

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Approche cartographique de sensibilité à l'érosion hydrique du bassin versant du barrage de Béni Bahdel.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0032-17

APA Citation (توثيق APA):

Djenaoui, Nadjla (2017). Approche cartographique de sensibilité à l'érosion hydrique du bassin versant du barrage de Béni Bahdel [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Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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 بثمين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات الدوريات، 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.



Département Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : Systèmes d'alimentation en eau potable

THEME :

**Approche cartographique de sensibilité à l'érosion hydrique
du bassin versant du barrage de Beni Bahdel.**

Présenté par :

M^{elle} : DJENAOUI Nadjla

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^r KHODJET-KESBA Omar	Professeur	Président
M ^r KAHLERRAS Djillali	M.C.B	Examineur
M ^{me} AMMOUR Fadhila	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} SALHI Chahrazed	M.A.B	Examinatrice
M ^{me} BERBACHE Sabah	M.A.A	Promotrice

Mars 2017



Département Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : Systèmes d'alimentation en eau potable

THEME :

**Approche cartographique de sensibilité à l'érosion hydrique
du bassin versant du barrage de Beni Bahdel.**

Présenté par :

M^{elle} : DJENAOUI Nadjla

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^r KHODJET-KESBA Omar	Professeur	Président
M ^r KAHLERRAS Djillali	M.C.B	Examineur
M ^{me} AMMOUR Fadhila	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} SALHI Chahrazed	M.A.B	Examinatrice
M ^{me} BERBACHE Sabah	M.A.A	Promotrice

Mars 2017

Dédicace

Je dédie ce simple travail à :

- ✓ Mes parents qui m'ont tous donné pour continuer mes études.
- ✓ Mes frères Aouf et Firas et mes sœurs Nihed , Nahla, Nibras .
 - ✓ Mon très cher ami Mohamed.
- ✓ Mon frère El-Hachemi et mes sœurs Nadjoi et Fafa .

Remerciement

Je remercie :

- ✓ Ma promotrice Madame Berbache
- ✓ Honorable jury :Mr Khodjet, Mr Kahlerras, Mme Ammour et Mme Salhi

ملخص

الهدف من هذه المذكرة التي سوف نقوم بها، تتمثل في دراسة جغرافية لمنطقة بني بهدل المتواجدة على مستوى دائرة مغنية بولاية تلمسان و التي تعاني من مشكلة الانجراف الذي يؤثر تأثيرا سلبيا على السد الموجود بالقرب منها سد بني بهدل

من أجل ذلك قمنا باستخدام أنظمة المعلومات الجغرافية استنادا على مجموعة متنوعة من الخرائط و المعطيات المتعلقة بها، لإنشاء خريطة تبرز حساسية هذه المنطقة تجاه ظاهرة الانجراف. و بالتالي تأثيرها على هذا السد مما يسمح باستغلالها مستقبلا.

Résumé

La région de Beni Bahdel se trouve à l'ouest de la Wilaya de Tlemcen, Cette région souffre du problème de l'érosion ce qui a négativement influencé sur le barrage de Beni Bahdel situant à cette localité.

L'objectif de ce mémoire est l'étude du phénomène de l'érosion au niveau de cette région en utilisant les systèmes d'informations géographiques en se basant sur un ensemble des cartes et des données de cette localité, pour qu'on puisse étudier de l'influence de ce phénomène sur le barrage de Beni Bahdel.

Abstract

The area of Beni Bahdel is situated in the west of Tlemcen .This area suffers from the problem of erosion which has a bad influence on the dam of Beni Bahdel that is located in this region. The goal of this dissertation is to study the erosion phenomenon in this area using geographic information systems basing on a set of maps and data from this locality. It also aims constructing of a map showing the sensitivity to erosion and subsequently the study of the influence of this phenomenon on the Beni Bahdel dam.

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I :l'érosion hydrique

I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition de l'érosion.....	3
I.3 Erosion dans le monde.....	3
I.4 Erosion en Algérie.....	4
I.5 Facteurs influençant à l'érosion.....	5
I.6 Lutte antiérosive.....	8
I.7 Erosion et transport solides.....	12
I.8 Impact de l'érosion sur les ouvrages hydrotechniques.....	13
I.9 Impact de l'érosion sur le barrage de Beni Bahdel.....	13
I.10 Méthodes d'estimation et de quantification de l'érosion.....	14
I.10 Conclusion.....	19

Chapitre II :Présentation de la zone d'étude

II.1 Présentation du bassin.....	21
II.2 Réseau hydrographique.....	22
II.4 Paramètres de formes du bassins.....	23
II.4 Présentation du barrage de Beni Bahdel.....	29
II.6 Conclusion.....	30

Chapitre III :Cartographie des risques d'érosion du sol

III.1 Introduction.....	32
III.2 Approche Méthodologique.....	32
III.3 La pluviométrie.....	32
III.4 la pente topographique.....	35
III.5L'occupation du sol.....	38
III.6Conclusion.....	42
Conclusion générale.....	43

Liste des tableaux

Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude

Tableau 2.1 : la variation de température de la zone d'études	26
Tableau 2.2 : Les coordonnées de la station pluviométrique 16.04.06.....	27
Tableau 2.3 : Les précipitations de l'année 2012 de la station pluviométrique de la station 16.04.06.....	27

chapitre 3 : Cartographie des risques d'érosion du sol

Tableau3.1 Répartition des degrés de l'érosion selon la pluviométrie.....	35
Tableau3.2 RPourcentages d'érosions dans le BV de Beni Bahdel en fonction de la pluviométrie	35
Tableau3.3 Classes de pente et indices attribués selon Roose, 1977	36
Tableau3.4 Répartition des degrés de l'érosion selon l'inclinaison des pentes.....	39
Tableau3.5 RPourcentages d'érosions dans le BV de Beni Bahdel en fonction de selon l'inclinaison des pentes	39
Tableau3.6 Classes d'érosion en fonction de l'occupation du sol	41
Tableau3.7 RPourcentages d'érosions dans le BV de Beni Bahdel en fonction de l'occupation du sol	41

Liste des figures

Chapitre2 : Présentation de la zone d'étude

Figure2.1 Localisation de la commune de Beni Bahdel dans la Wilaya de Tlemcen	25
Figure2.2 Schéma présentant les stations pluviométriques dans la zone d'études	26
Figure 2.3 Graphique de pluies de l'année2012	27
Figure 2.4 : Délimitation du sous bassin en utilisant le logiciel MapInfo	28
Figure2.5 : Le réseau hydrographique du sous bassin versant de Beni Bahdel	29
Figure 2.6 : Extraire la surface et le périmètre du bassin versant à l'aide du logiciel ArcGis	29
Figure2.7 : Volumes produits par le barrage Béni Bahdel	31
Figure 2.8 Barrage de Beni Bahdel	32

Chapitre3 : Cartographie des risques d'érosion du sol

Figure3.1 : Carte pluviométrique du bassin versant de Beni Bahdel	34
Figure3.2 : Pourcentages d'érosion dans le bassin versant de Beni Bahdel en fonction de la pluviométrie	36
Figure 3.2 carte des pentes du sous bassin versant de Beni Bahdel.....	37
Figure 3.3 carte de l'MNT.....	38
Figure3.4 Carte de l'occupation du sol	40
Figure3.5 Pourcentages d'érosion dans le bassin versant de Beni Bahdel en fonction de l'occupation du sol.....	41

Introduction générale

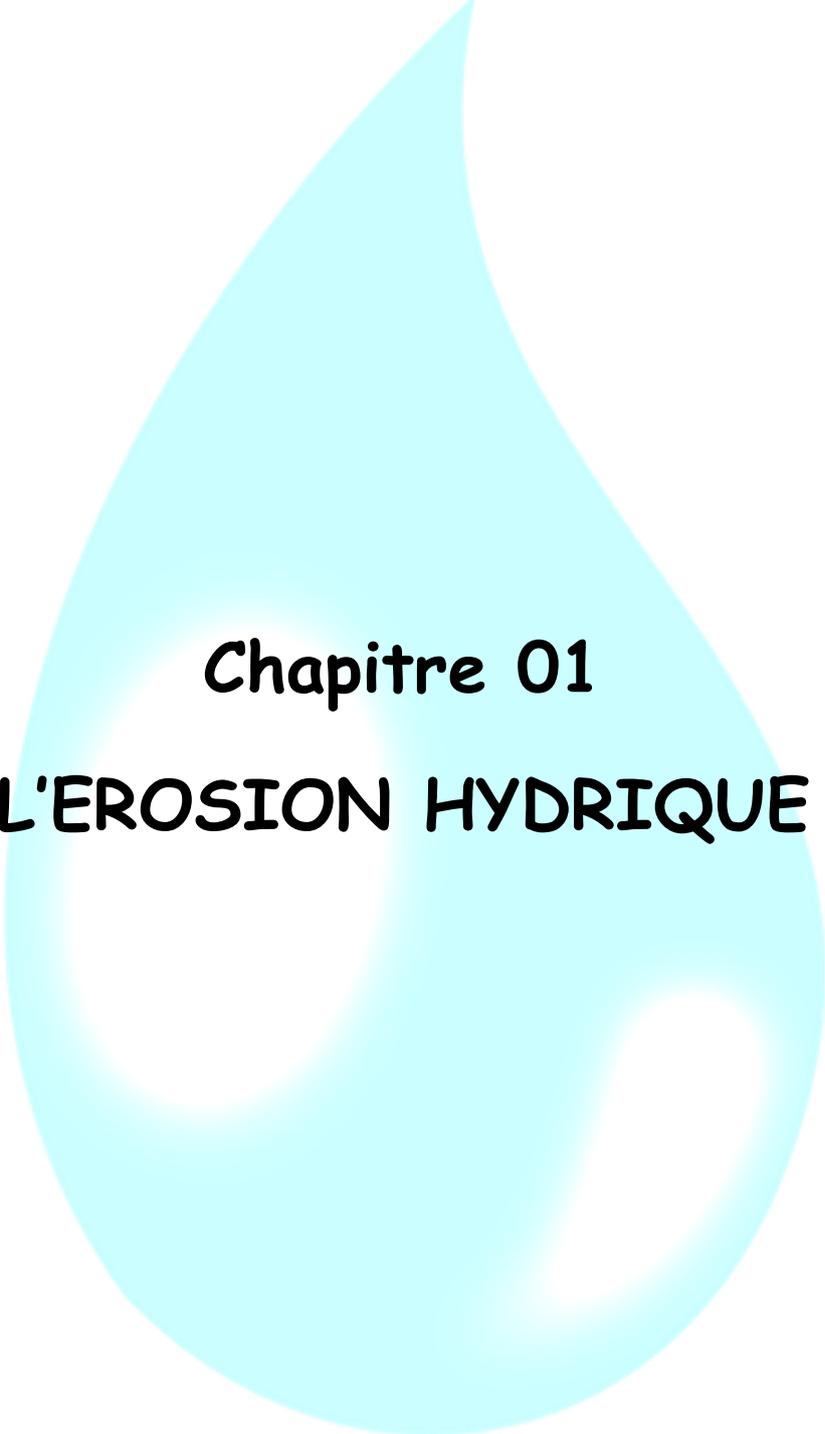
L'érosion est un phénomène largement répandu et dont les conséquences peuvent entraîner la dégradation du sol, les ressources naturelles non renouvelable à l'échelle de temps historique, perte en sols productifs, transport de sédiments, dégradation du paysage; perte de productivité, dépôts de matériau érodé (cours d'eau, barrages), changements dans la charge solide du cours d'eau , pollution de l'eau douce, biodiversité menacée, impacts sociaux (pauvreté, migrations) et impacts économiques (durée de vie et valeur économique des barrages)...etc.

L'érosion hydrique constitue en Algérie un phénomène très grave qui affecte durement le patrimoine foncier. Elle touche 45% des zones telliennes soit 12 millions d'hectares cultivables. Ce phénomène devient encore plus grave si l'on sait que 85% des surfaces cultivables, sont situées dans les zones les plus sensibles à l'érosion (Chibanni et al, 1999).

Dans ce contexte, des mesures claires et exactes de l'érosion sont indispensables pour servir de base aux plans de prévention et de restauration, d'autant plus que l'érosion est un phénomène silencieux et complexe dû à la combinaison de multiples facteurs.

Dans le cadre de cette nouvelle orientation, nous espérons apporter une contribution utile grâce à l'étude du phénomène de l'érosion d'un bassin bien représentatif du Ouest algérien.

Nous étudions ce phénomène au niveau de la région de Beni Bahdel qui se trouve au centre de la wilaya de Tlemcen en utilisant les SIG (Systèmes d'informations géographiques) et à l'aide du logiciel ArcGis en traitant l'ensembles les différents types de cartes de cette localité (pluviométrique, géologiques...etc.)



Chapitre 01
L'EROSION HYDRIQUE

I.1 Introduction

L'érosion est un phénomène qui indique un processus de la dégradation et de la transformation du relief, elle agit à différents rythmes et peut, sur plusieurs dizaines de millions d'années, araser des montagnes, creuser des vallées, faire reculer des falaises.

Dans le présent chapitre, on va voir sa définition, ces causes et ses conséquences, sa relation avec d'autres phénomènes tels que le transport solide, ainsi que son impact sur les ouvrages hydrauliques.

I.2 Définition de l'érosion

L'érosion des sols 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 (Cros-Cayot, 1996). Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : **l'érosion de versant diffuse** ou en **rigoles parallèles** et l'érosion linéaire ou concentrée de talweg. (**BISSONNAIS.Y, THORETTE.J, BARDET.C, DAROUSSIN.J, 2002**)

I.3 Erosion dans le monde

Selon la Commission européenne, l'érosion est la principale menace pesant sur les sols avec 792 800 000 kilos d'humus érodés chaque seconde. On évalue à environ 16 à 17 % de la surface du territoire européen affectés par l'érosion hydrique, soit 26 millions d'hectares : environ 12% du sol sont menacés par l'érosion des eaux et 4% par l'érosion du vent. L'érosion du sol existe également sur 95 millions d'ha de terres en Amérique du Nord et 500 millions d'ha en Afrique(<http://www.planetoscope.com/sols/623-erosion-des-sols-dans-le-monde.html>)

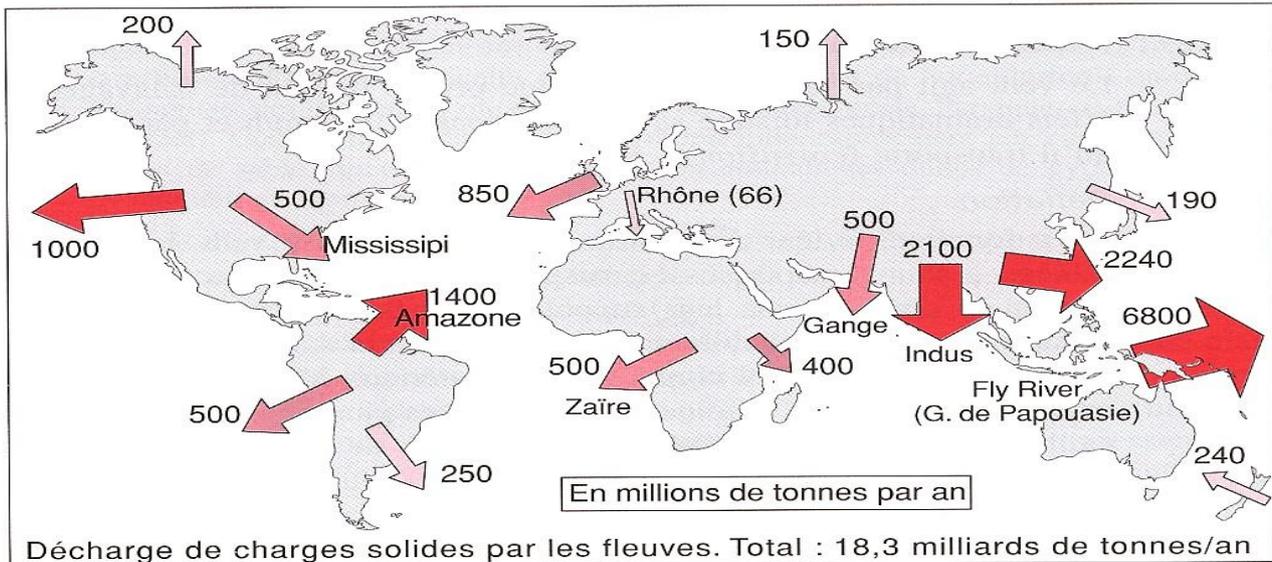


Figure 1.1 la carte représentant la décharge de charges solides par les fleuves Source : <http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/hydro/erosion/images-1/carte2.jpg>.

I.4 Erosion en Algérie

La situation particulièrement dégradée de l'espace montagnard n'est pas récente. Elle est l'héritage d'une histoire mouvementée qui a poussé à l'extensivité de l'agriculture dans des régions surpeuplées. L'espace cultivé, à l'échelle du pays, est passé en l'espace d'un siècle de 2 à plus de 7 millions d'hectares. Les écosystèmes forestiers et steppiques ont été bouleversés ; les surfaces forestières sont passées dans le même temps de 7 à 2,5 millions d'hectares. Si le phénomène pouvait être amorcé ici ou là, c'est surtout entre 1880 et 1920 que le grand mouvement de défrichement atteint son apogée. Ce mouvement qui a continué jusqu'à nos jours a fragilisé à la fois les sols de versants et ceux des hauts plateaux. La sensibilité de ces milieux est favorisée dans des zones fragiles qui sont principalement des pâturages excessivement exploités, des zones forestières dénudées, des terres en jachère, des bassins versants comportant des ravines et des rigoles et des terres marginales cultivées en céréales.

En conséquence, environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active ; la dégradation spécifique dans les bassins versants atteint 2000 tonnes/km²/an. Ce sont donc, en moyenne, 120 millions de tonnes de sédiments qui sont emportés annuellement par les eaux. Les conséquences directes d'un tel phénomène, sont d'une part la diminution de la fertilité des sols et la perte de surface cultivable et d'autre part l'envasement des barrages. La diminution annuelle de la capacité de stockage est actuellement évaluée à 20 millions de m³. On estime qu'en 2010, les barrages aujourd'hui en exploitation totalisant une capacité d'environ 3900 milliards de m³ verront leur capacité diminuer de 24 % . (HEDDADJ ,2010)

I.5 Facteurs influençant l'érosion

Nous avons deux types : Naturels et humains

I.5.1 Facteurs Naturels

I.5.1.1 Les pluies fortes

Tout transport de terre nécessite une énergie. Pour l'érosion hydrique sur les versants de pente faible à moyenne, c'est l'énergie des gouttes des pluies qui déclenche le processus de destruction des agrégats du sol tandis que le ruissellement n'assure que le transport des particules détachées. Cependant lorsque la pente augmente, le ruissellement devient lui-même abrasif et son énergie dépasse celle de la pluie au-delà de 15 %. Contrairement à ce qu'on observe en zone méditerranéenne et saharienne où la pluie exceptionnelle décennale ou centenaire transforme radicalement le paysage, mais en accord avec vaillant dans la Grande Plaine américaine, on trouve que ce n'est pas la pluie exceptionnelle qui détermine le niveau de l'érosion en milieu 3 tropical humide et sec mais la somme des dix ou vingt plus fortes pluies de l'année. Ceci tient au fait qu'en zone saharienne, le sol est dénudé tout au long de l'année, tandis que dans une zone tropicale il peut être parfaitement couvert en fin de saison humide si bien que l'averse exceptionnelle tombant à cette période n'entraînera que peu de dégâts. (ROOSE E et LELONG. F ,1976)

I.5.1.2 Le couvert végétal

Le facteur végétation est de loin le facteur le plus important. Lorsque le couvert végétal est continu, qu'il s'agisse de forêts, de fourrés, de savane ou d'un simple paillis, l'érosion et le ruissellement restent très faibles malgré l'agressivité des pluies tropicales et l'inclinaison de la pente. La mise à feu de la savane, surtout si elle est tardive, augmente très sensiblement le ruissellement et sa charge solide . Mais lorsque le sol est totalement dénudé, les phénomènes d'érosion deviennent catastrophiques : les pertes en terre sont multipliées par 1000 et le ruissellement par 20 à 50. Sous culture ces phénomènes sont intermédiaires et varient dans une large mesure en fonction du type de plante, de la vitesse avec laquelle elle recouvre le sol, de son architecture en parapluie ou en entonnoir et des techniques culturales (engrais par exemple) mises en œuvre pour aider sa croissance. La densité, la période de la plantation et l'utilisation d'une fumure correcte jouent un rôle prépondérant. (E.J. ROOSE et F. LELONG , 1976)

I.5.1.3 La topographie du terrain

Trois aspects de la topographie sont à prendre en compte : l'inclinaison de la pente, la longueur de pente, et la présence de concavités (et talweg) et convexités. Ces facteurs ne sont pas entièrement indépendants.

- **la pente**

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

- Formule de Chezy (1769) :

$$v = C (RS)^{0.5} \dots \dots \dots (I.1)$$

- Formule de Manning (1889) :

$$v = k((R^{2/3} * S^{0.5})/n) \dots \dots \dots (I.2)$$

- ✓ C = coefficient de rugosité de Chezy ; n = coefficient de rugosité de Manning ;
- ✓ v = vitesse moyenne de ruissellement ;
- ✓ R = rayon hydraulique ((largeur*profondeur)/(2*largeur + profondeur)),
- ✓ s = pente ;
- ✓ k = 1 en unités SI.

- **Les zones de concentration de ruissellement**

Les concavités et talwegs sont des zones où peuvent souvent être observées des rigoles et ravines. Comme il a été souligné ci-dessus, les anciens ruisseaux supprimés par l'accroissement des parcelles agricoles sont des sites privilégiés pour les rigoles et ravines.

- **Les convexités**

Ces endroits, souvent aux sommets de versant, sont les premiers à être décapés et les premiers à révéler des affleurements de roche mère, même s'ils ne montrent pas forcément des signes d'érosion concentrée. La forme arrondie de la surface fait que les sédiments sont plus facilement dispersés sans compensation par des apports de l'amont. Le décapage des crêtes et sommets résulte également de l'érosion mécanique par le travail du sol (labours...) <http://unt.unice.fr/uoh/degsol/facteurs-erosion.php#topographie>

I.5.2 Facteurs humains

Dans les régions qui ne sont pas naturellement désertiques, l'Homme a trouvé la terre recouverte d'un tapis végétal constitué par des arbres ou de l'herbe. Ces forêts et ces prairies protégeaient le sol contre l'action érosive du vent et de la pluie. Il existait un équilibre naturel limitant l'érosion à ses facteurs naturels agissant à l'échelle géologique, c'est-à-dire demandant beaucoup de temps. L'Homme, voulant mettre en valeur son espace vital, a coupé les arbres, défriché et cultivé; il a élevé des troupeaux d'animaux domestiques. Pour cultiver, l'Homme s'est très souvent attaqué à la forêt. Les arbres sont coupés à la hache et brûlés dès que possible. Le terrain est ensuite nettoyé, puis labouré soit à la houe, soit à la charrue. En montagne, la destruction des forêts a entraîné des désastres. Les eaux météoriques n'étant plus retenues par la végétation ruissellent sur les pentes, emportent tous les matériaux meubles et se précipitent en torrents, entraînant les inondations dans les plaines. Sur les terrains cultivés, le nouveau tapis végétal établi par l'homme se montre parfois insuffisant dans son rôle de protecteur du sol. Le labour lui-même est une cause d'érosion. Le sol ameubli devient une proie facile pour les eaux de ruissellement aussi bien que pour le vent. Grands vents ou orages emportent le sol arable. Les incendies répétés en zone tropicale favorisent la latéritisation, le durcissement des sols latéritiques, qui ne permettent plus aucune végétation. Les pasteurs de troupeaux ne sont guère moins dangereux. Eux aussi incendient, détruisent la forêt et dégradent les herbages où ne subsistent plus qu'un petit nombre d'espèces capables de résister aux feux de brousse annuels. Le bétail — bovin, ovin ou caprin — est souvent trop nombreux sur des prairies insuffisantes en surface et en qualité. Le bétail ronge l'herbe à ras de terre et un peu plus, il dévore les arbustes. Son piétinement réduit le sol en poussière, laquelle peut être emportée par le vent. Les méfaits de la chèvre sont classiques. On peut encore citer des dégâts locaux provoqués par la destruction de forêts dont le bois alimentait des fonderies et des verreries. Les guerres ont ruiné certaines régions à la suite du massacre des cultivateurs et de la destruction ou de l'abandon de l'irrigation. Lésinassions arabes et mongoles ont laissées

traces fâcheuses en Aséité en Afrique. Au total, l'Homme a commis d'immenses dégâts au cours des précédents millénaires. Il en a commis tellement depuis un siècle que le mal s'est précipité et qu'une partie notable des terrains de culture d'élevage a complètement disparu, emportée par l'eau ou par l'évent. Il y a là un mécanisme brusquement mis en train par l'action de l'Homme. Au premier stade, il n'y a pas d'érosion; au second, l'Homme ayant détruit la couverture végétale a rompu un équilibre naturel. Une écorchure se produit sur une pente. En quelques années ou en quelques heures, l'écorchure va devenir un ravin, un réseau de ravins. Le pays est transformé en bad-lands. Nous ne saurions trop le répéter : il ne s'agit pas d'un phénomène très lent que l'on pourrait diriger, réduire, domestiquer, mais d'une action qui débute la manière la plus brutale et évolue très rapidement. Les témoignages les plus divers nous le confirment : des terrains vierges et en bon état il y a vingt ans sont maintenant inutilisables. Les dégâts de l'érosion provoquée par l'action de l'Homme sont incommensurables. Ils sont dès maintenant de nature à réduire les possibilités alimentaires de l'Humanité. Afin d'en démontrer la réalité, nous dirons la dégradation et l'érosion des sols de l'Afrique **Furon R, 1948.**

I.6 Lutte antiérosive

I.6.1 Les petits moyens : Parcs Nationaux et Réserves naturelles.

Les dégâts, dont les économistes commencent à constater les effets, ont frappé depuis longtemps les naturalistes qui voyaient avec effroi les ensembles naturels disparaître les uns après les autres. Les botanistes signalaient partout la disparition de la forêt primitive, la diminution du nombre des espèces végétales, la disparition de certaines plantes rares. Les zoologistes se plaignaient des excès des chasseurs qui détruisaient sans contrôle les espèces animales les plus rares. La liste des espèces disparues depuis deux siècles s'allongeait désespérément. Les géologues décrivaient les effets de l'érosion et en étudiaient les processus. Les naturalistes ont envisagé dès longtemps l'ampleur des dégâts et le danger mondial que constitue la diminution constante de la surface des terres cultivables.

En 1900, un premier Congrès international se réunit à Londres pour étudier les moyens de protéger la Nature. Il fut tout de suite évident que l'opinion publique et les gouvernements ignoraient complètement le problème ou ne le prenaient pas au sérieux. Il fallait donc se résigner à ne protéger que certains périmètres restreints, à y constituer de véritables Musées de la Nature. Les mesures réclamées ne furent acceptées qu'après une résistance opiniâtre et

prolongée, solidement appuyée sur l'ignorance. On protège maintenant certaines espèces végétales ou animales. On va plus loin en constituant des réserves, botaniques ou zoologiques. Les grandes étendues bénéficiant de la protection officielle portent le nom de parcs nationaux et de réserves naturelles. L'organisation la plus grandiose du monde entier est actuellement celle du Parc National Albert, qui s'étend sur 800 000 ha, des rives du Lac Kivu jusqu'aux glaciers du Ruwenzori. Dans l'Union sud-africaine le Parc National Burger couvre 2 millions d'ha, mais sa végétation a été déjà très modifiée par l'exploitation humaine et elle est limitée à des savanes arborées. Il existe d'autres réserves dans tous les pays africains, mais en fait leur protection n'est pas très assurée. Toutes ces réalisations sont connues de tout le monde et nous n'en parlerons pas davantage. D'ailleurs, à notre point de vue, elles ne peuvent intéresser que les naturalistes, mais ne sont pas de nature à sauver le sol menacé par l'érosion. Sous peine de voir les déserts s'étendre aux trois quarts de la planète, nous devons protéger la Nature contre toute dégradation et en tous lieux (**Furon R, 1948.**)

1.6.2 Les grands moyens : Services de la Conservation du Sol et Organismes autonomes.

Nous rangeons dans le paragraphe des « grands moyens » les organisations qui s'occupent de la lutte active contre la dégradation et l'érosion du sol à l'échelle nationale. Presque tous les pays africains ont maintenant un Service de la conservation du sol. Leur activité dépend de l'importance de leurs cadres et des moyens financiers dont ils disposent. L'Empire britannique possède un « Bureau impérial des Sols » qui a son siège en Angleterre et des ramifications dans tout l'Empire. Les Etats-Unis ont un « Service de la Conservation des Sols » comportant des sections d'études et de recherches et une section de propagande. Le Gouvernement belge a répandu également des brochures de propagande parmi les colons du Congo. Cette question de la propagande nous paraît avoir une grande importance. Il est pratiquement impossible d'entreprendre tous les grands travaux qui seraient nécessaires dans la France d'Outre-Mer, du moins tous ensemble. Par contre, il est peut-être possible d'arrêter l'extension du fléau. Le premier obstacle est l'ignorance et l'incompréhension des paysans indigènes et de beaucoup de colons européens. En ce qui concerne l'avenir immédiat, il est facile de n'accorder de nouvelles concessions à des colons qu'après une enquête minutieuse des Services techniques intéressés : Service géologique, Service agronomique, Service des Eaux et Forêts. Des brochures de propagande intéresseraient certainement la majorité des colons actifs, en leur ouvrant les yeux sur les dangers de l'érosion et les moyens les plus immédiats de protection. La propagande près des indigènes est beaucoup plus délicate. Nous savons par expérience que

les moyens de coercition sont inopérants. Il ne reste qu'à essayer de convaincre en tenant un compte exact des réactions psychologiques des auditeurs. La protection de la Nature et le reboisement impliquent tout d'abord certaines restrictions à la circulation des troupeaux de moutons et de chèvres. L'interdiction de certaines zones de pâturages pendant un certain nombre d'années serait souhaitable. De nombreux reboisements locaux sont nécessaires. Par l'intermédiaire d'un nombre d'instituteurs honteusement insuffisant, et par celui de nombreux chefs indigènes, qui seraient convaincus de la réalité du mal, il serait peut-être possible d'obtenir beaucoup. Près de ceux-là, la propagande orale pourrait être faite, avec persistance, par tous les Européens qui se trouvent à leur contact quotidien. Nous attachons une très grande importance à cette idée de propagande, persuadé qu'elle pourrait obtenir des résultats. Elle devrait s'accompagner d'une politique des engrais, qui permettrait de faire cesser peu à peu la pratique de la culture extensive sur les terres pauvres, abandonnées aux méfaits de l'érosion. Nous en venons aux véritables grands moyens, à ceux qui permettent de transformer complètement l'économie d'une région favorable, en confiant la mise en valeur totale à un organisme autonome. En Amérique les résultats de l'érosion ont été spectaculaires et ruineux : 130 millions d'ha affectés par l'érosion éolienne, des centaines de milliers d'ha emportés par le ruissellement et les inondations. Devant l'ampleur de la catastrophe, le Parlement s'est ému et a alerté l'opinion publique. Les laboratoires de recherche scientifique ont étudié l'érosion sous tous ses aspects et ont entrepris la lutte pour la conservation des sols. Enfin, sous l'influence de F. D. Roosevelt et son « Brain Trust », le Congrès a créé le 18 mai 1933 un Office National autonome chargé de rendre la prospérité à une région dévastée : « Tennessee Valley Authority ». La vallée du Tennessee était dévastée par les intempéries et les débordements de la rivière, elle était désolée par le déboisement et l'érosion. Sous la direction de David Lilienthal, la Tennessee Valley Authority, la T.V.A. comme on l'appelle, a entrepris et réalisé une œuvre gigantesque. Le personnel des sept Universités de la Vallée a commencé par fournir à la T.V.A. tous les renseignements désirables sur la géologie, la pédologie, la culture, l'état des forêts et de l'érosion. Géologues, agronomes, forestiers, chimistes, architectes, hygiénistes, économistes, juristes, spécialistes des loisirs, etc., ont apporté leur concours. Plus de 60 000 ouvriers ont été embauchés pour réaliser le programme. Cent millions de mètres cubes de roches et de terres ont été remués. Vingt-et-un barrages ont été construits entre 1935 et 1942 et douze autres depuis. La Vallée produit 12 billions de kilowatts et le tarif du courant électrique a été abaissé de 23 %. De nouvelles usines sont installées. La production des céréales a augmenté de 13 %, celle de la viande, du lait et des oeufs, de 30 à 60 %. L'ensemble des travaux aura coûté 750 millions de dollars, avancés par le Gouvernement et

amortissables en 60 ans au moyen des bénéfices retirés de la vente de l'énergie électrique. L'érosion est arrêtée, les inondations ne sont plus à craindre, le standard de vie des habitants a été amélioré. C'est l'exemple le plus grandiose de ce que peut réaliser une population courageuse et bien dirigée. Un second exemple est en cours, c'est la Jordan Valley Authority, organisée sous l'impulsion de W. C. Lowdermilk, Conservateur des Sols de Palestine. W. C. Lowdermilk estime que le pays, rénové par l'exécution de ce plan, pourrait voir sans inconvénient sa population passer de 2 à 6 millions d'habitants. En U.R.S.S., la station de Recherches scientifiques de la Mer d'Aral, le Bureau des Déserts et d'autres organismes ont entrepris d'aménager les zones semi-désertiques par l'amélioration des pâturages existants et la création d'herbages à foin. Ce qui est dès maintenant réalisé dans les déserts du Turkestan pourrait servir de modèle à toute organisation scientifique chargée d'améliorer les conditions économiques des bordures sahariennes. Nous citerons un quatrième exemple, celui de la mise en valeur du Pendjab dans le N "W de l'Inde. Le Pendjab central, entre Delhi sur la Jumna et la vallée de la Jhelum, a été largement irrigué par les ingénieurs britanniques qui en ont fait le grenier de l'Inde. Ces immenses travaux sont classiques. Par contre, les abords mêmes du Pendjab sont très menacés. Au N E les pentes des Monts Siwaliks sont très érodées par le ruissellement. Entre 1870 et 1880, le conservateur des Eaux et Forêts de l'époque soulignait le danger qu'il y avait à provoquer la colonisation indigène de cette région, qui amenait la destruction des îlots boisés dans un territoire géologiquement instable du fait du peu de cohésion des roches. Il en est de même dans le N "W, près de l'Indus, dans les districts d'Attock, Jhelum et Rawalpindi. Il y a 2 millions d'acres très attaqués par l'érosion, convertis en « bad-lands ». Pâturage et culture doivent y être interdits, jusqu'à ce que soit effectué le nivellement du sol, l'installation d'un tapis végétal et la correction des rivières torrentielles. Le S est menacé par la progression vers le N du désert du Thar. Il existe là une zone semi-désertique, pas encore irriguée, mal cultivée, où l'érosion éolienne est active. Nous demandons la création d'un organisme intercolonial africain, strictement composé de spécialistes, lequel devj-ait dans « n temps très limité : dresser des cartes provisoires de la dégradation et de l'érosion du sol, établir des projets complets par région (lutte contre l'érosion, construction de barrages réservoirs, etc.), qui pourraient être soumis aux divers Gouvernements locaux et aux Ministères qui ont à en connaître(**Furon R,1948.**)

I.7 Erosion et transport solides

Les pertes en sols des terres, leur transport et leur sédimentation dans les infrastructures hydrauliques, hydro-agricoles, portuaires, routières... ont poussé les décideurs à examiner de plus près cette problématique, vu son ampleur et les conséquences qu'elle engendre face aux changements climatiques attendus. Des outils d'investigation ont été mis en œuvre pour tenter de maîtriser le phénomène, malheureusement les sols continuent à se dégrader malgré une lutte antiérosive intensive entreprise à l'échelle des bassins-versants des barrages en exploitation, dans une première phase. Le phénomène a atteint un stade parfois irréversible. Toutes les formes d'érosion y sont associées, laissant des paysages désolés. Le phénomène s'est accru et s'amplifie aussi bien dans l'espace que dans le temps, aggravé en maints endroits par le changement climatique. Des alternances d'inondations torrentielles et de sécheresses prolongées sont observées. Conjuguées à une action anthropique non contrôlée (incendies, défrichement, surpâturage...) elles rendent le bassin d'alimentation et le réseau d'écoulement très vulnérables au phénomène érosif. Cette problématique complexe reste difficile à quantifier. Si à l'échelle de la parcelle ce phénomène est maîtrisable, il l'est moins à l'échelle du bassin-versant. L'insuffisance ou l'absence de données de jaugeage et de teneurs en sédiments rend plus complexes la connaissance et l'identification du phénomène. Seules des synthèses régionales et des études bathymétriques peuvent permettre d'identifier les zones productrices de sédiments et d'élaborer des cartes ou des abaques d'aide à la décision. Tous nos travaux de recherche sont axés sur ce type d'approche et cet article propose une synthèse des résultats obtenus dans le contexte algérien en zone semi-aride (**TOUAIBIA.B,2010.**)

Les activités humaines de nature agropastorales modifient les états de surface des sols et la végétation. La construction d'aménagement modifie également le transport solide en piégeant les sédiments dans les retenues d'eau des barrages, privant ainsi les biefs aval des retenues des sédiments qui devrait maintenir la fertilité des berges. Les sols et la végétation modifiée ont un impact sur la vulnérabilité à l'érosion des sols. Ces relations sont aussi fonction du type de sol de la morphologie locale. Les contributions attendues doivent permettre d'éclairer les liens qui existent entre les informations morphologiques, pédologique et le transport solide (**BENHAFID.M, 2011**)

I.8 Impact de l'érosion sur les ouvrages hydrotechniques

Le sol est une fine couche de matières minérales et organiques qui permettent la rétention et la circulation de l'eau et de l'air à la surface de la Terre. Cette fine couche, dont l'épaisseur varie de quelques cm à quelques m, fait vivre pratiquement toutes les formes de vie de la planète. Le sol est une ressource « non-renouvelable » qui, lorsqu'il subit une forte érosion, est perdu à l'échelle de millénaires.

Aujourd'hui, l'érosion des sols participe à plusieurs grands problèmes environnementaux qui perturbent la planète

I.8.1 La biodiversité

Le sol est un milieu vivant où des milliards de bactéries, champignons, et insectes de tous genres habitent. Sa dégradation provoque une perte d'espèces dont nous avons peu conscience à cause des difficultés de mesure et de suivi de ces micro-organismes et parce que ces familles d'espèces se trouvent rarement parmi les espèces « emblématiques » (comme le loup, l'aigle, le panda, le dauphin, etc). De plus, la dégradation du sol provoque inévitablement une perte d'habitat pour divers espèces à la surface de la terre et dans les milieux aquatiques, où l'augmentation de la turbidité et de la pollution jouent un rôle important dans la dégradation de ces environnements.

1.8.2 La pollution des eaux

Pratiquement toute l'eau qui tombe sur une surface terrestre entre en contact avec le sol. L'eau peut s'infiltrer et percoler vers la nappe phréatique et les cours d'eau, et dans ce cas, elle lessive une partie de ce qui est soluble dans le sol (nitrates, pesticides...). Elle peut également ruisseler à la surface et transporter vers les cours d'eau les sédiments et tout ce qui y sont associés : pesticides, engrais, matières organiques. <http://unt.unice.fr/uoh/degsol/consequence-erosion.php>

I.9 Impact de l'érosion sur le barrage de Beni Bahdel

I.9.1 L'envasement

Le problème de l'envasement des barrages en Algérie est connu dans le monde de par son importance. Devant cet état de fait la mesure de l'envasement des barrages présente un intérêt

certain pour la quantification des sédiments et l'exploitation des ouvrages. (**Kassoul.M, Abdelgader .A et M. Belorgey 1997**)

Le barrage de Beni Bahdel situés pratiquement dans la région de Tlemcen , connaît à son tour un taux d'envasement 13,28% (**Sahraoui.h 2015**)

I.10 Méthodes d'estimation et de quantification de l'érosion

Les méthodes utilisées dans l'évaluation et la cartographie de l'érosion (actuelle et/ou risque) varient en fonction des objectifs, des moyens et des échelles de travail.

La quantification peut se faire par :

- Mesures directes
- Des évaluations indirectes

I.10.1 Les mesures directes

a. Mesures topographiques

Le principe se base sur le suivi de l'évolution topographique de la surface du sol, notamment : Mesure par rugosimètre : on estime la variation de la hauteur du sol par rapport à un plan de référence.

Le principe de mesure est comme suit:

- boîte dont le cadre est placé à 90 mm de hauteur au-dessus du plan de référence
- quatre peignes espacés tous les 150 mm (Dy), dont deux se trouvent sur le cadre et les deux autres sont localisés ensuite par une translation contrôlée de la boîte- chaque peigne à une longueur de 1000 mm et comporte 100 aiguilles espacées de 10 mm (Dx)
- chaque aiguille fait 200 mm de longueur
- on mesure la partie supérieure dépassant du cadre (Dz, en mm)

Suivi de l'évolution des ravines : on mesure la variation des dimensions de certaines sections des ravines après chaque évènement pluvieux.

b. Simulation de pluie

l'objectif est de déterminer certaines caractéristiques hydrodynamiques des sols et ce, à petite échelle et sous diverses conditions de pluie et de sols.

L'utilisation des simulateurs de pluie présente plusieurs d'avantages puisqu'ils:

- Sont des dispositifs mobiles

- Sont capables de produire à volonté des pluies d'intensité, de hauteur et d'énergie semblables à celles des pluies naturelles
- permettent de simuler des averses de fréquence rare qui causent le plus de dégâts
- permettent de raccourcir les temps d'observation sur le terrain.

Pour pouvoir effectuer des simulations de pluie sur le terrain, il est nécessaire de passer par l'étape de préparer les parcelles de mesure.

Il y a plusieurs types de simulateurs des plus simples ou plus complexes. On va se contenter dans ce cours à présenter 2 modèles. Le premier qui est très simple qui peut être même confectionné par l'utilisateur, c'est le modèle mini simulateur type ORSTOM SOLTANI.W 2014

Les mesures indirectes

- **La modélisation**

Il ressort que les phénomènes d'érosion sont le résultat d'interactions complexes variables dans le temps et l'espace. Dans une optique d'évaluation des risques ou d'établissement de schémas d'aménagement pour la conservation des sols, le recours à la modélisation peut constituer un outil d'aide à la décision. Le but de cette partie n'est pas de dresser une liste exhaustive des démarches et modèles existants, mais plutôt de décrire les principales approches développées actuellement.

Cependant, on peut rappeler que la modélisation a pour objectifs d'une part, de tester notre compréhension des processus intervenant dans la dégradation des sols par l'érosion et d'autre part, prévoir les risques futurs sous des conditions variables.

a. Les modèles empiriques : cas de l'équation universelle (modèle de WISCHMEIER) : L'UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (USLE)

Principes

De nombreux essais ont été conduits aux Etats-Unis par différents auteurs, dès 1932 sous la direction du service de la conservation du sol et du ministère de l'agriculture. En 1959, Wishmeier a finalement abouti à l'" universal soil loss equation " dues à l'érosion pluviale (pluies et ruissellement) puis en 1978 la Revised Universal Loss Soil Equation. Cette équation est utilisée aux Etats-Unis depuis cette date en agriculture. Son principe est de comparer l'érosion d'un site quelconque à l'érosion d'une parcelle témoin ayant une

longueur de 22m et une pente de 9% sur jachère nue, c'est à dire labourée périodiquement de manière à ce qu'aucune végétation ne puisse s'y développer et telle que le sol ne puisse former une croûte superficielle.

Ce modèle empirique établi à partir du traitement statistique des résultats de nombreuses mesures en parcelles expérimentales menées sur plus de 20 ans exprime les pertes en sol comme le produit de différents facteurs selon la formule :

$$A = K * R * L * S * C * P \dots\dots\dots(I.3)$$

A est la **perte de sol** due à l'érosion et constatée par unité de surface pendant une période de temps déterminée. A est exprimé dans les mêmes unités que K

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. Ainsi ont été dressées des cartes d'iso-érosion hydraulique pour le sud-est des Etats-Unis. Deux seuils empiriques ont été adoptés aux Etats-Unis, l'un associé à une hauteur de pluie de 12.7mm au-dessous duquel on ne considère pas les précipitations en considérant que leur indice d'érosivité est faible, et l'autre qui retient les pluies de 6.35mm tombées en 15 minutes donc d'intensité supérieure à 25.4mm/h sur une période de 15 minutes.

K est appelé le facteur sol et caractérise **l'érodabilité** de ce sol (soil erodibility factor). Elle peut être définie comme la susceptibilité du sol à l'érosion et est établie par rapport à une parcelle standard, évaluée en tenant compte de la texture, de la teneur en matière organique, de la structure et de la perméabilité du sol sans tenir compte du couvert végétal et des pratiques culturales. Il a été établi après le travail sur 8 sols limoneux et varie de 0.58 à 1.12T/ha suivant les types de sol rencontrés. Pour le calculer, on utilise des abaques prévus à cet effet.

S * L Le facteur **pente** et **déclivité** tient compte à la fois de la longueur de la pente (L) et de son inclinaison (S). Dans la pratique, les deux facteurs de pente, L et S sont combinés en un seul facteur topographique qui permet d'évaluer globalement l'influence de la pente sur la vitesse de l'érosion. Des formules, tables et abaques permettent de quantifier les valeurs du facteur topographique.

C Le facteur de **couverture végétale** est défini dans l'USLE comme le rapport entre la perte de sol d'une parcelle cultivée dans des conditions définies et la perte de sol correspondante d'une parcelle cultivée en jachère nue continue. C'est une mesure de

l'efficacité relative des systèmes de gestion des sols et des cultures dans la prévention ou la réduction de la perte de sol. La valeur du facteur C est conditionnée par plusieurs variables et leur interaction nécessite des renseignements sur la voûte de verdure (feuilles et branches qui interceptent les gouttes de pluie et dissipent une partie de leur force érosive), la couverture végétale (résidus de culture et végétation vivante sur la surface du sol), la biomasse du sol (toute la matière végétale dans le sol; les résidus aident à améliorer l'écoulement de l'eau dans le sol et la capacité de rétention du sol) le travail du sol (type, période et fréquence de travail du sol ce qui influe sur la porosité, la rugosité de surface et la compaction du sol). Chaque variable est traitée comme un sous facteur et C est le produit de ceux ci. Des tables fournissent les valeurs des facteurs C pour les principales cultures et rotations pratiquées aux Etats-Unis (Wischmeier et Smith, 1978). Dans une rotation triennale traitée classiquement, la valeur du facteur C est essentiellement contrôlée par les ameublissements, les traces de passage d'outils, l'évolution du couvert au cours du cycle végétatif des cultures et après celles ci, par la quantité de résidus laissés en surface. Ce facteur varie de 1 sur sol nu à 1/1000ème sous forêt, 1/100ème sous prairies et plantes de couverture, 1 à 9/10ème sous cultures sarclées.

P le facteur des **pratiques de soutien** (ou pratiques culturelles anti-érosives) est une mesure des effets des pratiques visant à modifier le profil, la pente ou la direction de l'écoulement du ruissellement en surface et à réduire ainsi l'érosion. On y trouve la culture en pente transversale, la culture en courbes de niveau, la culture en bandes alternées, l'aménagement de terrasses et l'aménagement de voies d'eau gazonnées. C'est le rapport de la perte de sol observée sur le terrain étudié travaillé mécaniquement d'une certaine façon et protégé contre l'érosion d'une certaine façon avec celle qui aurait lieu si le terrain était labouré fréquemment dans le sens de la plus grande pente (suivant les pratiques et suivant la pente). Il varie entre 1 sur sol nu sans aucun aménagement antiérosif à 1/10ème lorsque sur une pente faible, on pratique le billonnage.

L'équation a été réactualisée en 1978 et a été rendue plus accessible aux utilisateurs grâce notamment à des tableaux de données ainsi qu'à des graphes rendant son utilisation plus conviviale. Avec cette équation, les services américains de l'agriculture peuvent établir des tolérances ou des valeurs seuils de perte de terre pour des sols ou des systèmes cultureux

donnés. Le poids des différents facteurs a été évalué à partir du traitement statistique d'un grand nombre de mesures réalisées sur un grand nombre d'années sur des parcelles standardisées de dimensions réduites.

Si une utilisation appropriée des paramètres de l'équation permet d'avoir une idée de la quantité moyenne de terre exportée pour différents types d'occupation du sol, cette équation a ses limites, liées aux hypothèses de base et à ses objectifs. Elle permet de prédéterminer les pertes en terre annuelles moyennes pour une parcelle donnée, dans des conditions bien définies.

b. Les modèles déterministes (physiques):

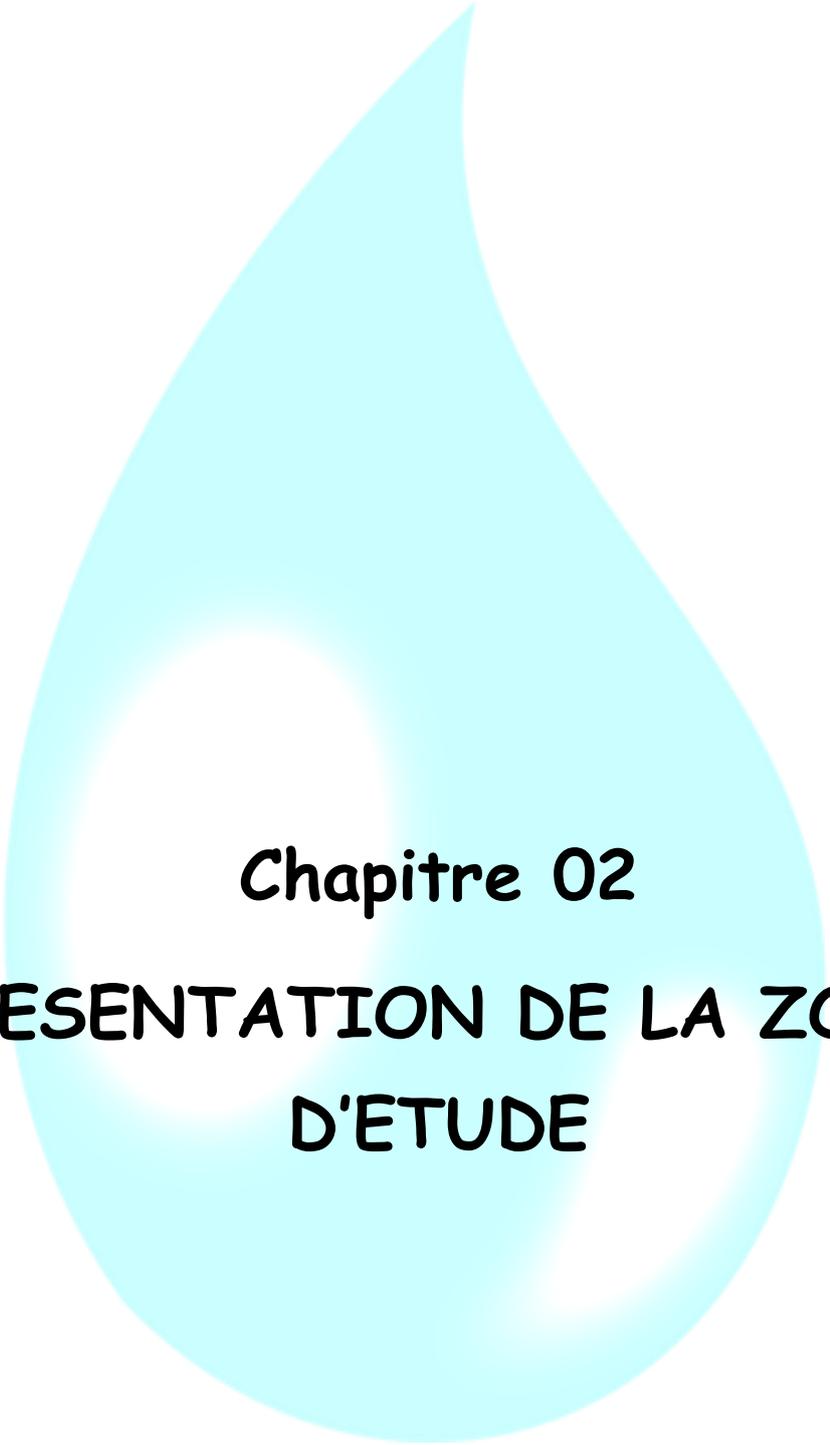
Les limites de l'USLE n'ont pu être entièrement dépassées. Les études plus récentes sur les processus de l'érosion ont notamment mis en avant la variabilité spatiale et temporelle des paramètres d'érodibilité. Pour pouvoir prendre en compte cette variabilité, les recherches en modélisation se sont tournées vers une approche plus déterministe basée sur la description des processus physiques au travers de modèles mathématiques.

Les technologies de prédiction de l'érosion basées sur les processus ne sont pas vraiment nouvelles. Les études de Horton (1938) et Ellison (1947) dans les années 1940, ont fourni les principaux fondements de la modélisation dite « à base physique ». Cependant ces technologies n'ont émergé qu'après les années 1970, avec d'une part, le développement du calcul numérique et d'autre part, un intérêt croissant dans le suivi de la qualité des eaux de surface (Foster, 1990). Durant cette période ont ainsi été développés CREAMS (Knisel et al., 1980) et ANSWERS (Beasley et al., 1980). Le gouvernement américain, pour remplacer l'USLE, n'a opté pour aucun de ces modèles. CREAMS, parce qu'il est en parti basé sur l'USLE et ANSWERS, était jugé trop difficile d'utilisation pour des fins appliquées, comme beaucoup des équations utilisées dans les modèles déterministes (Foster, 1990). Sous la tutelle de Lane, le projet WEPP a été lancé pour « développer un modèle à base physique sous une forme facile d'utilisation ». On retrouve des démarches similaires en Europe avec le développement des modèles EUROSEM, (Morgan et al., 1998) ou LISEM (De Roo et al., 1996a, b). La modélisation à base physique décrit l'érosion au travers de représentations mathématiques des processus hydrologiques et érosifs fondamentaux. Les processus pris en compte sont le détachement par les gouttes de pluie et/ou par le ruissellement, le transport par les gouttes de pluie, le transport par le ruissellement, et le dépôt par le ruissellement (Foster, 1990). On peut, sur la base de l'expression de ces processus, établir une division conceptuelle

des phénomènes érosifs. Tout d'abord, il n'existe pas de modèles qui ne contiennent pas de relations empiriques sur un aspect ou un autre. De plus ces modèles nécessitent une phase importante de calibration remettant en cause leur base physique (De Roo, 1993 ; 1998). Il est peut-être encore un peu trop tôt pour juger des performances des approches à base physique. Cependant, il est clair que la demande abondante en données restera une limitation sérieuse, d'autant plus que les données sont censées représenter une variabilité spatiale toujours plus complexe avec l'avancée des recherches. Les résultats obtenus jusqu'à présent, en termes de prédiction effective ne sont pas très encourageants. Dans la grande majorité des publications récentes concernant l'évaluation de modèles dans des conditions neutres (i.e. non réalisées par les concepteurs, ou réalisées par les concepteurs mais avec des données externes), on commence à voir apparaître des doutes sur l'utilisation de ces modèles en tant qu'outils effectifs de prédiction de l'érosion. Deux bonnes illustrations sont les conclusions publiées à la suite des ateliers d'Oxford (Nearing and Nicks, 1998 ; Favis-Mortlock, 1998 ; Boardman et Favis-Mortlock, 1998) et d'Utrecht (Takken et al., 1999 ; Folly et al., 1999 ; Jetten et al., 1999). Les efforts de développement investis dans la modélisation à base physique ont permis de générer des pistes de recherches, mais comme le déclare Bryan (2000) : « Il n'est pas du tout évident que tous les processus et interactions impliqués dans l'érodibilité des sols puissent un jour être modélisés physiquement ». De la même manière, Parsons et al. (1997) concluent que, si les modèles basés sur les processus physiques permettent d'améliorer nos connaissances des mécanismes de l'érosion, il n'est cependant peut être pas réaliste de vouloir les utiliser comme outil de prédiction de l'érosion des sols. **SOLTANI.W 2014**

1.1 Conclusion

Ce chapitre est une partie théorique qui détaille le phénomène de l'érosion, ses facteurs et ses conséquences, sans oublier son impact sur les ouvrages hydrauliques (l'ouvrage hydraulique dans notre mémoire de Master sera le barrage de Beni Bahbel)



Chapitre 02
PRESENTATION DE LA ZONE
D'ETUDE

CHAPITRE II PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1 Présentation du bassin

II.1.1 Situation géographique

Le bassin versant se trouve au Nord-Ouest de l'Algérie, au niveau de la Wilaya de Tlemcen, il est limité :

- ✓ Au nord par : Ghazaouet.
- ✓ A l'est par : Ain Temouchent et Sidi Bel Abbas
- ✓ Au sud par : El Aouedj et Sidi Djilali
- ✓ A l'ouest par le Maroc

Il a les coordonnées suivantes :

- ✓ 34° 43' 00" nord .
- ✓ 1° 31' 00" ouest.

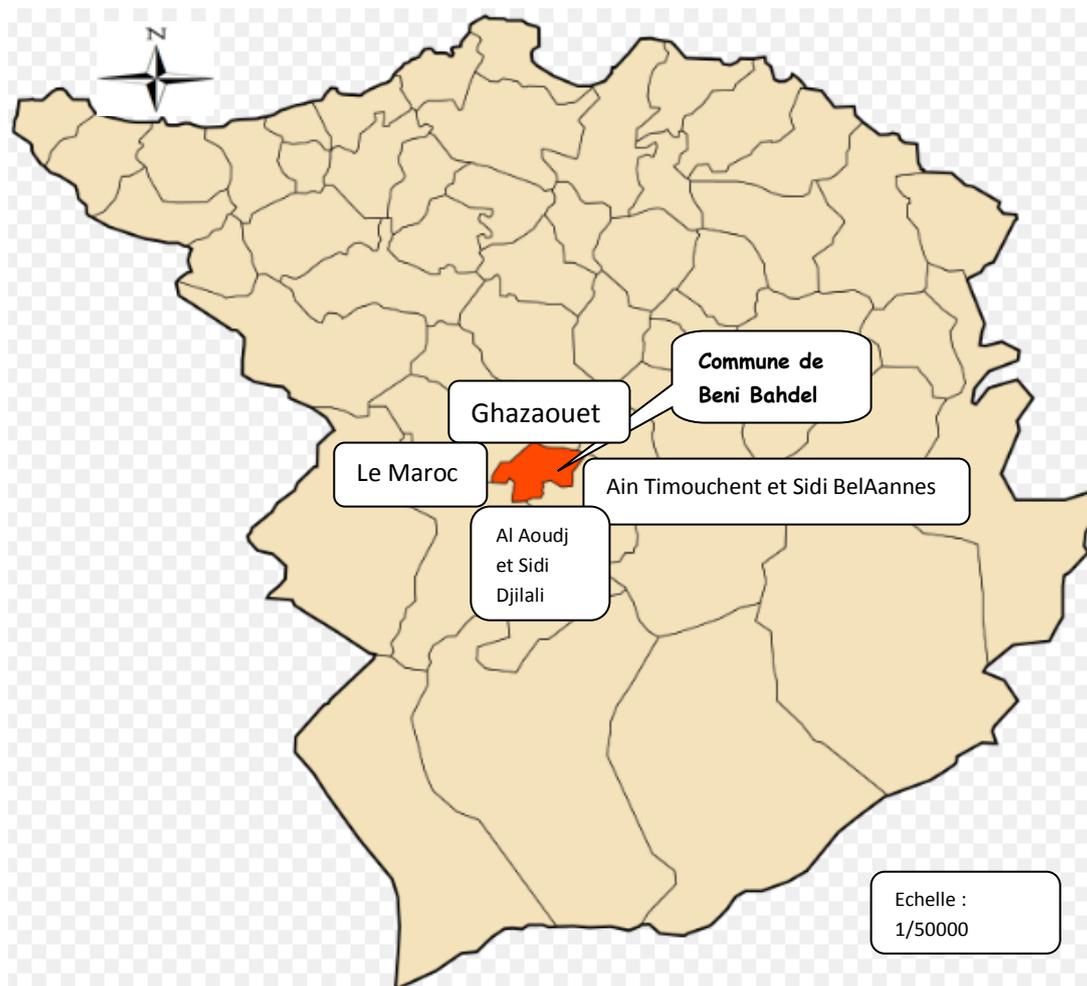


Figure II.1 Localisation de la commune de Beni Bahdel dans la Wilaya de Tlemcen.

II.1.2 Climat

L'agencement géologique de la zone d'études sert de couloir à l'air marin qui tempère la rigueur des hivers et la chaleur des étés. Le climat dominant sur la région de Beni Bahdel est le climat semi-aride (*BERDANE K 2012*)

II.1.2.1 Température

Le tableau suivant représente la variation de température de la zone d'études.

Tableau II.1 Valeurs des températures de la région de Beni Bahdel

Mois	jan	fév.	mars	avr	mai	juin	jui	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
T min (°C)	5	7	8	10	12	16	19	20	18	13	10	7	12
T moy(°C)	10	12	13	15	18	22	25	26	24	19	15	12	17
T max (°C)	15	16	18	20	23	27	31	32	30	24	20	16	23

Source : Site de Weatherbase, statistiques sur 12 ans.

Les températures moyennes de la région subissent des variations saisonnières. Le contraste saisonnier est bien marqué entre l'hiver et l'été. Les minima thermiques sont généralement atteints en janvier, les maxima en juillet / août qui peut atteindre les 32 °C.

II.1.2.2 Précipitations

Le bassin reçoit entre 219 et 500 mm de pluie par an (ANRH). Après une étude critique des éléments antérieurement obtenus, la précipitation annuelle moyenne du bassin versant a été fixée à 341 mm/an.

II.2 Réseau hydrographique

Le bassin versant de Beni Bahdel se caractérise par une densité moyenne du réseau hydrographique (figure. II.2) qui se justifie par l'existence des pentes faible à moyenne et une formation superficielles moyennement perméables.

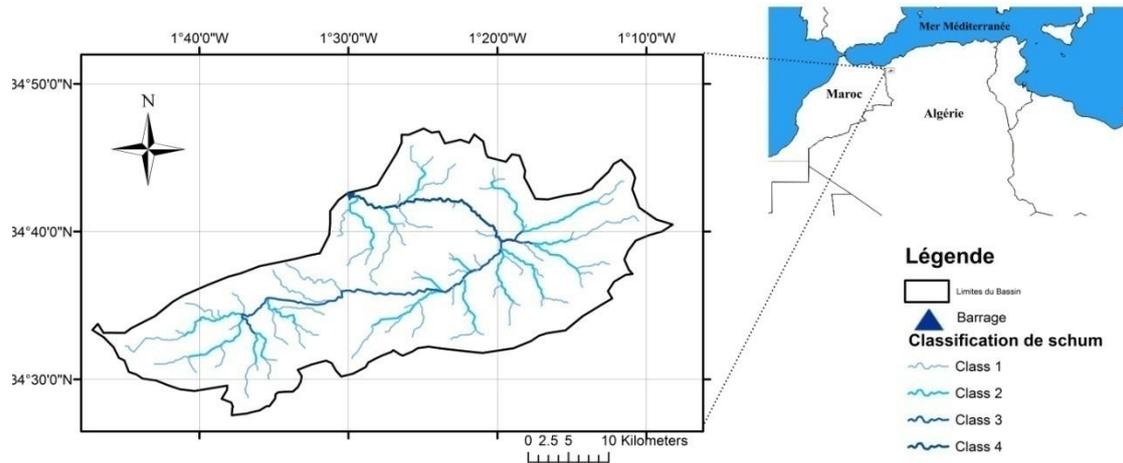


Figure (II.2) Carte du réseau hydrographique du bassin versant de Beni Bahdel (réalisée par nos soins sous Map Info)

II.3 Paramètres de formes du bassins

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de repense de bassin versant. Le bassin de Beni Bahdel présente un caractère presque plat avec des altitudes qui varient entre 700 m et 1700 m.les principales caractéristiques morphologique sont représenté dans ce qui suit

- **Courbe hypsométrique**

La courbe hypsométrique de l'Oued de Beni Bahdel représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.et elle est tiré de la carte hypsométrique représenter dans la figure II.3

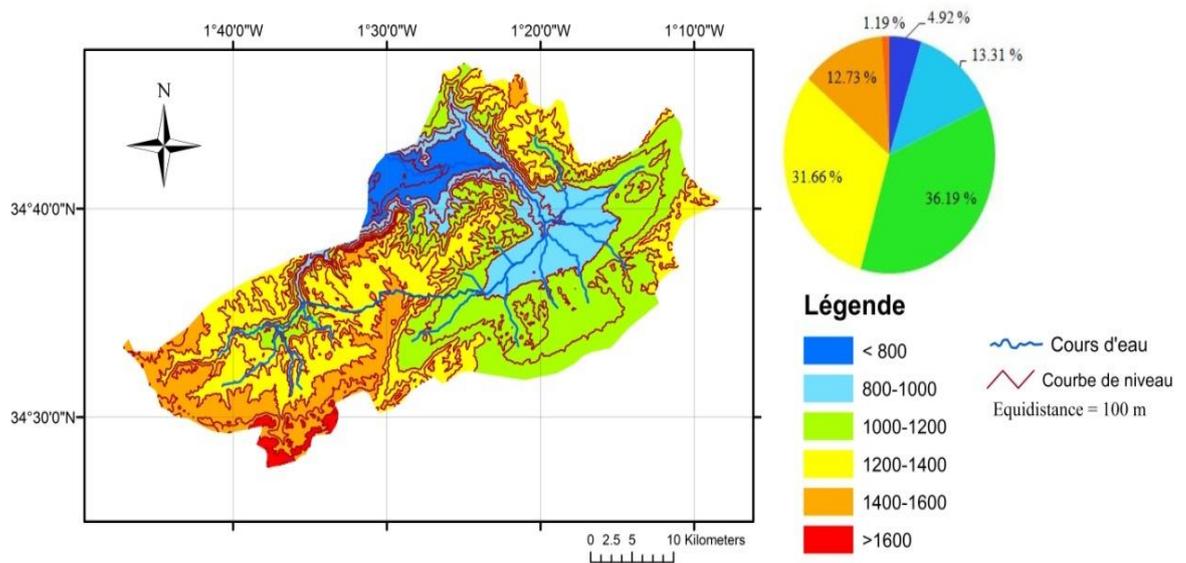


Figure II.3 carte hypsométrique du bassin versant de Beni Bahdel

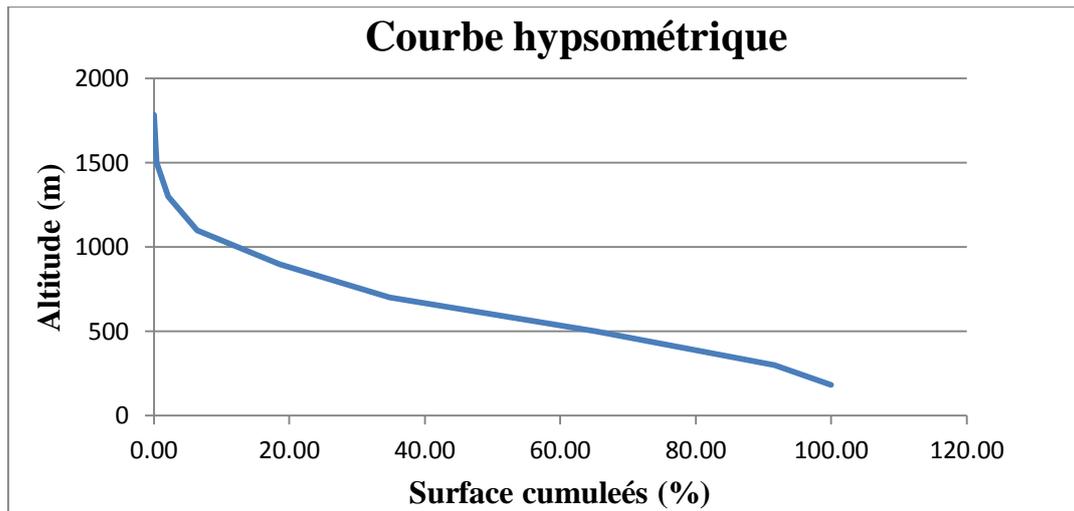


Figure II.4: la courbe hypsométrique du bassin de Beni Bahdel

- **Profil en long**

Le profil en long représente la variation de l'altitude en fonction de la distance. La longueur de notre cours d'eau principale est de 50 m. Les données utilisées pour dessiner le profil en long de la figure II.4 sont tirées du modèle numérique du terrain réalisé par nos soins sous Arcgis 10.3.

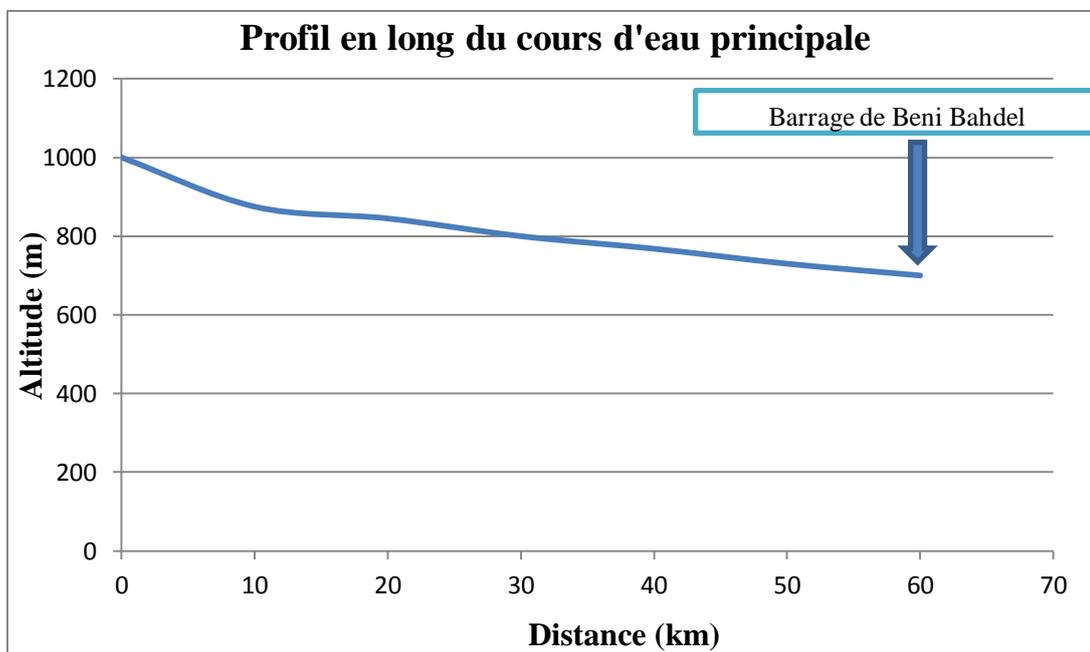


figure II.5 : le profil en long du cours d'eau principale du bassin versant de Beni Bahdel

• **La surface et le périmètre**

A l'aide du logiciel ArcGis, la surface et le périmètre de notre bassin versant ont été facilement extraits :

- La surface = 1418.564 km²
- Le périmètre=209.944km

Un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé même s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple

• **Indice de compacité de Gravelius :**

Indice de Gravelius« K_c » Appelé aussi indice de forme, cet indice caractérise la forme du bassin, il nous permet de faire une transformation purement géométrique en un rectangle de dimension L et l ayant la même surface que le bassin versant.

$$K_c = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{S}} \dots \dots \dots (II.1)$$

Avec :

- P : le périmètre du bassin versant (Km),
- S : la surface du bassin versant (Km²).

A.N :

- $K_c = \frac{209.944}{2\sqrt{1418.564}} = 2.79$

Si $K_c >$ Notre bassin a une forme « **allongée** ».

• **Le rectangle équivalent :**

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définit respectivement par les formules suivante

$$L, l = K_c \cdot \frac{\sqrt{S}}{1.12} \left[1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right] \dots \dots \dots (II.2)$$

Avec

K_c : Indice de compacité de Gravelius

S : surface du bassin versant

L : La longueur du rectangle équivalent

l : La largeur du rectangle équivalent

- **Altitude moyenne du bassin versant :**

$$H_{moy} = \sum_i \frac{S_i H_i}{S} \dots \dots \dots (II.3)$$

Avec :

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km²)

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives **n-1** et **n** en (m)

S : Superficie du bassin versant (Km²).

- **Pente moyenne du bassin versant :**

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5 L_1 + L_2 + L_3 + \dots + 0.5 L_n)}{S} \dots \dots \dots (II.4)$$

ΔH : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives

L₁, L₂, L₃, ..., L_n : Les longueurs des courbes de niveaux (Km).

S : superficie du bassin versant (Km²).

- **Indice de pente globale I_g**

A partir de la courbe hypsométrique, il est favorable d'en déduire les altitudes de fréquence 5% et 95% de la surface du bassin versant.

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots \dots \dots (II.5)$$

D : Dénivelée entre H_{5%} et H_{95%} (m)

L : longueur du rectangle équivalent (Km)

H_{5%} et H_{95%} : sont respectivement Les altitudes correspondantes à 5% et 95%

- **Classe de relief**

La valeur de I_g nous donne une idée sur le relief du bassin versant comme le tableau suivant :

Tableau II.2 :le relief en fonction de la valeur de I_g

Classe de relief	I_g (m/km)	Type du bassin
R2	$2 < I_g < 5$	Les bassins de plaine
R3	$5 < I_g < 10$	Des terrains intermédiaires entre la plaine et la zone à ondulation du terrain
R4	$10 < I_g < 20$	Ondulation du terrain
R5	$20 < I_g < 50$	Région de collines
R6	$I_g > 50$	Région de montagne

A partir de la valeur de I_g calculée dans notre cas, le type du relief du bassin

- **Indice de pente moyenne I_{pm}**

L'indice de pente moyenne est le rapport entre la dénivelée et la longueur de rectangle équivalent.

$$I_{pm} = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \dots \dots \dots (II.6)$$

- **La densité de drainage :**

Elle est définie pour un bassin versant donnée de surface « S », comme la longueur totale des cours d'eaux de tous les ordres sur la surface drainée, et est exprimée en Km/Km².

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \dots \dots \dots (II.7)$$

Avec :

D_d : Densité de drainage [km/km²] ;

L_i : Longueur de cours d'eau [km] ;

S : surface du bassin versant [km²].

- **Temps de concentration du bassin versant :**

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir a celui-ci. On peut l'estimer en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie efficace et la fin du ruissellement

Selon la formule de Giandotti (sud Italie 1937) :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S}+1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy}}} \dots \dots \dots (II.8)$$

L_p : Longueur du cours d'eau principal (Km)

S : La superficie du bassin versant (Km²)

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant (m NGA)

Tableau II.3 : caractéristiques morphologiques du bassin versant

Caractéristiques	Symbole	Unité	Bassin-versant de l'oued Zeddine
Surface	S	Km ²	1418
Périmètre	P	Km	209
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	177
Largeur du rectangle équivalent	l	Km	9.0
Altitude maximale	Hmax	M	1700
Altitude moyenne	Hmoy	M	648.36
Altitude médiane	Hmed	M	1200
Altitude minimale	Hmin	M	700
Altitude 5%	H _{5%}	M	845
Altitude 95%	H _{95%}	M	1654
Indice de compacité	Kc	/	2.79
Indice de pente globale	Ig	m/km	7.3
Pente moyenne du bassin-versant	Im	%	0.05
Longueur du cours d'eau principal	Lcp	Km	50
Densité de drainage	Dd	Km/ km ²	0.9
Temps de concentration	Tc	Heures	7

Source : Calculé par nos soins

II.5 Présentation du barrage de Beni Bahdel

Le barrage est situé sur le bassin versant de l'oued Tafna , l'emplacement du barrage choisi confluent de l'oued Tafna et de l'oued Khemis , a permis de former une cuvette de dimensions acceptables , moyennant la construction de deux digues latérales complétant le barrage de la vallée de la Tafna à 28 Km au sud ouest de Tlemcen. Il est destiné à l'alimentation en eau potable d'Oran AinTemouchent et Tlemcen, Ainsi qu'à l'irrigation de la plaine de Maghnia. Le volume régularisé est de 48 Hm³ par an. (ANBT)



Figure 2.6 Vue du barrage de Beni Bahdel (ANBT : date de prise : 2014)

- **Coordonnées**

34° 43' 00" nord, 1° 31' 00" ouest

- **Caractéristiques générales**

Les ouvrages essentiels du barrage sont :

- ✓ Un souterrain de 11.400 Km à écoulement libre.
- ✓ Un bassin de compensation à écoulement de 80000 m³

- ✓ Une station de filtration our traiter 110000m³/jour
- ✓ Une conduite en charge de 170Km et de 1.10 m de diamètre
- ✓ Des ouvrages d'art (brise-charge, passerelles de franchissement de talwegs, souterrains pour vaincre les difficultés topographiques.
- ✓ Usines électriques le long du tracé, destinées à turbiner aux meilleurs emplacements les débits transportés. En 1940 le débir à dériver est fixé à 82000 m³/par jour.

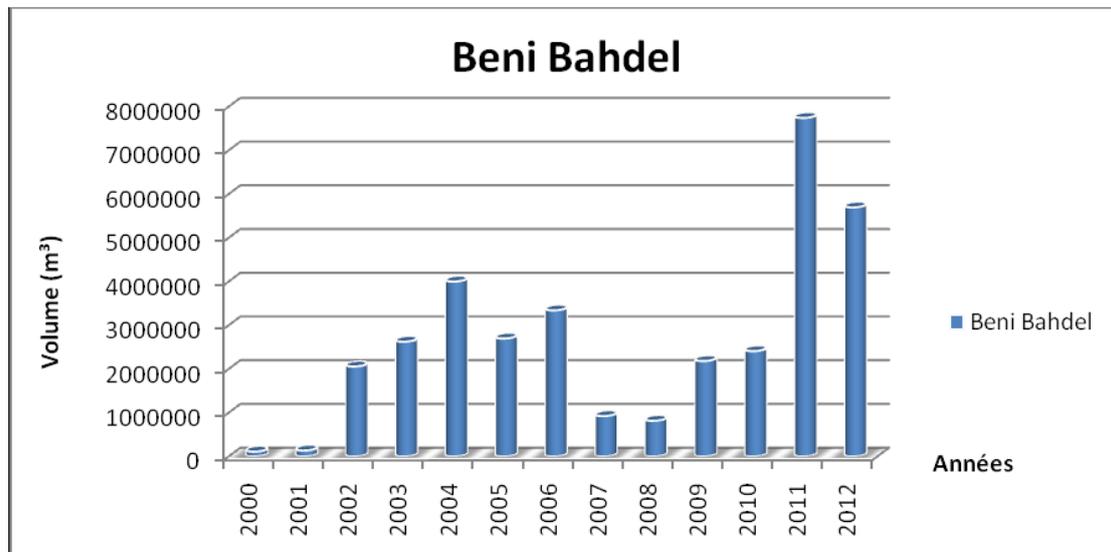
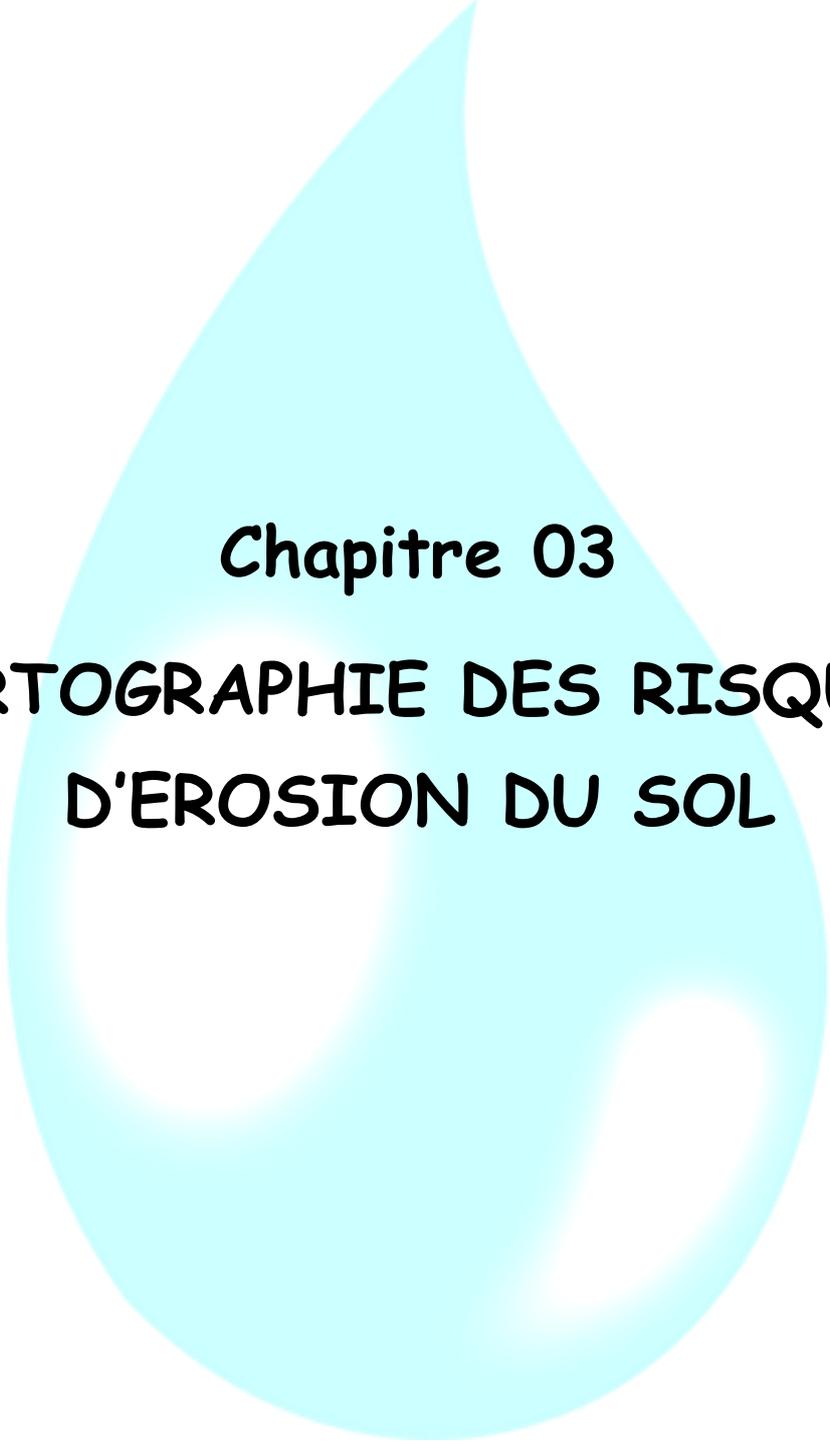


Figure2.8 Volumes produits par le barrage Béni Bahdel (m³)[16]

II.6 Conclusion

A la fin des deux chapitres précédents nous avons donné une vision générale (un bassin versant moyennement dense) sur les notions théoriques qui concernent la cartographie et l'érosion hydrique dans le premier chapitre et sur la présentation de la zone d'étude (un bassin versant moyennement dense) du barrage de Beni Bahdel dans le deuxième ce qui nous permet de faire notre cartographie dans le chapitre suivant. _



Chapitre 03

**CARTOGRAPHIE DES RISQUES
D'EROSION DU SOL**

II.1 Introduction

La cartographie des risques d'érosion des sols se fait selon divers méthodes et en utilisant plusieurs approches dépendamment des conditions existant dans la région à étudier, dans ce chapitre, on développe ces approches selon les conditions de la localité de Beni Bahdel wilaya de Tlemcen.

III.2 Approche Méthodologique

L'approche utilisée pour la cartographie de l'aléa «érosion» est une évaluation qui s'appuie sur la pondération de chaque facteur avant d'effectuer leur superposition. La différence globale entre tous les modèles qualitatifs utilisant l'approche SIG est dans la pondération des différents facteurs. Les facteurs et leurs pondérations sont choisis à partir de plusieurs expériences effectuées dans la région d'étude, permettant ainsi d'établir une méthode commune.

III.3 La pluviométrie

Le bassin versant de Beni Bahdel possède un réseau pluviométrique moyennement dense. Une densité moyenne du réseau hydrographique qui se justifie par l'existence des pentes moyennes et une formation superficielles peu perméable

Les grandes exportations sont liées aux ruissellements exceptionnels qui sont enregistrés en automne ou les conditions optimales du ruissellement sont réunis (pluies abondantes et relativement intenses, sol nu, croute de battance). Ces ruissellements qui gènèrent beaucoup de griffes et de rigoles surtout les sols argileux sont à l'origine de dégradations spectaculaires qui marquent souvent le paysage pour plusieurs années .

Cette présentation des différents facteurs physico-géographiques permet d'émettre les conclusions suivantes: Les facteurs morphométriques sont très favorables à l'écoulement superficiel, les facteurs lithologiques sont favorables à l'infiltration des eaux, la végétation est favorable au ruissellement et par conséquent à l'érosion et au transport solide (*ANTEUR Djamel , IABANI Abderrahmane2012*)

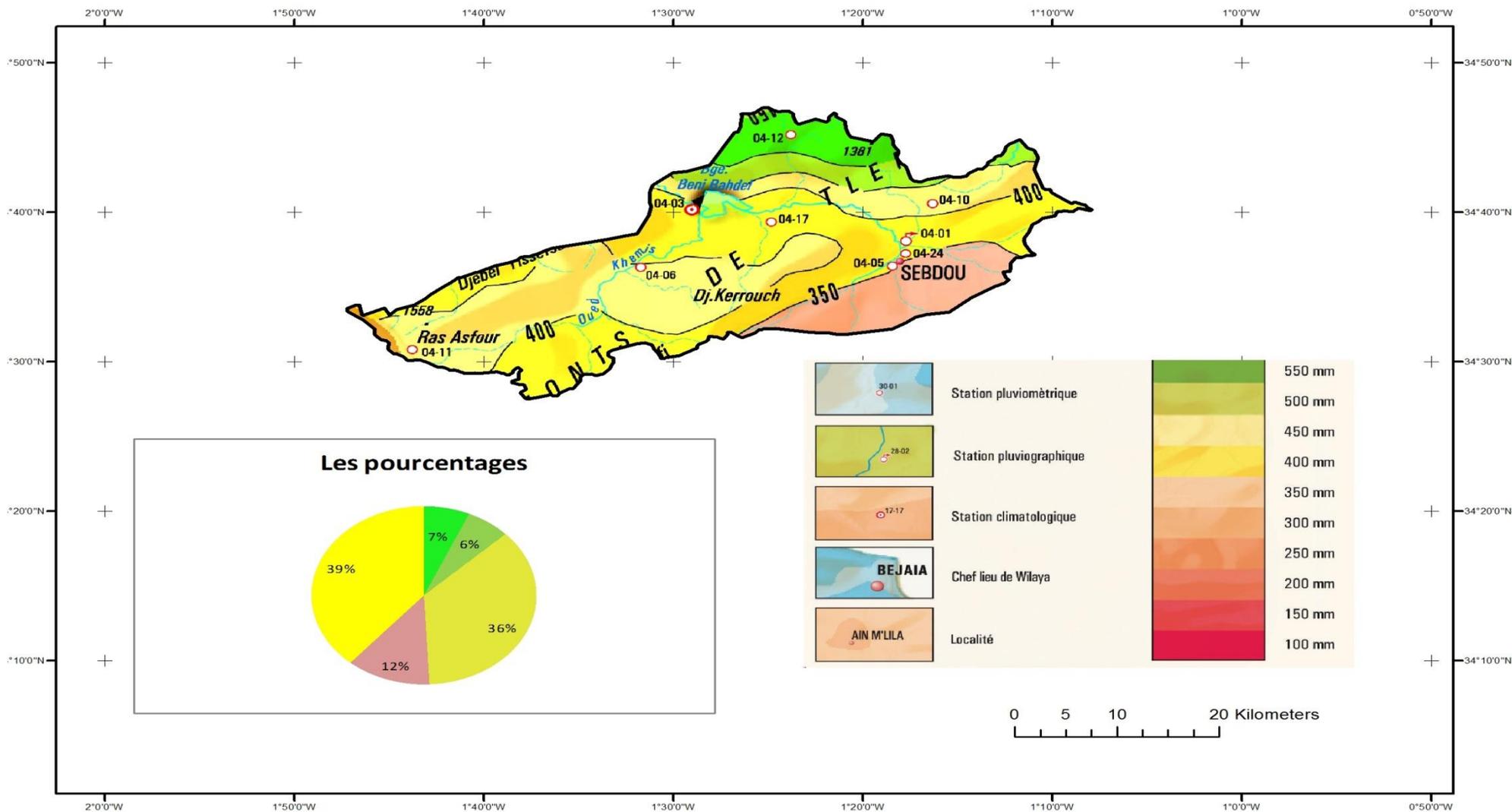


Figure III.1 Carte pluviométrique du bassin versant de Beni Bahdel (extraite de la carte pluviométrique du Nord algérien ANRH)

Dans notre étude on n'a pas pu prendre en considération l'intensité et la fréquence des pluies à cause de manque de données pluviométriques. Dans notre bassin versant de 1418 km², il existe 6 stations pluviométriques dont les données sont incomplètes, pour cela, nous avons utilisé la carte des pluies moyennes annuelles du Nord de l'Algérie réalisée au niveau de l'ANRH à l'échelle : 1/500000 et élaboré sur la base des séries d'observation pluviométriques de la période septembre 1965 à aout 2002 afin de caractériser la pluie dans notre région d'étude. La figure III.1représente la carte pluviométrique du bassin de Beni Bahdel.

III.3.1 Interprétation des résultats selon les précipitations

Dans le bassin versant de Beni Bahdel on dispose de précipitations annuelles qui varient de 200 mm a 500 mm.

Les pluies entre 400 et 450 au milieu de l'Est jusqu'à l'ouest du bassin. Quant à la pluie annuelle de 500à 550 mm se consente dans les zone du nord de bassin (en vert)

Le Sud-est du bassin est caractérisé par des pluies qui varient entre 200 et 350 mm

On répartie l'érosion selon la pluviométrie comme suit :

Tableau III.1 Répartition de la sensibilité à l'érosion selon la pluviométrie

Les précipitations (mm)	Degré d'érosion
>500	Très forte
450÷500	Forte
400÷450	Moyenne
100÷400	Faible
<100	Très faibe

(ANRH)

D'après la carte, la sensibilité à d'érosion dans notre bassin versant selon la pluviométrie est répartie comme suit :

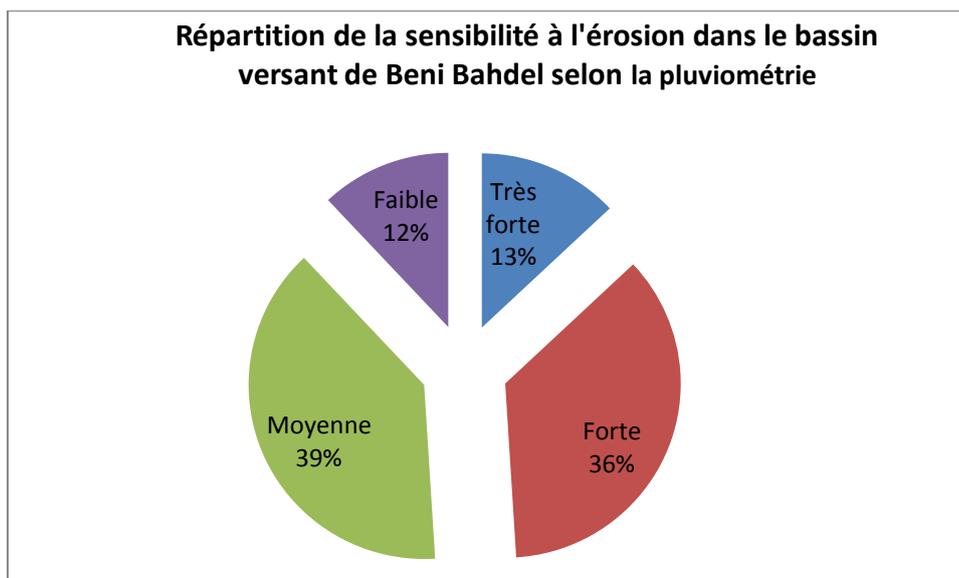


Figure 3.2 Répartition de la sensibilité à l'érosion dans le bassin versant de Beni Bahdel en fonction de la pluviométrie.

III.4 La pente topographique

La carte des pentes générée à partir du modèle numérique d'altitude (MNA), pour chaque classe de pente est assigné un indice variant entre 1 et 4 (tableau.), 1 étant affecté aux pentes faibles (< 5°) et 4 aux pentes fortes (>15°).

- ✓ Première classe de 0-5% correspond à un relief de plaines, aux terrasses alluviales et aux replats structuraux que l'on trouve dans la zone montagneuse ;
- ✓ Deuxième classe de 5-15% représente la zone de piémont, relief de glacis, collines ;
- ✓ Troisième classe de 15-35% correspond à une zone mixte qui regroupe le haut de piémont et les montagnes ;
- ✓ Quatrième classe supérieure à 35% représente un relief moyennement accidenté à accidenté et les escarpements rocheux.

Tableau 3.3 Classes de pente et indices attribués selon Roose, 1977

Pentes	Indices
>35%	4
15-35%	3
5-15%	2
0-5%	1

Figure III.2 carte des pentes du sous bassin versant de Beni Bahde

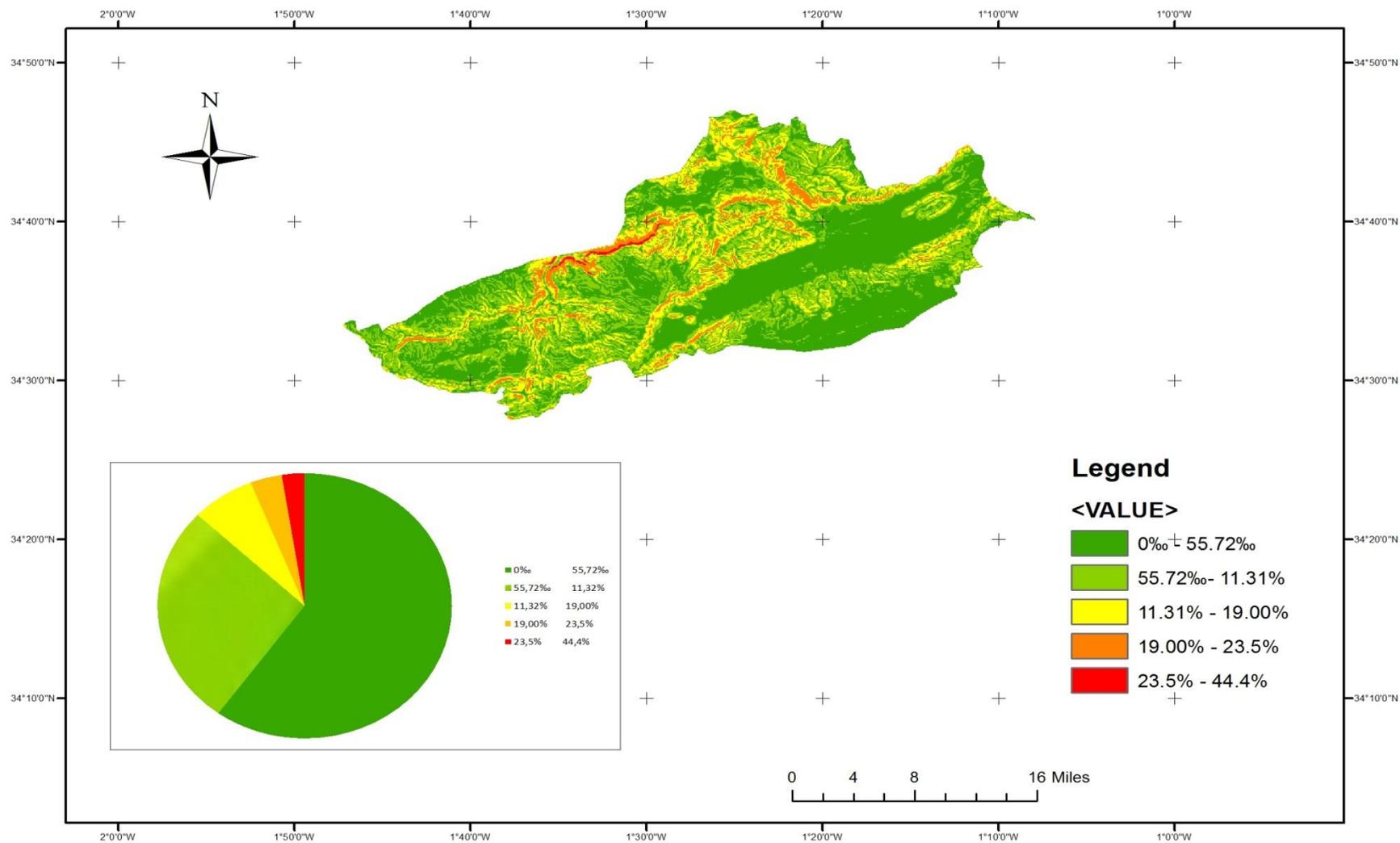


Figure III.2 Cartes des pentes du bassin versant de Beni Bahdel

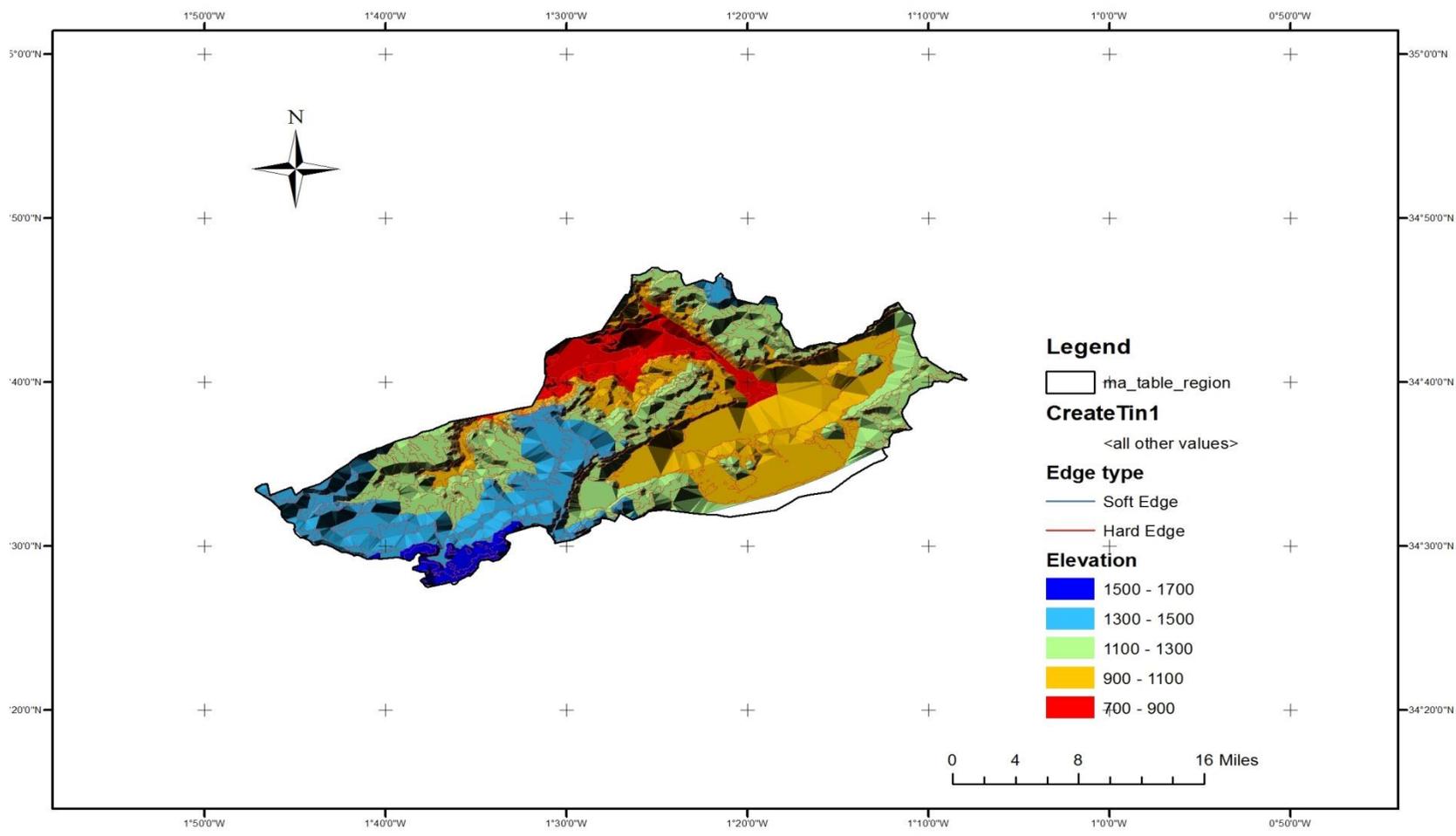


Figure III.3 Carte d'MNT du bassin versant de Beni Bahdel

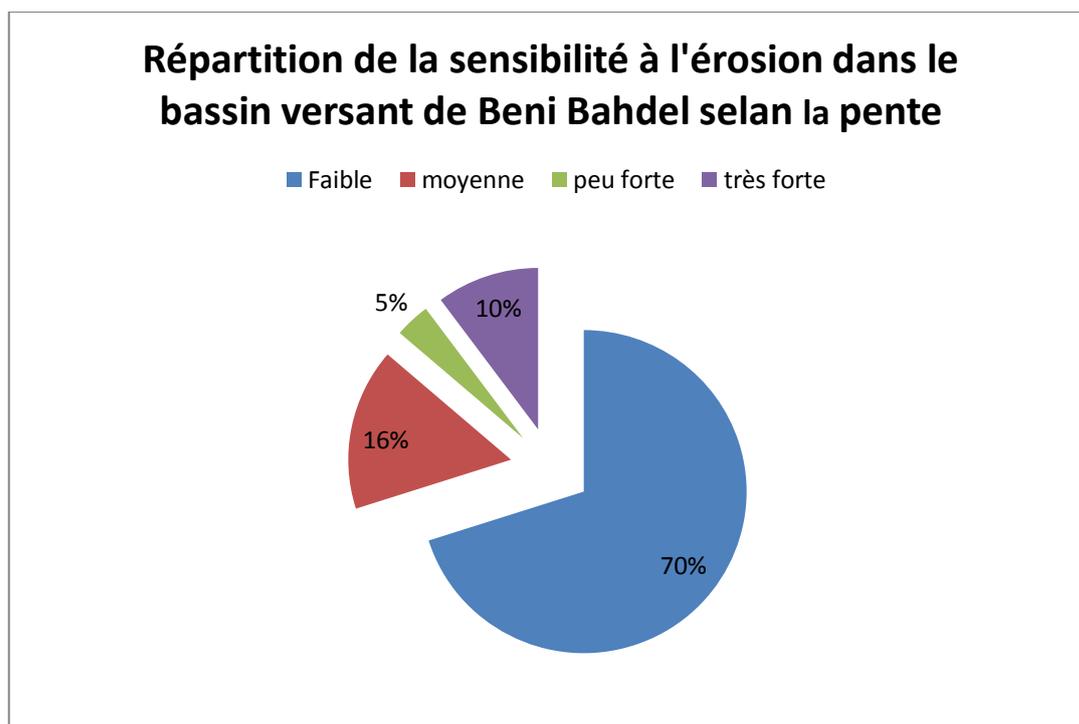
III.4.1 Interprétation des résultats selon la pente

On répartie la sensibilité à l'érosion selon la pente en prenant en considération l'indice de Roose comme suit :

Tableau3.4 Répartition de la sensibilité à l'érosion selon la pentes

Indices	Type d'érosion
4	forte
3	peu forte
2	moyenne
1	Faible

D'après la carte, la répartition de la sensibilité à l'érosion dans notre bassin versant selon la pente est comme suit :



III.5 L'occupation du sol

Le facteur sol le plus important est la résistance (stabilité) des agrégats à l'impact des gouttes de pluie. Cette résistance ou cette stabilité est influencée positivement par la présence d'agents liants tels que les argiles, la matière organique et le calcium. Ainsi, les sols de texture limoneuse sont généralement plus sensibles que les sols argileux à cause de leur faible stabilité structurale. Au niveau de la stabilité des agrégats, la matière organique est un des facteurs les plus importants. La grosseur des

agrégats ou des particules de sol joue un rôle primordial. Plus ils sont gros, plus ils sont difficiles à briser et plus ils sont difficiles à transporter. La porosité du sol influence indirectement le potentiel d'érosion des sols. Une plus grande porosité favorise une plus grande infiltration et un volume de ruissellement moindre, ce qui diminue les possibilités d'érosion. Lorsque le sol possède une plus grande capacité de stockage de la pluie, cela diminue le volume de ruissellement et l'érosion. Cette capacité est favorisée par une plus grande épaisseur de la couche arable, une teneur en eau faible avant la précipitation et la capacité intrinsèque de stockage du sol.

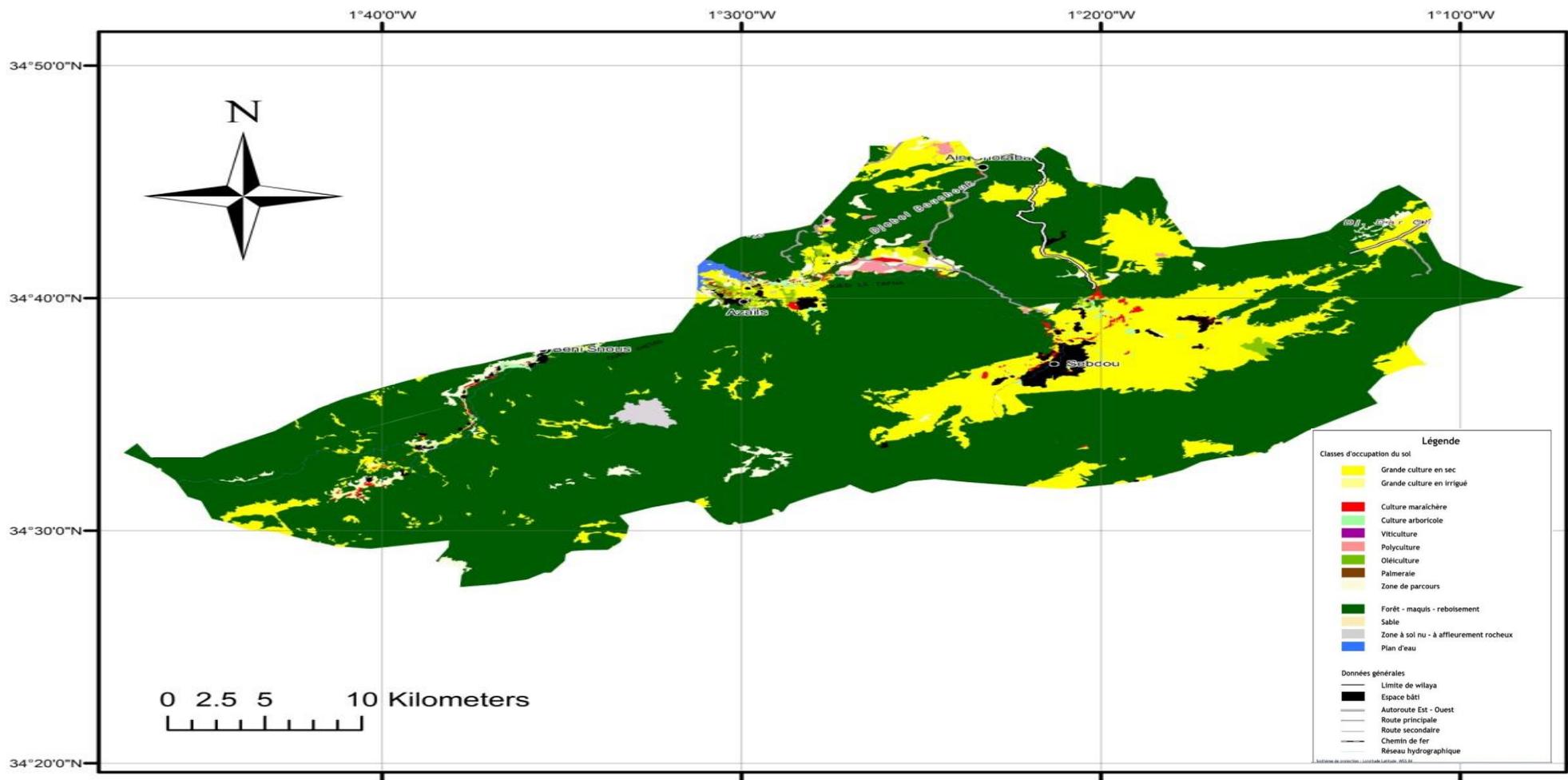


Figure III.4 Carte d'occupation du sol du bassin versant de Beni Bahdel

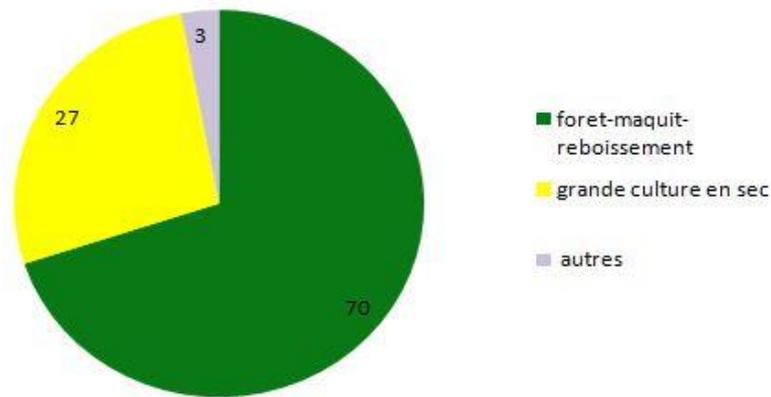


Figure III.5 Pourcentages des occupation du sol dans le bassin de Beni Bahdel selon la carte

III.5.1 Interprétation des résultats selon le facteur de l'occupation du sol

La majorité de la surface de notre sous bassin versant est couvert par des forêts et des reboisements qui sont protecteur contre l'érosion hydrique.

Les cultures en sec se trouvent spécialement à l'Est de notre bassin versant qui sont moyennement protectrices contre l'érosion hydrique.

On répartie la sensibilité à l'érosion selon l'occupation du sol comme suit :

Tableau III.4 Répartition de la sensibilité à l'érosion en fonction de l'occupation du sol.

Occupation du sol	Degré d'érosion
Zone à végétation élevée	très faible
Zone à végétation moyenne	Faible
Zone à faible végétation	Moyenne
Zone sableuse	Forte

D'après la carte, la répartition de la sensibilité à l'érosion dans notre bassin versant selon l'occupation du sol est comme suit :

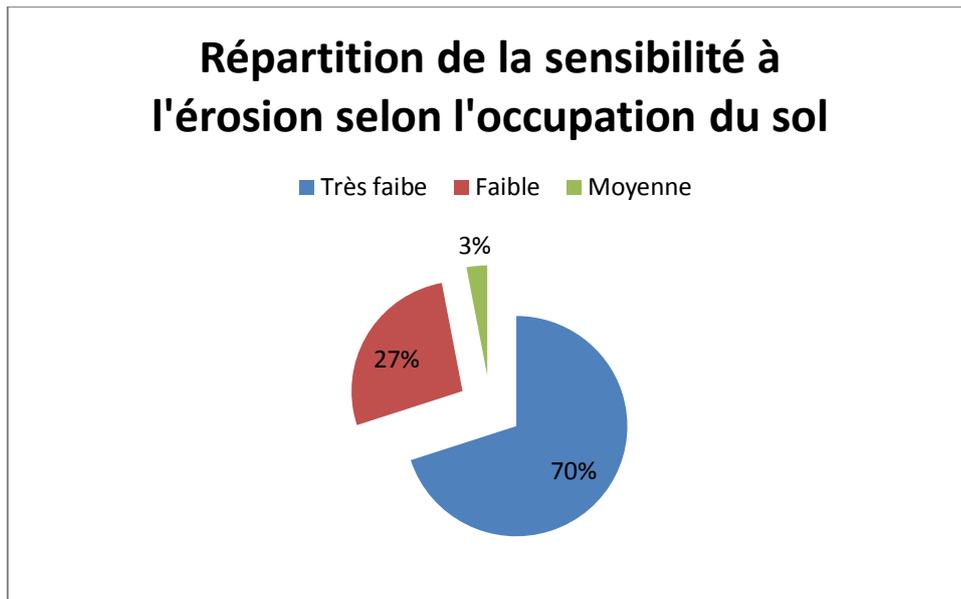


Figure 3.5 Répartition de la sensibilité à l'érosion dans le bassin versant de Beni Bahdel en fonction de l'occupation du sol.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre on a réalisé une cartographie du bassin versant de Beni Bahdel selon les facteurs d'érosions (la pluviométrie, l'occupation du sol et l'inclinaison des pentes) en utilisant le logiciel ArcGis ; l'étude est mono factorielle ce qui signifie que les pourcentages d'érosions ont été calculés pour chacun des paramètres.

Conclusion générales

Dans ce mémoire, nous avons fait une recherche bibliographique à propos du phénomène de l'érosion dans le monde en générale et en Algérie précisément, ensuite nous avons procédé à une approche cartographique pour quantifier l'érosion et pour déterminer ses principaux facteurs afin de prévenir l'envasement du Barrage de Beni Bahdel Wilaya de Tlemcen à l'Ouest .

Même si les résultats observés sur petites parcelles sont critiquables quant à leur valeur absolue ,du fait de l'isolement du dispositif du reste de la toposéquence, ils ont le mérite de bien mettre en relief l'importance relative des causes et des facteurs de l'érosion.

Pour lutter contre ce phénomène, les moyens d'intervention devront:

1. augmenter la stabilité et la résistance des agrégats;
2. absorber l'énergie de la pluie;
3. réduire le ruissellement en augmentant l'infiltration;
4. imiter ou ralentir les vitesses d'écoulement.

Les sols étant la base de la productivité agricole, il importe de les protéger au niveau du champ par des régies adéquates de cultures et du sol, des pratiques culturales et des méthodes de conservation. La protection contre le ravinement réside dans le maintien de bonnes voies d'eau enherbées naturelles ou construites.

Références bibliographiques

Anteur Djamel, Labani Abderrahmane, Khalladi, Gliz Mohamed 2010 ;
« Contribution à l'évaluation et à la cartographie de la sensibilité à l'érosion
hydrique des sols du sous bassin versant de L'oued de Saida Ouest de
l'Algérie » Article .

BERDANE Khayra 2012 ; « Etude de protection de la ville d'El Bayadh
contre les inondations » ;Article.

**BISSONNAIS Yves, THORETTE Jacques, BARDET Cécile, Joël
DAROUSSIN 2010**; « L'érosion hydrique des sols en France » ; page 10.

Furon R. 1948 ; « Les problèmes de l'érosion du sol » ;Revue internationale
de botanique appliquée et d'agriculture.

ROOSE E., LELONG F ; « Géographie physique et de géologie dynamique
les facteurs de l'érosion en Afrique » ; Revue.

TOUAIBIA Bénina 2004 ; « Manuel pratique d'Hydrologie » ; livre ; Page
12, 131-135, 142-145

TOUAIBIA Bénina 2012 ;« Problématique de l'érosion et du transport solide
en Algérie septentrionale » ; Article

SOLTANI Wafaa 2013 ;« Gestion des ressources en eau dans le groupement
urbain de Tlemcen » ; mémoire de fin d'études ; Page 13.

Les sites :

- <http://www.planetoscope.com/sols/623-erosion-des-sols-dans-le-monde.html>
- <http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/hydro/erosion/images-1/carte2.jpg>
- <http://unt.unice.fr/uoh/degsoil/facteurs-erosion.php#topographie>
- <http://unt.unice.fr/uoh/degsoil/consequences-erosion.php>
- www.weatherbase.com
- <http://www.universalis.fr/encyclopedie/hydrographie/2-les-reseaux-hydrographiques-et-le-probleme-des-traces/>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Beni_Bahdel