

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 vulnérabilité a l'érosion hydrique du bassin versant
du barrage de Boughrara (w. Tlemcen) .**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0025-17

APA Citation (توثيق APA):

**Gataa, Nabila (2017). Etude de vulnérabilité a l'érosion hydrique du bassin versant du
barrage de Boughrara (w. Tlemcen)[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Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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، 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.



Département Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : Alimentation en eau potable

THEME :

L'étude de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin versant du barrage de Boughrara (W.Tlemcen).

Présenté par :

M^{elle} : GATAÂ nabila

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^{me} Meddi Hind	M.C.A	Présidente
M ^r Ammari Abdelhadi	M.C.B	Examineur
M ^r Boufkane Abdelmadjid	M.A.A	Examinatrice
M ^{eme} Houli Samia	M.A.A	Examinatrice
M ^r Berbache Sabah	M.A.A	Promotrice

Mars 2017

Remerciements

Avant de présenter mon projet de fin d'étude, je tiens à remercier ALLAH qui m'a donné la force, la volonté et le courage pour arriver jusque-là.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à ma promotrice Mme S. Berbache, pour son encadrement, sa disponibilité et ses conseils fructueux qu'il m'a prodigués le long de mon projet. Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, sans oublier tout le personnel de l'ENSH.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou loin à l'élaboration de ce travail.

Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.

GATAÂ NABILA

dédicaces

A mes très chers parents

Dont leurs mérites, leurs sacrifices, leurs qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour :

Les mots me manquent pour exprimer toute la reconnaissance, la fierté et le profond amour que je vous porte pour les sacrifices qu'ils ont consenti pour ma réussite, qu'ils trouvent ici le témoignage de mon attachement, ma reconnaissance, gratitude et respect, que dieu leur préservent bonne santé et longue vie. Tous mes sentiments de reconnaissance pour vous.

A mon frère YOUCEF et a ma chère soeur FATIMA

J'espère atteint le seuil de vos espérances. Que ce travail soit l'expression de ma profonde affection Je vous remercie pour le soutien moral et l'encouragement que vous m'avez accordés. Je vous souhaite tout le bonheur que vous méritez En leur souhaitant un brillant avenir.

A toute ma famille

Que je ne pourrais nommer de peur d'en oublier mon attachement et mes affections les plus sincères

A mes amis: Rokia, Somia, Merzaka, Khedidja,

A Et à tous ceux qui ont su m'apporter aide et soutien aux moments propices, Je dédie ce travail, reconnaissant et remerciant chaleureusement.

Gataâ Nabila

ملخص

الحث هو نتيجة للعوامل الخارجية، والتي تتسبب في تدهور التربة، جميع أنواع التربة طبيعيا هي خاضعة للحث، نتيجة لمزيج من العديد من العوامل الدائمة (كل ما له صلة بالتربة او الطوبوغرافيا) والعوامل القابلة للتطور أو ذات طبيعة عشوائية (مثل الأمطار) في مراحل مختلفة من عملية التآكل .

والهدف من هذا العمل هو إنتاج خريطة حساسية التربة من التعرض للتآكل من خلال دمج البيانات الميدانية، والخرائط الموضوعية المختلفة وصور الأقمار الصناعية من خلال برنامج SIG. بحيث أن نطاق حيز خطر التآكل سوف يتم على نطاق الحوض المائي لسد حمام بوغرارة.

كلمات البحث: سد حمام بوغرارة، الجزائر، وتآكل المياه، ضعف التربة ونظم المعلومات الجغرافية.

Résumé

L'érosion est le résultat des actions externes qui provoquent la dégradation du sol, tous les sols sont naturellement soumis à l'érosion, elle résulte de la conjonction de nombreux facteurs permanents (comme ceux liés au sol ou à la topographie), qui évoluent ou présentent un caractère aléatoire (comme les précipitations) et interviennent à différents niveaux dans les processus d'érosion.

Le but du travail est de produire une carte de la vulnérabilité du sol à l'érosion en intégrant des données de terrain, des cartes thématiques différentes et des images satellites à travers une solution SIG. Cette spatialisation de l'aléa d'érosion est mise en œuvre sur le bassin versant du barrage de Hammam Boughrara .

Mots clés : Barrage de Hammam Boughrara, Algérie, Erosion hydrique, vulnérabilité du sol, SIG.

Abstract

Erosion is the result of external actions that cause soil degradation, all soils are naturally subject to erosion, resulting from the conjunction of many permanent factors linked to soil and topography), which are variable or random such as precipitation and occur at different levels in erosion processes.

The aim of the work is to produce a map of soil vulnerability to erosion by integrating field data, different thematic maps and satellite images through a GIS solution. This spatialization of the erosion hazard is implemented on the watershed of the Hammam Boughrara dam.

Key words: Hammam Boughrara dam, Algeria, Water erosion, soil vulnerability, GIS.

SOMMAIRE

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

Chapitre I:Analyse bibliographique

Introduction.....	4
I.1 Le bassin versant	4
I.1.1 Conception générale.....	4
I.1.2 Caractéristiques physiographiques d'un bassin versant	4
a) Les sommets	4
b) Les flancs	4
b) Les ravines	4
I.1.3 Les types de pentes d'un bassin versant	6
a)Pente orographique	6
b)Pente topographique	6
c)Pente hydrographique	6
d)Pente stratigraphique	6
I.1.4 Le sol	6
I.1.5 Dégradation des sols dans un bassin versant	6
I.1.6 Causes fondamentales de la dégradation des sols dans un bassin versant.. ...	7
I.1.6 Conséquence de la dégradation des bassins versants.....	7
I.1.7 Le risque.....	7
I.2 Erosion des sols	7
I.2.1 Définition de l'érosion hydrique	8
I.2.2 Origine et mécanismes de l'érosion.....	8
I.2.3 Différentes formes d'érosion.....	8
a)Erosion en nappe (sheet erosion) ou érosion diffuse... ..	8
b)Erosion linéaire (micro-channel ou Rill erosion).....	9
c)Erosion par éboulement.....	10
I.3 L'érosion des sols en Algérie	11
I.4 Les solutions tentes pour la maîtrise de l'érosion en Algérie	11
I.4.2 la DRS et la rénovation rurale.....	12
I.4.3 une stratégie alternative testée :l'agriculture de montagne.....	13
I.4.4 la maîtrise de l'espace.....	13
a) La montagne "Réservoir hydraulique"	14
b) La montagne "espace de vie".....	14
I.5 Les facteurs de l'érosion	14
I.5.1 Intensité des précipitations ou érosivité des pluies.....	15
I.5.2L'érosion par couvert végétale	15
I.5.3 Erodibilité des sols	15
I.5.4 L'érosion par La topographie	16
I.5.5 Facteur d'aménagement.....	16
I.5.6 les facteurs anthropiques.....	17

I.6 Efforts de la lutte contre l'érosion.....	17
I.7 les moyens de lutte contre l'érosion des sols.....	17
I.7.1 Les techniques culturales.....	18
a) Augmenter la capacité d'infiltration et de stockage à la surface du sol.....	19
b) Consolider le sol.....	19
c) Amélioration de la structure du sol.....	19
I.7.2 Les aménagements hydrauliques.....	20
I.8 Conséquences de l'érosion des sols.....	20
I.9 Envasement des barrages	21
I.9.1 Répercussions sur l'agriculture.....	22
I.9.2 Méthodes utilisées dans le Maghreb pour réduire l'envasement des barrages	23
.....	
I.9.3 Envasement moyen annuel des retenes de barrages dans les payes du Maghreb	23
I.9.4 Moyens de lutte contre l'envasement utilisées en Algérie	25
I.9.4 Désenvaser coute cher	26
Conclusion.....	27

Chapitre II: Etude cartographique

Introduction.....	28
II.1 Un système d'Information S.I.G	28
II.1.1 Un système d'Information S.I	28
II.1.2 Un système d'Information I.G	28
II.2 Fonctionnalités d'un S.I.G.....	29
II.3 Les données d'un système d'information géographique.....	29
II.3.1 données spatiales ou objet géographique.....	29
a) Le format raster	29
b) Le format vectoriel	29
II.3.2 Données attributaires.....	30
II.4 Les composantes du S.I.G.....	30
II.5 Utilisations des SIG pour la cartographie du risque d'érosion.....	31
Conclusion.....	31

Chapitre III: Zone d'étude

Introduction.....	31
III.1 Le réseau hydrographique	31
III.2 Aperçue sur le barrage de Boughrara	32
III.3 Situation et géographie et administrative	34
III.4 Situation Topographique	35
II.4.1 Carte des altitudes	35

II 4.2 Carte des pentes	38
III.5 Situation climatique.....	40
III.5.1 Les précipitation.....	40
III.6 Situation géomorphologique.....	41
III.7 L'occupation du sol.....	43
III.8 Mode de travail.....	44
III.8.1 Interprétation des resultat.....	46
Conclusion	48
Conclusion générale	49

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I:Analyse bibliographique

Tableau I.1: Effet de la pente sur le ruissellement et l'érosion selon (Roose,1994)...	16
Tableau I.2 : Méthodes utilisées pour la réduction de l'envasement des retenues de barrages.	24

Chapitre III: Zone d'étude

Tableau III.1 : Classes d'altitudes et leurs surfaces.....	38
Tableau III.2 : Classification de vulnérabilité à l'érosion hydrique en fonction de la pente.....	38
Tableau III.3 : Classification de vulnérabilité à l'érosion hydrique en fonction de les précipitations moyenne annuelle.	41

LISTE DES FIGURES

Chapitre I:Analyse bibliographique

Figure I.1 : érosion en nappe tirée par (Gourfi, 2014).....	9
Figure I.2 : érosion linéaire tirée par (Goufri , 2014).....	10
Figure I.3 : Shéma d'éboulement par masse tirée par (Goufri , 2014).....	10
Figure I.4 : moyens à mettre en œuvre contre l'érosion (Derancourt1995).....	18
Figure I.5 : les différentes zones d'un BV et les types de dégâts tirée par(Papy et Douyer, 1991) cité par(Yvio, 2010).....	21

Chapitre III: Zone d'étude

Figure III.1 : Réseau hydrographique de la Tafna.tiré par (Bounnani,2006)	32
Figure III.2 : Barrage de Hammam Boughrara.....	33
Figure III. 3 : carte de situation de la zone d'étude.....	34
Figure III. 4 : carte de MNT de la zone d'étude.....	36
Figure III. 5 : carte hypsométriques de la zone d'étude.....	37
Figure III. 6 : Courbe hypsométrique.....	38
Figure III. 7 : carte des pentes.....	39
Figure III.8 : Carte des précipitations annuelles.....	40
Figure III. 9 : Carte litho-stratigraphique de la région.....	42
Figure III.10 : Carte d'occupation de sol de la région.....	43
Figure III.11 : Carte de vulnérabilité d'érosion hydrique du bassin versant la Tafna....	45

Nomenclature :

ANBT : Agence Nationale des Barrages et des Transferts

Srtm : Shuttle Radar Topographie Mission

DEM : digital élévation model

MNT : Modèle Numérique du Terrain.

INSID : l'institut national des sols, de l'irrigation et du drainage

csi.cgiar : Consultative Group International Research-Consortium Spatial Information

SIG : système d'information géographique

FAO : l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

Introduction générale

Introduction :

L'érosion du sol reste encore le plus grand problème de l'environnement du monde, menaçant non seulement les pays développés, mais encore plus les pays en développement. 65% des sols sur la terre sont confrontés aux phénomènes de dégradation parmi lesquels l'érosion et la désertification. En Europe, 12% des sols sont en cours d'être menacés par l'érosion hydrique, et 4% par l'érosion du vent. Elle existe également sur 95 millions d'ha de terres en Amérique du Nord et 500 millions d'ha en Afrique (Xinhua, 2002) tirée par (Touihri, 2013).

L'érosion des sols par la pluie et le ruissellement est un phénomène largement répandu dans les différents pays méditerranéens qui continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes à cause de la nature torrentielle des pluies, de la forte vulnérabilité du terrain (roches tendres, sols fragiles, pentes raides et couvert végétal souvent dégradé) (Bou-Kheir et al., 2001).

En Algérie, le problème de la dégradation de l'eau et du sol demeure une préoccupation majeure. Parmi les principales causes, il convient de citer l'érosion et la désertification (Heddadj, 1997).

L'érosion hydrique est un phénomène bien connu en Algérie, mais de nos jours, elle prend de plus en plus de l'ampleur. Elle reste une préoccupation majeure. L'érosion a déjà érodé environ 45% des terres fertiles en Algérie (Mate, 2000). Avec une érosion spécifique annuelle moyenne variant entre 2 000 et 4 000 t/km² (Demmak, 1982).

Les pertes annuelles des eaux dans les barrages sont estimées environ 20 millions de m³ dues à l'envasement (Remini, 2000). Principalement dans les montagnes où se concentre plus de 8 millions d'habitants (Taabni, 1998).

Le phénomène de l'envasement des barrages, de par la situation géographique du pays (zone semi-aride), constitue un enjeu d'envergure nationale.

En effet, le phénomène de l'envasement touche les pays du Maghreb, mais plus particulièrement l'Algérie et s'est accéléré à partir des années 2000 (particulièrement à partir de 2003). Les retombées sont directes et graves et sur l'économie nationale et sur le développement de la société tout entière.

Selon une récente étude basée sur des séries statistiques comportant les données de 57 grands barrages, l'Algérie perd par envasement 45 à 50 millions de m³ chaque année. Nos

barrages se transforment de plus en plus en réceptacles de vase que d'eau. Du coup, la déféctuosité des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP), ne constitue plus la principale cause de déperdition des eaux de consommation. Au-delà de ce taux de fuite des eaux, dû à la mauvaise étanchéité des réseaux, la déperdition à la suite de l'envasement se situe dans une tout autre «méga-échelle» de considération (Abdelli et Zaggane, 2007).

Au niveau des versants du nord ouest algérien où l'érosion prend naissance et les pointes de crue se forment, les connaissances sont encore insuffisantes sur l'érodabilité des milieux et son évolution sur les versants et surtout sur les facteurs causals, beaucoup d'efforts restent à accomplir pour comprendre et appréhender les processus érosifs. Les problèmes déterminants de l'érosion sont multiples, beaucoup de choses restent inconnues (Achite, M ,2006) On estime à plus de 20 millions d'hectares de terres touchées par l'érosion particulièrement dans les zones où sont implantés plus de 90% des ouvrages hydrauliques où vivent environ 20 millions d'habitants (Mazour, 1992).

Dans les monts de Tlemcen qui font partie du nord ouest Algérien, l'érosion est très active. Les conditions naturelles (climat, relief, sol et couverture végétale) et la pression humaine accélèrent de plus en plus l'érosion. Et particulièrement le bassin versant du barrage de hammam boughrara est l'espace où se déroule notre étude. Objet de l'étude en question n'est pas fortuit, parce que La fragilité d'un tel milieu, l'ampleur du phénomène de déperdition des sols et des ressources naturelles, l'envasement des retenus, la détérioration des conditions socioéconomiques des populations sont autant d'éléments qui devraient constituer les préoccupations majeures pour la protection et la valorisation de cet espace.

Dans ce contexte, la présente étude a pour objet la réalisation d'une carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique sur le bassin versant du barrage du Hammam Boughrara (Nord-Ouest de l'Algérie). Utilisons les techniques de Système d'Information Géographique (SIG) qui représente un ensemble organisé de matériels informatiques, de logiciels, de données géographiques et de personnel capable de saisir, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes formes d'informations géographiquement référencées.

Pour bien appréhender les objectifs à travers cette étude, nous avons adoptée les parties suivantes :

-Une première partie contenant des revues de littérature tous ce qui est en relation avec l'érosion et plus précisément l'érosion hydrique , commençant par une représentation générale sur les caractéristiques d'un bassin versant , passant au cœur de sujet l'érosion hydrique

(origine, forme, conséquence..) , l'envasement des barrages et leur répercussion sur l'agriculture parce que la zone est de caractère agricole du 1^{er} ordre.

-la deuxième partie se base sur une explication détaillée sur les SIG pour mieux comprendre le mode de fonctionnement de ce type de logiciel info-géographique.

-la troisième partie, C'est la partie de la cartographie de la zone d'étude qui consiste a la collecte des données nécessaires pour avoir une bonne connaissance sur la zone d'étude, puis de les traitées par un SIG pour élaborer la carte de vulnérabilité d'érosion hydrique du notre bassin.

Chapitre I :
Analyse
bibliographique

Introduction

L'analyse bibliographique est un chapitre extrêmement important qui portera sur la description générale des clés de compréhension du traitement du n'importe quelle sujet d'étude dans un cadre de littérature scientifique. Ceci implique de faire la synthèse d'un documentaire qui se base principalement sur un bilan d'autres expériences de recherches documentaires. Le traitement de ces revues permet d'élaborer une étude sur des bases solides.

I.1 Le bassin versant

I.1.1 Conception générale

C'est une zone topographiquement délimitée, drainée par un réseau fluvial. Il correspond à la superficie totale des terres drainées en un point donné d'un fleuve ou d'une rivière. Il s'agit enfin d'une entité hydrologique qui a été décrite et utilisée comme politique en vue de la planification et de la gestion des ressources naturelles (Sheng, 1993 cité par Ulysse, 2001).

Autrement dit, c'est un espace composé par toutes les ressources naturelles (eau, sol, forêt, cultures, faune, minéraux, etc.) où généralement se produisent des interactions avec l'intervention de l'homme. Il constitue une unité de planification dans laquelle on peut agir sur toutes les ressources naturelles depuis les lignes de crêtes (ou limite naturelle de partage des eaux) jusqu'aux points les plus bas tout en conservant l'équilibre écologique (Seminario, 2007 cité par Ulysse, 2008).

I.1.2 Caractéristiques physiographiques d'un bassin versant

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Tout bassin versant comporte quatre formes fondamentales de terrain. Ce sont les sommets, les flancs, les ravines et les zones de déposition (Gil, 1996 cité par Joseph, 2003).

a) **Les sommets** : Occupant les portions supérieures du bassin versant, ils consistent en des surfaces planes ou légèrement convexes, le plus souvent allongées, parfois étroites, situées de part et d'autres de la ligne de partage des eaux. De faible pente, 0-1%, elles ne sont pas sujettes à l'érosion (Gil, 1996 cité par Joseph, 2003).

b) **Les flancs** : Les flancs font suite aux sommets. Ils sont caractérisés par des pentes moyennes à fortes et par des ruissellements intenses pouvant provoquer l'érosion de la surface du sol si celle-ci n'est pas bien aménagée. Le flanc de morne proprement dit est caractérisé par une pente le plus souvent rectiligne. A ce niveau, le ruissellement est très intense et l'érosion se fait très souvent par éboulement. Ces portions de terrain réclament

grandement l'implantation des structures de mise en défens (Gil, 1996 cité par Joseph, 2003).

c) **Les ravines** : On considère comme ravines, toute rigole ayant une profondeur minimale de 20 cm et servant fréquemment d'exutoire naturel aux eaux de ruissellement évacuées par les versants (Sogetha, 1974 cité par Alce, 1999).

Les grosses ravines sont celles qui sont, longues de quelques km, profondes de plusieurs mètres (>4.50 d'après l'échelle américaine) généralement encombrées d'alluvions grossières, peu colonisées par la végétation et dont la correction nécessite des structures mécaniques (Lin et Koohafkan, 1987 cité par Alce, 1999).

Les petites et moyennes ravines sont, au contraire, celles qui sont longues de quelques centaines de mètres, profondes de moins de 4.50 m généralement encombrées d'alluvions fines, colonisées par la végétation ligneuse sur certains tronçons et dont la correction peut être effectuée avec du matériel biologique (Lin et Koohafkan, 1987 cité par Alce, 1999).

- **Les zones de déposition** : Partie d'un terrain ayant des pentes très faibles sur lesquelles les eaux des crues perdent leur vitesse et une partie de leur capacité de charriage. Elles comprennent les terrains où les matériaux arrachés des sommets et des flancs viennent se déposer. Elles sont représentées par : le piémont, la vallée, les cônes de déjection, la plaine colluvio-alluviale et la plaine alluviale (Gil, 1996 cité par Joseph, 2003).
- **Le piémont**: Caractérisé par une pente uniforme moyenne à faible et assez souvent constitué par des matériaux grossiers, il est formé au contact des flancs de montagne avec la plaine . (Ulysse, 2008).
- **La vallée** :Plaine allongée, bornée par des montagnes . (Ulysse, 2008).
- **Les cônes de déjection** : C'est le lieu où la ravine débouche dans la vallée principale et où elle finit son cours. Ayant la forme d'éventail et une pente d'environ 5% en général, ils contiennent des matériaux grossiers qui sont brusquement déposés à cause de la variation forte de la pente . (Ulysse, 2008).
- **La plaine colluvio-alluviale** : Lieu d'accumulation du mélange de matériaux grossiers et fins, la pente y est toujours très faible. Elle est formée principalement de matériaux arrachés des versants et déposés en terrasse qui, suivant une coupe pédologique, est caractérisée par une alternance de matériaux grossiers et fins. Des dépôts limono argileux et argileux se retrouvent dans les parties basses précisément le long de la rivière. (Ulysse, 2008).

- **La plaine alluviale** : Elle est appelée encore lit majeur d'un cours d'eau. C'est une surface topographique, à faible dénivelée, en fond de vallée. La plaine alluviale appartient à la zone inondable du cours d'eau. Elle diffère de la plaine colluvio-alluviale par la prédominance de matériaux fins, a pente y est toujours faible. (Ulysse, 2008).

I.1.3 Les types de pentes d'un bassin versant

Selon (Ulysse, 2001), on peut distinguer 4 types de pentes:

- a) **Pente orographique** : La pente orographique caractérise le relief. Elle favorise l'élévation des masses d'air en mouvement au dessus des reliefs et provoque la condensation de l'humidité qu'elles contiennent.
- b) **Pente topographique** : C'est la pente qui influence l'écoulement superficiel des eaux (ruissellement de surface et écoulement hypodermique). Elle accélère le ruissellement sur les versants et détermine en partie le temps de réponse du cours d'eau aux impulsions pluviométriques.
- c) **Pente hydrographique** : La pente hydrographique, ou profil en long du cours d'eau, peut-être déterminée sur la carte ou mesurée sur le terrain par un nivellement de précision.
- d) **Pente stratigraphique** : Elle contrôle le chemin des eaux infiltrées qui alimentent les aquifères. Elle détermine aussi la direction de l'écoulement des eaux souterraines.

I.1.4 Le sol

Le sol a de nombreuses définitions dépendant de son domaine d'application. Cependant on retiendra ici, la définition sur le point de vue pédologique. En pédologie, le sol est un matériau non consolidé se trouvant à la surface de la terre et qui est soumis ou a été influencé par des facteurs génétiques ou environnementaux : le matériel parental, les organismes vivants, la topographie, le climat, et le temps qui agissent ensemble pour produire ce sol qui lui-même diffère du matériau originel, sur le plan physique, chimique, biologique, et morphologique (Mahilum, 2004).

I.1.5 Dégradation des sols dans un bassin versant

La dégradation des sols dans un bassin versant se définit comme étant l'épuisement de la capacité de production de la couche arable. Cette baisse de productivité résulte des modifications des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol ainsi que d'une perte de sol, de la matière organique et de minéraux (Gosselin *et al.* , 1986).

1.1.6 Causes fondamentales de la dégradation des sols dans un bassin versant

Selon (Ulysse, 2008), les causes fondamentales de la dégradation des sols dans un bassin versant par ordre d'importance, sont :

- Le déboisement anarchique.
- L'agriculture
- Le surpâturage.

1.1.6 Conséquence de la dégradation des bassins versants

La dégradation des bassins versants conduit à une accélération de la dégénérescence écologique, à une restriction des possibilités économiques et à une intensification des problèmes sociaux (Sheing,1993), cité par (Joseph,2003).

1.1.7 Le risque

Le risque caractérise le niveau des effets potentiels, en termes de dommages, d'un évènement susceptible de survenir sur un site, en relation avec la vulnérabilité de ce site eu égard à ce type d'évènement (Dautrebande et Colard, 2003). (Tchotsoua *et al.*,2007) vont dans le même sens, en affirmant que le risque peut être interprété comme la confrontation de l'aléa avec la vulnérabilité, en un lieu donné et à un moment donné. L'aléa quant à lui est considéré comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel potentiellement dangereux et susceptible de causer des dommages aux biens et aux hommes. La vulnérabilité est l'importance des dégâts ou des pertes résultant de l'occurrence d'un phénomène naturel donné ; le niveau élevé ou faible de risque est lié à l'importance de l'évènement d'une part, au degré de vulnérabilité du site d'autre part. Explicitement, le risque le plus faible correspondra à un évènement de faible ampleur survenant sur un site peu vulnérable au sens socio-économique et environnemental du terme ; le risque le plus élevé correspondra à un évènement d'importance extrême survenant sur un site dont le milieu naturel et/ou l'activité humaine sont tels que les dommages en conséquence sont très élevés (Dautrebande et Colard, 2003)

1.2 Erosion des sols

Du verbe latin "eroder" qui signifie ronger, l'érosion est un phénomène naturel ou non qui ronge la terre (Latrille, 1979 citée par Nzanzu, 2011). L'érosion est une des formes de dégradation des sols les plus graves. Elle présente deux aspects selon qu'elle est provoquée par la pluie (érosion pluviale) ou par le vent (érosion éolienne) (Duchaufour, 1997).

L'érosion est un processus naturel sur toutes les terres. Les agents de l'érosion sont l'eau et le vent, chacun provoquant une perte importante de sol chaque année. L'érosion peut être un processus lent et insoupçonné, ou encore prendre des proportions alarmantes, entraînant une perte énorme de sol arable. Le lessivage de la terre arable peut résulter en une réduction du potentiel de production, en une réduction de la qualité de l'eau de surface et en l'encrassement des réseaux de drainage. Cette érosion peut être accélérée par certains facteurs (Mamady, 2005) citée par (Mahi Tani, 2011).

I.2.1 Définition de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique, qui affecte les sols méditerranéens, est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants semblant être les mêmes partout dans le monde (Morgan 1986). Ce phénomène s'exprime sous forme de coulées boueuses sur l'ensemble des terres émergées et aboutit à une redistribution des produits de décomposition des roches. Il en résulte alors des dégâts aux exploitations agricoles, infrastructures ou zones résidentielles : apparition, en amont, de ravines profondes s'accompagnant de la perte de la couche fertile superficielle des sols et submersion, à l'aval, de cultures ou d'infrastructures par les coulées boueuses (Roose, 1994).

I.2.2 Origine et mécanismes de l'érosion

Le mécanisme de l'érosion est maintenant bien connu. Il débute par une dégradation de la structure des horizons de surface, provoquant la formation d'une croûte de battance d'une épaisseur de un à deux centimètres. La rugosité de la surface du sol disparaît, elle devient lisse et perd sa perméabilité; ce qui favorise le ruissellement des eaux de pluie (Duchaufour, 1997). Dans le premier temps, l'eau s'écoule en nappe et entraîne des particules fines détachées des agrégats alors que les particules grossières restent sur place. Il s'agit d'une érosion diffuse (Robert, 1996) qui peut passer inaperçue. C'est progressivement que les rigoles, puis les ravines apparaissent par suite de la concentration du ruissellement dans les zones à circulation préférentielle de l'eau liée au microrelief (Duchaufour, 1997). Les effets du ruissellement deviennent visibles lorsque le volume d'eau qui circule et son énergie sont suffisants pour provoquer les destructions (Ruelle, 1990).

I.2.3 Différentes formes d'érosion

On distingue différentes formes d'érosion :

- **Erosion en nappe (sheet erosion) ou érosion diffuse.**

On parle d'érosion en nappe ou aréolaire (sheet érosion en anglais) 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 (Roose, 1994). Il correspond au stade initial de l'érosion du sol. L'érosion en nappe se produit principalement quand la surface du champ est lisse et la pente uniforme (Kuypers *et al.*, 2004) entraînant ainsi la dégradation du sol sur l'ensemble de la surface du sol. De ce fait elle est peu visible d'une année à l'autre puisqu'une érosion importante de 15 à 30 t/ha/an correspond à une perte de hauteur de 1 à 2 mm (Roose, 1994). L'érosion en nappe se manifeste comme une conséquence de l'impact des gouttes de pluie qui détruisent les agrégats du sol. Par conséquent les particules fines du sol sont mises en liberté. Etant libres, elles vont remplir l'espace entre les particules grossières et vont former à la surface du sol une couche tassée, comme une croûte qui empêche l'infiltration de l'eau et favorise ainsi le ruissellement (Kuypers *et al.*, 2004).



Figure I.1 : érosion en nappe (Gourfi, 2014)

➤ **Erosion linéaire (micro-channel ou Rill erosion)**

Selon (FAO, 1994), 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. L'érosion linéaire est donc un indice que le ruissellement s'est organisé, qu'il a pris de la vitesse et acquis une énergie cinétique capable d'entailler le sol et d'emporter des particules de plus en plus grosses: non seulement des argiles et des limons comme l'érosion en nappe sélective, mais des graviers ou des cailloux et des blocs lorsqu'il sera organisé en ravines.

Selon (Lilin et Koohafkan, 1987) et (Mura, 1990). L'érosion linéaire [planche photographique 13] apparaît lorsque le ruissellement en nappe s'organise, il creuse des formes de plus en plus profondes. On parle de griffes lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur, de rigoles lorsque les canaux dépassent 10 cm de profondeur mais sont encore effaçables par les techniques culturales. On parle de nappe ravinante lorsque les creux ne dépassent pas 10 à 20 cm mais que leur largeur atteint plusieurs mètres et enfin, de ravines lorsque les creux atteignent plusieurs dizaines de cm (plus de 50 cm) et en particulier, lorsqu'ils ne sont plus effaçables par les techniques culturales. A l'intérieur des ravines on peut encore distinguer des petites ravines dont le lit est encore encombré de végétation herbacée et surtout arbustive et qu'on pourra fixer rapidement par des méthodes biologiques. Par contre, dans des grandes ravines qui peuvent s'étaler sur plusieurs kilomètres, le canal central comporte des blocs rocheux, témoins d'un charriage important et d'une certaine torrencialité. Ces fonds étant mobiles, il n'est plus question de les stabiliser uniquement par des méthodes biologiques; il sera nécessaire d'utiliser des seuils cimentés et des méthodes mécaniques coûteuses .



Figure I.2 : érosion linéaire (Goufri , 2014)

➤ Erosion par éboulement

C'est un type d'érosion plus marginal, il est essentiellement lié aux mouvements de masse ; engendré par le franchissement d'un dénivelé important par un ruissellement concentré en amont. (Doufissa,2011)

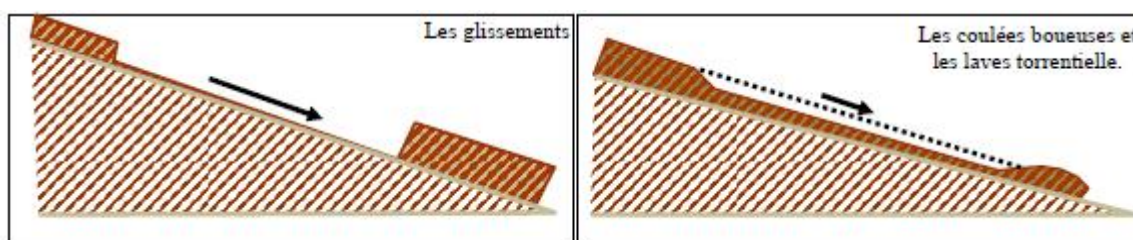


Figure I.3 : Schéma d'éboulement par masse (Goufri , 2014)

I.3 L'érosion des sols 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 (Cote, 1983). 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 % (Benblidia, 1993).

1.4 Les solutions tentes pour la maitrise de l'érosion en Algérie

I.4.1 les enseignements des recherches et des expérimentations

Selon (Roose, 1991) et (Arabi, 1991) L'érosion, intéresse la dégradation des qualités agronomiques des sols (dégradation de la structure, amincissement, augmentation de la pierrosité, baisse de fertilité), des parcelles et des terroirs cultivés ou utilisés par les communautés d'agro-pasteurs. Sa vigueur dépend des caractéristiques du sol, de la rugosité de surface, du mode de travail du sol, de la pente et de la fréquence et de l'intensité des averses. La production de sédiment varie de 1 t/ha/an à 20 t/ha/an sur des versants de 12 à 40 % de pente et recevant entre 450 et 600 de pluie annuelle.

L'ablation de terre sur les interfluves se révèle être particulièrement faible, au vu de trois années de mesure sur parcelles expérimentales dans la zone des marnes d'un bassin versant d'après (Kouri, 1993)et (Gomer, 1996). Elle a varié de 0,14 à 2 t/ha/an sur sol nu, les valeurs supérieures ou égales à 2 t/ha/an étant exceptionnelles. Ces quantités représentent une

contribution de 1 % à 4,8 % de la charge solide transitant à l'exutoire de micro-bassins expérimentaux (Kouri, 1993).

Selon les travaux du (G.T.Z,1996),(Heusch,1982) (Demmak, 1982),Si l'aspect quantitatif de production de sédiments au niveau des incisions linéaires est ici primordial dans une vision hydraulique visant à réduire le comblement des barrages, il demeure insuffisant car les phénomènes de relais, de conditions de transferts des sédiments doivent être déterminées. Quelles quantités arrivent au barrage et d'où proviennent-elles? Ce sont les réponses précises à ces questions qui manquent dans les études en vue de programmes de lutte antiérosive. Ce sont elles qui permettent de choisir les types d'intervention

I.4.2 la défense et restauration des sols et la rénovation rurale

Le problème de l'érosion a été pris en charge depuis 1945 avec la création d'un service chargé de remettre en état les sols et de construire des ouvrages antiérosifs dans des périmètres déclarés "d'utilité publique" pour la protection des infrastructures (barrages et ports), des agglomérations et des plaines agricoles. A l'époque, ce sont près de huit (08) millions d'hectares qui devaient être traités. La stratégie adoptée consistait à combiner la réalisation de banquettes destinées à dériver les eaux de ruissellement vers des exutoires et des techniques culturales au niveau des parcelles. Dans les faits, la priorité a été donnée aux aménagements à l'échelle des versants. Une telle décision était motivée par le fait que ces réseaux étaient considérés comme un moyen direct de réduction du ruissellement. Les techniques au niveau des parcelles devaient suivre par un effet de conditionnement des agriculteurs (Taabni et Kouti, 1993).

Malgré les investissements lourds consentis, l'érosion a poursuivi son œuvre de destruction des sols. Les raisons de l'inefficacité de cette stratégie sont liées d'une part à l'indifférence des agriculteurs, car non associés à ces programmes, et d'autre part à l'introduction et la généralisation d'une technique d'aménagement sans aucune expérimentation préalable. (Aubert, 1986).

Le constat d'échec de la DRS a été à l'origine d'un programme de rénovation rurale lancé en 1960. Ce programme se fixait comme objectifs de traiter treize (13) millions d'hectares en quinze (15) ans ; les actions proposées étaient plus diversifiées et concernaient à la fois l'agriculture, l'élevage et les forêts dans des périmètres bien circonscrits (les zones d'organisation rurale). Le programme dans son ensemble n'a connu qu'une phase expérimentale dont la première opération a été le défoncement des sols pour en accroître la

profondeur utile. Au delà des considérations techniques tout à fait discutables, la critique principale formulée à l'égard de ce programme est sa nature autoritaire (Cote, 1983).

I.4.3 une stratégie alternative testée : l'agriculture de montagne

Les actions de DRS et de rénovation rurale ont été progressivement abandonnées compte tenu de leur inadaptation au contexte physique et socio-économique. Il faut dire que les opérations réalisées ont rarement donné les résultats attendus par leurs promoteurs et ont d'ailleurs fait naître un certain scepticisme. A partir des années 1980, une nouvelle démarche a été mise en place. La stratégie proposée a été le fruit d'une réflexion associant les décideurs, les chercheurs et les praticiens ; cette réflexion a pris en compte :

- Les analyses de cas sur des réalisations en essayant de dégager les éléments positifs et négatifs de la démarche appliquée.
- L'analyse et la prise en considération des résultats des pratiques antiérosives traditionnelles.
- Les premiers résultats de la recherche dans ce domaine. Concrètement, la nouvelle approche s'est traduite par l'abandon des programmes coercitifs tels que les réseaux de banquettes et leur substitution par des actions à caractère agronomique prenant en compte la conservation des sols et des eaux, notamment par l'aide au développement de l'arboriculture et de la viticulture, les améliorations foncières, la création de réserves fourragères et la réalisation de retenues collinaires. Sur cette base, une stratégie ciblée sur l'intégration de la lutte antiérosive dans une démarche de développement de l'agriculture de montagne a été progressivement engagée.

En complément à ces actions orientées vers les populations, de grands travaux de reboisement et de correction torrentielle visant à assurer la protection des ouvrages hydrauliques ont été réalisés par l'administration. Dans le même temps des actions à moyen terme de nature à améliorer à la fois l'efficacité des techniques mais aussi la démarche globale ont été mises en œuvre. (Mahi Tani,2011)

I.4.4 la maîtrise de l'espace

La prise en charge de l'érosion est indissociable de l'aménagement de la montagne. Pensé longtemps en termes d'aménagements techniques, le problème de l'érosion est posé aujourd'hui en termes beaucoup plus larges de développement global d'une partie du territoire. La montagne doit être perçue à la fois comme "réservoir hydraulique" mais aussi comme "espace de vie". Cette approche s'impose car les conséquences de la dégradation des sols sont désastreuses non seulement pour la montagne elle-même mais également pour le territoire dans sa globalité. (Mahi Tani ,2011)

a) La montagne "Réservoir hydraulique" :

L'eau est un facteur limitant dans beaucoup de régions en Algérie. De ce fait, la construction de barrages est une nécessité pour l'approvisionnement en eau potable des populations et pour la satisfaction des besoins de l'agriculture et de l'industrie. Mais par la construction de barrages, on provoque une concentration dans l'utilisation de la ressource en eau et en conséquence une concentration des pôles de développement. Cela engendre bien souvent des conflits d'usage entre les utilisateurs en aval des ouvrages. Mais vis-à-vis du problème de l'érosion, la réalisation des ouvrages a tendance à provoquer le renforcement de la marginalisation des populations situées en amont de l'ouvrage et cela peut conduire à une accélération de la dégradation du milieu (Honerma, 1992).

Selon (Roose *et al.*, 1993) et (Kouri, 1993). Du fait du grand nombre de barrages construits, en cours de réalisation ou projetés, c'est quasiment tout l'atlas tellien qui sert de bassin versant et donc de château d'eau pour le nord du pays. C'est la raison pour laquelle, les problèmes posés prennent une dimension régionale, d'autant qu'il y a un grand nombre de barrages construits nécessitant la prise en charge du problème de l'envasement et que les sites disponibles pour la construction de ces ouvrages sont limités. Le rôle stratégique des barrages dans l'économie nationale justifie pleinement que soit accordée la priorité à l'aménagement des bassins versants alimentant les barrages, en établissant une hiérarchie sur la base du rythme annuel d'envasement. Comme il est clairement établi que les sédiments proviennent pour l'essentiel des zones en ravinement et non des zones cultivées ou des parcours

Il est nécessaire et urgent de développer des travaux de correction torrentielle et de stabilisation des berges. De tels programmes ont été engagés depuis longtemps avec un niveau d'efficacité fort appréciable parmi lesquels on peut citer les bassins versants de la Tafna (Tlemcen). (Mahi Tani, 2011)

b) La montagne "espace de vie"

Les orientations d'un tel développement restent à consacrer dans le cadre d'une politique d'aménagement du territoire qui visera non seulement à promouvoir une agriculture de montagne moderne intégrant le souci de conservation des sols et des eaux mais aussi à diversifier les activités économiques. (Mahi Tani, 2011)

1.5 Les facteurs de l'érosion

L'érosion hydrique résulte de l'interaction du climat (pluie, températures, ...), les propriétés du sol (matière organique, stabilité structurale, ...), le relief (longueur et gradient de pente), les

pratiques culturales (travail du sol) et le couvert végétal. La modification spatiale et temporelle de cette interaction peut induire une amplification de l'érosion (Yvio, 2010).

I.5.1 Intensité des précipitations ou érosivité des pluies

La pluie est évidemment l'agent essentiel de l'érosion hydrique. L'érosivité de la pluie se définit comme étant son aptitude à provoquer l'érosion. L'érosivité dépend surtout de l'intensité de pluie ou de l'énergie cinétique qui en résulte directement (Stengel et Gelin, 1998) cité par (Yvio, 2010). Cette énergie découle du diamètre des gouttes et de leur vitesse de chute.

L'efficacité de la pluie vis à vis des processus d'érosion est liée aux rôles qu'elle a dans le détachement des particules des sols et surtout dans la formation du ruissellement (Macary et Berville, 2003) cité par (Yvio, 2010).

I.5.2 L'érosion par couvert végétale

La présence du couvert végétal est certainement synonyme de résistance à l'érosion. Pour arrêter l'érosion, un couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes de l'année où les pluies sont les plus agressives, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité à la surface du sol (Roose, 1994).

L'efficacité du couvert végétal et de résidus à réduire l'érosion dépend du type, de l'étendue et de la densité du couvert végétal. La végétation et les résidus combinés, couvrant complètement le sol, interceptent la pluie et sont le moyen le plus efficace pour réduire les pertes de sol. Les résidus partiellement incorporés et leurs racines ont aussi leur importance, parce qu'ils facilitent l'infiltration. (Arnold *et al.*, 1989) cité par (Yvio, 2010).

Selon (Bannari *et al.*, 1999) et (Roose, 1994), lorsque les sols sont encore peu couverts, ou lors des violents orages de fin d'été et d'automne sur des sols que les récoltes laissent également peu couverts. Les résidus de culture et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie, tendent à ralentir la vitesse de l'eau de ruissellement et permettent une meilleure infiltration.

I.5.3 Erodibilité des sols

Les sols varient énormément en fertilité et en vulnérabilité à l'érosion (en « érodibilité »). L'érodibilité du sol indique la facilité avec laquelle le sol est érodé. Certains sols résistent bien à l'érosion, d'autres beaucoup moins. L'érodibilité du sol dépend surtout de sa « stabilité structurale ».

C'est une mesure de la cohésion des agrégats et de leur capacité à ne pas se désagréger sous l'effet de la pluie. Des textures avec trop peu d'argiles ont une faible cohésion et donc une faible stabilité structurale. En-dessous 10-15% d'argile, la stabilité structurale est plutôt faible. Ces sols ont tendance à former une croûte de battance en surface: une couche dense et peu poreuse qui limite l'infiltration (Touihri , 2013).

(Wischmeier *et al.* ,1971) affirment que les sols les plus sensible sont les sols riches en limons et/ou sables fins puisque ce sont des particules avec une faible cohésion et qui sont facilement détachés et transportés par les eaux de ruissellement.

I.5.4 L'érosion par La topographie

Les paramètres topographiques sont fondamentaux pour expliquer l'importance des phénomènes érosifs. La déclivité, la forme de la pente et la longueur de la plus grande pente ont un rôle important.(Batti & Deparatere, 2007) cité par (YVIO, 2010)et admettent que l'érosion moyenne par unité de surface croît avec la longueur de la pente et l'expliquent par le fait que les pentes les plus longues permettent une plus forte accumulation du ruissellement, ce qui accroît l'énergie globale de celui ci et ses possibilités de détachement et de transport.

Sur ces terrains, lorsque les sols sont sensibles à la battance, une petite augmentation locale de pente peut être à l'origine d'une aggravation importante de l'aléa érosion. Selon (Roose,1994), la longueur de la pente est moins importante que son inclinaison et sa forme.

FAO (1994),de son coté, souligne l'influence de l'importance de la pente sur l'érosion en mettant en exergue l'existence de l'érosion et de ruissellement intense sur des pentes douces.

Son analyse vise à indiquer qu'il n'est pas besoin de forte pente pour déclencher ce phénomène.

Tableau I.1: Effet de la pente sur le ruissellement et l'érosion selon (Roose,1994)

Pente(%)	Erosion moyenne (t/ha/an)	Ruissellemnt moyen annuel (%)
1.25	5	1.5
8.6	22	2
12	30	7

I.5.5 Facteur d'aménagement

Le labour a certaines influences sur le risque d'érosion du sol. Ceci comprend la profondeur, la direction et la période de labour, le type d'équipement utilisé et le nombre de passages. En effet, on considère que le travail du sol limite l'érosion s'il dérange le moins possible la

végétation ou les résidus de surface. (Barthes *et al.*, 1998) estiment que le ruissellement et les pertes en sols sont plus importants en parcelles labourées, plus faibles en semis direct et intermédiaires en travail superficiel. (Mahi Tani,2011)

En outre, (Roose et Georges, 2004) cité par (Yvio, 2010) considèrent que le billonnage cloisonné en courbes de niveau améliore le stock d'eau du sol et réduit ainsi l'impact érosif des eaux de surface. De plus, FAO (1994) a souligné que les techniques biologiques (couverture maximum du sol, usage d'engrais, paillage, plantes de couverture, rotations, etc.) sont plus efficaces par rapport aux techniques mécaniques qui sont non seulement très coûteuses mais aussi très difficiles à entretenir. Donc, les types d'aménagement visent la stabilisation des cours d'eau et une atténuation des excès de précipitation.

I.5.6 les facteurs anthropiques

L'érosion est devenue essentiellement une conséquence directe de l'activité humaine qui représente maintenant le principal facteur de la dégradation des sols. L'homme peut être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion par ses actions de défrichement des forêts, d'incendies et des surpâturages et des pratiques culturales. De plus, les aménagements routiers et urbains, en augmentant les surfaces imperméables, exacerbent les inondations, favorisent le ruissellement et donc constituent un facteur d'entraînement du sol.(Yvio.2010)

I.6 Efforts de la lutte contre l'érosion

Dès l'aube des années 1940, les tentatives pour contrer le phénomène d'érosion se sont succédées et se sont étendues à l'échelle nationale. En dehors des projets spécifiques de contrôle de l'érosion presque tous les projets régionaux contiennent un volet de lutte antiérosive. A cette croisade nationale, parallèlement aux interventions de l'Etat, différentes institutions de tendances et d'origine diverses se sont penchées sur le problème. Il en est résulté toute une série d'action dans la gestion conservatoire des eaux, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Selon (Murray, 1978) cité par (Jeanpierre, 1984).

I.7 les moyens de lutte contre l'érosion des sols

Pour être efficaces, les moyens de lutte doivent se situer dans deux zones bien distinctes :

- une zone émettrice de ruissellement,
- une zone sensible accumulant les précipitations.

Ces deux zones correspondent donc à deux limites différentes auxquelles doivent s'adapter des mesures différentes. (Gauvind,2000)

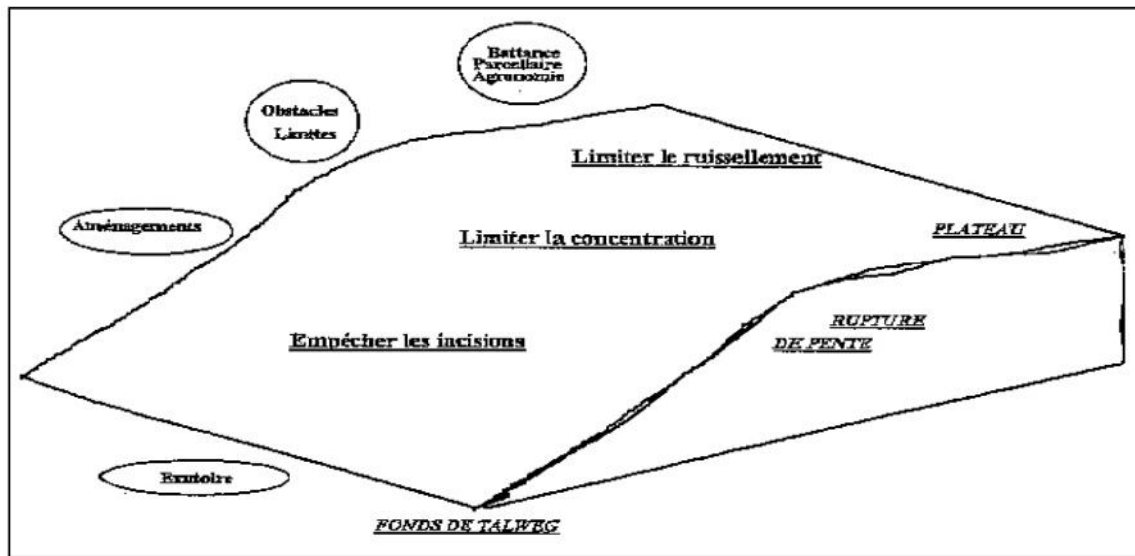


Figure I.4: moyens à mettre en œuvre contre l'érosion (Derancourt1995).

Deux aspects sont donc à prendre en compte :

- L'aspect agronomique (préventif) qui englobe les techniques culturales: Couverture du sol, Structure du sol.
- L'aspect hydraulique (curatif) : aménagements divers...

Il convient d'agir en priorité sur le premier (techniques culturales) car on considérera que dans la région à dominante agricole, il est à l'origine même de l'érosion, le second aspect n'intervenant que pour limiter les conséquences engendrées par le travail du sol. En fait toute modification de la structure du sol entraîne une variation de sa stabilité dans le temps et de son comportement vis à vis des précipitations (Ludwig, 1992).

I.7.1 Les techniques culturales

Selon (Gauvin,2000) L'effet des pratiques culturales n'est pas facile à calculer. Néanmoins, tous les experts s'accordent à dire qu'il est possible de réduire d'au moins 1 mm les volumes de ruissellement sur les terres labourées, ceci rapporté à la surface du bassin versant peut être considérables.

- Non déchaumage pendant l'interculturel qui est principalement recommandé dans les zones de concentration ou tout ameublissement du sol est à proscrire et dans les zones de fortes pentes et de ruptures de pentes.

- Non labour, en effet il permet de garder un sol compact et peu sensible à l'arrachement dans la zone de ruissellement concentré (située en général en fond de vallée).
- Cultures intermédiaires, diminue l'impact des gouttes de pluies, le couvert végétal constitue un excellent piège à nitrate.

a) Augmenter la capacité d'infiltration et de stockage à la surface du sol

- Travail du sol
- Le déchaumage intervient surtout pour les grandes parcelles à sol compact susceptibles de concentrer l'eau. L'application du déchaumage et du non-déchaumage dépend beaucoup du type de sol, de la culture implantée et des conditions météorologiques.
- Le sous solage (ou décompactage) pour éclater la semelle de labour et/ou les zones de tassement pour créer une zone de fissuration et d'infiltration de l'eau, et ainsi retarder l'apparition du ruissellement.

b) Consolider le sol

- l'apport de matières organiques favorisent l'agrégation des particules entre elles et améliorent la stabilité structurale en agissant sur la mouillabilité (favorisent l'infiltration de l'eau), et en limitant la battance et la prise en masse des couches labourées.
- Alternier les cultures sur un bassin versant : assolement judicieux et en commun. Les parcelles d'un même versant étant bien souvent cultivées par des exploitants différents, il est intéressant qu'une concertation se mette en place pour le choix des assolements.
- Découpage du parcellaire, la réduction des surfaces cultivées avec l'implantation de haies conduit à une diminution des zones de concentration en eau et permet d'obtenir un bassin versant circulaire où le ruissellement est plus facilement contrôlé.
- Planter un couvert, c'est aussi améliorer la structure du sol, limiter le ruissellement des produits phytosanitaires, économiser l'azote pour la culture suivante.

c) Amélioration de la structure du sol

Renforcer la résistance du sol à l'entraînement par l'eau et le vent en améliorant la stabilité de sa structure par des amendements humifères et des amendements calcaires qui stabilisent les complexes argilo-humiques.

Augmenter la perméabilité du sol, donc diminuer le ruissellement, par un travail approprié du sol:

- Créer des fissures dans les sols tassés.
- Incorporer de la matière organique.
- Stabiliser les complexes argilo-humiques (amendements).

- Assurer une rotation des cultures qui ont des systèmes racinaires et des résidus organiques différents.

Il faut éviter néanmoins :

- Un travail excessif du sol qui provoque un émiettement trop fin et favorise la battance dans les sols limoneux.
- Le tassement du sol par le passage répété des engins agricoles. (Soltner, 1992) .

I.7.2 Les aménagements hydrauliques

Ils sont placés le plus en amont possible des phénomènes d'érosion et de ruissellement pour permettre de canaliser et stocker l'eau excédentaire, c'est leur succession le long de la pente qui sera le gage de leur efficacité.

I.8 Conséquences de l'érosion des sols

L'érosion hydrique entraîne des conséquences tant en amont qu'en aval des bassins versants. Elle peut se traduire, en amont, par des pertes en terre ainsi que des pertes en matière organique et en éléments nutritifs notamment l'azote et le phosphore (Dautrebande, 2006) cité par (Yvio, 2010). A côté des dégâts bien visibles concernant les terres cultivées, il existe des dégâts en aval beaucoup plus insidieux, provoqués par l'augmentation du ruissellement et l'entraînement des particules du sol. Ce sont, entre autres, les coulées de boues, inondations, sapements de chaussées, colmatages des réseaux d'assainissement et des ouvrages de retenue des eaux pluviales, envasements des cours d'eau (Beauchamp, 2006) cité par (Yvio, 2010). Des accumulations sédimentaires massives peuvent en résulter à l'aval, perturbant les écosystèmes fluviaux, lacustres, estuariens ou côtiers, et modifiant la dynamique du carbone particulaire et dissous (Chambley, 2002) cité par (Yvio, 2010).

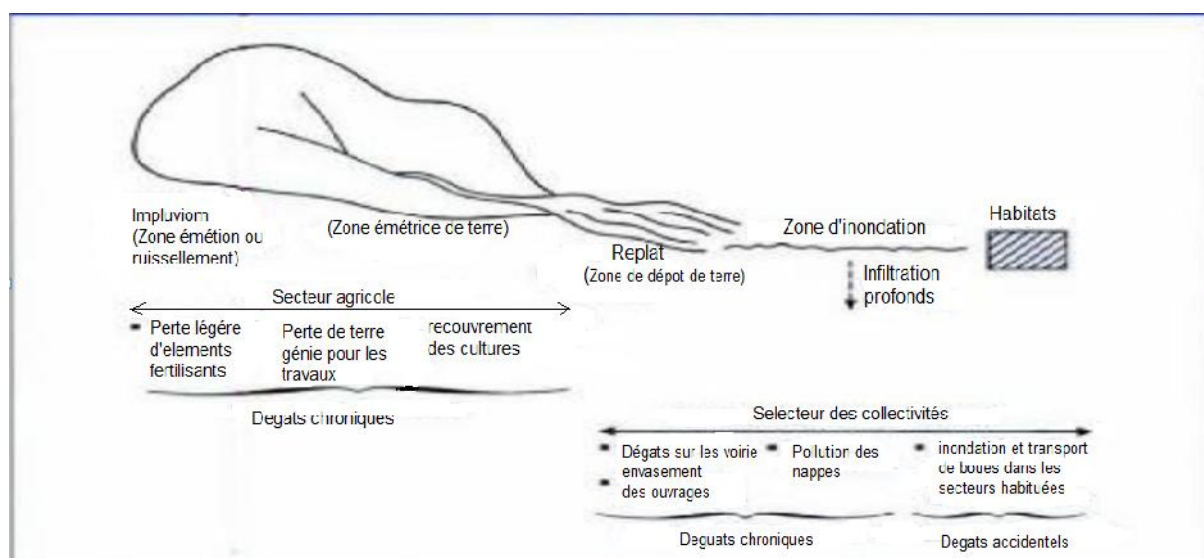


Figure I.5 : les différentes zones d'un BV et les types de dégâts tirée par(Papy et Douyer, 1991) cité par(Yvio, 2010).

En effet, l'érosion du sol porte atteinte non seulement au développement économique, mais encore aux changements climatiques par ce que le processus de l'érosion du sol dégage dans l'air des ions de carbone» alors que le dioxyde de carbone est la première cause du réchauffement global de la planète (Xinhua, 2002)cité par (Yvio, 2010).

I.9 Envasement des barrages

L'envasement est défini comme étant le dépôt de sédiments dans les retenues des barrages, réduisant ainsi leurs capacités de stockage. La construction d'un barrage change les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement et la capacité de transport des sédiments transportée par l'écoulement, La matière solide tend à se déposer à l'approche des plans d'eau, car en réduisant sa vitesse, l'écoulement perd petit à petit sa capacité de transport. Quand le cours d'eau s'approche et se jette dans le lac du réservoir, les particules grossières se déposent en premier ensuite les plus fines jusqu'à atteindre la digue. N'ayant pas où s'échapper le dépôt se tasse et se consolide en réduisant ainsi la capacité de stockage du réservoir, sachant qu'en moyenne 90% des sédiments transportés par le cours d'eau sont piégés (Chow, 1964) .citée par (Mahi Tani,2011).

Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais

encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'un et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet (Remini, 2000).

Le volume de matériaux qui se déposent chaque année dans les retenues des barrages algériens s'élève à $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Remini, 1999). Ceci contribue à l'envasement prématuré de ces retenues et diminue de 0.3% par an les capacités de stockage de l'eau, estimées à $6.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Riad *et al.*, 1999), dans des régions caractérisées par une pluviométrie à la fois faible et irrégulière (Bounani *et al.*, 1999).

I.9.1 Répercussions sur l'agriculture

Selon (Abdelli et Zeggane, 2007), l'envasement des barrages est la conséquence directe de l'érosion entamée déjà plus en amont sur les bassins versants suite au dépérissement du couvert végétal. En Europe, le taux d'érosion se situe dans une fourchette de 30 à 50 tonnes de sol arrachées annuellement par kilomètre carré (30 à 50 t/an/km²) alors que dans les pays du Maghreb ce taux atteint une moyenne de 2000 t/an/km². De plus en plus, nos bassins versants s'appauvrissent en matière organique, donc de terre arable. A ce rythme d'ablation des sols, l'agriculture subira de plein fouet les revers de ce phénomène. La sécurité alimentaire, on comprend bien, sera bien évidemment menacée.

Des millions de tonnes de terre partent ainsi chaque année rejoindre la mer via les cours d'eau et une importante quantité va se déposer au fond de nos barrages. Dans un récent article soumis à la revue internationale Hydro-Power, le professeur REMINI, chercheur à l'université de Blida, s'étale longuement sur la problématique de l'envasement.

Des barrages algériens. Par ailleurs, et selon le même chercheur, le suivi de la dynamique d'envasement pour les trois décennies a confirmé la tendance à l'accélération de ce phénomène.

Les années 80 ont connu des taux d'envasement avoisinant les 20 millions de tonnes annuels alors que les années 90 ont atteint déjà les 35 millions de tonnes annuels, les années 2000 vont crescendo et grimpent à la valeur de 45 millions de tonnes annuels. Tous les spécialistes s'accordent à dire que les années à venir seront très dures pour les zones arides et semi-arides. Les comportements de tout un chacun doivent changer. On n'a plus le droit de gérer au jour le jour des écosystèmes fragiles qui demandent de la minutie et des stratégies globales ainsi que

des infrastructures de grande envergure, telles que les barrages qui constituent des ouvrages d'art au sens propre du terme.

L'amortissement de ces grandes œuvres s'étale sur une longue période et dans les conditions de réalisation, d'exploitation et de protection des zones limitrophes adéquates. Paradoxalement, en Algérie la durée de vie d'un barrage est calculée en fonction du taux d'envasement. Quant aux paramètres liés à la fiabilité de l'infrastructure elle-même, ils ne constituent qu'un échelon de considération tout à fait secondaire.

Depuis l'indépendance, sept barrages ont été déclassés (abandonnés), dont deux ont fait l'objet de reconstruction suite à la disponibilité de leur site. Les années 2000 marquent une réelle prise de conscience de l'ampleur et des enjeux liés à la problématique de l'envasement. Les enjeux sont clairs. L'eau est la condition limite de toute vie sur terre.

Nos ressources hydriques sont en danger d'épuisement par suite de colmatage de ces grands réservoirs d'eau que sont les barrages. La lutte contre le fléau de l'envasement ne peut être efficace que si elle s'inscrit dans une démarche qui favorise le long terme.

Le «solutionnement» de ce problème dans le cadre d'une politique de développement durable constitue l'éventail des solutions dites en amont, c'est-à-dire la prévention. Le reboisement des bassins versants représentant le chevelu hydrographique (le réseau d'oueds déversant dans un barrage donné) des barrages d'eau, la protection des zones en amont, etc.

Autant d'actions, qui, à long terme, permettront de réaliser des plus-values par simple fait de prolongation de la durée de vie de ces ouvrages, ô combien coûteux en matière d'investissement.

Le concept de développement durable ne fait que poindre à l'horizon. Il faut dire que depuis de longues décennies, la conjoncture sociopolitique n'a pas permis de préserver les grandes étendues des bassins versants: la politique de la terre brûlée entamée par l'occupant a été quelque peu poursuivie plus tard par la communauté villageoise pauvre par un défrichage intense pour les besoins de culture et de chauffage. Ainsi, le curetage constitue une tout autre méthodologie de lutte imposée par les raisons précitées. Depuis plusieurs années, l'Algérie diversifie ses moyens d'intervention en vue de prolonger la durée de vie de son infrastructure de stockage hydrique. La surélévation constitue l'une des techniques qui permettent de prolonger la vie d'un ouvrage.

L'augmentation de la hauteur de la digue permet de compenser le volume d'eau perdu en profondeur occupé par la vase. Au total, neuf barrages ont été surélevés. Toutes les opérations de sur-élévation en Algérie ont permis de récupérer jusqu'en 2007 une capacité de 100 millions

de m³. Toutefois, la surélévation d'un barrage devra être précédée d'une étude très approfondie des contraintes liées à l'infrastructure et au site lui-même

I.9.2 Méthodes utilisées dans le Maghreb pour réduire l'envasement des barrages

En vue de réduire la quantité de sédiments censés se déposer dans les retenues de barrages, plusieurs méthodes résumées dans le tableau N° 02 ont été appliquées dans les pays maghrébins d'après (Saidi, 1991).

Tableau I.2 : Méthodes utilisées pour la réduction de l'envasement des retenues de barrages.

Types de méthodes	Objectif des méthodes utilisées
A. Méthodes préventives	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aménagement des bassins versants amont . ◆ Correction torrentielles des fleuves et de leurs berges. ◆ Réalisation des digues guide-eau pour dévier les sédiments vers les évacuateurs des crues et éviter ainsi leur dépôt dans les réservoirs (après utilisation de modèles réduits physiques) . ◆ Réalisation de vannes de dévasage adaptées . ◆ Adoption d'une législation conséquente basée sur la maintenance et la gestion des réservoirs.
B. Méthodes curatives	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Adoption de l'évacuation, à partir des barrages, des sédiments (soit par vidange à niveau bas, par vidange sans abaissement du plan d'eau ou par l'utilisation des courants de densité. ◆ Une «tranche morte» suffisante est à réserver à l'atterrissement des sédiments. ◆ Dragage des sédiments. ◆ Surélévation de barrages et utilisation de nouveaux sites de barrage

I.9.3 Envasement moyen annuel des retenes de barrages dans les payes du Maghreb

L'alluvionnement moyen annuel des retenues de tous les barrages au Maroc, en Tunisie et en Algérie, déterminé par les diverses méthodes précitées, est comme suit :

- ❖ l'envasement moyen annuel de tous les réservoirs au Maroc, s'élève à 60 millions de mètres cubes (Mm³) par an (Lahlou, 1995) ;
- ❖ celui de la Tunisie est de 33 Mm³/an (Lahlou, 1995) ;

- ❖ et l'atterrissement moyen annuel des retenues des barrages est de 40 mm³/an pour l'Algérie (Saidi, 1991).

Ainsi, par an, la capacité utile en eau des retenues des 3 pays est réduite de 133 Mm³ /an. L'équivalent de la capacité d'un grand barrage est perdu annuellement par sédimentation dans le Maghreb. Depuis leur mise en service, l'envasement total de tous les barrages algériens est estimée à 460 Mm³ (11 % de la capacité totale initiale), l'alluvionnement de tous les barrages marocains depuis leur exploitation s'élève à 800 Mm³ (soit 8 % de la capacité totale initiale). L'atterrissement total de sédiments dans tous les réservoirs tunisiens, depuis leur création, est de 270 Mm³ (soit 13 % de la capacité totale initiale).

L'interprétation scientifique est que l'envasement dans les pays du Maghreb est trop élevé, en comparaison avec ce qui est observé à l'échelle internationale. Certes, les érosions spécifiques dans ces pays sont parmi les plus élevées dans le monde (Lahlou, 1995).

I.9.4 Moyens de lutte contre l'envasement utilisées en Algérie

Selon (Remini, 2000). La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année. Il est rare cependant, que l'on puisse admettre à l'issue d'une période aussi courte, l'abandon d'un aménagement hydraulique particulièrement lorsqu'il s'agit de réservoirs destinés à l'adduction en eau potable ou l'irrigation dont les intérêts socio-économiques justifient une garantie de service illimitée. Il importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible, de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent mais aussi et surtout de sauvegarder au maximum l'existence de la retenue en luttant contre ce phénomène utilisé en Algérie. Nous pouvons citer:

a) le reboisement, la restauration des sols la formation des banquettes. La plantation de végétation à longues tiges dans les oueds. Il est à noter que les tamaris qui ont poussé à l'amont des quelques barrages en Algérie constituent de véritables pièges à sédiments.

Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectares d'ici l'an 2010. Soit un rythme de réalisation de 67000 ha/an. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA.

b) Réalisation de barrage de décantation Il existe un cas en Algérie, c'est le cas du barrage de Boughezoul qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib. Ce barrage a permis de retenir depuis sa création environ 35×10^6 m³ de vase. Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 %.

c) Surélévation des barrages: Cette technique a été réalisée sur cinq barrages. La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée.

d) Chasses dites à l'Espagnole : Méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance, Cette méthode est efficace quand elle est possible. Elle consiste à vider complètement le barrage au début de l'automne et à le laisser vide, toutes vannes ouvertes, jusqu'aux premières pluies. La première crue enlève sans difficulté les vases de l'année non encore consolidées.

e) Soutirage des courants de densité : Le soutirage des courants de densité a donné des résultats spectaculaires en Algérie.

f) Dragage des barrages : A travers l'expérience algérienne, le dragage s'est avéré une solution sûre mise à part les difficultés de mise en dépôt et le coût. L'Algérie a acquit en 1989 un matériel complexe de dragage à savoir une drague suceuse refouleuse.

Cette drague, d'un poids total de 300 t est conçue pour refouler à une hauteur de 28 m dans une conduite de 700 mm avec un débit maximum de mixture (vase -I- eau) de 1600 V/s et pour draguer à une profondeur de 3 à 16 m .

I.9.4 Le désenvasement

L'opération la plus classique de curetage des barrages et en même temps la plus coûteuse concerne le dévasement (l'enlèvement des boues de fond par des moyens mécaniques). La situation géographique de l'Algérie fait d'elle le pays pionnier en la matière. Forte de son expérience d'un demi-siècle, l'Algérie s'est dotée récemment de deux dragues suceuses refouleuses, Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m^3 de vase ont été extraits de nos barrages.

Le dévasement s'accompagne toujours d'une perte d'eau inévitable. Jusqu'à nos jours, les meilleurs rendements font état de 1 m^3 d'eau perdu pour le même volume de boue extraite. La technique consiste tout simplement en un aménagement adéquat. Une succession de bassins de décantation sont creusés plus en amont du barrage à dévaser. Les boues extraites sont déposées dans ces bassins, et après décantation, les eaux sont acheminées gravitairement vers leur lieu d'origine.

Entre 2004 et 2006 au total et pour une première phase, 4 millions de m^3 de boue ont été dévasées. Pour rappel, certains exploitants de barrages utilisaient la méthode de l'évacuation périodique des eaux (la chasse). Les spécialistes déconseillent le recours à ce procédé dans les pays arides et semi-arides suite au temps important de remplissage de l'ouvrage.

Une dernière technique pour lutter contre l'envasement est celle du soutirage. Son application est cependant réservée à certains sites qui, de par leur configuration, permettent l'apparition

de ce que les spécialistes appellent les courants de densité: une sorte de mixture de boue et des eaux, se propagent au fond des retenues et dont le courant au cours de sa propagation présente le caractère d'individualité, donc ne se mélange que dans des proportions très faibles avec les eaux claires.

Les courants de densité sont ainsi très concentrés en sédiments, d'où la maîtrise de ce phénomène qui permet, le moment opportun, d'ouvrir les vannes de fond et de dégager ainsi le maximum de sédiments avec un minimum d'eau.

Le Professeur REMINI insista sur le fait que tous les exploitants de barrages et les ingénieurs devront maîtriser cette technique des courants de densité. Selon notre interlocuteur, grâce à l'application avec succès de cette technique la durée de vie des barrages est ainsi multipliée par trois. Par ailleurs, la valorisation des boues a pris son petit bonhomme de chemin. Des briques, des tuiles et des oeuvres artisanales de bonne qualité ont été ainsi réalisées suite aux différentes analyses physico-chimiques des boues. Les problèmes écologiques, si cette valorisation passe à l'échelle industrielle, seront à jamais bannis. De petites unités de briqueterie mobiles et déplaçables pourront s'installer à proximité des grands ouvrages. Des postes d'emploi seront ainsi créés et l'écologie préservée.

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit revêtir une dimension nationale tant les enjeux sont énormes. Tous les spécialistes s'accordent à dire que les pays du Maghreb, d'ici à 2025, connaîtront des problèmes aigus d'eau. Autant, dès maintenant, penser à une stratégie globale de préservation de nos barrages contre ce grave problème de l'envasement (Abdelli et Zeggane, 2007). citée par (Mahi Tani, 2011).

Conclusion

Dans cette partie nous avons pris connaissance des différents aspects concernant l'érosion hydrique des points de vue organisme, formes, facteurs, etc. On a insisté beaucoup plus sur la situation d'érosion hydrique en Algérie parce qu'elle est secteur ou se trouve notre zone d'étude.

Ce chapitre nous permet de bien connaître les bases de données de vulnérabilité d'érosion hydrique afin de bien mener notre étude en tenant compte des différents paramètres qui peuvent intervenir.

Chapitre II :
Etude
cartographique

Introduction

La cartographie est un ensemble de techniques permettant l'élaboration des cartes à partir des observations sur le terrain ou de l'exploitation de documents (Sadiec,2006)citée par (M'allogho,2008) .

D'une façon générale elle sert à comprendre l'espace, les territoires et les paysages. Cependant une carte est une représentation géométrique de toute ou partie de la surface terrestre.

Dans ce chapitre, on procède à mise en place les notions de base d'un S.I.G nécessaire pour l'élaboration d'une carte de vulnérabilité d'érosion hydrique concernée par notre zone d'étude.

II.1 Un système d'Information S.I.G

La Société française de photogrammétrie et télédétection (1989) cité par (Habert, 2000), définit le système d'information géographique comme étant un Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. (Yemefack, 2005) va dans le même sens en assimilant le SIG à un système informatique capable de collecter, conserver, manipuler et visualiser les données spatiales du monde réel afin de satisfaire un ensemble particulier d'objectifs.

II.1.1 Un système d'Information S.I

(Mathron, 2003), définit un système comme un ensemble d'éléments matériels ou immatériels (hommes, machines, méthodes, règles, etc.) en interaction transformant par un processus des éléments (les entrées) en d'autres éléments (les sorties) ; ce système est dit opérant. Le SI est composé d'éléments divers chargés de stocker et de traiter les informations relatives au système opérant afin de les mettre à la disposition du système de pilotage.

II.1.2 Une Information géographique I.G

Selon (Quodverte,1994)cité par (Bon,2012), l'I.G est la représentation d'un objet ou d'un phénomène réel, localisé dans l'espace à un moment donné.

II.2 Fonctionnalités d'un S.I.G

Bien que les SIG soient adaptés chacun à des objectifs fixes, ils ont en commun des fonctionnalités que l'on retrouve dans chaque système, regroupées en 5 familles sous le terme des « 5A » comme le précise (Longley et *al.*, 2005) :

- L'abstraction par des fonctions rendant compte de la modélisation de la réalité.
- L'acquisition pour la collecte des données grâce à des fonctions de saisie des données sous forme numérique.
- L'archivage grâce à un Système de Gestion de Bases de Données (SGBD).
- L'affichage pour la restitution des résultats par des fonctions de mise en forme et de visualisation .
- L'analyse par des fonctions de manipulation, croisement et transformation des données spatiales au moyen de requêtes dans le SGBD et quelques fois.

II.3 Les données d'un système d'information géographique

II.3.1 données spatiales ou objet géographique

Les données spatiales sont généralement sous forme de couches d'information issues de carte thématique, qui peuvent décrire entre autres: la topographie, la disponibilité en eau, la nature du sol, le couvert végétal, le climat, la géologie, la population, etc. (FAO, 1998). Selon (Habert,2000) un objet géographique peut être représenté soit en format raster (maillé en français) soit en format vectoriel.

a) Le format raster :

Ici la réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille (Pixel) de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera "représentée" par un ensemble de points d'intensité identique.

b) Le format vectoriel :

Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les arcs, et les arcs des polygones. Chaque objet spatial est repéré par des coordonnées (X, Y) et doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire.

- Les points : Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés.
- Les lignes : Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau.
- Les polygones : Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols...

II.3.2 Données attributaires

Selon la FAO(1998), La donnée attributaire ou descriptive se présente sous forme de statistiques ou de données alphanumériques telles que la pente, le type de sol, le couvert végétal, etc. Cette information est structurée sous forme de table attributaire.

II.4 Les composantes du S.I.G

La FAO (1998), décompose le système d'information géographique en trois éléments essentiels :

- ❖ **Le matériel informatique** (ordinateur central, disques magnétiques, et autres périphériques),
- ❖ **Les logiciels du SIG** qui ont pour fonctions principales :
 - **L'entrée des données** par la numérisation ou le scan et saisie des données attributaires à partir du clavier.
 - **La gestion des bases de données** qui comprend la structuration, la requête, l'analyse et l'enregistrement des données attributaires.
 - **L'analyse et le traitement des données** à travers la préparation des données par l'élimination d'erreurs ou la mise à jour et l'analyse des données pour fournir des réponses aux questions que l'utilisateur pose au SIG.
 - **Interaction avec l'utilisateur** (correction cartographique)
 - **Sortie de données et présentation** (traçage)
- ❖ **Les ressources humaines et organisation** : la composante humaine est la seule capable de faire fonctionner et piloter le système d'information géographique de manière pertinente et

efficace. Elle nécessite une expertise pointue tant dans la phase de collecte de données sur le terrain que dans l'utilisation des SIG.

II.5 Utilisations des SIG pour la cartographie du risque d'érosion

Les SIG sont des outils rapides d'exécution, flexibles et très puissants capables d'intégrer un grand nombre de facteurs et de les présenter sous une forme facilement interprétable (Zurayk *et al.*, 1999). L'utilisation des techniques de télédétection associées aux SIG permet l'estimation quantitative de l'érosion ainsi que sa distribution spatiale à des moindres coûts et avec un degré de précision appréciable pour de vastes superficies ; surtout que les décideurs politiques sont beaucoup plus intéressés par la distribution du risque d'érosion que par sa valeur absolue (Lu *et al.*, 2004). L'estimation quantitative de l'érosion se fait en appliquant des modèles empiriques ponctuelles, qui nécessitent comme paramètres d'entrée, des données spatialisées (Pentes, texture du sol, hauteur de pluies, etc.) caractérisant les facteurs de l'érosion hydrique (topographie, érodibilité, l'érosivité, etc.) (Le Bissonais *et al.*, 2004). Les SIG permettent d'appliquer des modèles ponctuelles cellule après cellule sur tout un espace géographiquement étendu (Lu *et al.*, 2004). Les données spatialisées de chaque paramètre sont traitées séparément sous forme de couches d'informations et intégrées (superposition des couches) dans le SIG pour en ressortir la carte de distribution du risque d'érosion (Mutua *et al.*, 2005).

Conclusion

Grace aux SIG, on résout le problème d'intégration des cartes analogiques, car sa plateforme permet de superposer différentes couches d'informations caractérisant des phénomènes dépendants ou indépendants, et qui aboutit à l'élaboration des cartes relationnelles très utiles comme outil d'aide à la décision

Chapitre III :

Zone d'étude

Introduction

Dans ce chapitre, on procède à la délimitation de la zone d'étude en envisageant sa situation géographique, topographique, climatique, géomorphologique, occupation de sol en faisant la collecte et le traitement des données de base. Afin d'avoir la carte de vulnérabilité d'érosion hydrique de notre zone d'étude.

III.1 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'une des caractéristiques les plus importantes d'un bassin versant (Zekri, 2003). Il est défini comme étant l'ensemble des rivières et autres cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, ainsi que des lacs et de ses réservoirs, dans une région donnée (Glossaire International d'Hydrologie, 1992). C'est un ensemble hiérarchisé et structuré des chenaux qui assurent le drainage superficiel d'un bassin versant (Dacharry, 1999). Ces deux mécanismes sont : la dispersion qui domine au niveau des versants et la convergence qui domine au niveau des chemins préférentiels de l'écoulement (Bouidhraa, 2001).

La Tafna est dans l'ensemble, un organisme hydrographique composite, qui réunit, dans un bassin évasé, appartenant à la montagne et à la plaine, des rameaux de longueur sensiblement égale : Oued Mouileh- Isly à l'Ouest, Tafna supérieure au centre et l'oued Isser à l'est (Tinthoin, 1984).

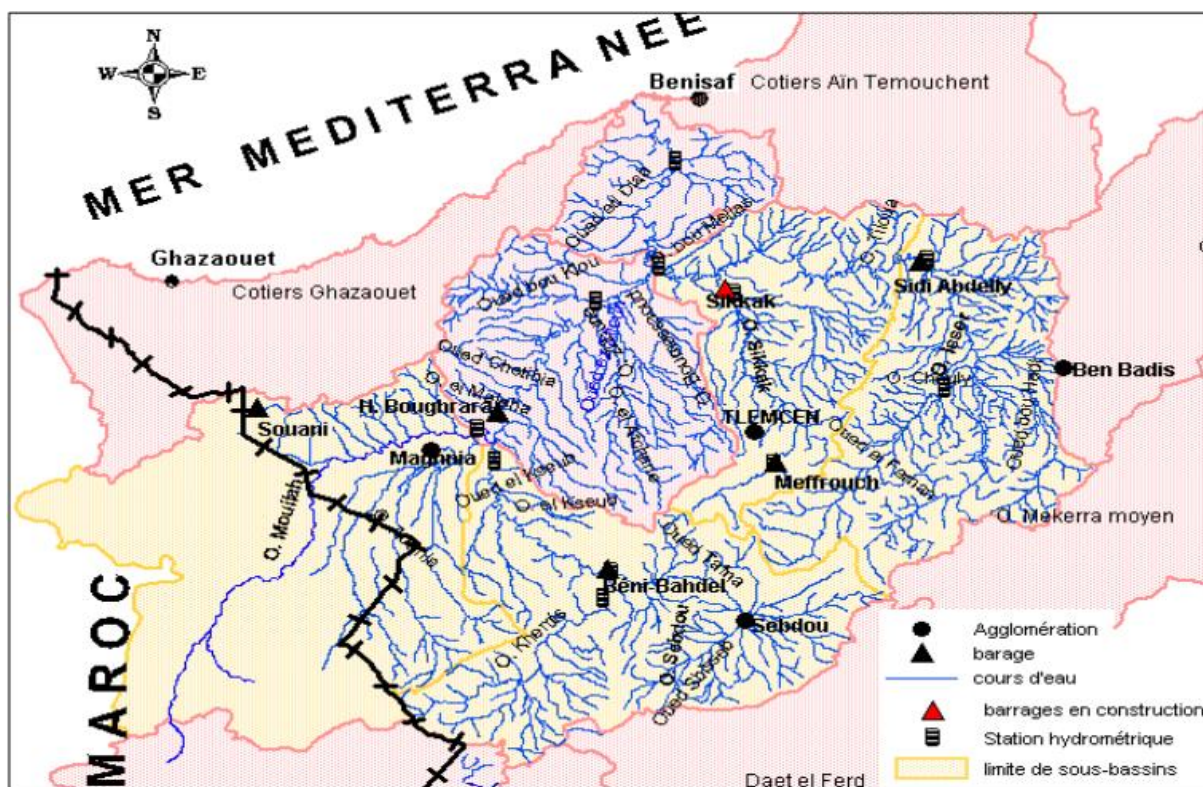


Figure III.1 : Réseau hydrographique de la Tafna. tiré par (Bouannani, 2006)

III.2 Aperçue sur le barrage de Boughrara

Le site de barrage de Hammam Boughrara est située sur l'Oued Tafna dans la partie Ouest de l'Algérie à la frontière marocaine .L'oued Tafna prend source sur le versant nord des amonts de Tlemcen et continue vers le nord et le nord-est pour se jetée dans la méditerranée à l'ouest de la ville de Beni-saf.

Sur l'oued Tafna, à 40km en amont du site d'Hammam Boughrara , la retenue de Béni Behdel sert à la régularisation des apports, à l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran et à l'irrigation des terres dans la plaine de Maghnia .

Les apports dans la retenue représentent la somme :

- Des stockages de Beni Behdel.
- Des pertes par l'infiltration de Béni Behdel
- Du ruissellement qui se forme sur la partie du bassin versant située entre le barrage de Béni-Behdel et celui de Hammam Boughrara.

(Monographie ANBT, 2000)



Figure III.2 : Barrage de Hammam Boughrara

Dans le cadre de cette étude on a opté pour une cartographie du bassin versant située entre le barrage de Béni-Behdel et celui de Hammam Boughrara. Suivant la grande importance du ruissellement entre ces deux ouvrages et encore plus ce dernier est un barrage par cascade du premier choix .Comparativement, à la grande zone qui inclus encore plus Oued Mouileh, cette étude peut paraître peu incomplète, toute fois vue la disponibilité des données cartographique, Cette délimitation est largement justifié.

III.3 Situation et géographie et administrative

Le bassin versant d'étude est situé au Nord-Ouest du siège de la wilaya de Tlemcen sur la partie amont de l'oued Tafna. Elle se caractérise par un relief montagneux et elle recouverte par la vaste étendue de forêt (37% de la superficie du bassin).

Il s'étend entre la commune de Sabra et la ville de Maghnia . Ce BV s'insère à l'intérieur d'un quadrilatère dont les coordonnées DMS Longitude/Latitude sont :

- X (1°41' à 1°26') Ouest.
- Y (34°52' à 34°37') Nord.

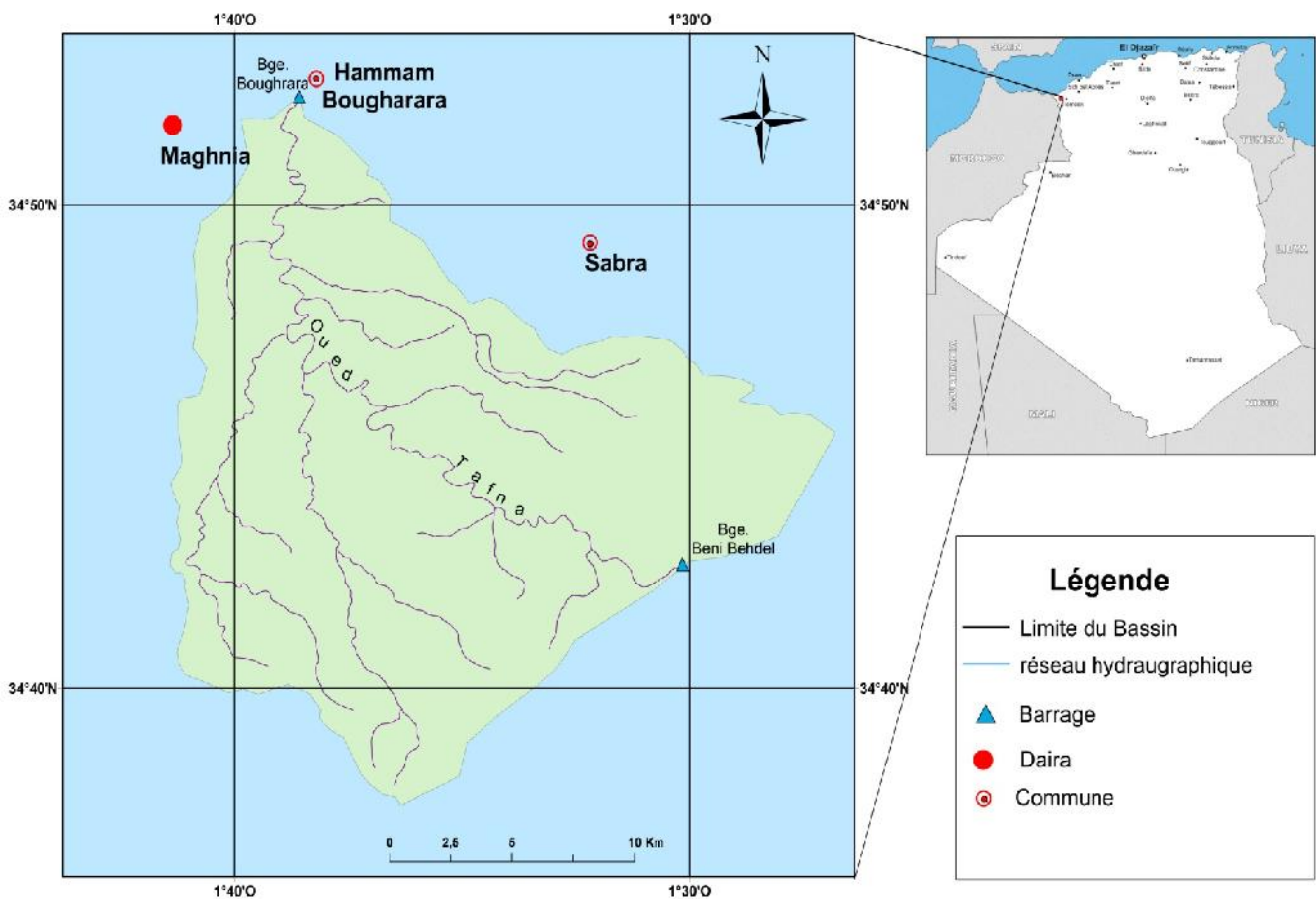


Figure III. 3 : carte de situation de la zone d'étude

Le bassin versant s'étend sur une superficie de 313.5 Km², la longueur de l'oued principale et leurs affluents est d'environ 142,60 Km.

Ce bassin a une forme ramassée orientée Sud-Nord et s'allonge depuis les monts du Tlemcen vers les monts de Traras

III.4 Situation géomorphologie

La zone d'étude se situe au niveau d'un espace caractérisé par un relief assez contrasté où l'on distingue trois parties essentielles :

- La zone montagneuse et des piémonts représentant 30%, constitue un couloir allant de Ouled Aissa à l'Ouest jusqu'à Sidi Ali Benzemra à l'Est, soit une distance de 15 km. La largeur de ce couloir varie de 7 km au niveau de Ouled Bouhanna et se rétrécit jusqu'à 2 km au niveau de Ouled Aissa près de Maaziz.
- Les plateaux représentant 60%, ils peuvent être identifiés comme des plaines d'importance locale (Sidi El Mechour, Hammam Chiguer, Sidi Ali Benzemra). On les rencontre également sur la rive sud de la Tafna sur les prolongements de Ouled Riah, Sabra et Bouhlou).
- Enfin, les dépressions et vallées représentant 10%. Elles sont rencontrées un peu partout dont la plus importante et la plus riche est la vallée de la Tafna qui s'étend sur un tronçon de 8 km avec des largeurs variant de 200 m à 1000 m.

II.4.1 Carte des altitudes

A fin de pouvoir décrire avec précision la topographie du bassin versant nous avons eu recours à la modélisation de l'altitude par le biais d'un modèle numérique de terrain communément appelé MNT.

La carte d'altitudes est obtenue suite au traitement effectué en utilisant la carte MNT SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), fournie par csi.cgiar (Consultative Group International Research-Consortium Spatial Information); elle est d'une précision de 90m, importée depuis sa forme originale SRTM .

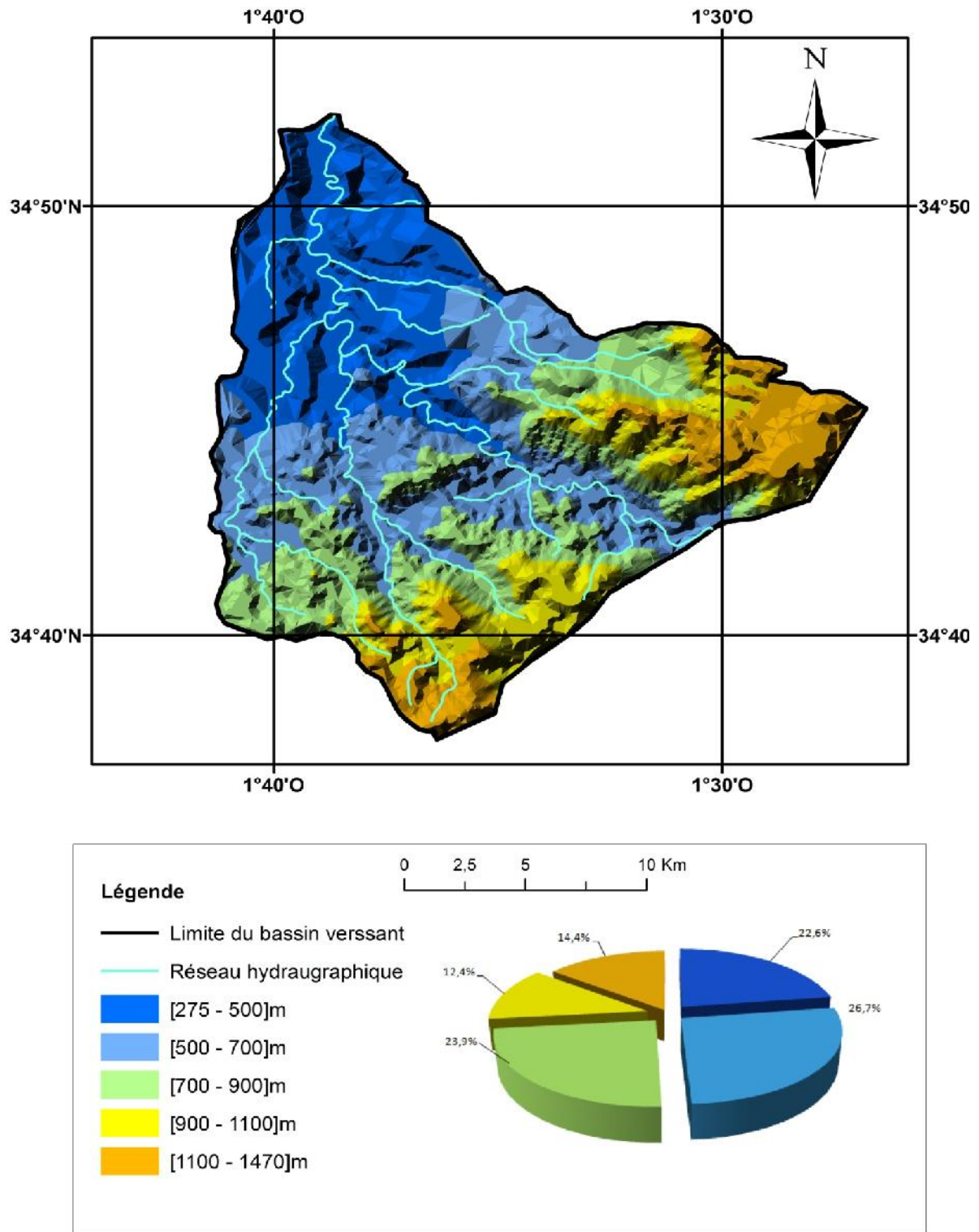


Figure III. 4 : MNT de la zone d'étude

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin (Bouannani, 2006).

A la base du model numérique, on a crée La cartes hypsométrique du bassin versant du barrage de hammam boughrara pour mieux visualiser les différents zones d'altitude, où les courbes de niveau réunissent tous les points de même altitude

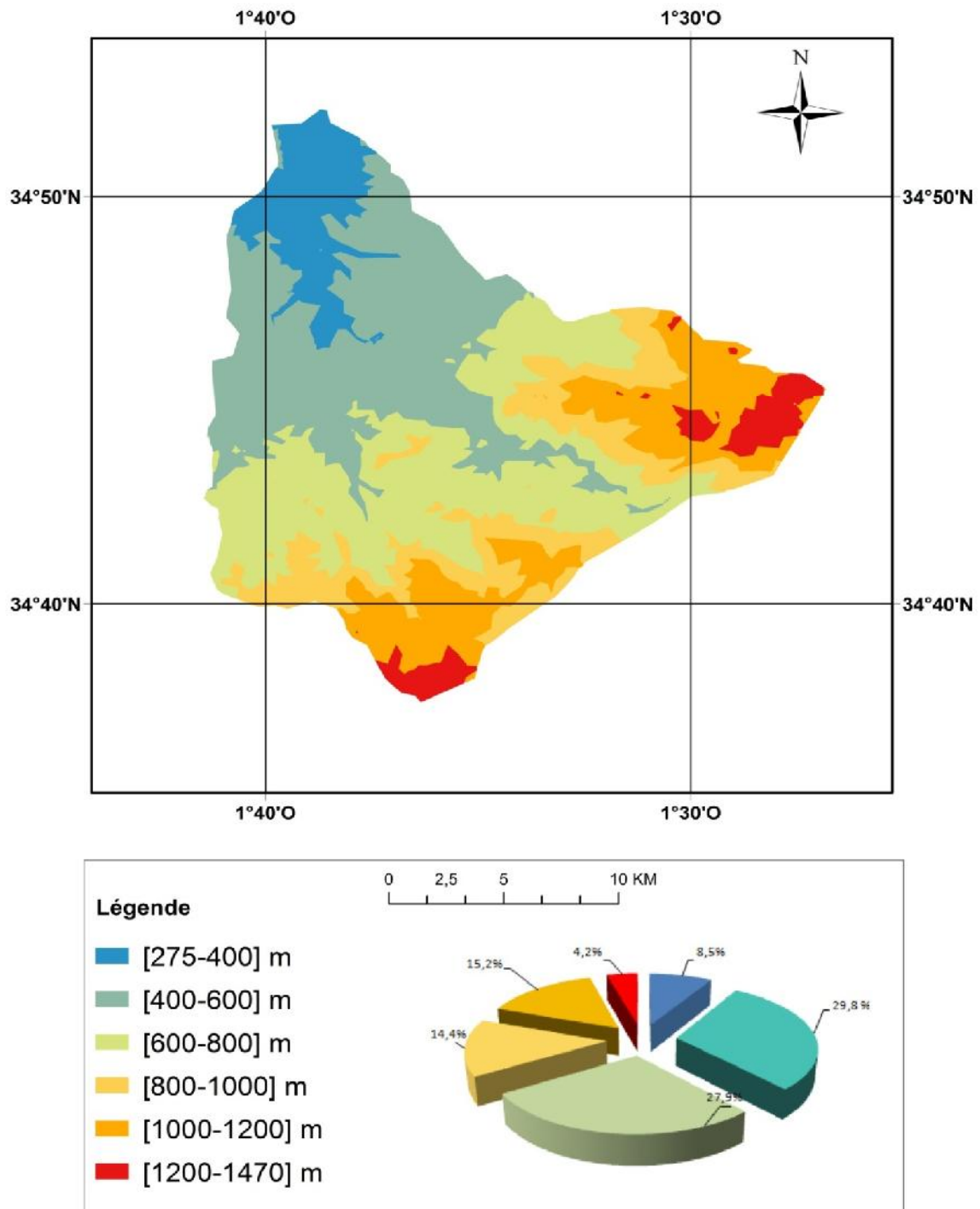


Figure III. 5 : Carte hypsométriques de la zone d'étude

Le tableau III.1 et la figure III.6 représentent la répartition des superficies du bassin versant selon les tranches altitudinales et montre que 60% du bassin à une altitude supérieur à 600m,

L'altitude maximale est de 1470m (amont du bassin versant), l'altitude minimale est de 275m (aval du bassin versant) alors que l'altitude moyenne est de 721m.

Tableau III.1 : Classes d'altitudes et leurs surfaces

Classe d'altitudes	Surface (Km ²)	Surface cumulée(Km ²)	% cumulé
[1200-1470]	13,5	13,5	4,3
[1000-1200]	47,7	47,7	15,2
[800-1000]	45,1	45,1	14,4
[600-800]	87,5	87,5	27,9
[400-600]	93,4	93,4	29,8
[275-400]	26,6	26,6	8,5

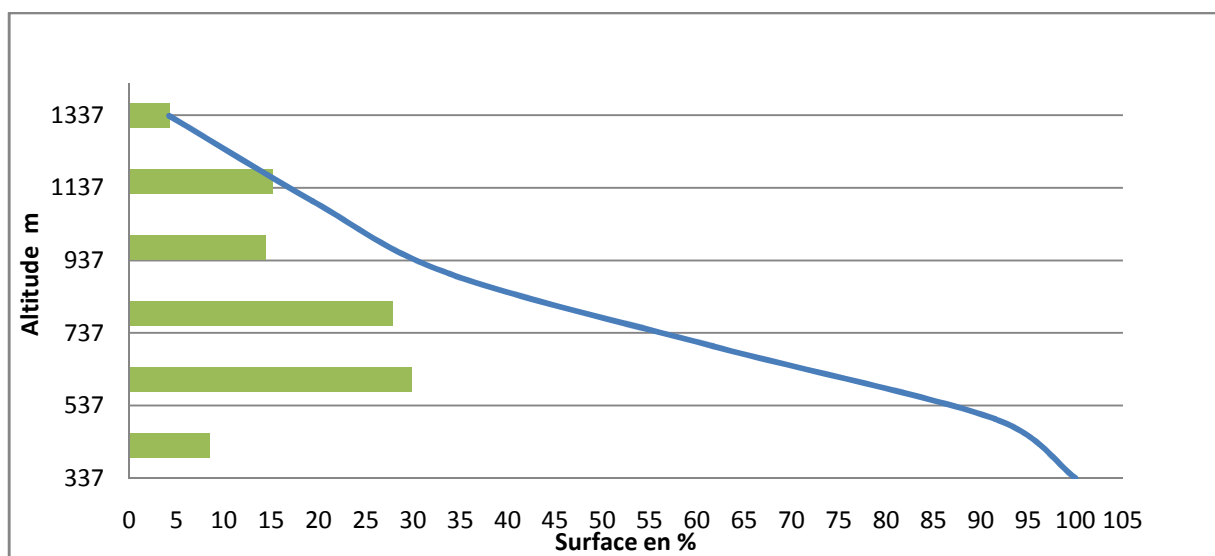


Figure III. 6 : Courbe hypsométrique

II 4.2 Carte des pentes

A partir du modèle numérique de terrain on a déduit la carte des pentes. Elle a été reclassée en se basant sur la classification de L. MAYER (1995) et transformée en carte de vulnérabilité à l'érosion des terrains en fonction de l'inclinaison de la pente (voir tableau II.2). (Aké et al.,2012)

Tableau III.2 : Classification de vulnérabilité à l'érosion hydrique en fonction de la pente.

Pente (%)	Vulnérabilité à l'érosion hydrique
0-5	pente faible
5-15	pente moyenne
15 - 50	pente forte
>50	Très forte

Les résultats du cercle triangulaire montrent que le relief est assez contrasté avec des pentes fortes et moyennes qui occupent 75,7% de la surface du bassin versant. La pente maximale est de 43°, la pente minimale est de 0° alors que la pente moyenne est de 10°.

Sur la zone d'étude, seules sont représentées des pentes faibles, moyennes et fortes.

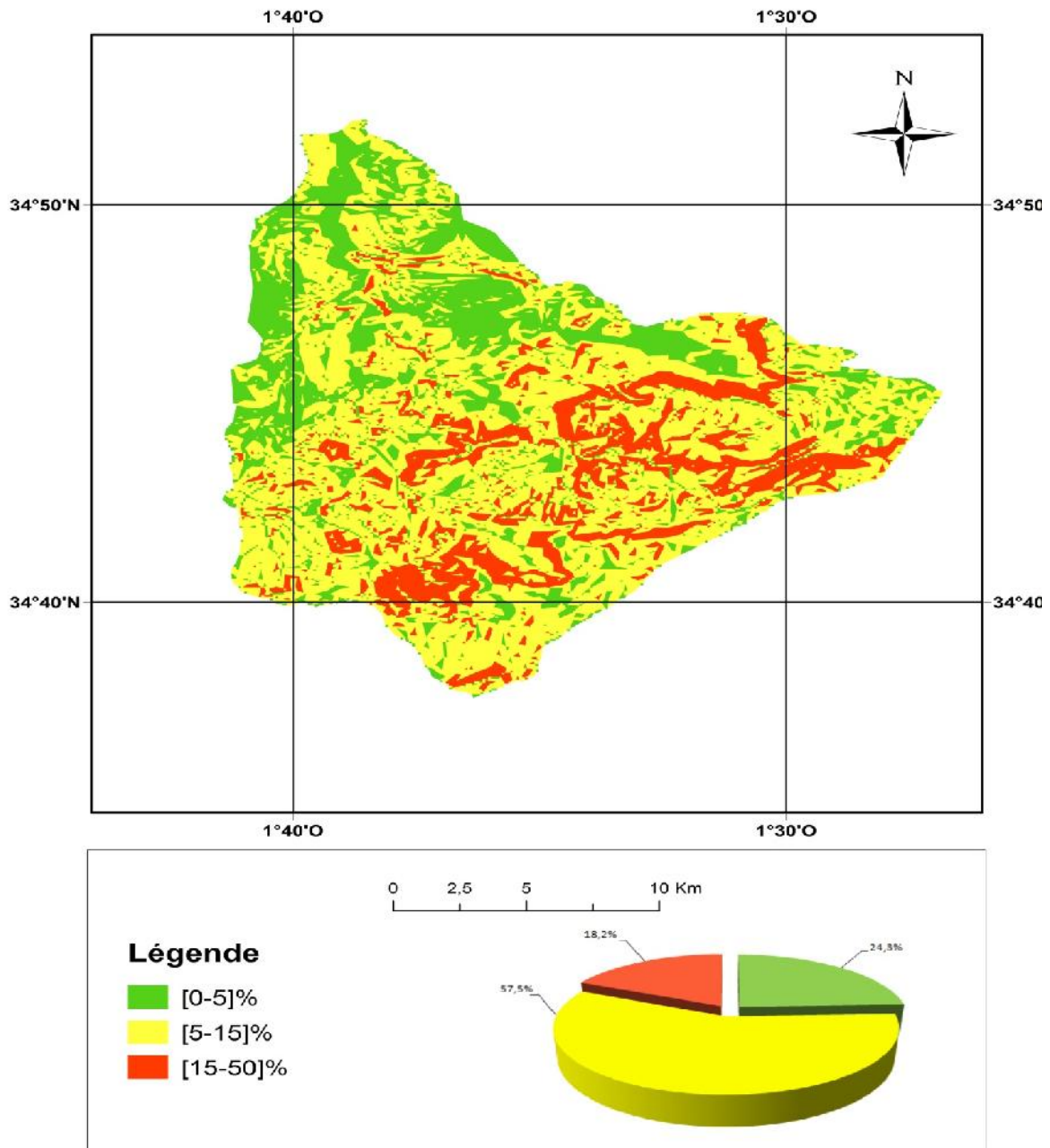


Figure III. 7 : carte des pentes.

D'après la carte des pentes établie (Figure III.7), on peut conclure que les plus grandes valeurs de pente se situent au niveau de l'amont du bassin versant (ruissellement fort impliquant une forte érosion), alors que la partie aval a des valeurs de pente très faible (ruissellement faible impliquant une faible érosion).

III.5 Situation climatique

III.5.1 Les précipitation

La pluviométrie est un facteur important qui permet de créer le ruissellement, Cette évaluation annuelle est confrontée à la difficulté dans le cas du bassin versant du barrage de hammam boughrara, mal au manque de stations pluviométriques bien réparties à l'intérieur de la surface du bassin. Il est donc difficile d'estimer la répartition spatiale des précipitations à partir des stations pluviométriques les plus proches du bassin.

Afin de palier cette situation, nous avons basé sur la carte pluviométrique moyenne annuelle du nord de l'Algérie. Les précipitations dans le bassin versant de l'oued Tafna sont répartie d'une façon assez irrégulière. La partie est du bassin versant se caractérise par une assez grande abondance de précipitation (550 à 600) mm. La partie ouest se situe dans la zone où les précipitations sont (350 à 400) mm.

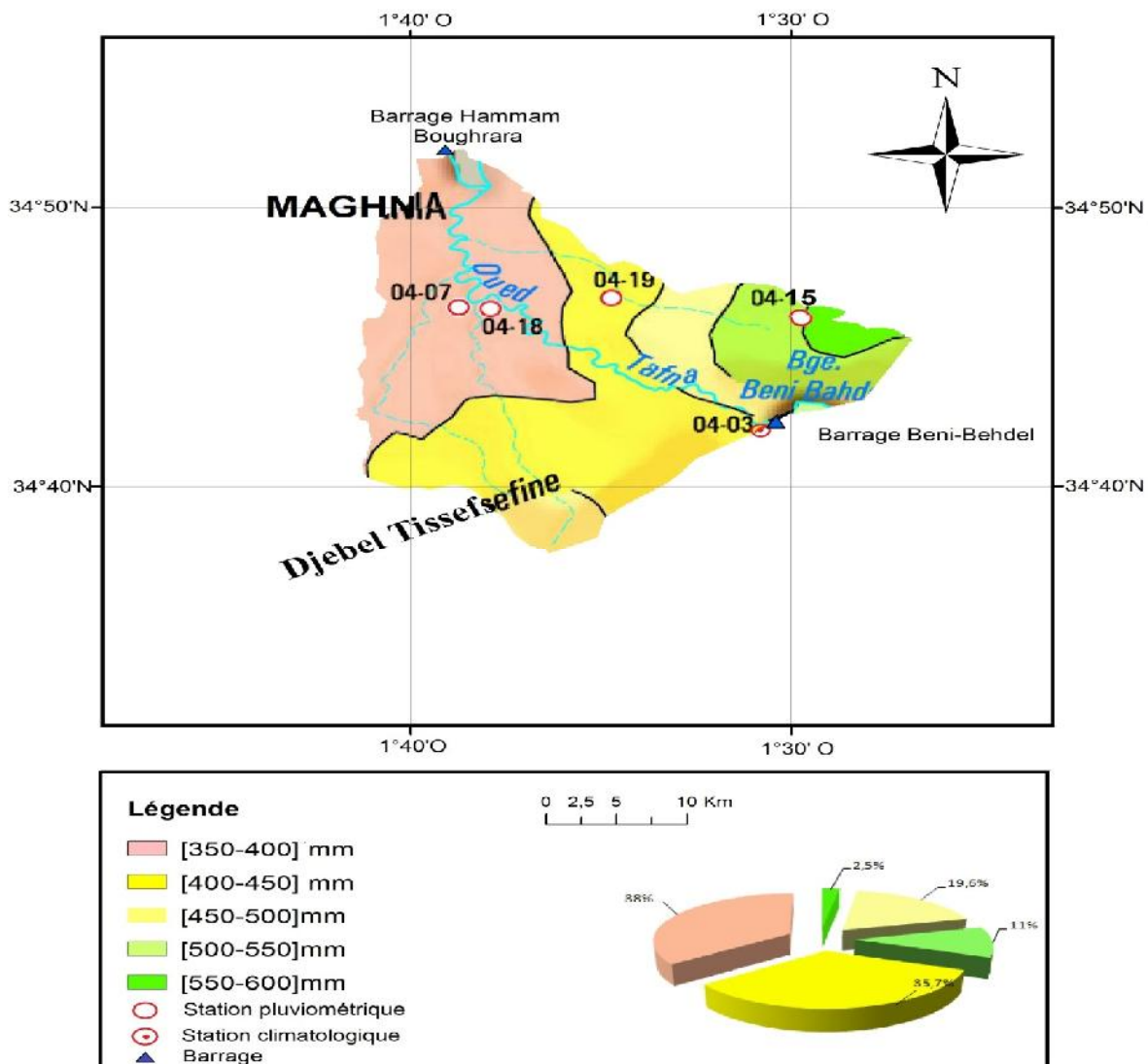


Figure III.8 : Carte des précipitations annuelles(ANRH).

A partir de la carte des isohyètes des précipitations moyenne annuelle, on a déduit celle qui correspond à notre secteur d'étude, Cette carte montre que la lame des précipitations augmentent de la partie nord (exutoire) vers la partie sud (amont du bassin).

Les précipitations moyennes annuelle a été reclassée en se basant sur la classification de (Boughalem *et al*,2012)

Tableau III.3 : Classification de vulnérabilité à l'érosion hydrique en fonction de les précipitations moyenne annuelle (d'après Boughalem *et al*) .

Précipitations(mm)	Vulnérabilité à l'érosion hydrique
[270-350]	faible
[350-450]	moyenne
[450-550]	forte
[550-650]	très forte

Sur la zone d'étude, seules sont représentées des précipitations moyennes, fortes et très fortes.

III.6 Situation géomorphologique

La géomorphologie est considérée comme une expression synthétique de l'intersection entre les facteurs climatiques et géologiques (ADI, 2001) cité par (Chemouri,2012). Pour cette raison le contexte géologique, et plus particulièrement la lithologie, est l'un des paramètres déterminant dans les processus érosifs et la génération du ruissellement au niveau d'un bassin versant.

Le substrat de la zone d'étude est constituée du point de vue géologique de plusieurs formations allant du Primaire au Quaternaire.

Du point de vue lithologique, les roches qui prédominent dans la région d'étude sont recouvert par :

- des granites d'âge Primaire et calcaires dolomitisée cohérentes et très résistante à l'érosion qui composent le massif situé dans la partie extrême Sud du Bassin versant.
- des calcaires marneux, schistes, silex, marnes, argiles,grés, d'âge secondaire (jurassique), représente une classe moyenne sensibilité à l'érosion, occupant presque la moitié de la surface du bassin versant.
- Dans Nord du Bassin versant, des roches plus tendres et plus sensibles à l'érosion d'âge tertiaire (Miocène, Quaternaire « holocène »). Elles sont composées de marnes bleues ,argiles, cailloux, alluvion actuelles ,graviers affleurent au niveau les terrasses d'oued Tafna ainsi que les terrains plats et les dépressions.

Donc ,selon notre connaissance du terrain et l'analyse de la carte litho-stratigraphique nous ont permis de distinguer trois classes de matériaux affleurant (Très résistants, résistants et sensibles à l'érosion).

L'approche méthodologique adoptée pour traiter cet aspect litho-géo-morphologique consiste en l'exploitation systématique de toutes les données pertinentes à ce sujet et plus particulièrement la bibliographique disponible, la carte litho-stratigraphique générale d'Algérie et la carte chrono-stratigraphique internationale.

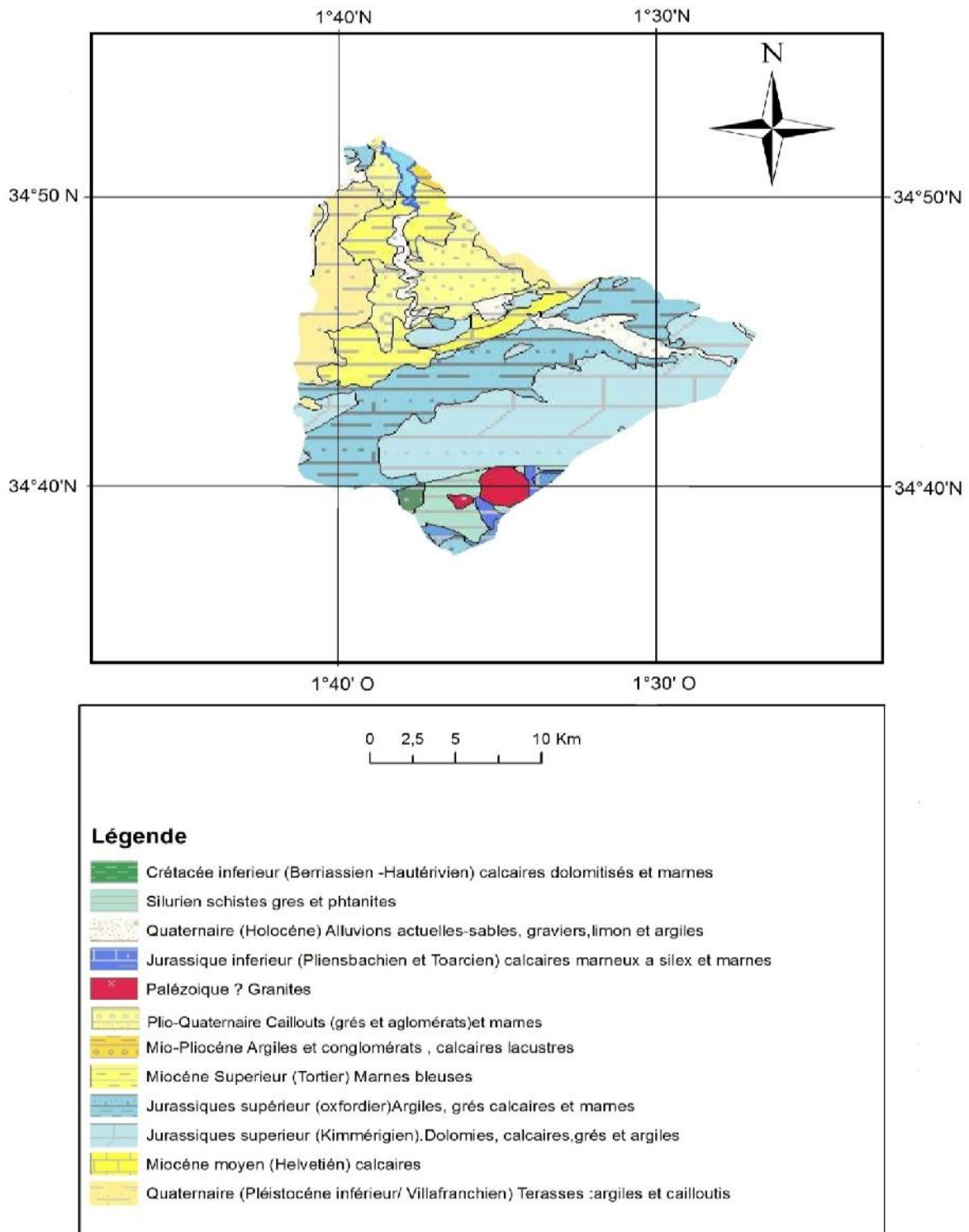


Figure III. 9 : Carte litho-stratigraphique de la région (ANRH).

III.7 L'occupation du sol

L'occupation du sol ou l'état de surface est l'un des facteurs les plus importants de l'érosion Hydrique. Son effet se résume en deux points principaux la réduction de la détachabilité (splash) et de la transportabilité (ruissellement).

Les données d'occupation du sol sont issues des classifications supervisées par l'institut national des sols, de l'irrigation et du drainage (INSID) .

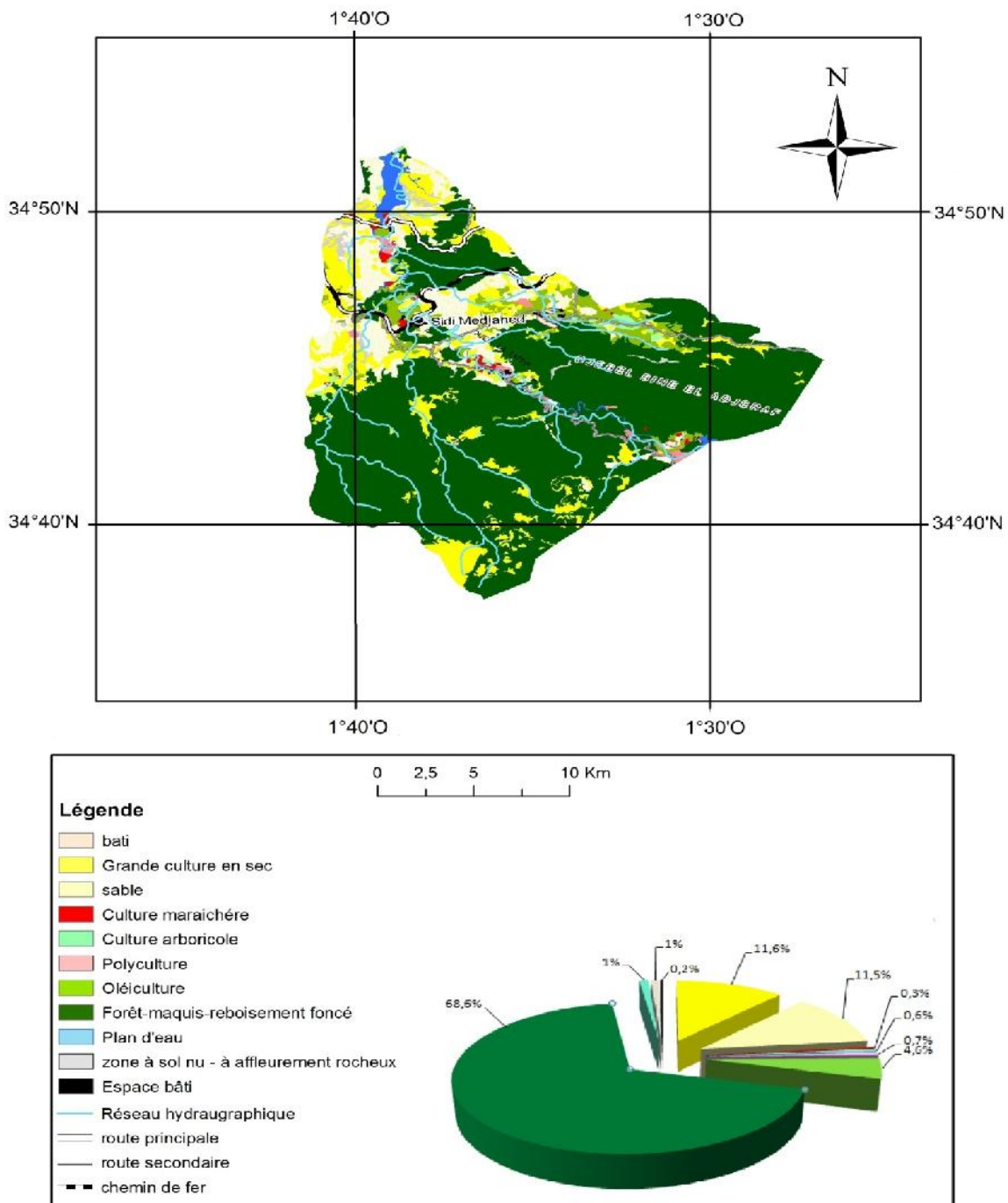


Figure III.10: Carte d'occupation de sol de la région (INSID).

L'occupation de sol a été reclassée en se basant sur la classification de (Boughalem et al,2012) , en fonction de leur capacité de protection du sol à l'érosion :

- classe 1: couvert végétal non protecteur, correspond aux parcours et aux sols entièrement dénudés et non cultivés (sable, espace bâti, zone à sol nu-à affleurement rocheux routes...).
- classe 2 : couvert végétal moyennement protecteur, comprend les cultures annuelles (céréales, culture maraichère...)
- classe 3 : couvert végétal protecteur. comprend les cultures arboricoles, Oléiculture,
- classe 4 : couvert végétal trop protecteur. comprend les forêts ainsi que les maquis et reboisements.

III.8 Mode de travail

Le choix de la méthodologie du travail dépend de la variabilité des conditions du milieu, de la surface de la zone, de la raideur des pentes, des limitations matérielles et de la disponibilité des données surtout climatiques.

La première étape de notre démarche consiste à sélectionner les facteurs les plus représentatifs intervenant dans les phénomènes érosifs. Il s'agit des facteurs choisis et développés dans le chapitre précédent la topographie, caractérisée par le critère « inclinaison de la pente », la nature du substrat, représentée par la géologie des formations superficielles, l'occupation du sol décrite par le couvert végétal et le climat décrite par les précipitations moyenne annuelle.

La deuxième étape consiste à intégrer les données précédemment mentionnées sous forme de couches d'informations dans un SIG. Ces couches sont ensuite reclassées qualitativement sous forme d'un indicateur de sensibilité en fonction de leur contribution au phénomène d'érosion. Les nouveaux plans d'informations sont par la suite hiérarchisés puis combinés par le biais d'une analyse multicritère qualitative. Cette base de données spatialisée est pilotée par le logiciel *Arcgis 10.2.2*

Finalement le résultat de la combinaison multicritère, apporte une spatialisation de l'érosion potentielle des sols, hiérarchisée selon un niveau de sensibilité.

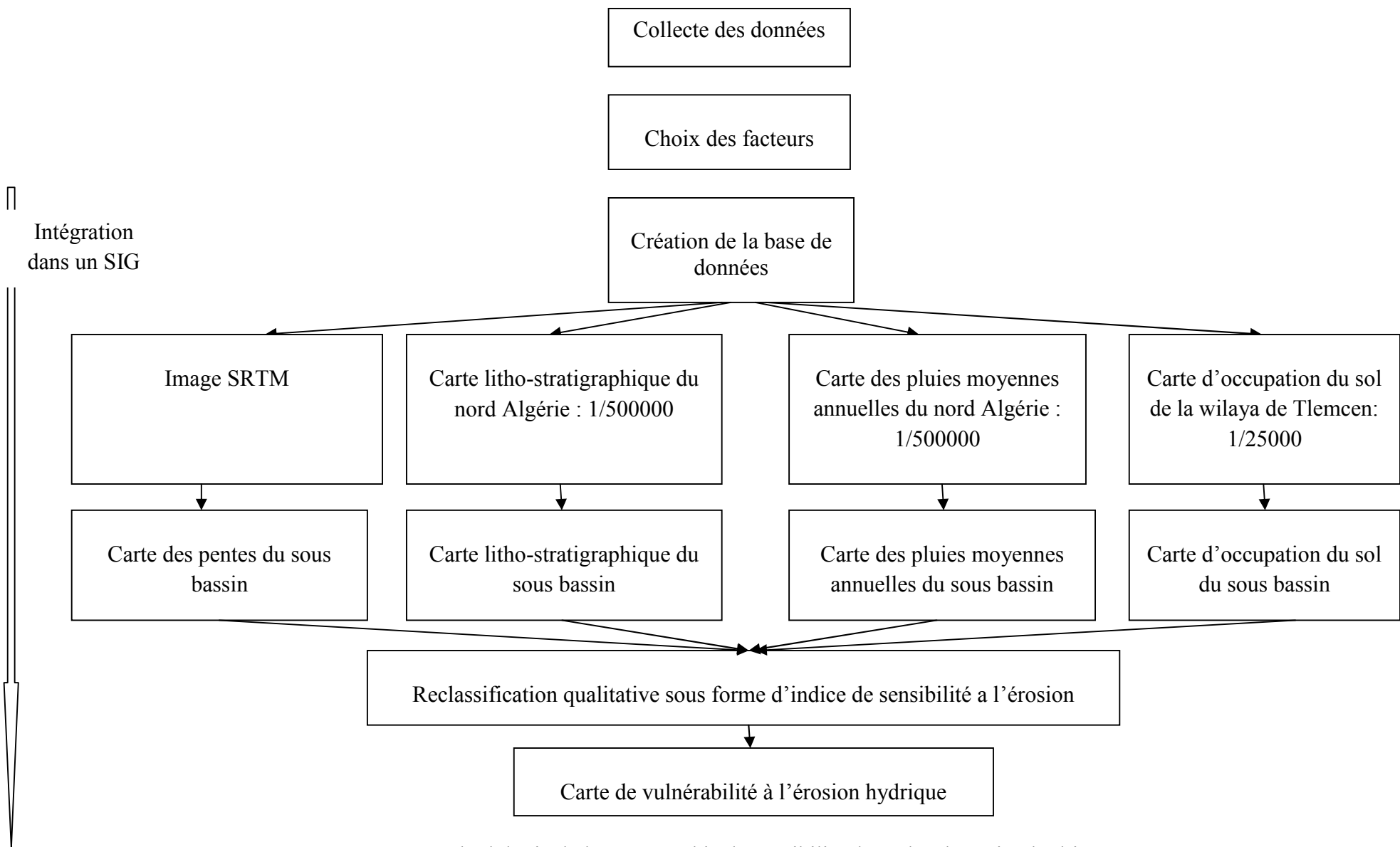


Figure IV.11 : Méthodologie de la cartographie de sensibilité des sols a l'érosion hydrique

III.8.1 Interprétation du résultat :

La carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique obtenue montre que les pertes moyennes en terres se trouvent au Sud-ouest du bassin au dessus les marnes et les calcaires où on a des pentes varient entre moyenne et forte et une précipitation moyenne plus que le reboisement forcé qui maintient le sol donc une résistance moyenne à l'érosion. Cependant la majorité de la superficie du bassin versant presque les deux trièdres présente une érosion importante. Une partie se caractérise par des fortes pentes et fortes précipitations encore sous les marnes et avec un couvert végétale dense et l'autre garde même les critère celle de la première sauf que les précipitations sont moyennes et un sol moyennement protecteur ,elles se localisent dans la partie Sud-est et Nord-ouest du bassin versant.

Presque la totalité de la superficie qui se trouve au Nord, non loin de la retenue du barrage de Boughrara, est exposée à une très forte érosion. Du la présence des roches trop sensibles à l'érosion et la nudité des terrains malgré la pente moyenne qui domine. Cette exposition très génère une grande production de sédiments participant de façon directe au risque d'envasement. La proximité de cette zone au barrage participe aussi à l'envasement du fait que les sédiments érodés ne se déposent nulle part autre que dans la retenue.

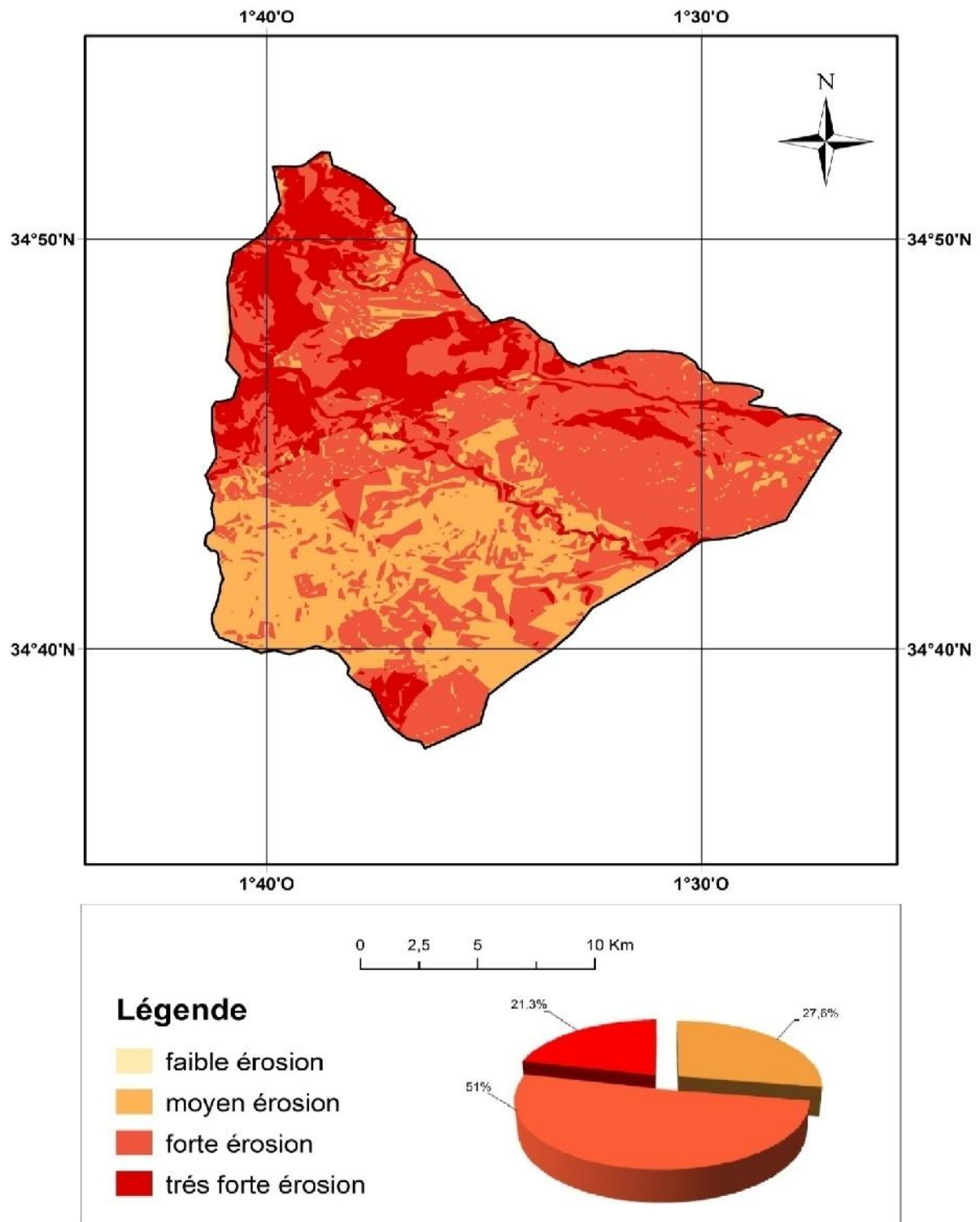


Figure III.12: Carte de vulnérabilité d'érosion hydrique du bassin versant la Tafna.

Conclusion :

La cartographie des zones à l'érosion hydrique du sous bassin versant de barrage de Hammam Bouhrara . A permis de distinguer quatre classes de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique. Les zones à moyenne vulnérabilité couvrent 27.6 % du secteur d'étude, les zones à forte vulnérabilité 51 %, celles à très forte vulnérabilité couvrent 21.3 % du bassin versant. Ces résultat donnant une aperçue sur l'érosion dans le bassin versant donc on peut dire qu'il est nécessaire de faire un programme de protection contre l'érosion hydrique a fin de protéger le barrage contre l'envasement.

Conclusion générale

Conclusion

A travers cette étude, il a été fait une carte de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique du bassin versant de la Tafna nous avons pris en compte les quatre facteurs dominants (naturels ou anthropique) combinant traitement de l'imagerie satellitaire, données climatologiques, lithologiques et l'occupation du sol dans un SIG , ce travail effectué a permis d'identifier et de cartographier les surfaces des terres nécessitant la plus grande priorité d'intervention pour la protection du patrimoine sol afin de réduire les apports solides au niveau de la retenue du barrage Boughrara .

En nous inspirant d'ouvrage scientifique spécialisé sur le thème d'érosion hydrique et le transport solide dans les versants et l'envasement des retenues, ce travail a permis de démontrer que :

- Il est important d'évaluer l'exactitude des estimations de l'aléa ou bien l'ampleur des risques d'érosion des sols, pour mieux l'employer dans le contexte de la protection des sols contre la dégradation et la lutte contre l'érosion. Cependant, il est très difficile, d'acquérir des mesures directes de ce phénomène pour de grandes superficies.

- La méthode de cartographie par un SIG ne quantifie pas l'érosion mais elle est la bonne solution optée pour intégrer l'ensemble des informations et permettre un échange facile de données et de résultats entre les divers opérateurs. Ceci implique que la cartographie joue un rôle essentiel dans l'enrichissement de nos connaissances sur les sols et notamment de les lois de répartition des substances érodée dans les superficies. L'informatisation de ces données permet de disposer d'un outil puissant qui constitue un atout précieux pour mieux prendre en compte la nature des sols au niveau local dans différents domaines (agronomie, environnement, aménagement du territoire...).

- Selon la carte de vulnérabilité et d'érosion que nous avons établie, le bassin versant du barrage Hammam Boughrara n'est pas épargné par la dégradation accélérée des ressources naturelles. En fait, le territoire de ce sous bassin versant se dégrade à un rythme croissant à cause de l'absence presque totale d'une couverture végétale atour les localités en aval.aux proximité de la retenue. Ce qui occasionne très souvent des pertes considérables pour du sol en aval.

- D'une manière générale, la nécessité de protéger le barrage de Hammam Boughrara est d'une extrême urgence. Compte tenu de l'état exagéré de la dégradation du bassin versant, la situation de l'heure réclame le besoin en vue de procéder à un aménagement approprié.

Enfin, nous espérons que ce modeste travail pourra servir de référence pour les prochaines promotions.

Référence bibliographique

A

Abdelli, M., Zeggane, M. (2007), les barrages en Algérie, problématique et enjeu de l'envasement, Journal de l'expression [en ligne], le 05/09.consulté le 12/02/2017, <http://www.djazairess.com/fr/l'expression/45566>

Aké,G., Kouadio,B., Adja,M.G., Ettien, J.P., Effebi,K.R.& Biémi.B .(2012). Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Physio-Géo [En ligne], Vol 6, consulté le [15/03/2017] . URL : <http://physio-geo.revues.org/2285> ; DOI : 10.4000/physio-geo.2285

A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et des Transferts), (2000).Barrage de Hammam Bouhrara sur l'Oued Tafna .Momographie.Tractenbel Engineering. Vol 1.196P

Arabi, M.(1991). Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen. Thèse de Doctorat. université de Grenoble, France,272p.

Aubert ,G. (1986). Réflexions sur l'utilisation de certains types de banquettes de "Défense et Restauration des Sols" en Algérie. Cahiers Office de la recherche scientifique et technique outre-mer. Série pédologie (Cah. O.R.S.T.O.M, Sér. Pédol),22 (2) : 147- 151.

B

Bannari, A., Haboudane, D., Bonn ,F. (1999).Potentiel des mesures multi-spectrales pour la distinction entre les résidus de cultures et les sols nus sous-jacents , 21st Canadian Symposium on Remote Sensing (June 1999, Ottawa, Ontario, Canada). 359-366.Université d'Ottawa. Canada.

Bon,P.V.(2012). Système d'information géographique (S.I.G) et évaluation biophysique des terres pour la culture d'ananas (ananas comosus) dans les plantations du Haut Penja (PHP). Université de Dschang Cameroun,80p.

Bouanani, A., Terfous, A., Benslimane, M. & Cherif, Z. A.(1999) . Resources and stocks of water of Algeria, in: The First International Conference on the Geology of Africa. Egypt .vol 1. 473-480.

Bounani, A., (2006).Hydrologie, Transport Solide Et Modélisation Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse Doctorat d'état Univ A.belkaid Tlemcen.250p.

Boughalem ,M., Mazour,M., Grecu,F.,Abdellaoui,A., Hamimed,A.(2012).
Évaluation par analyse multicritères de la vulnérabilité des sols à l'érosion : Cas du bassin versant de l'Isser-Tlemcen-Algérie.Analele Universității București.Romania.
26p

Bouidharaa, H., (2001).Modélisation pluie-débit a base géomorphologique en milieu semi-aride rural Tunisien : Association d'approches directe et inverse. Thèse de Doctorat. Institut national Agronomique de Tunisie. 227 p.

Boukheir, R., Girard, M.C., Shaban, A., Khawlie, M., Faour, G., Darwich., T. (2001) .Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban, Télédétection. vol. 2, n° 2, 79-90.

C

Cote, M., (1983).L'espace algérien. Les prémices d'un aménagement. Alger.Office des publications universitaires (OPU). 278 p.

Chemouri,F.Z.(2012). Paysage Floristique en Amont du Barrage de Hammam Boughrara Aspects Anthropiques et Phyto-dynamiques.Mémoire de Master .Université de Tlemcen.Algérie.122p.

D

Dacharry, M., (1999). Dictionnaire français d'hydrologie, Comité National Français des Sciences Hydrologiques, Commission de terminologie.

Dautrebande, S et Colard, F. (2003). Cartographie des zones à risque de ruissellement et d'érosion en région wallonne : méthodologie et cas pilotes. Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. 18 p

Demmak ,A.(1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de doct. Ing. Paris.France.323p.

Derancourt,F.(1995).Erosion des terres agricoles, méthodologie proposées à l'étude de bassins versants agricoles. Rapport Chambre d'Agriculture Pas-de-Calais.

Douffissa,Z.(2011). Estimation des taux d'érosion et de sédimentation a l'aide des techniques isotopiques (137CS) :Cas du bassin versant de Moulay Bouchta, Rif Occidental .Faculté des Sciences et Techniques Marrakech.Marroc.62p.

F

FAO.(1994).Groupe de travail ad hoc sur les sardinelles et autres espèces de petits pélagiques cotiers de la zone nord du Copace .Crodt-Dakar.[29/11/1993-3/12/1993] SERIES 94/58.ROME FAO1994.295p.COPACE/PACE

FAO. (1998). Utilisation des systèmes d'information géographique dans le développement durable. Service de l'environnement et des ressources naturelles, Division de la Recherche, de la Vulgarisation et de la formation. Rome.

G

Gauvin,D. (2000) . Inventaire des zones sensibles à l'érosion des sols en vallée d'Authie dans une perspective d'application des mesures agri-environnementales "Eau et Environnement". Mém. D.U.E.S.S. Diplôme d'études professionnelles (D.E.P). Université Picardie Jules Verne, France,105 p.

Glossaire International d'Hydrologie.(1992).Association Internationale des Sciences Hydro logiques [en Ligne], www.cig.ensmp.fr consulté le [03/04/2017]

Gomer, D. (1996).Doublement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. The German Organisation for Technical Cooperation (GTZ). RFAJ ,207p.

Gosselin , B et al (1986), La dégradation des sols agricoles. In Bulletin technique, N° 13 pp15-18.

Goufri ,A.(2014). Application des modeles USLE et HEUSCH pour l'estimation de la perte en sol et l'envasement du barrage du bassin versant de l'Assif el Mal (Tensif Alhaouz). Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech.Marroc102p.

G.T.Z. (1996) . L'aménagement des zones marneuses dans les bassins versants des montagnes de l'Atlas tellien semi-aride.GTZ .R.F.A. 142p.

H

Habert, E.(2000). Qu'est-ce qu'un système d'information géographique ? Laboratoire de cartographie appliquée. IRD.

Heddadj, D. (1997), La lutte contre l'érosion en Algérie, Bull, réseau-érosion, n°17, Institut de recherche pour le développement (IRD), Montpellier, 168-175.

Heusch, B. (1982). Etude de L'érosion et des transports solides en zone semi-aride. Recherche bibliographique sur l'Afrique du Nord.Projet RAB/80/04. PNUD g. 83p.

Honerma, H. (1992). "La socio-économie et l'érosion". In : Séminaire de planification du projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'Oued Mina, Relizane, Algérie.

K

Kouri, L.(1993). L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued Mina(Algérie). Etude des processus et types fonctionnels des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de Doctorat. Université de Strasbourg,France,938p.

Kuypers,H., Mollema, A.&Topper, E. (2004). La protection des sols contre l'érosion dans les tropiques. Agrodok 11, Fondation Agromisa.Wageningen.Pays-Bas.99 p.

L

Lahlou, A.(1995).Etude actualisée de l'envasement des barrages au Maroc. Revue des sciences de l'eau, n° 6, pp. 337-356.

Latrille, E.(1979). Cours sur l'érosion et les techniques de lutte anti-érosives, 58 p.

Le Bissonais, Y., Dubreuil, N., Daroussin, J.&Gorce, M. (2004). Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale : exemple du département de l'Aisne. Etude et gestion des sols, Vol. 11, 3 : 307-322.

Lilin ,C. et Koohafkan ,P. (1987). Techniques biologiques de conservation des sols en Haïti. FAO, Rome, 36 p.

Longley,P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D..J., & Rhind,W. (2005). Geographical Information System: Principles, Techniques; Management and Applications (abridge edition). Hoboken, N.J.: Wiley.

Lu, D.G., Valladares, G.S., Bastiella, M. (2004). Mapping soil risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: Using RUSLE, remote sensing and GIS. Land degradation and development, 15: 499-512.

Ludwig, B. (1992). L'érosion par ruissellement concentrée des terres cultivées du Nord du Bassin Parisien. Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 200 p.

M

M'allogho, F. (2008). Analyse comparative entre superficies officielles et SIG des permis forestiers: Cas des Petits Permis Forestiers Gabonais. Ecole Nationale des Eaux et Forêts. Gabon. 50p.

Mahilum, B.C. (2004). Basic soil science and concepts in tropical soils. Trop. Ag. Hawaii Inc., Honokaa, Hawaii 96727, 284 pages.

Mahi Tani, W. (2011). Aménagement intégrés des bassins versants et développement durable dans la région de Maghnia ca su barrage hammam Boughrara Tlemcen (Algérie), Université ABOU-BEKR BELKAID TLEMCEM. 98p.

Mathron, J.P. (2003). Comprendre mieux les outils conceptuels et organisationnels Eyrolles. p. 53 ; p 54 - 55 ; p 205 - 206 ; p 159 ; p. 80.

Mazour, M. (1992). Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser : Tlemcen, Algérie. Bull. Réseau Erosion, 12 : 300-313.

Morgan, R. (1986). Soil erosion and conservation. In : D-A. Davidson, editor John Wiley and Sons Inc., 253p

Mura, R. (1990). La correction torrentielle. Cemagref, Grenoble, France, 9 p.

Mutua, B.M., Klik, A. & Loiskandl, D. (2005). Modelling soil erosion and sediment yield at catchment scale: the case of Masinga catchment in Kenya. Land degradation and development, Vol. 17: 557 - 570.

N

Nzanzu, R. (2011). Caractérisation et évaluation de la dynamique érosive du bassin versant de Vihuli en RDC Université catholique du Graben RDC [en ligne], Université catholique du Graben, 74 pages

<p>http://www.memoireonline.com/11/13/7756/m_Caracterisation-et-evaluation-de-la-dynamique-erosive-du-bassin-versant-de-Vihuli-en-RDC.html consultée le [26/02/2017]</p>
R
Remini, B.(1999).Envasement des barrages dans le Maghreb. Bull. Int. de l'Eau et de l'Env. 22, 4 - 8.
Remini, B.(2000). L'envasement des barrages: quelques exemples algériens. Maître de conférences Université de BLIDA Algérie.
Remini, B. (2000).L'envasement des barrages, Bull, réseau érosion, vol.20, 165-171.Revu Argon Afrique du Nord, 1992,567-576
Riad,S. & Salih,A. (1999). Options for future water security in the Arab Countries. In: The First International conférence on the geology of Africa, Egypt vol. I. 459 – 466.
Robert, P.(1996). Le sol, interface dans l'environnement.Masson. Paris.France.244 p
Roose,E.(1991).Conservation des sols en zones méditerranéennes. Cahiers Office de la recherche scientifique et technique outre-mer. Série pédologie (Cah. O.R.S.T.O.M, Sér. Pédol). Vol XXVI, N° 2.
Roose, E., Arabi, M., Brahamia, K., Chebbani,R., Mazour, M., Morsli, B.(1993). Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Cahiers Office de la recherche scientifique et technique outre-mer. Série pédologie (Cah. O.R.S.T.O.M, Sér. Pédol), 28 (2) :289-308.
Ruelle, P.(1990). Défense et restauration des sols. Paris.France.63 P
S
Sari,D.(1977), L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis. Société nationale d'édition et de diffusion (SNED).Alger.Algérie. 624 p.
Seminario , E.(2007). Notes données dans les séances de séminaires sur l'aménagement de bassin versant
T
Taabni, M & Kouti,A. (1993). Stratégies de conservation, mise en œuvre et réactions

du milieu et des paysans dans l'ouest algérien. Bull. Réseau Erosion, 13 : 215-229.
Taabni, M. (1998), Aménagement, lutte contre l'érosion des terres et pratiques paysannes dans les montagnes telliennes du Nord-Ouest algérien. Bull. réseau érosion, 18.: 348 – 363.
Tchotsoua, M., Fotsing, J.M. et Moussa, A. (2007). Evaluation des risques d'inondation dans la vallée de la Bénoué en aval du barrage de Lagdo (Cameroun). Acte des JSIRAUF, Hanoï, 6-9 Novembre 2007.
Tinthon, R., (1948). Les aspects physiques du Tell Oranaise. Ed. I. Fouque, Oran, 589 p
Touihri, N (2013) , Application du modèle SEAGIS pour l'évaluation des risques érosifs dans le bassin versant du lac collinaire de M'Richet el Anze (Bargou, Siliana) , Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjez el Bab ,p11
U
Ulysse, S.(2001).Etude-Diagnostic des bassins versant Laplace et Simonnette (Commune Dessalines). Mémoire de fin d'étude agronomique, Faculté d'Agronomie et de Médecine vétérinaire (FAMV).Damien.Haïti. 54p.
Ulysse, B. (2008).Contribution à l'élaboration d'un plan d'aménagement du bassin versant de a rivière Coupe à l'Inde. Université d'Etat d'Haïti, Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV) .42p.
W
Wischmeier, W.H. et Smith , D.D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Geophys. Union 39:285-91. apud Kirkby ,M.J., et Morgan R.P.C. ed. Soil Erosion. New York John Wiley. Chap.2.