vous pouvez afficher et utiliser les informations géographiques sous la forme d'une série de couches. Le mode Mise en page affiche une page dans laquelle sont organisés les éléments cartographiques (par exemple, le bloc de données, une barre d'échelle et un titre de carte) pour l'impression de la carte.

- **Documents ArcMap :**

Quand vous enregistrez une carte que vous avez créée dans ArcMap, elle est enregistrée en tant qu'un fichier sur le disque. C'est un document ArcMap qui est désigné sous le nom de carte ou mxd puisque l'extension de nom de fichier (.mxd) est ajoutée automatiquement à votre nom de carte. Vous pouvez utiliser un fichier .mxd existant en double-cliquant sur le document pour l'ouvrir. Ce faisant, vous lancez une session ArcMap pour ce fichier .mxd.

Les documents ArcMap contiennent des propriétés d'affichage des informations géographiques gérées dans la carte, telles que les propriétés et définitions des couches de la carte, les blocs de données et la mise en page de carte pour l'impression, ainsi que toutes les éventuelles personnalisations et macros que vous ajoutez à votre carte.

- **Modes d'affichage dans ArcMap :**

ArcMap affiche le contenu des cartes dans l'une des deux modes d'affichage disponibles :

- Mode Données
- Mode Mise en page

Chaque mode vous permet d'afficher une carte et d'interagir avec elle de manière spécifique.

En mode Données ArcMap, la carte correspond au bloc de données. En mode Données, le bloc de données actif est présenté comme une fenêtre géographique dans laquelle les couches de la carte sont affichées et utilisées (figure III.4). Dans un bloc de données, vous travaillez avec les informations SIG présentées à travers les couches de la carte à l'aide de coordonnées géographiques (monde réel). Il s'agit généralement de mesures au sol,

exprimées en unités, telles que les pieds ou les mètres, ou de mesures de longitude et de latitude (telles que les degrés décimaux). Le mode Données masque tous les éléments cartographiques de mise en page (titres, flèches du Nord et barres d'échelle) et vous permet de vous concentrer sur le contenu d'un bloc de données distinct pour, notamment, modifier ou analyser ses informations.

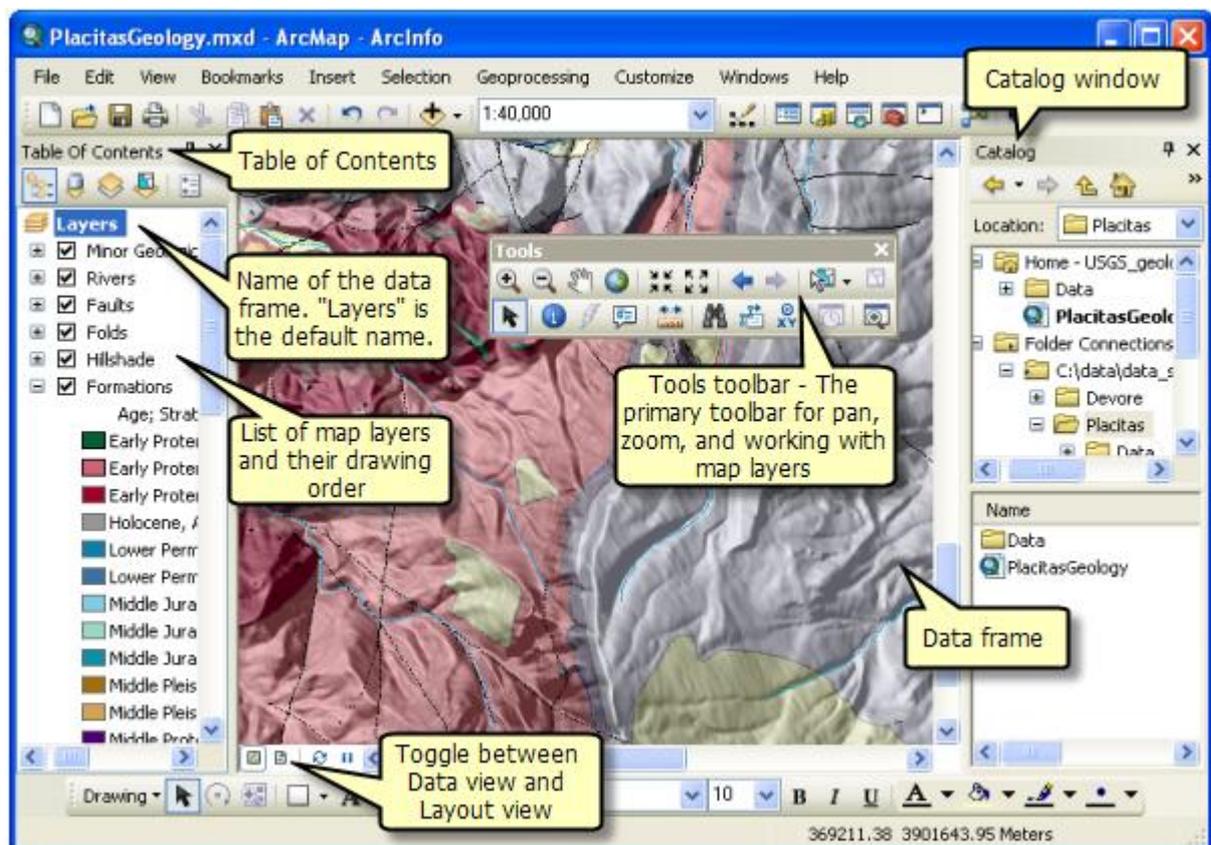


Figure III.4 Modes d'affichage dans ArcMap source (ArcGIS resource center)

Quand vous préparez la mise en page de votre carte, vous souhaitez pouvoir l'utiliser en mode Mise en page (figure III.5). Une mise en page est un ensemble d'éléments cartographiques (tels qu'un bloc de données, un titre de carte, une barre d'échelle, une flèche vers le nord et une légende de symbole) organisés sur une page. Les mises en page sont utilisées pour composer des cartes pour l'impression ou l'exportation aux formats tels qu'Adobe PDF.

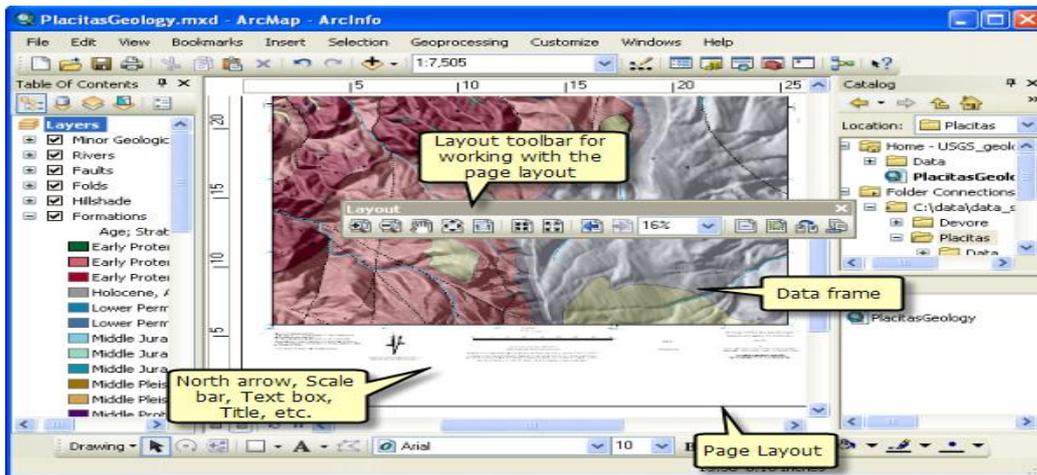


Figure III.5 Modes d'affichage dans ArcMap source (ArcGIS resource center)

- **Couches cartographiques :**

Dans le bloc de données, vous affichez des jeux de données géographiques en tant que couches, chaque couche représentant un jeu de données particulier superposé dans la carte. Ces couches communiquent les informations à l'aide des éléments suivants :

- des classes d'entités discrètes, telles que des ensembles de points, lignes et polygones,
- des surfaces continues, telles que l'altitude, qui peuvent être représentées de plusieurs manières (par exemple, sous la forme d'un ensemble d'isolignes et de points altimétriques ou d'un relief ombré),
- la photographie aérienne ou l'imagerie satellite couvrant l'étendue de la carte,

Les ruisseaux et lacs, les MNT, les routes, les frontières politiques, les parcelles, les tracés de bâtiment, les lignes de distribution et l'imagerie orthomorphique constituent quelques exemples de couches de carte.

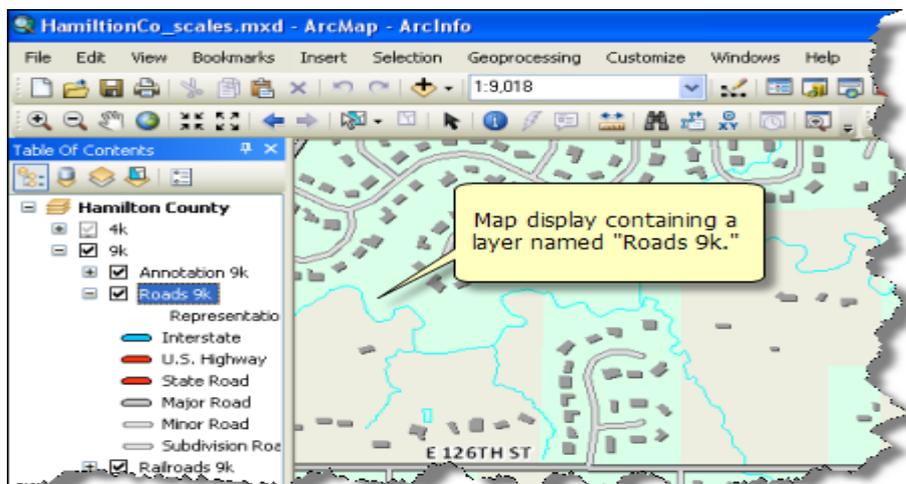


Figure III.6 couches cartographiques ArcMap source (ArcGIS resource center)

- **Table des matières :**

La table des matières répertorie l'ensemble des couches d'une carte et indique ce que représente chaque entité (figure III.7). La case à cocher située en regard de chaque couche indique si son affichage est actuellement activé ou désactivé. L'ordre des couches dans la table des matières indique leur ordre d'affichage dans le bloc de données.

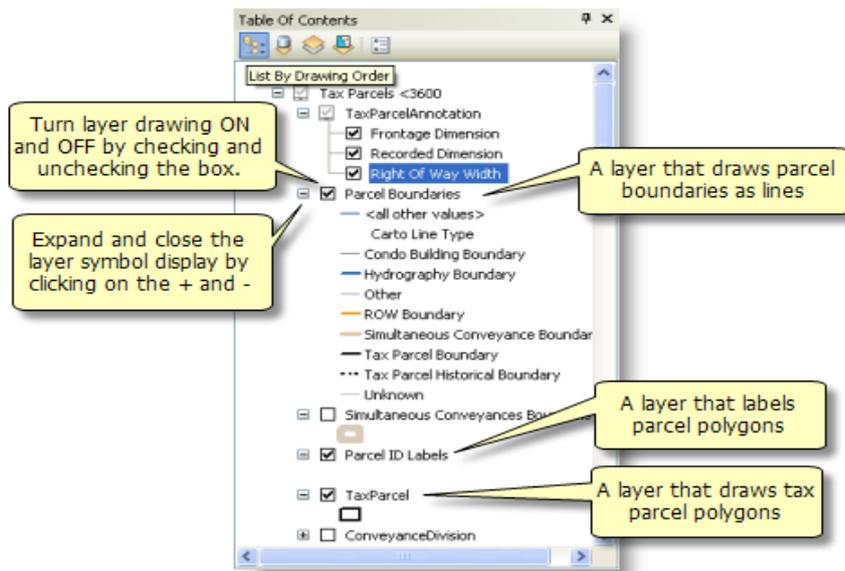


Figure III.7 Table des matières ArcMap source (ArcGIS resource center)

- **Utilisation de tables :**

Les tables attributaires sont un des types de données communes avec lesquels vous travaillez dans ArcMap. (figure III.8)

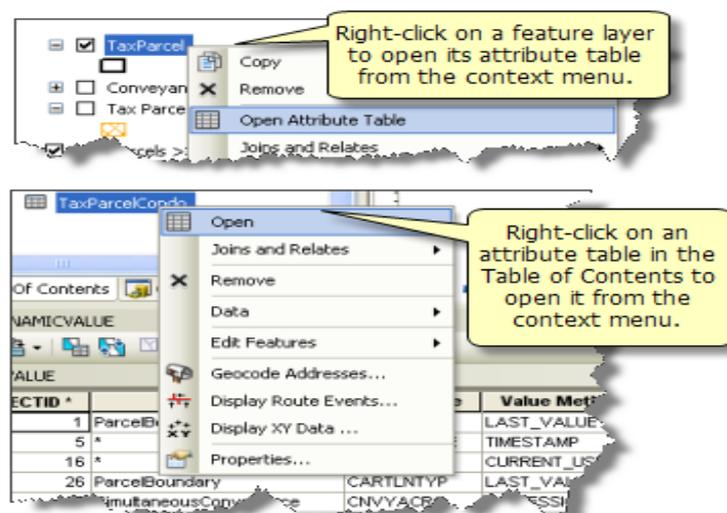


Figure III.8 utilisation de tables ArcMap source (ArcGIS resource center)

III-2-2 la Télédétection :

III-2-2-1 Définition de la télédétection

Télédétection: Technique aérospatiale qui utilise l'énergie électromagnétique pour obtenir de l'information de la surface de la Terre et de l'atmosphère environnante sans contact direct.

III-2-2-2 Principe de la télédétection :

Le principe de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. La télédétection est le résultat d'interaction de trois éléments fondamentaux :

- La cible qui est l'élément ou la portion de la surface terrestre observée par le satellite.
- La source d'énergie qui éclaire la cible en émettant une onde électromagnétique.

Trois sources d'énergie sont utilisées en télédétection. La première, la plus commune et la plus utilisée est le soleil qui illumine la surface terrestre. La partie du rayonnement réfléchi par la surface de la Terre est alors captée et enregistrée par le capteur satellitaire. Ce processus illustre la télédétection optique, dans les domaines du visible et du proche infrarouge. Mais la source d'énergie n'est pas forcément le rayonnement solaire. La surface terrestre se comporte également comme source d'énergie en émettant un rayonnement qui peut être capté et enregistré par les capteurs satellitaires. Cette situation correspond à la télédétection dans le thermique ou dans le domaine des micro-ondes passives. Enfin, le capteur satellite peut lui-même être source d'énergie en émettant grâce à une antenne, un rayonnement vers la surface terrestre, puis en enregistrant la partie du rayonnement rétrodiffusé. Ce processus est celui de la télédétection active dans le domaine des hyperfréquences.

- Le capteur ou plateforme de télédétection (figure III.9) mesure l'énergie réfléchi par la cible. (TOUMI Samir, 2013).

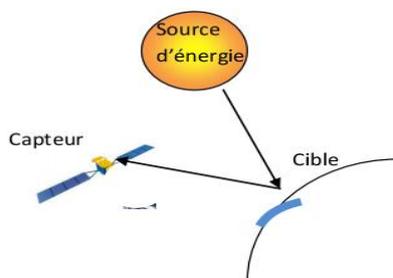


Figure III.9 Les trois éléments de la télédétection.

III-2-2-3 Domaines d'application de la télédétection :

La télédétection s'applique à toutes les disciplines qui nécessitent d'appréhender la répartition spatiale d'un phénomène, soit pour déterminer un état à un instant donné, soit pour suivre une évolution plus au moins rapide d'un phénomène (**P .FOIN.1985**).

Le premier grand domaine d'application de la télédétection a été l'étude de l'atmosphère (météorologie et climatologie). L'intérêt de la télédétection dans ce domaine est d'assurer le suivi de l'évolution spatio-temporelle de la couverture nuageuse, mesurer la température, vapeur d'eau et précipitations...

III-2-2-4 Avantages et inconvénients de la télédétection

Avantages :

- ✓ Couverture globale et périodique sur de vastes zones de la Terre.
- ✓ Observation multi-échelle.
- ✓ Information sur les régions non visibles du spectre.
- ✓ Traitement numérique des images.

Inconvénient :

Impossibilité d'obtenir des modèles avec grande précision en comparaison avec les observations in situ ou de photographie aérienne.

Conclusion :

Le système d'information géographique (SIG) et la télédétection restent des outils très efficaces et fiables pour l'application des méthodes de calculs et résoudre les différents problématique de l'analyse spatiale et de Créer et gérer des bases de données géographiques.

CHAPITRE IV

Résultats et discussions

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction :

La pluie est le principal facteur de l'érosion. L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent en emportant des particules de terre. En effet, plus les précipitations sont importantes plus leur impact sur l'érosion des sols augmente. (Le Bissonais et al, 2002).

IV-1 Traitement des Données :

Pour évaluer l'érosivité de la pluie dans la zone d'étude, les données pluviométriques réparties sur des périodes d'observations varient de 28 ans jusqu'à 43 ans sur 15 stations (voir chapitre II), ont été traitées et analysées, afin de déterminer l'indice d'érosivité des pluies R, ensuite établir la carte d'agressivité des pluies du bassin (SOUMMAM).

IV-1-1 Homogénéisation:

Pour l'homogénéité des précipitations annuelles, la vérification se fera pour chaque station par le test de la médiane et la correction des anomalies sera effectuée par la méthode de double masse.

- La méthode de double masse :

La méthode de la double masse est une méthode bidimensionnelle. Elle est employée pour évaluer, s'il y a lieu, la présence d'une anomalie dans la série étudiée pour la corriger.

- Principe de la méthode:

Il s'agit de comparer la tendance de la station étudiée par rapport à celle de la station témoin, en traçant le graphe des données cumulées à la station étudiée par rapport aux données cumulées de la station témoin.

- Traitement des stations témoins :

On considère les stations d'**Elesnam sh** (150204), et de **Sidi Embarek**(150801) comme étant des stations de références, et on vérifie son homogénéisation par le test de la médiane. Les tableaux IV.1 et IV.2 présentent les données des stations de références.

Tableau IV.1 station d'El esnam sh

année	P ann(mm)	année	P ann(mm)
1980	407.4	1996	229.4
1981	567	1997	426
1982	344.2	1998	360.8
1983	339.8	1999	296.2
1984	505.2	2000	223.2
1985	511.1	2001	202.2
1986	566.5	2002	510.3
1987	364.1	2003	460.4
1988	550.5	2004	338.7
1989	373.3	2005	387
1990	475.5	2006	300.5
1991	577.7	2007	302.2
1992	465.4	2008	366.4
1993	348.6	2009	321.2
1994	391.6	2010	352.9
1995	517		

Tableau IV.2 station de Sidi Embarek

année	P ann(mm)	année2	P ann(mm)3
1980	297.9	1996	196.2
1981	398.3	1997	328.6
1982	308.9	1998	308.9
1983	256.9	1999	224.4
1984	335.1	2000	226.1
1985	331.2	2001	193.8
1986	410.4	2002	495
1987	270	2003	386.5
1988	344.8	2004	310.5
1989	369.5	2005	229.8
1990	329.94	2006	292
1991	265.21	2007	276.3
1992	265.21	2008	357.2
1993	241.5	2009	435.1
1994	371.4	2010	375.5
1995	422.8	2011	308.9

Ce test (médiane) permet de vérifier si notre série est homogène ou pas. Après avoir classé nos séries en ordre croissant, nous déterminons la médiane c'est -à- dire X (50%) elle est égale à 373.3 mm (El esnam sh), et égale à 309,7 mm pour (Sidi Embarek).

Déterminations les quantités TS et NS qui sont :

Ts : Taille de la plus grande série de + ou -

Ns : Nombre de valeurs supérieures ou inférieures à la médiane.

Pour notre série on a trouvé :

Ts =5 et Ns =15 pour (El esnam sh),

Ts =4 et Ns =16 pour (Sidi Embarek).

Pour que la série soit homogène il faut que les deux conditions suivant soient vérifiées :

- Pour la station de (El esnam sh) :

$$TS < 3.3 (\log (N) + 1) = 8,22$$

$$Ns > 1/2 * (N+1 - u_{1-\alpha/2}(N+1)^{1/2}) = 10,45$$

Les deux conditions sont vérifiées, donc notre série est **homogène**.

- Pour la station de (Sidi Embarek) :

$$TS < 3.3 (\log (N) + 1) = 8,27$$

$$Ns > 1/2 * (N+1 - u_{1-\alpha/2}(N+1)^{1/2}) = 10,87$$

Les deux conditions sont vérifiées, donc notre série est **homogène**.

- La procédure va être de la même manière pour le reste des stations pluviométriques.

Le tableau IV.3 résume les résultats obtenus de l'homogénéisation des stations :

Tableau IV.3 résultats de test d'homogénéisation des stations pluviométriques.

Code	Station	Test d'homogénéité
150101	Sour-elghouzlane	Homogène
150201	Khemis	Homogène
150301	Mchedellah	Non Homogène
150608	Bouiracoligny	Homogène
150401	Portes de fer	Homogène
150503	Ighilali	Homogène
150614	Tixter	Homogène
150706	Ain abessa	Homogène
150707	Birkasdali	Homogène
150807	Tenietenasr	Non Homogène
150904	Sidiyahia	Homogène
151004	DneMaouchi	Homogène
151007	Tifra	Homogène

Pour les stations non homogènes, il est indispensable de corriger les anomalies, afin de pouvoir les utiliser, en utilisant la méthode de double masse.

Les Graphiques des stations non homogènes en fonction des stations témoins après la correction des anomalies sont illustrés en figure IV.1 et figure IV.2.

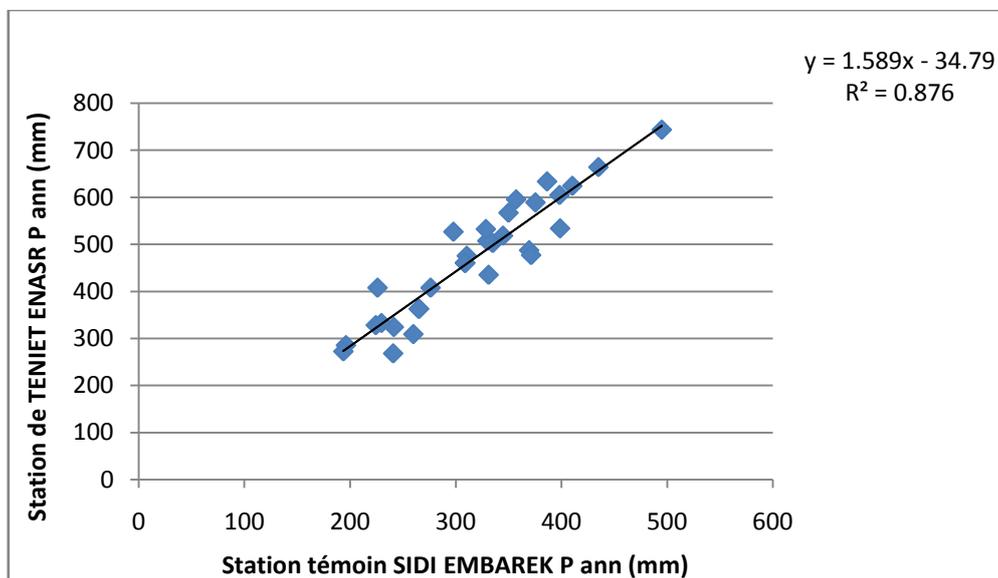


Figure IV.1 Résultats du test de double masse (TenietEnasr)

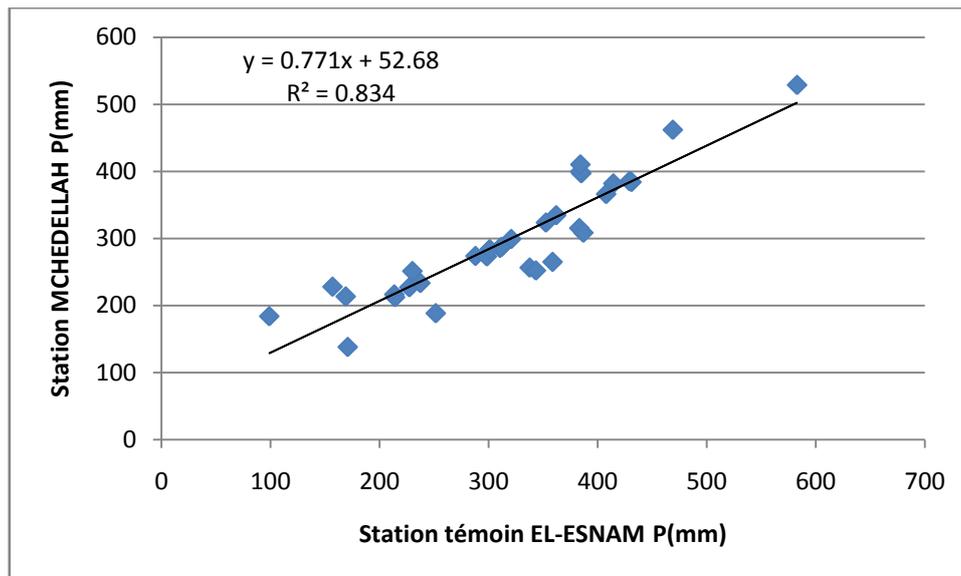


Figure IV.2 Résultats du test de double masse (Mchedellah)

IV-1-2 Ajustement des séries pluviométriques :

L'ajustement des pluies annuelles sert à savoir si les séries pluviométriques suivent une certaine loi statistique.

Le choix de la loi d'ajustement est conditionné par l'application d'un test d'adéquation par exemple (Kh^2), en outre la visualisation des courbes est aussi un indicateur fiable sur le model à choisir.

8 parmi 15 stations sont s'ajustent mieux a la loi normal, et 6 s'ajustent a la loi lognormal et une seule suit la loi Gumbel.

- L'ajustement des précipitations annuelles des 15 stations pluviométriques a été effectué à l'aide de logiciel HYFRAN.

Les graphiques sont présentés sur l'annexe du mémoire.

IV-2 Exploitation des données :

IV-2-1 Courbes isohyètes de pluies annuelles moyennes :

La carte des isohyètes est réalisé à l'aide de l'outil de SIG (ArcGIS) en utilisant les précipitations moyennes annuelles des quinze (15) stations pluviométriques traitées sur la période (1986-2011), le résultat obtenu est illustré en figure IV.3.

Les tableaux des précipitations annuelles des 15 stations sont présentés sur l'annexe du mémoire.

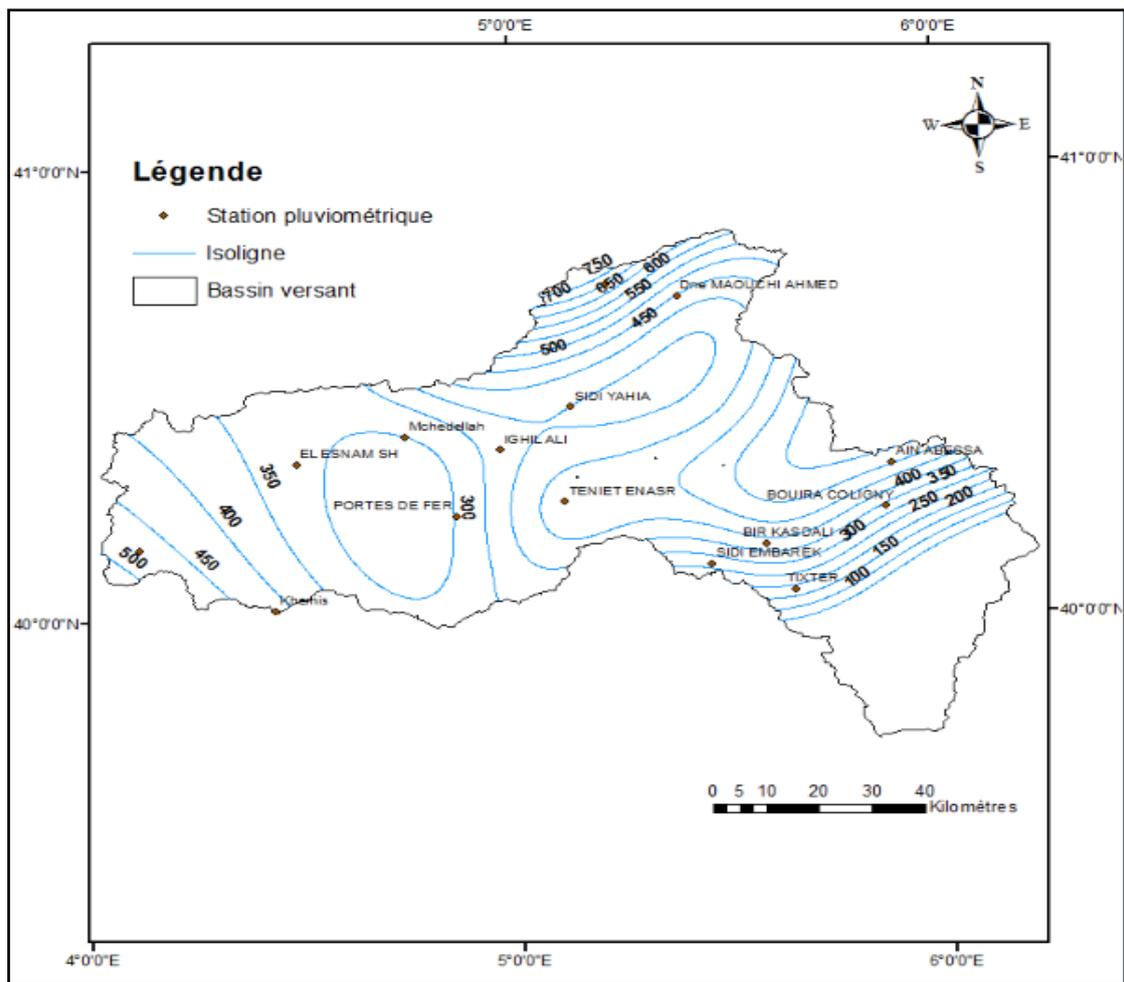


Figure IV.3 Isohyètes des pluies annuelles moyennes du bassin de la SOUMMAM

- Les courbes isohyètes représentent les courbes d'égalité de précipitations sur l'ensemble du bassin, ces isolignes montrent la présence de plusieurs niveaux de précipitations qui augmentent en allant du sud vers le nord avec une valeur minimale de 50 mm jusqu'à 750 mm.

IV-2-2 Calcul de l'index de l'érosivité des pluies R de WISHCMEIER :

L'estimation du facteur R selon la formule de Wischmeier & Smith nécessite la connaissance des énergies cinétiques (E_c) et de l'intensité moyenne sur 30 minutes (I_{30}) des gouttes de pluie de chaque averse. Elles sont données par la formule empirique de Wischmeier & Smith (1978) :

$$R = K.E_c.I_{30} \quad (IV.1)$$

K étant un coefficient dépendant du système d'unités de mesure.

Les seules données disponibles concernant les précipitations dans les stations qui se trouvent dans le bassin ou à sa proximité sont des moyennes mensuelles et annuelles.

Certains auteurs (Kalman 1967, Arnoldus 1980, et Rango & Arnoldus 1987) ont développé des formules alternatives qui n'impliquent que les précipitations mensuelles et annuelles pour déterminer le facteur R. La formule de Rango & Arnoldus (1987) a été appliquée à douze stations se trouvant au grand Maghreb, donc cette formule correspond bien à notre zone d'étude car elle a été approuvée dans des zones similaires à notre bassin :

$$\log R = 1,74 \cdot \log \sum \left(\frac{P_i^2}{P} \right) + 1,29 \quad (IV.2)$$

Où :

P_i représente les précipitations mensuelles et **P** les précipitations annuelles en mm.

R facteur d'érosivité des pluies exprimé en t/ha

Les résultats de calcul du coefficient d'érosivité sont affichés dans le tableau IV.4.

Tableau IV.4 Facteur R de l'érosivité des pluies pour chaque station.

station	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	P ann moy	log R	R t/ha
Sourelghou	34,55	38,83	48,98	63,78	20,29	43,12	49,19	50,98	41,58	9,98	6,41	14,5	431,19	4,16	64,33
Khemis	37,34	37,17	43,73	54,78	48,21	42	40,28	41,59	37,32	10,8	1,94	14,33	409,48	4,10	60,27
Mchedellah	28,72	23,3	32,51	37,35	38,36	31,71	27,99	28,42	24,79	10,85	4,19	7,36	295,54	3,85	46,77
el esnam sh	26,66	28,79	35,29	42,88	47,48	32,48	28,68	33,29	29,89	6,96	5,39	4,18	321,96	3,95	51,84
portes de fer	26,43	33,14	31,8	31,29	27,17	28,31	29,11	30,88	31,92	9,37	4,33	6,43	290,2	3,82	45,77
ighil ali	33,73	35,99	36,32	53,44	47,65	39,8	35,05	37,66	35,58	10,57	6,93	9,73	382,45	4,04	57,04
bouira coligny	36,99	32,53	35,15	54,45	43,94	37,03	35,86	40,28	36,25	18,68	7,12	12,17	390,44	4,03	56,36
tixter	24,73	19,09	17,59	23,9	20,56	18,74	21,56	25,73	30,82	9,2	8,24	9,9	230,07	3,61	36,97
ain abessa	44,22	40,16	53,17	86,72	81,82	65,02	56,26	55,5	41,39	16,61	7,19	12,99	561,04	4,38	79,49
bir kasdali	36,12	28,59	42,24	48,01	43,39	36,09	35,01	46,23	39,99	15,15	5,17	13,71	389,69	4,04	56,74
sidi embarek	33,12	26,89	31,3	38,47	36,56	27,24	31,12	39,59	38,54	15,94	3,67	11,44	333,88	3,92	50,18
teniet enasr	32,11	36,2	48,48	61,63	67,59	47,06	43,33	57,31	45,93	11,67	3,95	10,15	465,42	4,23	68,77
sidi yahia	26,31	32,83	43,04	62,16	56,59	42,31	42,82	38,37	29,24	8,14	4,49	8,55	394,84	4,12	61,82
dne maouchi ahmed	30,73	42,63	62,13	83,61	68,59	46,98	55,09	43,98	34,67	7,81	0,97	6,09	483,28	4,32	75,51
tifra	33,8	54,4	82,6	157	117	87,4	83,3	70,7	43,3	10,5	1	7,1	748,1	4,73	113,20
Moyenne	32,37	34,04	42,96	59,96	51,01	41,69	40,98	42,70	36,08	11,48	4,73	9,91	408,51	4,09	61,67

La figure IV.4 représente l'histogramme des valeurs de R pour chaque station pluviométrique :

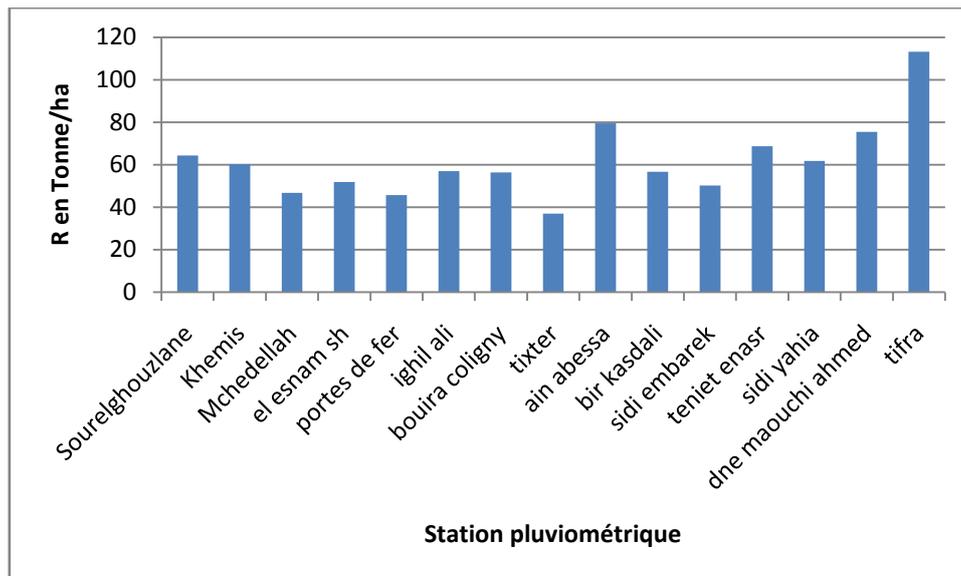


Figure IV.4 histogramme des valeurs de R pour chaque station pluviométrique.

Les valeurs de R varient de 37 T/ha comme valeur minimale au niveau de la station de Tixter (sud est du bassin), et une valeur maximale de 113.2 t/ha a Tifra à l'extrême nord du bassin, et une valeur moyenne de l'ensemble du bassin de 62 Tonne/ha.

IV-3 Cartographie de l'érosivité des pluies a l'aide du logiciel ArcGis :

IV-3 -1 Données de base :

Pour pouvoir utiliser ArcGis dans la cartographie, il faut avoir un fichier MNT brute, ou relief global HGT sous forme de rasters avec les limites du bassin d'étude.

La mosaïque des rasters qui couvrent le bassin versant contient les images suivantes :

N35E003, N35E004, N35E005, N36E003, N36E004, N36E005 ou :

N : Hémisphère nord, Zone 35et36, E : Est de Greenwich, 00X : numéro de l'image.

La figure IV.5 présente la mosaïque des rasters qui couvre le bassin de la Soummam

- **Source : USGS Landsat8, Juillet 2015.**



Figure IV.5 : Mosaïque des photos rasters

IV-3-2 Le Krigeage :

Dans cette partie, il faut exploiter les résultats du tableau IV.6 afin de spatialiser les valeurs de l'indice d'érosivité trouvées dans le bassin d'étude, pour cela, la procédure est comme suit :

- ✓ Tout d'abord, il est indispensable d'ajouter les données des stations sous forme d'un fichier Excel contenant (X, Y, R), en précisant le système de coordonnées approprié.

La figure IV.6 illustre la fenêtre d'ajout des données X,Y.

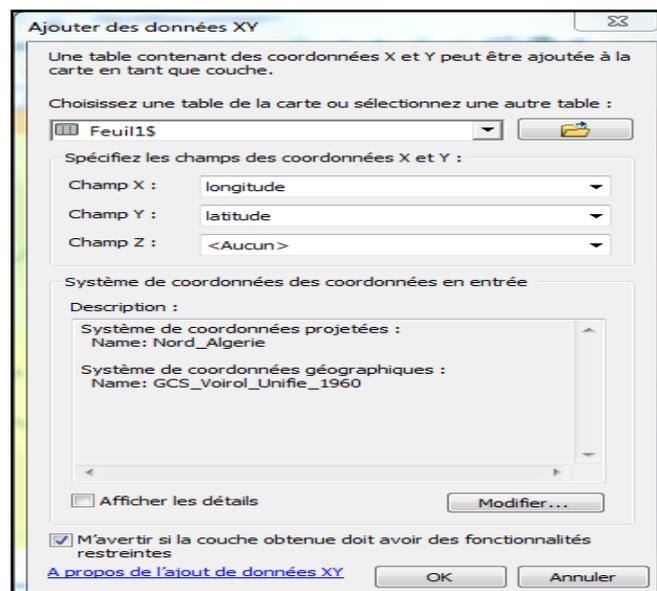


Figure IV.6 Fenêtre d'ajout des données.

- ✓ En utilisant la barre d'outils de krigeage « géostatistical analyst » (Figure IV.7), pour interpoler les valeurs de R de chaque station sur tout le bassin.

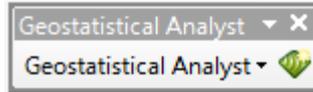


Figure IV.7 barre d'outils geostatistical analyst

- ✓ Le type de krigeage :
le type de krigeage utilisé c'est le type ordinaire avec un type de transformation lognormal (figure IV.8).

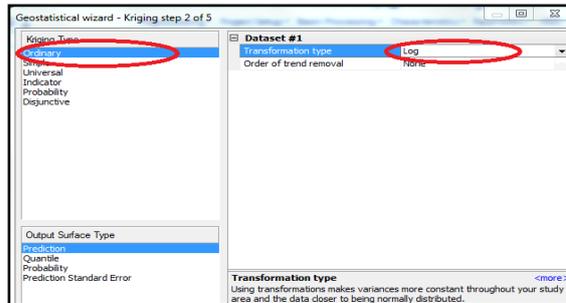


Figure IV.8 type de krigeage.

- ✓ Le model de krigeage :
Le model le plus adéquat pour l'ajustement de nos points c'est le model Gaussian (figure IV.9).

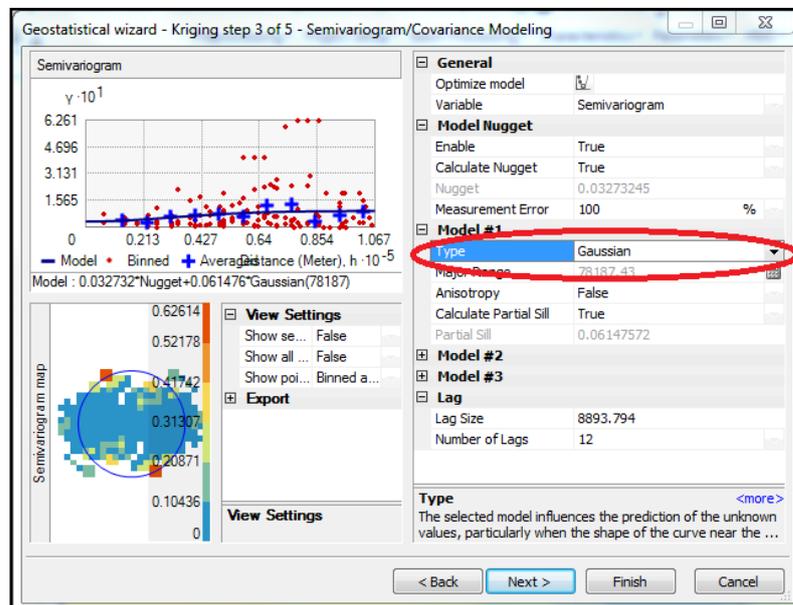


Figure IV.9 barre d'outils geostatistical wizard.

IV-3-3 Résultats :

Les résultats du krigeage, ont aboutis à la cartographie de la variation de l'érosivité des pluies (facteur R) du bassin de la Soummam et la figure IV.10 l'illustre bien.

L'étude de l'érosivité a permis de faire une classification de l'indice de Wischmeier et de révéler ses variations spatio-temporelles.

- **Classification de l'indice d'érosivité :**

Les résultats obtenus ont montrés qu'il y a une variation importante (une irrégularité) du facteur R d'une station à une autre, ou les valeurs de R pourront être classées dans 3 classes selon le degré d'agressivité des pluies :

Tableau IV.5 classes des valeurs de R obtenues

classe	Intervalle de R exprimé en Tonne/ha	Degré d'agressivité des pluies
1	$36 < R < 50$	Moyen
2	$50 < R < 92$	fort
3	$92 < R < 113$	Très fort

- les valeurs de R obtenues ont confirmées les résultats de la carte d'isohyetes, ou une courbe d'égale précipitation a la meme valeur de R " isolignes de R", la figure IV.10 l'illustre bien.

- La partie nord du bassin de la Soummam (Bejaia, Elkseur, Sidi Aich.....), est la plus vulnérable à l'érosion hydrique, vu qu'elle présente un très fort degré d'érosivité des pluies.

- Le "sud Est" est la partie la moin vulnérable par rapport au autre zone, mais avec un degré d'érosivité des pluies moyen.

- pour le centre, Ouest et une grande partie de l'Est du bassin, ont un fort degré d'érosivité des pluies, donc toujours en risque d'une érosion hydrique.

Donc, le bassin de la Soummam est considéré comme l'un des bassins les plus menacés par l'érosivité des pluies en algerie, vu que plus de 65% de sa surface présente un fort degré d'érosivité des pluies.

La figure IV.10 présente la variation du facteur R sur le bassin de la Soummam :

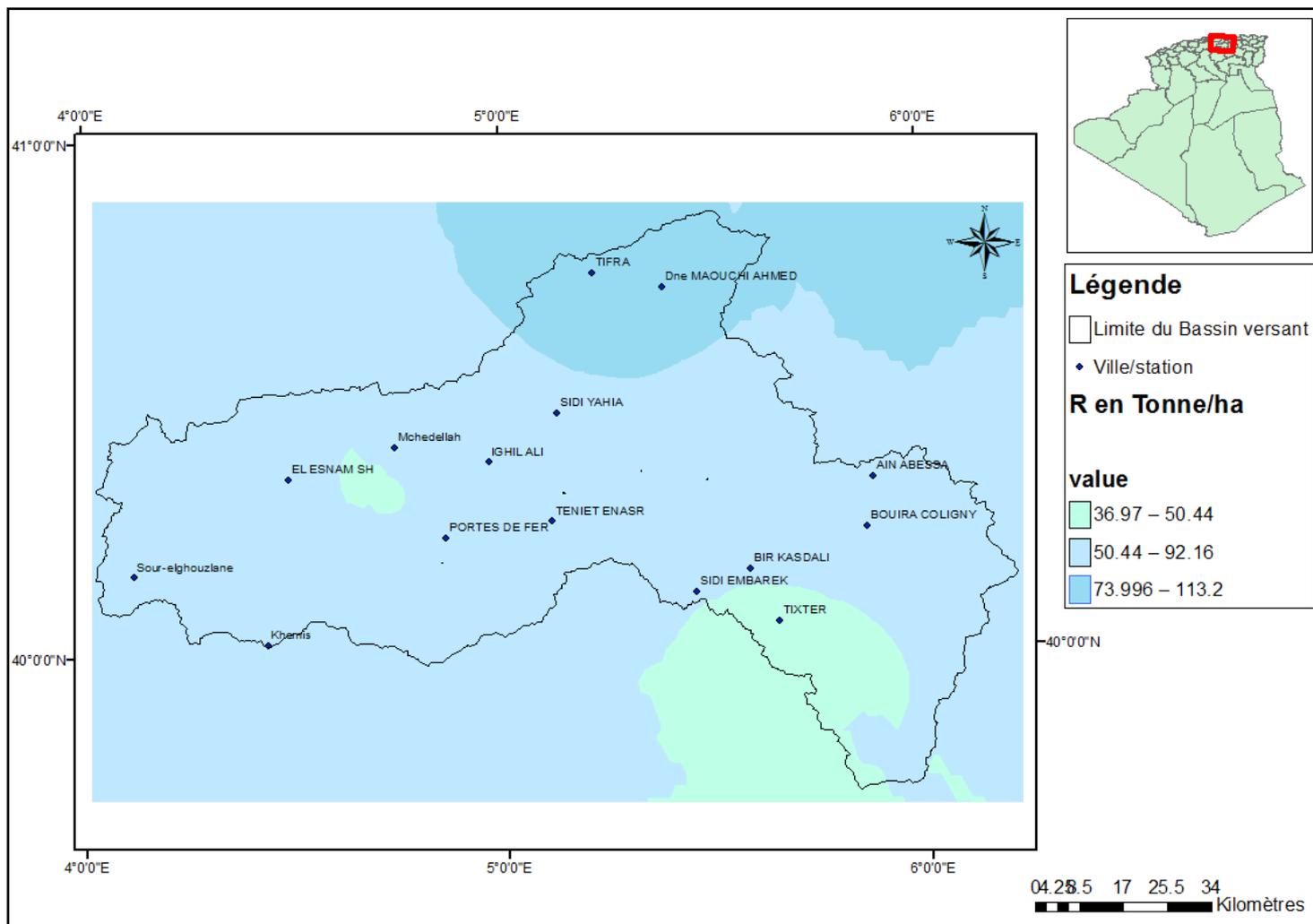


Figure IV.10 Cartographie de la variation du facteur R de l'érosivité des pluies sur le bassin de la Soummam-Algérie.

IV- 4 Indice de végétation (NDVI) :

IV-4-1 C'est quoi NDVI ?

L'indice de végétation par différence normalisé, appelé aussi NDVI est construit à partir des canaux rouges (R) et proches infra rouge (PIR). L'indice de végétation normalisé met en valeur la différence entre la bande visible du rouge et celle du proche infrarouge. $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$ Cet indice est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation.

Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0.

Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

IV-4-2 Relation érosivité des pluies – couvert végétal :

L'agressivité des pluies est définie comme étant l'énergie des gouttes de pluies qui déclenche le processus de destruction des agrégats (**Roose et Lelong, 1976**), et pour cela, le couvert végétal est considéré comme un facteur diminuant de cet énergie, du fait qu'il absorbe l'énergie cinétique de ces pluies tombées sur ses feuilles avant qu'elles touchent le sol, en conséquence, ça permettra d'éviter l'effet "Splash" qui conduit à la destruction des agrégats. D'où diminuer le risque de l'érosion hydrique du sol.

Donc, la présence d'un couvert végétal dense sert à diminuer l'agressivité des pluies, et le contraire, son absence l'augmente.

IV-4-3 Etapes de détermination de l'indice NDVI :

L'indice de végétation normalisé (NDVI) est un nombre qui indique la probabilité que la zone observée contient végétation. Il est généralement utilisé en télédétection, par exemple une plate-forme de satellite ou de l'espace et est l'un des premiers types d'observations à faire à partir de l'espace. Le NDVI peut être calculée à partir de la quantité de lumière que la zone

observée reflète dans les régions proches de l'infrarouge et rouge du spectre de la lumière. Ces instructions fourniront les étapes de calcul NDVI :

- 1) Examiner l'importance de la réflectance spectrale dans la région du proche infrarouge. Les plantes ont tendance à réfléchir la lumière dans cette région parce qu'il n'a pas assez d'énergie pour la photosynthèse. Un facteur de réflexion élevé dans cette région augmente donc la probabilité que la zone observée contiendra de la végétation.
- 2) Examiner l'importance de la réflectance spectrale dans la région rouge. Les plantes ont tendance à absorber la lumière dans cette région car il a assez d'énergie pour la photosynthèse, mais pas tellement d'énergie que cela nuira à l'usine. Un faible facteur de réflexion de cette région augmente donc la probabilité que la zone observée contiendra de la végétation.
- 3) Définir le NDVI mathématiquement comme $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ où NIR est la réflectance spectrale dans la région proche-infrarouge et RED est la réflectance spectrale dans la région rouge. Notez que les valeurs les plus élevées de NDVI se traduiront d'une valeur de NIR haute et une valeur basse ROUGE, indiquant la végétation.
- 4) Examinez la gamme de la NDVI. Depuis le NIR et les valeurs ROUGE vont de 0 à 1, l'équation à l'étape 3 montre que le NDVI varie également 0-1 où une valeur plus élevée indique une plus grande concentration de la végétation.
- 5) Interpréter les valeurs NDVI. La végétation dense doit avoir une valeur de NDVI entre 0,3 et 0,8 alors que l'eau debout aura des valeurs très faibles ou même NDVI. Les nuages et la neige auront des valeurs de NDVI négatifs.

IV-4-4 Carte de l'NDVI du bassin de la Soummam (2015)

Les images satellitaires ont été collectées de la base américaine USGS, sur le satellite Landsat 8, avec une résolution de 30*30 pixels.

Les deux images sont composées de deux scènes :

Pour la période humide, la date d'acquisition est 02/03/2016 et 10/03/2016.

Pour la période sèche, la date d'acquisition est 06/07/2015 et 13/07/2015

✓ **Période humide :**

Pour la période humide, il est conseillé de prendre la fin de la saison de pluies, car l'effet de la pluie sur la végétation est retardé, en plus durant cette période la végétation se retrouve en bonne santé. Les résultats du calcul de l'NDVI sont présentés en figure IV.11.

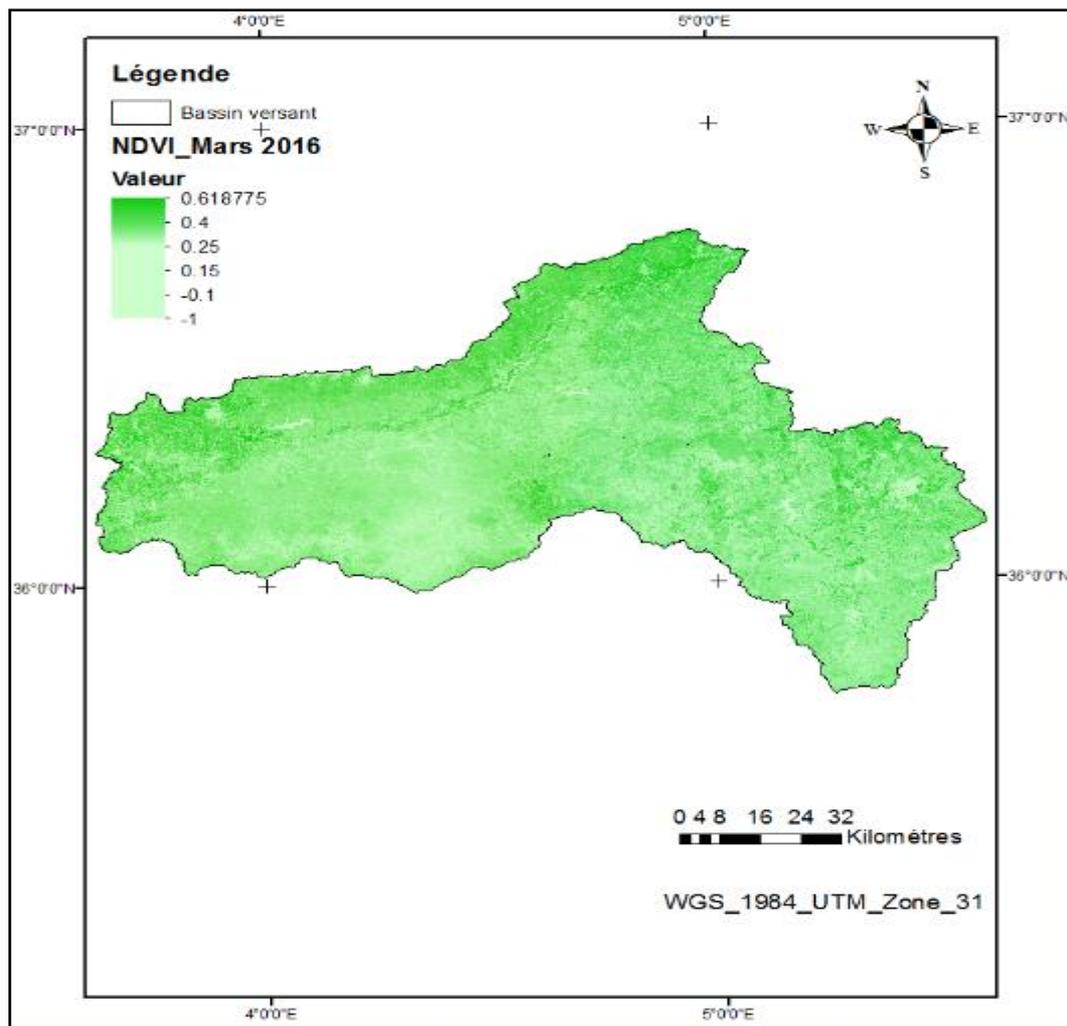


Figure IV.11 Carte des valeurs du NDVI (mars)

✓ **Période sèche :**

Pour la période sèche, c'est la même chose, il est préférable de prendre la fin de la saison estivale les résidus de la végétation seront absents, et le sol sera exposé aux premières pluies de l'automne. Donc plus vulnérable à l'érosion.

Les résultats du calcul de l'NDVI sont présentés en figure IV.12.

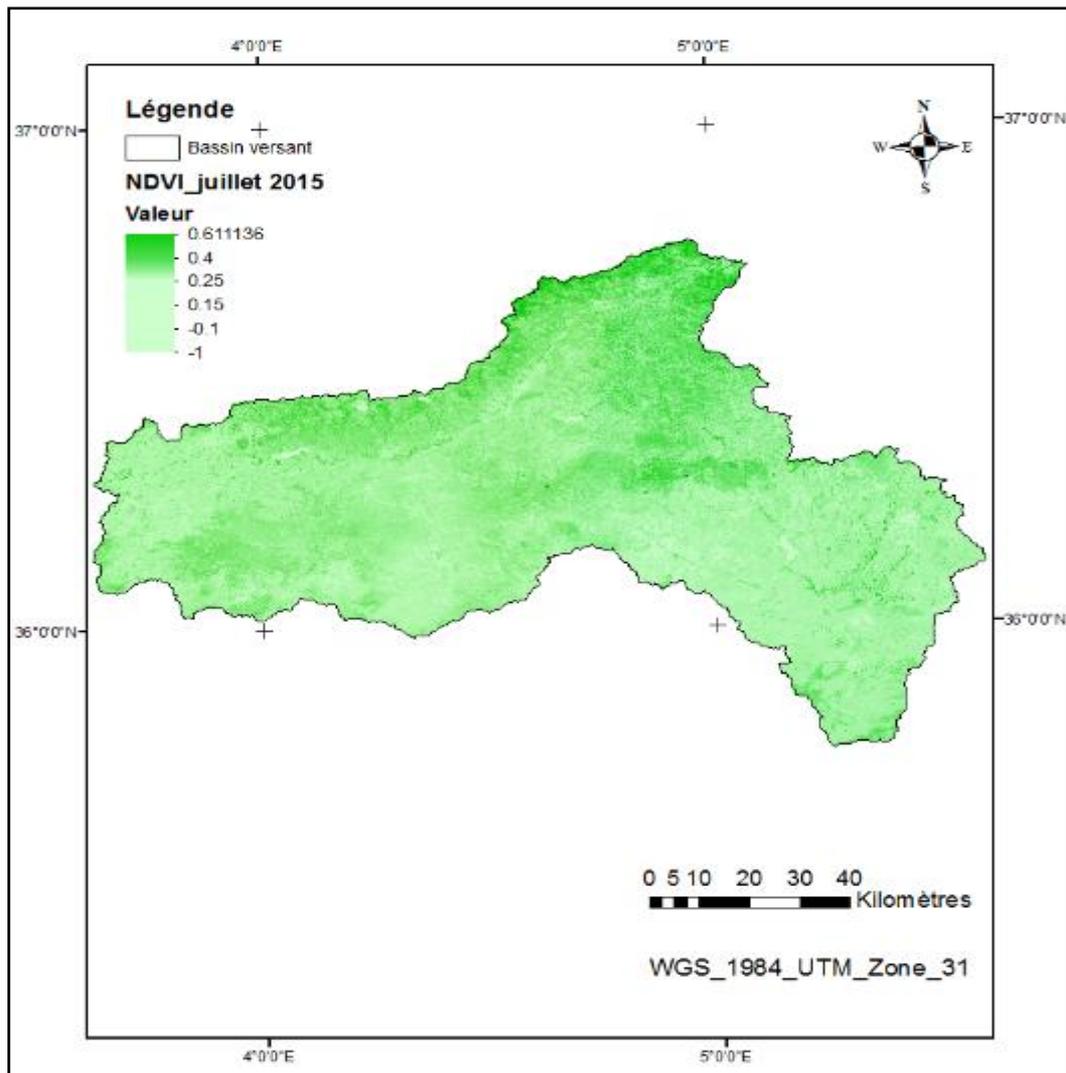


Figure IV.12 Carte des valeurs du NDVI (juillet 2015)

- La classification de la végétation est réalisée suivant les conditions de seuillage suivantes (**Toumi Samir, 2013**):

NDVI < -0.1: Eau

-0.1 < NDVI < 0.15: Sol nu

0.15 < NDVI < 0.25: Végétation clairsemée

0.25 < NDVI < 0.4: Végétation moyennement dense

NDVI > 0.4: Végétation dense

IV-4-5 Carte de l'NDVI du bassin de la Soummam (2003)

✓ Période humide :

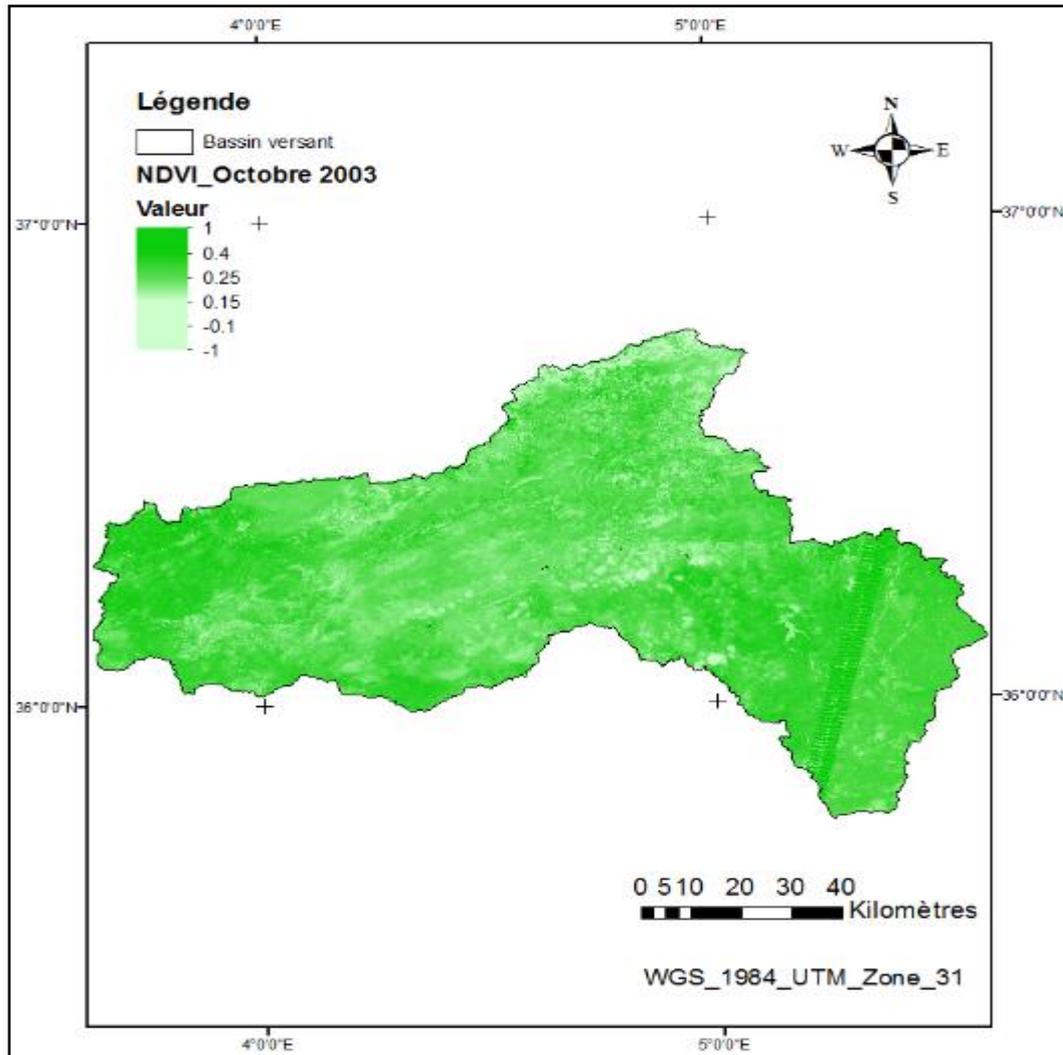


Figure IV.13 Carte des valeurs du NDVI (octobre 2003)

✓ Période sèche :

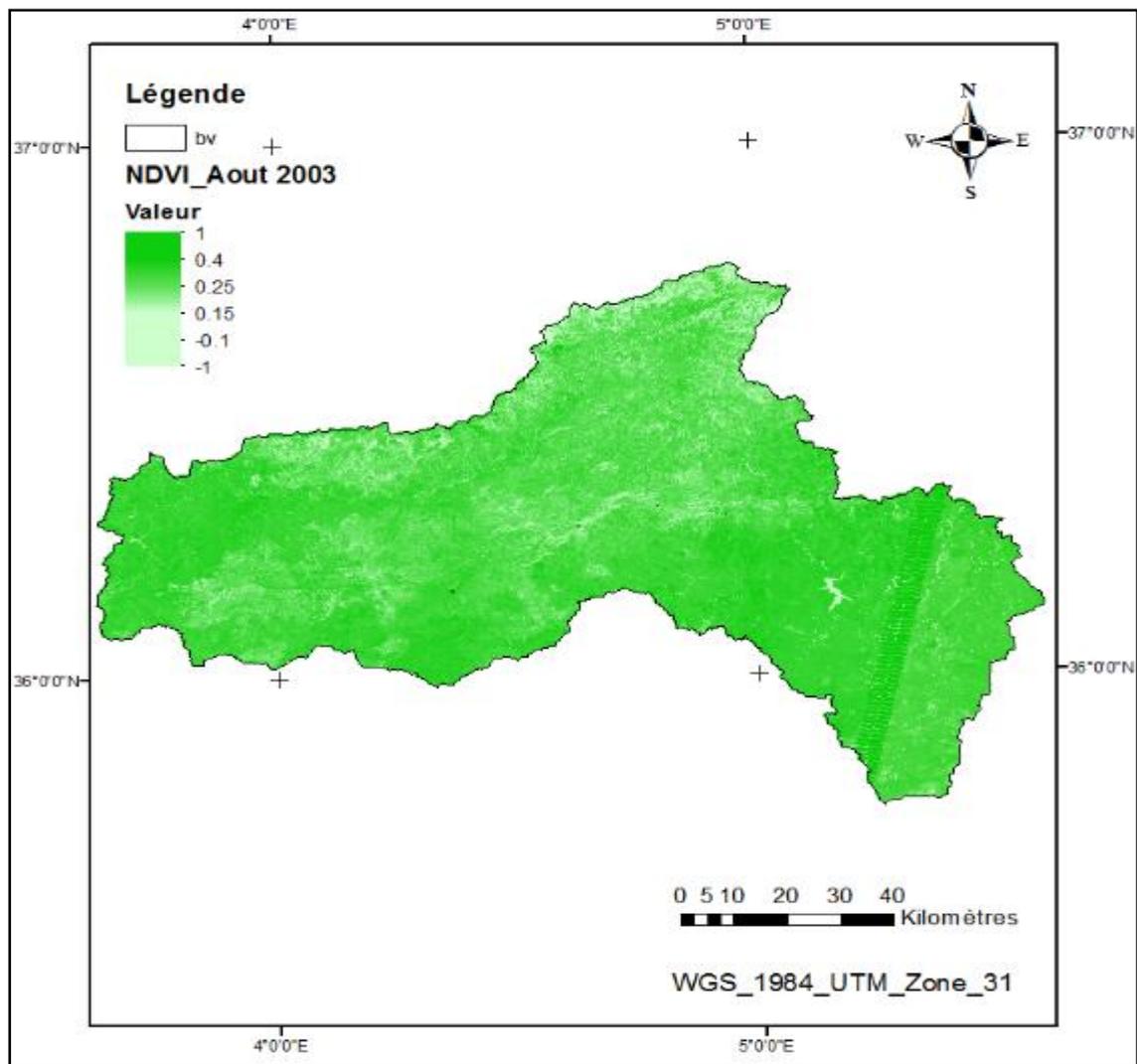


Figure IV.14 Carte des valeurs du NDVI (aout 2003)

L'étude de l'NDVI a montré qu'il ya une variation du couvert végétal entre l'année 2003 et 2015, ou l'année 2003 présente une densité de végétation plus importante que celle de l'année 2015 pour les parties est, ouest et même de sud, par contre le nord est plus dense en 2015 qu'en 2003,

IV-4-6 Le couvert végétal du bassin de la Soummam:

La carte ci-dessous a été retirée à partir de la carte du couvert végétal de l'Algérie du nord établie par (M.Benslimane & al, 2005) sur la période (2000-2005).

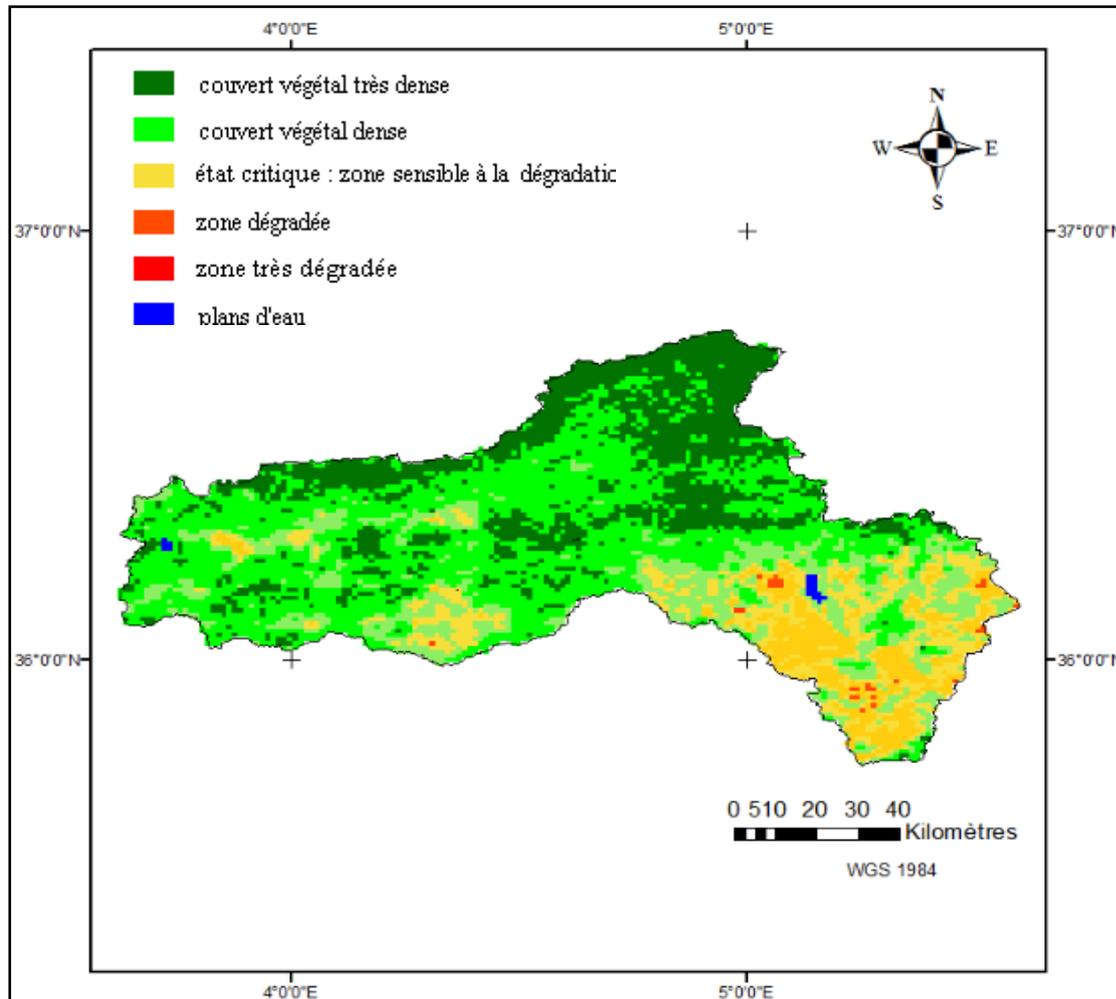


Figure I.15 carte du couvert végétal du bassin de la Soummam

IV-4-7 Interprétation NDVI – Couvert végétal

Pour l'année 2015 :

Points communs :

- ✓ les 2 cartes montrent une végétation dense au nord du bassin,
- ✓ La végétation diminue graduellement en allant vers l'est et l'ouest.
- ✓ Le sud-est du bassin est considéré comme étant une zone dégradée.

Différences :

- ✓ Les valeurs de l'NDVI n'atteintes pas le seuil d'une végétation très dense, mais juste une végétation dense.
- ✓ Pour la carte de végétation, La majorité de la surface du bassin présente une végétation dense, ce qui n'est pas le cas avec l'NDVI.

Pour l'année 2003 :

Points communs :

- ✓ Pour les 2 cartes, la majorité de l'aire du bassin présente une végétation dense.
- ✓ D'après la carte de l'NDVI et celle du couvert végétal, on peut dire que le bassin de la Soummam présente un couvert végétal important et surtout permanent (de l'année 2000 jusqu'au 2005 passant par l'année 2003, le couvert végétal a resté toujours dense.

Différences :

La carte du couvert végétal montre un nord très dense, par contre l'NDVI montre une végétation moyenne, et la même chose pour le sud-est ou il est considéré comme étant une zone sensible à la dégradation, alors que le NDVI montre une végétation moyennement dense sur cette partie, et ce peut être dû à la mauvaise réflectance spectrale des plantes.

Cela est due au fait que les parties Est, Ouest et Sud on souffert plus de la baisse des apports pluviométriques que la partie Nord, cela nécessitera une étude plus approfondie pour déterminer le tresse hydrique en relation avec la nature du couvert végétal.

IV-4-6 Interprétation des résultats :

En se Basant sur les résultats obtenues des 2 cartes de l'érosivité des pluies R et celle du couvert végétal NDVI, on peut dire que le couvert végétal est un facteur influençant sur l'agressivité des pluies, ou l'augmentation de la densité de la végétation diminue l'effet de la pluies sur le sol, et sa diminution laissera le sol vulnérable a l'érosion hydrique, d'ou on devra reclasser nos régions du bassin par rapport au degré du risque de ce phénomène en fonction des deux paramètres (R et NDVI) :

Le tableau IV.6 résume les résultats déduis de l'étude de l'érosivité des pluies sur le bassin de la Soummam

Tableau IV.6 résume les Résultats de l'étude de l'érosivité des pluies

Région du bassin	Agressivité des pluies R	Couvert végétal NDVI	Résultats
- Nord	-Très forte	-Végétation dense	- le couvert végétal diminue l'effet des pluies et rend le nord en sécurité vis-à-vis l'agressivité des pluies.
- Sud	- Fort	-Moyen	- la région présente un risque d'agressivité des pluies, car le couvert végétal ne suffit pas pour minimiser l'effet de la pluie.
- Ouest	- Fort	- Clairsemé	- la région est vulnérable en tout moment, forte érosivité avec une faible végétation jusqu'à un sol nu
- Est	-Moyen	-Moyennement dense	- la région présente un certain état d'équilibre entre le R et le NDVI, donc il n'y a pas un risque d'une grande agressivité des pluies.

IV-5 Quelques techniques pratiques pour lutter contre l'érosion hydrique :

Devant ces problèmes préoccupants d'érosion, les populations développent, en générale, deux types d'attitude (Ali Smiri, érosion hydrique, 2012):

- Les paysans sont principalement concernés par la dégradation de la productivité de leurs champs : ils cherchent à adapter leur système de production pour optimiser la productivité de leur terre et de leur travail.
- les populations urbaines et les consommateurs d'eau sont plus intéressés par la qualité des eaux, les problèmes de transfert de boues lors des orages, de pollutions des nappes d'eau en aval et les inondations par les effluents en provenance des champs cultivés dans les rivières poissonneuses et les lacs. En générale, l'État charge les ingénieurs des services publics de surveiller les forêts et les eaux douces contre toutes ces pollutions.

IV-5-1 Les stratégies traditionnelles de lutte anti-érosive :

a. **La culture itinérante sur brûlis** est probablement la plus ancienne stratégie utilisée sur tous les continents pour maintenir la productivité de la terre. Cette stratégie ne s'applique que sur des terres peu peuplées (moins de 20 à 40 habitants au kilomètre carré.

b. **Les terrasses en gradins et les terrasses méditerranéennes sur murettes en pierres** : se sont développées 2 000 ans avant J.-C., en Asie. Ces terrasses sont apparues là où la population est dense, les terres cultivables rares et le travail bon marché. Comme ces aménagements exigent un gros effort pour la construction des terrasses (700 à 1 200 hommes.jours/ha).(Figure IV.13et IV.14)



Figure IV.16 terrasses soutenues par des talus Figure IV.17 terrasses soutenues par des murs

c. les billons, les cultures associées et l'agroforesterie :

Les caractéristiques de billons :

- Les billons sont des petits cordons en terre (figure IV.15): selon les courbes de niveau
- Ils ont une hauteur comprise entre 0,2 et 0,4 m.
- Leur largeur à la base est variable, et peut parfois atteindre 0,9 m.
- Ils sont utilisés sur des pentes faibles. Ils sont généralement construits avec une pente très légère (2 à 3 %), qui permet l'écoulement d'une cuvette à l'autre.



Figure IV.18 vue sur des billons

Les objectifs d'installer des billons :

1. Augmenter l'infiltration de l'eau.
2. Diminuer la vitesse du ruissellement grâce à la rugosité apportée par ces éléments (et donc une diminution de la quantité de sol arrachée).

IV-5-2 Les stratégies modernes d'équipement hydraulique :

✓ Amélioration de la structure du sol

Le renforcement de la résistance du sol à l'entraînement par l'eau passe par l'amélioration de la stabilité de sa structure grâce à des amendements humifères, des amendements calcaires

qui stabilisent les complexes argilo-humiques et par des bonnes pratiques de gestion du sol (mise en défens, rotations des cultures, travail approprié du sol, ... etc.).

✓ **Création d'obstacles au ruissellement**

1- Couverture permanente du sol :

La végétation protège le sol de l'impact des gouttes de pluies (figure IV.16) , elle ralentit les filets d'eau superficiels et favorise ainsi l'infiltration.



Figure IV.19 Couverture permanente du sol

2- Rideaux :

Un rideau se forme à la limite d'un champ en pente quand le labour est fait parallèlement à cette limite (figure IV.17). Des broussailles, puis des arbres y poussent et s'opposent au ruissellement et à l'entraînement du sol.



Figure IV.20 Rideau

3- Banquettes :

Ce sont des levées de terre de faible hauteur (0.50 m) établies selon les courbes de niveau (figure IV.18); elles sont généralement plantées par des arbres permettant de valoriser les surfaces marginales, de fixer les ouvrages et améliorer l'infiltration.



Figure IV.21 banquettes continues avec des oliviers.

Conclusion :

La cartographie par SIG et télédétection de la variation de l'érosivité des pluies nous a permis de :

- ✓ Classer les zones ayant un indice d'érosivité moyen, fort et très fort
- ✓ Déterminer les zones ayant une dense, moyenne à faible végétation à l'aide du calcul de l'DNVI
- ✓ Prévoir le degré de risque de l'érosion vu que c'est un facteur déterminant dans le calcul de l'érosion.
- ✓ Pouvoir Utiliser ces cartes pour quantifier l'érosion totale du bassin de la Soummam tout en ajoutant les autres facteurs K, LS.....

Conclusion générale

Bien que l'érosion hydrique a été étudiée pendant de longues années en Algérie, cela n'a pas empêché que beaucoup de choses restent inconnues.

Cette étude a fait ressortir l'opportunité de l'estimation du facteur de l'agressivité des pluies R sur le bassin de la Soummam au biais du système d'information géographique (SIG), et télédétection.

L'étude bibliographique nous a permis de bien connaître les principales contributions qui ont fait l'histoire du sujet qu'on aborde, et en connaître au mieux les contours.

Par ailleurs, l'utilisation du SIG et télédétection permet d'appliquer les méthodes théoriques pour résoudre les problématiques de l'analyse spatiale et de traiter les données géographiques.

L'étude a montré que le bassin versant de la Soummam perd en moyenne 61 T/ha/an, et une valeur maximale de 113.2 T/ha/an, ces valeurs correspondent à une agressivité de pluies inquiétante qui rend le bassin sous la menace de l'érosion hydrique ; surtout sur sa partie nord qui présente une érosivité de pluies élevée par rapport aux autres zones du bassin.

Des stratégies et des solutions devront être mises en place afin de limiter et réduire le risque érosif de la pluie, et lutter contre les dégâts causés par l'érosion hydrique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- A. Cherni, M. R. Mahjoub et M. Ch. Rabia,** " Estimation des paramètres de l'érosion hydrique à l'aide de la télédétection et du SIG : cas du bassin versant de l'Oued Béja (Nord de la Tunisie) ".
- Abdelhamid SADIKI, Saïdati BOUHLASSA, Jamal AUAJJAR Ali FALEH& Jean-Jacques MACAIRE, 2004.** " Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab ".
- Achite M., Meddi M., 2004.** " Estimation du transport solide dans le bassin-versant de l'oued Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Algérie).
- Ali Smiri, 2012.** " Conservation des eaux et du sol ", Chapitre 1, érosion hydrique.
- B. Touaibia, D. Gomer & A. Kidaoui, 2000.** " Estimation de l'index d'érosion de wischmeier dans les micro bassins expérimentaux de l'oued mina en Algérie du nord ".
- Dakich A., Bekhadi A. & Hammoum A. (1997),** "Evaluation de la sensibilité des sols à l'érosion par télédétection et SIG".
- Dekiche et al., 1997.** "Caractérisation des sols gypseux dans les zones arides par télédétection cas du sous-bassin versant d'oued djedi-biskra".
- Demmak A. (1982), d'après, Mohammed ACHITE, Bénina TOUAIBIA & Sylvain OUILLON, 2006.** "Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences & Perspectives" Haddad (Nord-Ouest algérien) " Sécheresse 2004 ; 15 (4) : 367-73.
- Hadjiat K., 1997.-** "Etat de dégradation des sols en Algérie". Rapport d'expert PNAE, Banque Mondiale, 45p.
- Helioui y, Hajri j, 2015.** " Érosivité des pluies dans la région du cap bon (Tunisie) ".
- Heusch, 1988. D'après, Ali Smiri, 2012** " Conservation des eaux et du sol ", Chapitre 1, érosion hydrique.
- Hjulström, 1935, d'après, Ali Smiri, 2012** " Conservation des eaux et du sol ", Chapitre 1, érosion hydrique.
- Jacques fournier, 1993.** "Agressivité climatique et risques érosifs dans la région de Dschang (Ouest CAMEROUN) ".
- Kénel Délusca, 1998.** " Estimation de l'érosion hydrique des sols à l'aide de l'Équation Universelle de Perte de Sol assistée d'un Système d'Information Géographique : Le cas du bassin versant de la ravine Man, Haïti ".

L.J.P van Vliet, G.A. Padbury, H.W. Rees et M.A. Matin, 2001. "Principles of Soil Conservation and Management".

M.Benslimane, A.Hamimed, W.ElZerey, A.Khalidi et K.Mederbal, 2000-2005. "Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord".

Mohammed ACHITE, Bénina TOUAIBIA & Sylvain OUILLON, 2006. "Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences & Perspectives".

Morgan (1986). "Soil Erosion and conservation" third edition.

Neboit, 1991. D'après, Ali Smiri, 2012 " Conservation des eaux et du sol ", Chapitre 1, érosion hydrique.

R.P. Stone et D. Hilborn, 2012. " Équation universelle des pertes En terre (USLE) ".

Roose et al, 1990. "Erodibilité de quelques sols tropicaux Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles" : 20 p.

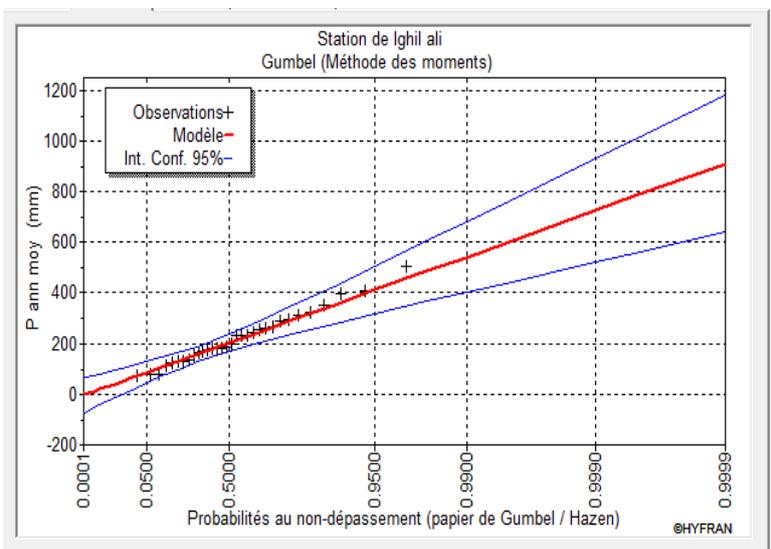
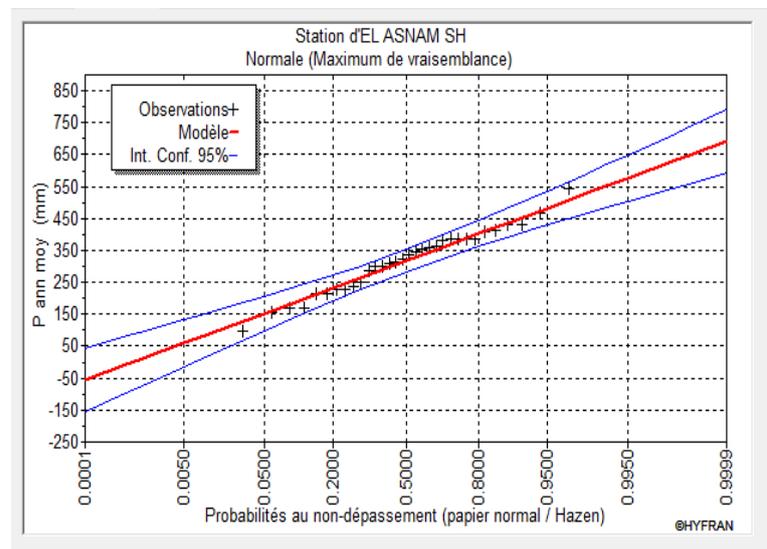
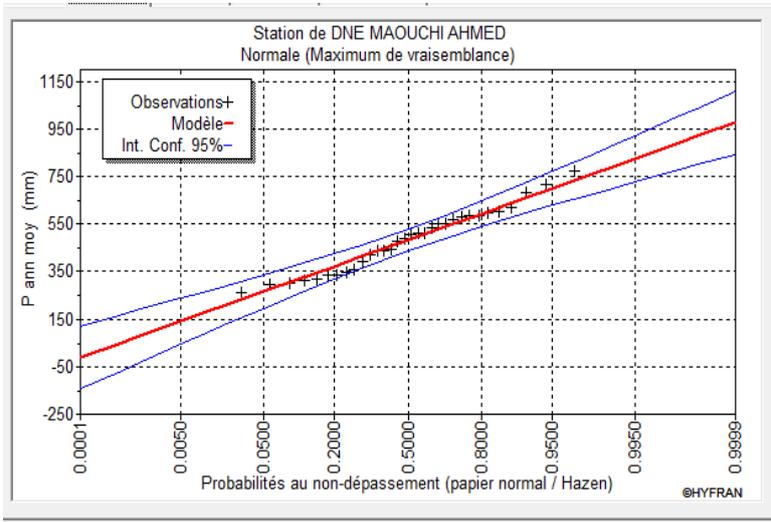
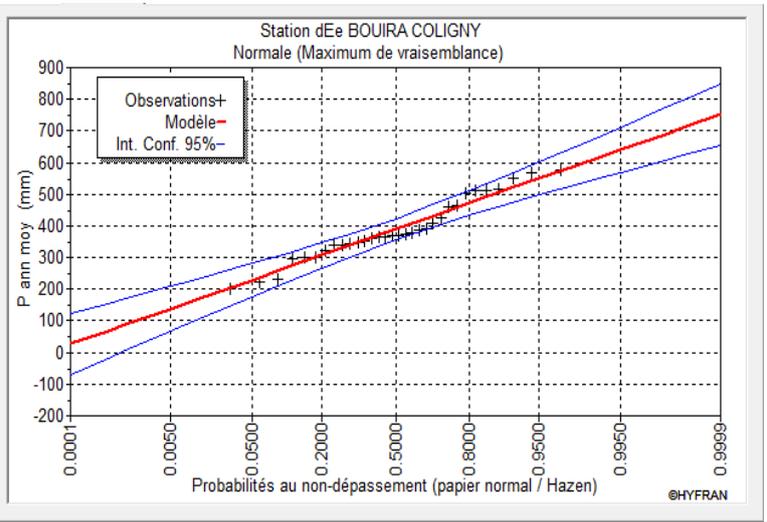
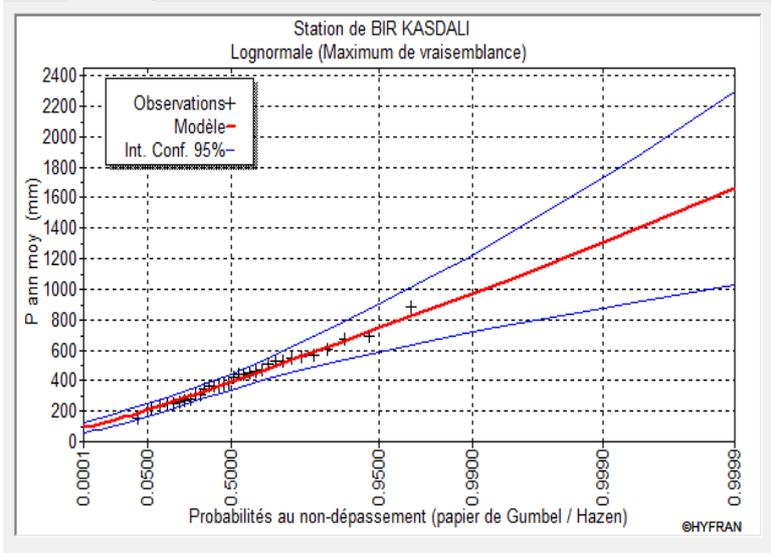
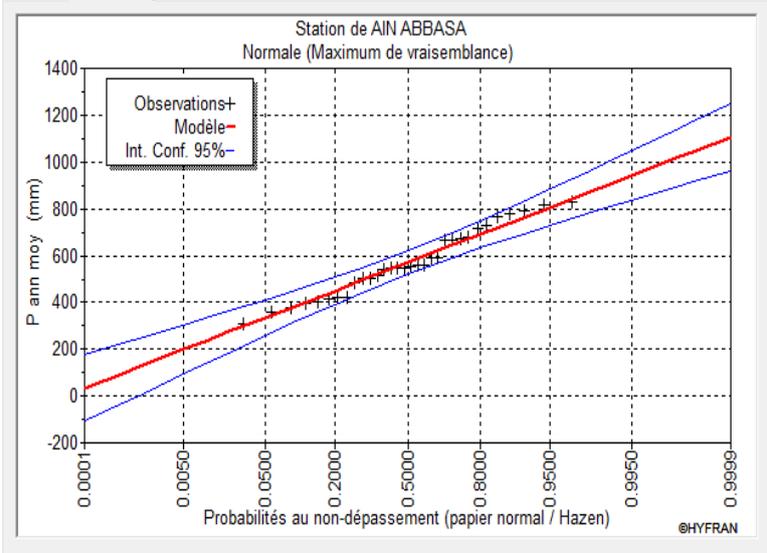
Roose, 1994. " La lutte antiérosive conventionnelle en fonction des processus et des facteurs de l'érosion hydrique" : 63,71p.

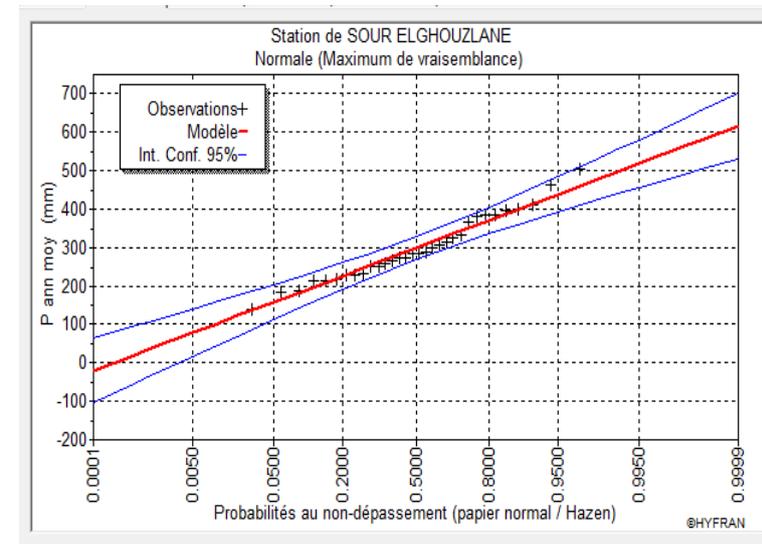
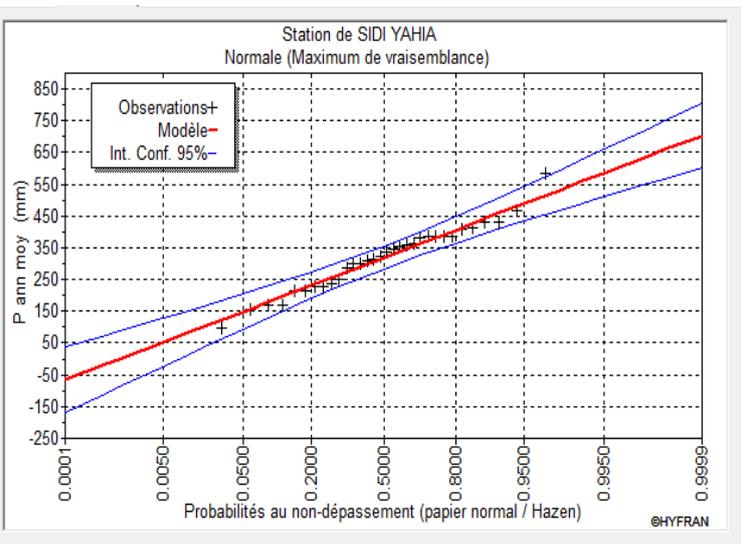
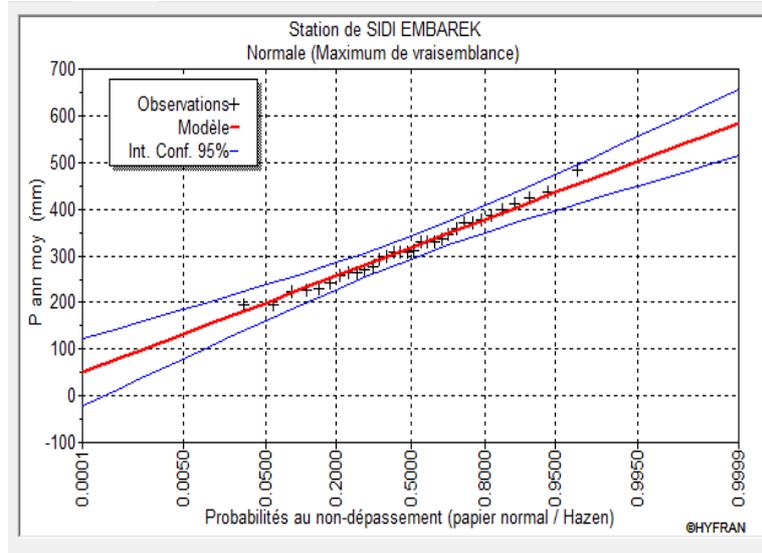
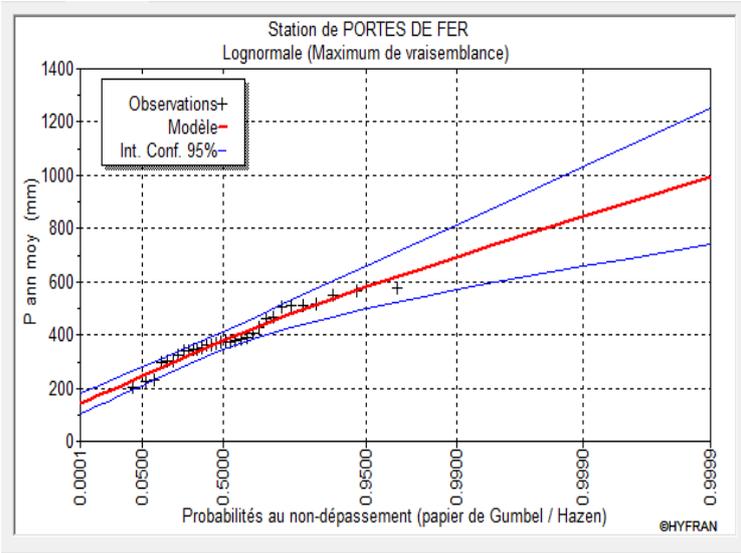
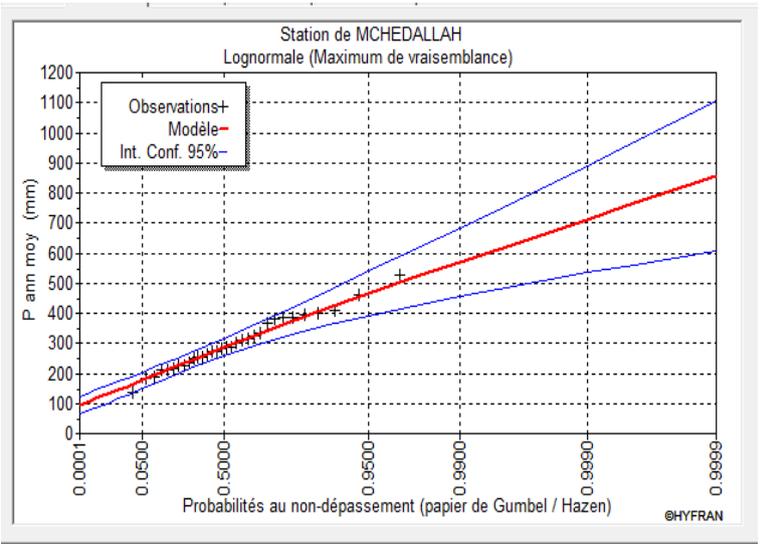
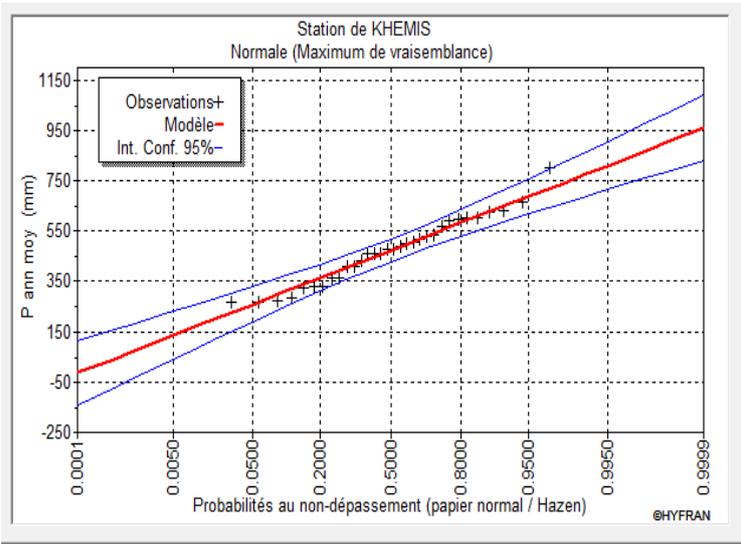
TOUMI Samir, 2013. " Application des techniques nucléaires et de la télédétection a l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Mina".175 p

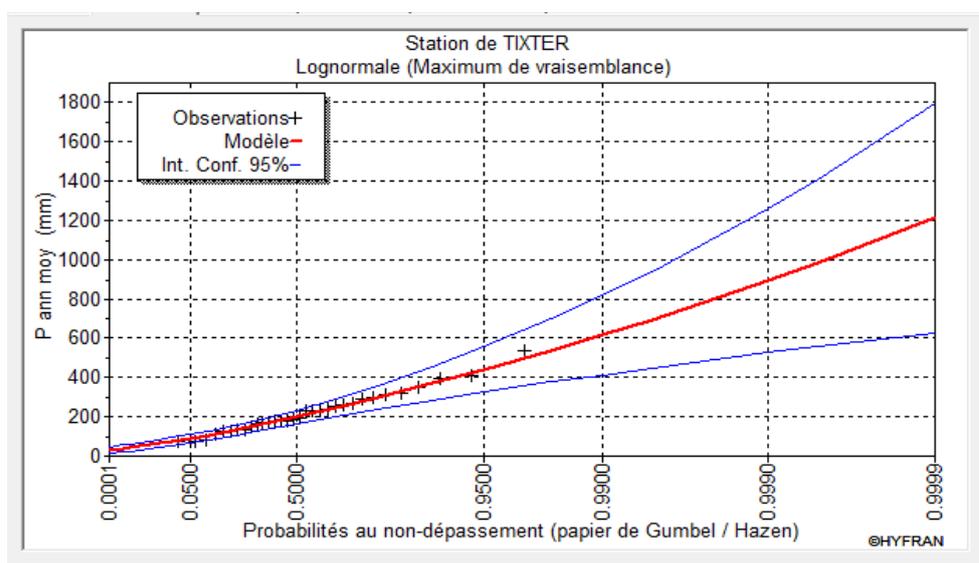
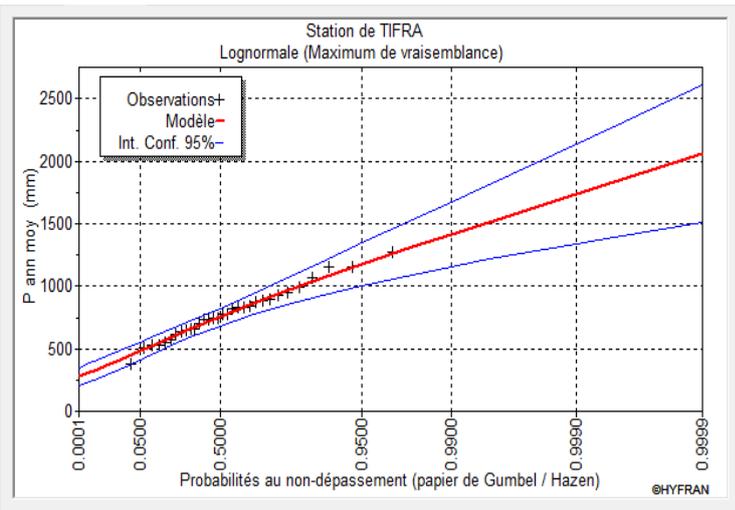
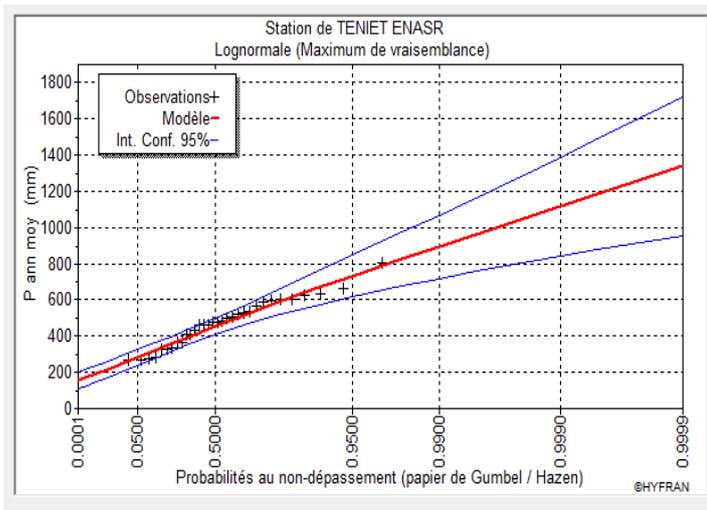
WISCHMEIER et Smith, 1978. " Le modèle empirique de perte en terre de Wischmeier et Smith (USLE) ". Calcul de l'indice d'agressivité des pluies.

ZOUGGAGHEF, MOUNI L, TAFER M, 2014. "Qualité biologique du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam (nord de l'Algérie). "

Annexes







Annexe : Graphiques d'ajustement des séries pluviométriques HYFRAN

Tableaux des Précipitations annuelles des 15 stations pluviométriques sur la période (1986-2011)

Station d'EL ESNAM SH (150204)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	384.9	1999	169
1987	230.1	2000	383.1
1988	298.3	2001	98.9
1989	310.3	2002	582.7
1990	251.5	2003	468.8
1991	170.8	2004	352.5
1992	213.5	2005	301
1993	237.4	2006	386.8
1994	414.3	2007	358.6
1995	343.3	2008	430.9
1996	214.2	2009	407.7
1997	384	2010	384.1
1998	156.9	2011	311.8

Station de MCHEDALLAH (150301)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	396.9	1999	213.4
1987	251.2	2000	315.3
1988	273	2001	183.9
1989	285.7	2002	528.6
1990	188.4	2003	461.8
1991	138.1	2004	323.5
1992	216.4	2005	283.8
1993	233.4	2006	308.4
1994	381.8	2007	264.9
1995	252.1	2008	383.9
1996	212.2	2009	366.1
1997	399.5	2010	410.1
1998	227.9	2011	287.2

Station de BOUIRA COLIGNY (150608)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	566.5	1999	296.2
1987	364.1	2000	223.2
1988	550.5	2001	202.2
1989	373.3	2002	510.3
1990	371.1	2003	460.4
1991	577.7	2004	338.7
1992	465.4	2005	387
1993	348.6	2006	300.5
1994	391.6	2007	302.2
1995	517	2008	366.4
1996	229.4	2009	321.2
1997	426	2010	352.9
1998	360.8	2011	371.1

Station d'AIN ABESSA (150706)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	765.1	1999	399
1987	404.6	2000	412.5
1988	780.9	2001	359.6
1989	422	2002	828.6
1990	546.1	2003	663
1991	816.5	2004	503.7
1992	590.6	2005	550.2
1993	421.2	2006	484.4
1994	663.9	2007	515.5
1995	714.2	2008	540
1996	310.5	2009	379.5
1997	669.5	2010	502.8
1998	592.2	2011	546.1

Station de TIXTER (150614)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	350	1999	164.5
1987	73.0	2000	79
1988	313.8	2001	77.5
1989	322.9	2002	196.5
1990	179.9	2003	124
1991	539.5	2004	112.5
1992	255	2005	186
1993	134.9	2006	232.5
1994	397.1	2007	406.8
1995	296.8	2008	257.9
1996	130.8	2009	232.4
1997	242	2010	266.9
1998	178.5	2011	179.9

Station de BIR KASDALI (150707)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	608.7	1999	258.2
1987	157.8	2000	247.4
1988	556.5	2001	253
1989	569.6	2002	387.3
1990	363.2	2003	282.7
1991	882.1	2004	266.1
1992	471.6	2005	423.3
1993	222.7	2006	439.2
1994	676.6	2007	690.6
1995	546.1	2008	513.3
1996	225.9	2009	464.2
1997	452.9	2010	528.7
1998	306.4	2011	363.2

Station de SIDI EMBAREK (150801)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	410.4	1999	224.4
1987	270	2000	226.1
1988	344.8	2001	193.8
1989	369.5	2002	495
1990	329.9	2003	386.5
1991	265.2	2004	310.5
1992	265.2	2005	229.8
1993	241.5	2006	292
1994	371.4	2007	276.3
1995	422.8	2008	357.2
1996	196.2	2009	435.1
1997	328.6	2010	375.5
1998	308.9	2011	308.9

Station de TENIET ENASR (150807)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	624.1	1999	328.1
1987	268.1	2000	407.7
1988	518.3	2001	272.4
1989	487.3	2002	843.5
1990	507.3	2003	633.5
1991	362.8	2004	475.5
1992	362.8	2005	332.7
1993	324.2	2006	567
1994	477.1	2007	407.7
1995	533.8	2008	595.3
1996	285.5	2009	664.0
1997	602.3	2010	588.9
1998	460.4	2011	460.4

Station de SOUR ELGHOUZLANE (150101)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	404.1	1999	443.5
1987	387.2	2000	287.8
1988	265.1	2001	840.1
1989	591	2002	621.8
1990	488.7	2003	358.6
1991	487.4	2004	567.2
1992	307	2005	508.6
1993	613.1	2006	440.2
1994	438.8	2007	553.4
1995	284.6	2008	594.4
1996	499.1	2009	659.9
1997	423.9	2010	468.5
1998	292.9	2011	533.6

Station de KHEMIS (150201)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	552.1	1999	477.2
1987	555.8	2000	554.8
1988	334.2	2001	322.3
1989	287.3	2002	424.1
1990	638.2	2003	389.3
1991	594.1	2004	462
1992	274.1	2005	433.8
1993	244.2	2006	321.1
1994	624	2007	474
1995	435.2	2008	374.2
1996	381	2009	415
1997	294.5	2010	352.7
1998	343.6	2011	318.5

Station de PORTES DE FER (150401)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	249.5	1999	229.9
1987	372.6	2000	223.1
1988	359.7	2001	269.6
1989	396.8	2002	158.7
1990	184.5	2003	421.1
1991	234.9	2004	456.5
1992	372.7	2005	249.7
1993	319.6	2006	322.6
1994	205.9	2007	404.8
1995	254.5	2008	333.4
1996	214.9	2009	370.1
1997	378.1	2010	294.8
1998	320.3	2011	331.2

Station d'IGHIL ALI (150503)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	318.5	1999	322.4
1987	391	2000	315.4
1988	269	2001	362.9
1989	539.5	2002	271.1
1990	380.5	2003	597.6
1991	374	2004	522
1992	444.5	2005	371.8
1993	381	2006	463.2
1994	295	2007	456.7
1995	490.5	2008	402
1996	202.7	2009	468.2
1997	78.4	2010	422.1
1998	74.6	2011	537

Station de SIDI YAHIA (150904)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	492.3	1999	391.7
1987	443.3	2000	277.3
1988	393.1	2001	483.6
1989	321	2002	372.9
1990	406.1	2003	282.6
1991	325.8	2004	205.2
1992	491.7	2005	629.4
1993	327.1	2006	580.6
1994	328.3	2007	345.2
1995	418.1	2008	368.7
1996	306.8	2009	422.9
1997	270.7	2010	449.4
1998	488.9	2011	565.5

Station de Dne MAOUCHI AHMED (151004)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	770.8	1999	618.5
1987	552.7	2000	511.5
1988	535.6	2001	333.6
1989	359.2	2002	392.4
1990	506.8	2003	294.3
1991	512.2	2004	718.5
1992	601.4	2005	585.8
1993	435.7	2006	320.7
1994	570.2	2007	491.8
1995	333.9	2008	681.4
1996	304.1	2009	596.9
1997	552.1	2010	420.5
1998	262.6	2011	587.2

Station de TIFRA (151007)

Année	P ann (mm)	Année.	P ann (mm).
1986	777.8	1999	945.1
1987	650.4	2000	1067.5
1988	697.7	2001	523.1
1989	838	2002	747.3
1990	738.1	2003	374.2
1991	525.9	2004	1158
1992	878	2005	819.1
1993	508.9	2006	893.5
1994	661.8	2007	636.6
1995	609.7	2008	830
1996	831.4	2009	884.8
1997	566.2	2010	554
1998	989.8	2011	744.5