



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



Université Abbès Laghrou Khenchela  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département Ecologie et Environnement

## Mémoire

De fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en Ecologie et Environnement

Option : Protection des écosystèmes

Thème :

**Contribution à l'étude des travaux de lutte contre  
l'érosion. Cas de la wilaya de Khenchela**

Présenté par :

**Boughougal Fatima**

**Hoggas Norheinne**

Jury de soutenance :

Président : SEDRATI A. (MAA) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

Encadrante : ABABSA N. (MCA) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

Examinatrice : MEZHOUD A. (MAA) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

2020/2021

# Remerciement

*Avant de commencer la présentation de ce travail. Nous profitons l'occasion pour remercier du fond de cœur le bon dieu qui m'a donné le courage de réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à notre encadrante **Docteur : ABABSA.N***

*Nous honorer en acceptant de diriger et de nous aider tout au long de la réalisation de ce travail, pour aussi ses conseils judicieux, ses commentaires, ses encouragements, sa bienveillance, nous sommes extrêmement très fières d'avoir travaillé avec elle.*

*Sincère remerciements*

*Nos respectueux remerciements vont également aux membres du jury*

***M'Sedrati.A et M<sup>me</sup>Mezhoud.A**, d'avoir accepté favorablement d'en faire partie pour juger ce travail.*

*Nous remercions **M' Benghanem Abdelkader Nabil ; MrMancef Benghanem** de m'avoir apporté la rigueur scientifique nécessaire pour le bon déroulement de ce travail*

*Nous remercions vivement, **M<sup>me</sup> Athmani Nabila** « Prof en environnement, INSFP de m'avoir guidé par ses conseils, sa gentillesse, sa disponibilité pour mener à bien ce travail. Nous garderions toujours un bon souvenir très vif de son dynamique et ses grandes qualités humaines*

*Mes remerciements vont à tout le personnel administratif de la conservation des forêts – Khenchela – **M'Jaref Lazher et M'Boumadyen***

*Nous exprimons nos remerciements aussi au directeur de la subdivision des forêts commune de Chechar **M'** ; **Melloul Ismaail** et son groupe administratif*

*Nous tenons tout particulièrement à exprimer ma gratitude et mes remerciements à **M' Hafdaoui Hafed***



***Fatima et Norheinne***

# Dédicace

## *A la mémoire de mon père*

*Qu'Allah le couvre de sa miséricorde et lui pardonne et l'accueille dans son vaste paradis, et qu'Allah rend de sa tombe un endroit spacieux et lumineux*

*A ma bougie qui a éclairé ma vie, et soudainement elle s'est éteint, mon très cher défunt père.*

## *A ma chère mère*

*Qui m'a soutenue toujours, m'a suivi pas à pas, qui grâce à ses prières, je réalise petit à petit mon chemin vers le succès et le bonheur. Ses resteront pour toujours gravés dans mon cœur*

## *A mes chères sœurs*

*« Soumia », « Karima », « Hakima », « Khalissa » et « Samira »*

*Pour l'amour qu'elles me réservent je leurs souhaite une vie pleine du bonheur et de joie*

## *A mes chers frères « Nouredine et Mohamed »*

*Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite dans votre vie et la bonne santé*

## *A mes neveux et mes nièces*

*« Adem taha el amine et Ishak »*

*« Aline », « Raouane », « Sirine », « Maria » et « Amani »*

*Puisse dieu vous donne santé, bonheur et surtout réussite*

## *A mes ami (e) s*

*« Maram, Amani,Imen, Chahra,Soundes ,Sahlou,Rima,Ahlem,Rofaida,chaima Madi ,Nesrine ,Miled,Ines,Dellou,khaoula,ikhlass,Soufi,Zinou,Housseem,Okba ,Amine,Djimi,Sabri,Bati,Merouane,Karima »*

*Au nom de l'amitié qui nous réunit, et au nom de nos souvenirs inoubliables*

*Son oublier mon binôme Noussa pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail*

## *A tous ceux qui me sont chers*

*A toute la promotion master PE et EFA « 2020/2021*

*Chaimaa*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail au seigneur **DIEU** tout puissant qui m'a créé*

*Et m'a donné la faculté de connaître et de comprendre*

***A ma mère***

*Qui m'a donné la vie et qui a guidé mes premiers pas*

*Dans la recherche du savoir et de la réussite, qu'elle trouve ici sa joie ;*

***A mon père***

*Auprès de qui j'ai eu le goût de la sagesse, du savoir et de la connaissance*

***A mes frère Amine et Sif eddine***

*Qui m'ont toujours soutenu et éprouvé de la joie pour mes*

*Victoires et de la peine pour mes souffrances*

*Sans oublier **mon binôme Chaima** pour sa patience ; et sa sympathie et son soutien moral.*

***Ainsi qu'à tous les membres de ma famille Hoggas et la famille Hakkar.***

***A mes très chers ami(e)s : Zina, Assala, Maram, Amani, Rayane, Aya, Nesrine,***

***Manel, Imen, Hadil, Dalel, Bessma, Mima, Douaa, Sirine, Loujain, Hanine, Alaa, ,***

***Karima, Jimi, Amine, Sabri, Housseem.***

*Au nom de l'amitié qui nous réunit, et au nom de nos souvenirs inoubliables*

***A tous ceux qui me sont chers***

***A toute la promotion master PE et EFA « 2020/2021***

***Norheinne***



## Table des matières

		Page
<b>Table des matières</b>		
ملخص		
<b>Résumé</b>		
<b>Abstract</b>		
<b>Liste des figures</b>		
<b>Liste des tableaux</b>		
<b>Liste des abréviations</b>		
<b>Introduction</b>		1
	<b>Première Partie : Recherche Bibliographique</b>	
<b>Partie I</b>		
	<b>Concept et types de l'érosion</b>	4
	<b>Causes et mécanismes de l'érosion des sols</b>	5
	<b>Importance quantitative de l'érosion des sols dans le monde</b>	7
	<b>Les causes d'érosion et facteurs de résistance du milieu</b>	7
	<b>Les dommages causés par l'érosion</b>	9
	<b>Les moyens de lutte contre l'érosion des sols</b>	10
	<b>Deuxième partie : Matériels et méthodes</b>	
<b>Partie II</b>		
	<b>Présentation générale de la wilaya de Khenchela</b>	20
	<b>Situation géographique</b>	20
	<b>Caractères géologiques et géomorphologiques et pédologiques</b>	20
	<b>Choix des sites</b>	31
	<b>Troisième partie : Résultats et discussion</b>	
<b>Partie III</b>		
	<b>Les aménagements anti érosif</b>	33
	<b>Le site nord</b>	33
	<b>Le site sud</b>	48
	<b>Conclusion générale et Perspective</b>	57
	<b>Références bibliographiques</b>	

## Liste des figures

N° figure	Titre	N° page
<b>Figure 1</b>	Cycle ; érosion, transport, sédimentation (Source <a href="http://www.syndic-rivieres.org/écolriv3.htm">www.syndic-rivieres.org/écolriv3.htm</a> )	4
<b>Figure 2</b>	Synthèse des mesures de conservation du Sol (Souter, 2007)	10
<b>Figure 3</b>	Fascine (AREAS, 2010)	11
<b>Figure 4</b>	Localisations possibles de zones tampons (Corpen, 1997).	14
<b>Figure 5</b>	Le Zaï, méthode traditionnelle de restauration des sols. (Roose et Rodrigue, 1990)	17
<b>Figure 6</b>	Carte de Khenchela par rapport aux autres wilayas (source CENEAP P.A.D.D de la wilaya de Khenchela, 2009)	21
<b>Figure 7</b>	Carte des classes des sols de la région de Khenchela (Durand, 1954)	25
<b>Figure 8</b>	Variation des Températures mensuelles (1994 à 2020)	27
<b>Figure 9</b>	Variation mensuelle des précipitations (1994 à 2020)	27
<b>Figure 10</b>	Variation des précipitations annuelles (1994 à 2020)	28
<b>Figure 11</b>	Localisation de la région de Khenchela sur le Climagramme d'Emberger (1994-2020)	30
<b>Figure 12</b>	Bassin d'eau el msara (C.F.K, 2020)	40
<b>Figure 13</b>	La correction torrentielle dans la commune d'Ouled Rechache (C.F.K, 2020)	42
<b>Figure 14</b>	Reboisement de Bourdoussene dans la commune d'Ouled Rechache (C.F.K, 2020)	42
<b>Figure 15</b>	Reboisement d'Aouinet Ensour dans la commune d'Ouled Rechache (C.F.K, 2020)	43
<b>Figure 16</b>	La correction torrentielle de Ain mimoun (Hoggas et Boughougal, 2021)	45
<b>Figure 17</b>	Le reboisement de Ain mimoun (Hoggas et Boughougal, 2021)	46
<b>Figure 18</b>	Brise vent de Ain mimoun (Hoggas et Boughougal, 2021)	46
<b>Figure 19</b>	Les murettes dans la commune de kheirane (Hoggas et Boughougal, 2021)	48
<b>Figure 20</b>	Les seuils en gabion (Hoggas et Boughougal, 2021)	49
<b>Figure 21</b>	Le reboisement en Pin d'Alep de Mekred (C.F.K, 2020)	54
<b>Figure 22</b>	Le reboisement de Pin d'Alep Coudiat Hamra (C.F.K, 2020)	54

## Liste des tableaux

<b>N° tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b>	Capacité limites de divers pâturages de régions tempérées et tropicales du monde ( <b>Ramade, 2003</b> )	6
<b>Tableau 2</b>	Formes de dégradation et d'érosion, causes, facteurs de résistance du milieu	8
<b>Tableau 3</b>	Moyenne mensuelles et annuelles de la force du vent (m/s) ( <b>C.F.K, 2016</b> )	30
<b>Tableau 4</b>	Les aménagements anti érosives dans la commune d'el mahmel ( <b>C.F.K, 2020</b> )	34
<b>Tableau 5</b>	Les aménagements anti érosives dans la commune de bouhmama ( <b>C.F.K, 2020</b> )	36
<b>Tableau 6</b>	Données structurelles et systèmes de production de la commune de M'sara ( <b>Boukhchem, 2010</b> )	37
<b>Tableau 7</b>	Les aménagements antiérosifs dans la commune de Msara ( <b>C.F.K, 2020</b> )	39
<b>Tableau 8</b>	Les aménagements anti érosives dans la commune d'ouled rechache ( <b>C.F.K, 2020</b> )	41
<b>Tableau 9</b>	Taux de réussite par type de plantation par espèce et par période	50
<b>Tableau 10</b>	Taux de réussite par type de plantation par espèce et par programme ( <b>C.F.K, 2020</b> )	52

## Liste des abréviations

<b>KG</b>	<b>kilogramme</b>
<b>ha</b>	<b>hectare</b>
<b>OMS</b>	<b>organization mondiale de la santé</b>
<b>MV CARRE</b>	<b>milivolte carré</b>
<b>TCSL</b>	<b>les techniques culturales sans labour</b>
<b>C</b>	<b>carbone</b>
<b>CM</b>	<b>centimètres</b>
<b>PPDRI</b>	<b>projet de proximité de développement rural intégrés</b>
<b>PPDR</b>	<b>projet de proximité de développement rural</b>
<b>M<sup>3</sup></b>	<b>mètre au Cube</b>
<b>TUP A HIMO</b>	<b>travaux d'utilité publique à haute intensité de main d'oeuvre</b>
<b>CFK</b>	<b>conservation des forêts kenchela</b>
<b>TAB</b>	<b>tableau</b>
<b>CED</b>	<b>السد</b>
<b>DJOUB</b>	<b>الجب</b>
<b>ACV</b>	<b>agent communal de vulgarisation</b>
<b>PPLCD</b>	<b>projet de proximité de lutte contre la désertification</b>
<b>HP</b>	<b>Hauts plateaux</b>
<b>G</b>	<b>grand</b>
<b>P</b>	<b>petit</b>
<b>H</b>	<b>hauteur</b>
<b>L</b>	<b>langueur</b>
<b>l</b>	<b>largeur</b>
<b>APW</b>	<b>assemblé populaire de la wilaya</b>
<b>KM<sup>2</sup></b>	<b>kilomètre au carré</b>
<b>M<sup>3</sup></b>	<b>mètre au carré</b>
<b>PADD</b>	<b>projet d'aménagement et le développement durable</b>
<b>MM</b>	<b>milimètre</b>
<b>M/S</b>	<b>mètre sur seconde</b>

<b>U</b>	<b>unité</b>
<b>PSRE</b>	<b>programme sectoriel de la relance économique</b>
<b>PSD</b>	<b>programme sectoriel de développement</b>
<b>PSCE</b>	<b>programme séctoriel complémentaire économique</b>
<b>PDZM</b>	<b>programme de développement des zones de montagnes</b>
<b>GT</b>	<b>grands travaux</b>
<b>CPR</b>	<b>les chantiers populaires de reboisement</b>

## **Résumé**

L'érosion des sols peut représenter une menace majeure pour l'agriculture en raison de la perte de sol, de nutriments et de carbone organique. Cette étude illustre les aménagements antiérosifs réalisés au niveau de la wilaya de Khenchela.

Le but de cette étude est d'étudier les relations entre la périodicité de la perte de sol et d'eau et les périodes sensibles à l'érosion sur la base des distributions temporelles de l'érosivité des précipitations dans la région de Khenchela ; les stations d'études sont situées en sud « zone aride à semi-aride » "Kheirane, et barrage babar" et en nord « zone semi-aride » "Ain mimoun, M'sara, Bouhmama, El mahmel, et Ouled Rechache "

Généralement, une faible couverture végétale pendant les périodes très sensibles et les activités humaines pendant les périodes modérément sensibles peuvent aggraver l'érosion des sols.

**Mot clés :** Khenchela, érosion, aménagements, antiérosifs, couvert végétal.

## **Abstract**

Soil erosion can pose a major threat to agriculture due to the loss of soil, nutrients and organic carbon. This study illustrates the anti-erosion facilities carried out in the wilaya of Khenchela. The aim of this study is to study the relationships between the periodicity of soil and water loss and erosion sensitive periods based on the temporal distributions of precipitation erosivity in the Khenchela region ; the study stations are located in the south "arid to semi-arid zone" "Kheirane, and Barrage babar" and in the north "semi-arid zone" "Ain mimoun,M'sara, Bouhmama. I mahmel, et Ouled Rechache "

Generally, poor vegetation cover during very sensitive periods and human activities during moderately sensitive periods can aggravate soil erosion.

**Keywords :** Khenchela, erosion, development, anti-erosion, vegetation cover

## ملخص

يمكن أن يشكل تآكل التربة تهديدًا كبيرًا للزراعة بسبب فقدان التربة والمغذيات والكربون العضوي. توضح هذه الدراسة أعمال التهيئة ضد انجراف التربة بولاية خنشلة

الهدف من هذه الدراسة هو دراسة العلاقات بين تواتر التربة وفقدان المياه والفترات الحساسة للتعرية بناءً على التوزيعات الزمنية للتعرية المطرية في منطقة خنشلة، وتقع محطات الدراسة في الجنوب " جاف إلى شبه جاف - المنطقة الجافة «خيران وسد بابر» وفي الشمال "المنطقة شبه الجافة «عين ميمون المصاراة، بوحمامة، المحمل وأولاد رشاش»

يمكن أن يؤدي ضعف الغطاء النباتي خلال الفترات شديدة الحساسية والأنشطة البشرية خلال الفترات شديدة الحساسية إلى تفاقم تآكل التربة.

**الكلمات المفتاحية:** خنشلة، تآكل، تنمية، مقاومة التعرية، غطاء نباتي

# **Introduction Générale**

# INTRODUCTION GENERALE

---

## INTRODUCTION GENERALE

Le sol est la partie superficielle de la terre susceptible d'être cultivée en raison de ses propriétés physiques et chimiques (**Pautrot, 2012**).

La durée de vie des sols peut être estimée à partir des pertes en terre annuelles moyennes, de l'épaisseur du sol explorable par les racines, de la vitesse de la régénération de la fertilité du sol et de la courbe de rendement du sol en fonction de l'épaisseur de la couche arable (**Elwell et Stocking, 1984**). En milieu forestier, où les pluies sont agressives et les pentes fortes, les pertes en terre peuvent être importantes et la dégradation des terres est très rapide (quelques années) (**Chellali, 2017**).

En milieu semi-aride, la durée de vie peut atteindre quelques dizaines d'années, malgré la modestie des pentes et de l'agressivité des pluies, mais la restauration de la fertilité des sols est d'autant plus lente que la production de biomasse est faible en zone aride et que les sols sont profondément épuisés (**Roose, 2004**).

En zone plus aride, le transport solide spécifique diminue avec l'énergie des pluies (**Fournier, 1960**).

L'érosion des sols est la menace numéro une pour le sol de la planète et pour la sécurité alimentaire mondiale, car elle peut réduire les rendements des cultures jusqu'à 50 % et entraver la réalisation des objectifs de développement durable (**Sparovek et Schnug, 2001**). Elle est le principal facteur de dégradation et de perte des ressources terrestres dont les humains dépendent pour leur survie, et représente l'un des problèmes écoenvironnementaux les plus urgents de notre époque (**Long et al., 2006**).

Comme dans le monde entier, En Algérie, les cours d'eau, les oueds transportent progressivement et sournoisement à la mer une quantité considérable de sédiments arrachés aux versants, aux plaines et aux lits des cours d'eau eux même (**Daoudji, 1994**). L'érosion éolienne est un processus environnemental important qui provoque la dégradation des terres et la désertification dans les régions arides et semi-arides (**Mirmousavi, 2016**). Elle est également un phénomène pertinent pour les régions arides et semi-arides algériennes, principalement dans les régions steppiques (**Houyou et al., 2014**). Dans ces régions, les données montrent que ce phénomène a causé des pertes énormes superficielles de terres : près de 600 000 ha de terres (**HCDS, 2012**).

Les stratégies de lutte antiérosive s'y exercent en fonction de deux types : traditionnelles, menées par la population locale, et étatiques, réalisés par les services techniques (**Tribak, 2002**).

# **INTRODUCTION GENERALE**

---

Dans notre étude, l'objectif est d'étudier les méthodes de lutte contre l'érosion réalisée au niveau de la wilaya de Khenchela.

Cette étude est charpentée en trois parties en plus d'une introduction et une conclusion :

La première partie traite le concept de l'érosion, les types, les causes, les conséquences et les moyens de lutte contre l'érosion des sols ;

La deuxième partie présente la wilaya de Khenchela ;

La troisième partie porte sur les aménagements antiérosifs réalisées au niveau de la wilaya afin de restaurer le sol.

**Partie I**  
**Recherche bibliographique**

### I-Concept et types de l'érosion

L'érosion se définit comme le détachement et le transport de particules de sol, de son emplacement d'origine vers des lieux de dépôt (Fig. 1) (Viers, 1967). Cela sous l'effet des agents climatiques : vents ou précipitations. L'impact de la pluie sur le sol provoque une désagrégation des mottes et un déplacement par rejaillissement (Ellison, 1945). Ce dernier processus appelé également splash provoque le détachement des particules de la surface du sol et le transport de ces particules est assuré par le ruissellement. Il s'agit d'un type d'érosion appelé **érosion hydrique** dont l'agent causale est l'eau. Alors que sous l'effet de la vitesse du vent se déclenche un autre type d'érosion appelé **érosion éolienne** qui provoque la perte des particules les plus fines du sol ainsi que le déplacement des particules d'un endroit à un autre plus ou moins espacé selon la vitesse du vent.

L'érosion hydrique des sols est tout enlèvement de matériaux par l'eau, c'est un mode de dégradation des sols qui domine dans les climats semi arides et arides à saison sèche prolongée et à pluies violentes et orageuses (Greco, 1966). En milieu naturel, l'érosion est conditionnée par le relief (Brivois, 2005). Tandis qu'en milieu anthroposé c'est l'activité humaine qui accélère ce phénomène.

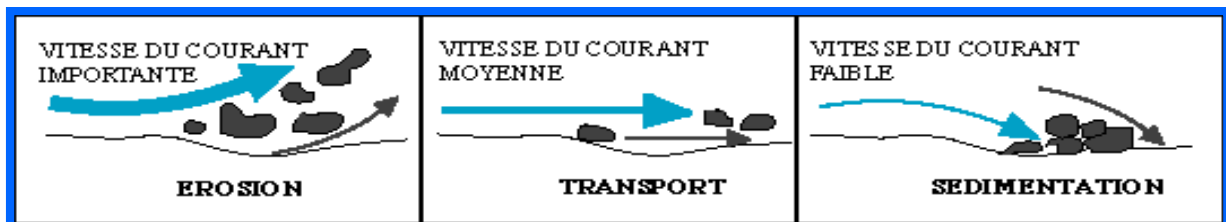


Figure 1 : Cycle ; érosion, transport, sédimentation (1).

D'après Beaux (1998), l'érosion causerait chaque année une perte de 7 millions d'hectare. Elle est en revanche intense sous les climats semi - arides et arides où la couverture végétale est réduite (Beauchamp, 2002). Au pays du Maghreb, la situation est alarmante où 45% de la superficie totale est menacée par l'érosion hydrique en Tunisie (Chevalier, 1995 ; Boussama, 1996), au Maroc 40% (Celik, 1996) et en l'Algérie 45% des zones telliennes sont touchées, soit 12 millions d'hectares (Chebbani, 1999).

L'agressivité de l'eau et du vent sont en grande partie conditionnées par le couvert végétal, la pente, les techniques culturales et la nature des pluies (Roose, 1973 ; 1980). En Algérie,

l'érosion hydrique dépend beaucoup plus du relief, de la nature des roches, du climat et de l'action anthropique (**Greco, 1966**).

## II. Causes et mécanismes de l'érosion des sols

### ➤ Le rôle de la déforestation

Les écosystèmes forestiers ne pouvant se développer que dans les biotopes bénéficiant de précipitations assez abondantes, la déforestation constitue un puissant facteur d'érosion hydrique ainsi la destruction des forêts de pente dans les régions à relief tourmenté constitue une cause essentielle d'érosion des sols et le pouvoir régulateur du couvert végétal sur le régime hydrique n'est plus à démontrer ainsi que l'érosion des sols est nulle en forêt, très faible sur des prairies, même en fortes pentes, vrai que la végétation freine les gouttes de pluie qui perdent leur énergie cinétique et arrivent sur le sol à très faible vitesse, il existe en outre la litière et la strate muscinale qui recouvrent la surface du sol qui jouent le rôle d'éponge par ailleurs un kilogramme de mousses sèches est capable d'absorber 5 litres d'eau aussi un hectare de forêt méditerranéenne peut retenir quelque 400 m<sup>3</sup> d'eau après un violent orage, celle-ci sera en partie évapo-transpirée, le reste s'infiltrera lentement et sera peu à peu restitué aux nappes phréatique tandis que le ruissellement sera nul à l'opposé la destruction de la forêt se traduira par une érosion accélérée due à la violence des impacts des gouttes de pluie sur la surface des terres dénudées et au ruissellement intense (**Ramade, 2005**).

### ➤ Influence du surpâturage

Le surpâturage représente une cause majeure d'érosion dans les zones de prairies naturelles (steppes, alpages) et il aggrave souvent les effets de la déforestation, quand les zones déboisées sont utilisées comme terrains de parcours pour le bétail et selon les conditions climatiques, le surpâturage peut être à l'origine d'une désastreuse érosion éolienne ou hydrique, il induit de profondes modifications de la composition floristique des formations herbacées et provoque un appauvrissement du couvert végétal qui conduit à faire apparaître des plaques de sol dénudées vite affectées par le ruissellement par conséquent il constitue de ce fait à long terme un facteur important d'érosion des sols (**Ramade, 2005**)

**Tableau 1.** Capacité limites de divers pâturages de régions tempérées et tropicales du monde (**Ramade, 2003**)

Nature et zone des pâturages	Charge en kg. ha <sup>-1</sup>
Pâturages naturels	
Pampa (Argentine)	140
Prairie aux taxes	110
High Veld sud-africain	85
Savane à Themeda	40
Pâturages artificiels	
Kivu, Congo	650
Ituri, Congo	340
Kwango, Congo	55
Range, Oklahoma	36
Prairie, Belgique	480

### ➤ Le rôle de l'agriculture dans l'érosion des sols

La mise en culture intempestive de terres fragile dont la structure pédologique interdit la défriche et même la réalisation de mauvaises pratiques culturales sur des sols parfaitement adaptés à un usage agricole conduisent inéluctablement à une érosion catastrophique (**Ramade, 2005**). Le même auteur ajoute que les plantes sarclées (pomme de terre, maïs, arachide, sorgho ou manioc en zone tropicale) sont les plus dangereuse pour les terres fragiles car elles laissent une proportion importante de la surface des sols dénudée, ce qui favorise la prise du vent ou le ruissellement superficiel ainsi que ce phénomène est exacerbé par la pratique du désherbage chimique à l'aide de phytocides, la destruction de toute plante adventice amplifiant la dénudation des terres après la récolte, l'usage systématique des engrais chimiques et l'abandon de la pratique de la fumure organique par compostage ou épandage de fumier provoque une altération progressive de la texture des sols cultivés qui les rend plus sensible à l'érosion, pour finir l'agriculture intensive moderne constitue aussi une importante cause d'érosion des sols même dans les régions tempérées.

### III. Importance quantitative de l'érosion des sols dans le monde

A l'heure actuelle, les effets cumulés de l'érosion éolienne ou hydrique constituent un fléau dans l'ensemble du monde, en outre l'érosion des sols affecte avec une intensité variable mais partout préoccupante tant les pays développés que ceux réputés en voie de développement, elle est maximale dans les régions à climat semi-aride et dans les zones tropicales où la pluviométrie est élevée, mais elle peut aussi être importante dans des zones tempérées, ainsi on relève en moyenne dans les plaines du Middle-West américain une perte de sol de l'ordre de  $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  sous culture de maïs, laquelle laisse le sol entièrement dénudé après la récolte et dans bien des pays dits en voie de développement, l'érosion est en moyenne de l'ordre de  $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ .

En Afrique, on estime que les taux d'érosion des sols cultivés ont été multipliés par 20 au cours des trente dernières années avec des valeurs pouvant atteindre voire dépasser  $300 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  (**Vaje et Vagen, 2003 in Ramade, 2005**).

Dans certains pays, la totalité des terres cultivées est vulnérable à l'érosion des sols, celle-ci détruit au total environ 30 milliards de tonnes de sol par an dans le monde. (**OMS, 2002 in Ramade, 2005**).

On estime en conséquence que la seule érosion pourrait faire disparaître 50% de terres cultivables de la planète d'ici 2050... alors que l'effectif de l'humanité doublerait d'ici cette date si l'espèce humaine devait conserver son taux actuel de croissance démographique... et qu'environ 3 milliards d'hommes souffrent déjà au plan qualitatif, et parfois quantitatif, de malnutrition (**OMS, 2002 in Ramade, 2005**)

#### **IV. Les causes d'érosion et facteurs de résistance du milieu**

Les causes agissant directement sur l'érosion, les processus de dégradation ainsi que les facteurs de résistance du milieu sont résumés sur le tableau (2).

**Tableau 2.** Formes de dégradation et d'érosion, causes, facteurs de résistance du milieu

Les processus de dégradations et d'érosion et leurs formes	Les causes : Différentes sources d'énergie	Les facteurs de résistance du milieu
<p><b><u>Erosion mécanique sèche ou aratoire</u></b> Forme : creeping (Roose, 1994)</p>	<p>Gravité et force motrice des équipements de travail du sol</p>	<p>-Dépend de l'intensité de la culture, c'est-à-dire de la fréquence de travail et de type d'outils qui extraient les particules, les transportent et les déposent sur le fond de la parcelle ou soit par talus -Fonction de la pente et de la cohésion du terrain -N'est pas dû à l'intervention de l'eau</p>
<p><b><u>Erosion en nappe ou aréolaire « sheet Flood » « diffuse »</u></b> Forme : nappe de sable, pellicule de battance ou de sédimentation, "demoiselle coiffée », microfalaie. (Roose, 1994)</p>	<p>Battance des gouttes de pluie.il s'agit de l'exfoliation uniforme de la surface du sol, principalement sur les plateaux, forme souvent méconnue, mais qui déchire beaucoup le sol : décaper 1mm sur 1ha correspond à une perte de sol et le limon fertile d'un volume de 10 m<sup>3</sup> est en fait irréversible (Ellison, 1944)</p>	<p>-Le couvert végétal -La pente -Le sol Technologie et structure antiérosive. L'érosion lamellaire est le mouvement des éclaboussures de sol causé par la destruction de la structure du sol et le ruissellement. Il se produit assez uniformément sur la pente et ne peut ne pas être remarqué jusqu'à ce que la couche arable disparaisse (Arnold et al., 1989).</p>
<p><b><u>Erosion linéaire ou en rigoles (rills).</u></b> Formes : griffes, rigoles, ravines</p>	<p>L'énergie de ruissellement dépend du volume de ruissellement et du carré de sa vitesse <math>1/2MV^2=1/2MGH</math> (Roose, 1994)</p>	<p>-La vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité. - Le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration. - Résistance du profil du sol et des racines (Roose, 1994)</p>

<p><b><i>Erosion en ravines (gullies).</i></b></p>	<p>L'évolution de l'érosion du ravin peut entraîner une érosion du ravin</p> <p>Lorsque les ravins se dilatent au point que les opérations agricoles normales ne peuvent pas se remplir ou sont nuisibles à l'agriculture, ils sont appelés ravins. <b>(Arnold et al., 1989)</b></p>	<p>-La vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité,</p> <p>- Le ruissellement est fonction du bassin versant et de la capacité d'infiltration, du profil du sol et de la résistance des racines <b>(Roose, 1994)</b></p>
--	--	--

### V. Les dommages causés par l'érosion

L'érosion des sols est l'origine de plusieurs problèmes : en amont, les agriculteurs sont directement touchés par des dommages causés à leurs terres par la perte de sol, mais aussi les autres en aval subissent des dommages causés aux courants boueux **(Naulin et Triplet, 2013)**.

L'érosion des sols entraîne alors de graves impacts pour les milieux récepteurs. Les apports excessifs de sédiments fins et de polluants vers les masses d'eau de surface (rivières, lacs, côtes, etc.) sont responsables d'une dégradation de la qualité des eaux et des habitats aquatiques **(Kronvang et al., 2003)**, d'un envasement des réservoirs et des lits fluviaux **(Collins et Walling, 2007)**, et d'un appauvrissement de la biodiversité des écosystèmes **(Steiger et al., 2005)**.

Le plus grand effet de l'érosion est la perte de sol. Ces pertes sont d'autant plus néfastes qu'elles sont plus grandes que le taux de formation de la couche arable, ce sol perd graduellement son potentiel de production et la culture devient impossible après un laps de temps plus ou moins long **(Robert, 2011)**.

L'érosion provoque la perte de la couche arable, ce qui réduit la fertilité du sol et donc la productivité des cultures, de même elle provoque la destruction de la profondeur du sol **(Le Bissonnais et al., 2002)**.

Les conséquences de l'érosion sont plus nombreuses, comme le transport des engrais et des pesticides dans les eaux de ruissellement sous forme dissoute ou particulaire par adsorption, ce transport peut avoir des effets toxiques sur la qualité de l'eau (potable et d'irrigation) et peut provoquer une eutrophisation (prolifération des plantes aquatiques et perte d'oxygène dissout) des milieux aquatiques **(Auzet et al., 1992)**. Ainsi que l'apport de différentes substances

charriées par les eaux de ruissellement qui alimente les rivières et les lacs (matières en suspension, éléments nutritifs et de pesticides) modifie la composition chimique de l'eau et en même temps le milieu de vie de plusieurs espèces de la flore et de la faune (**Gosselin, 1986**).

L'érosion peut accélérer l'envasement des barrages et des retenues en aval ce qui affecte leur capacité à mobiliser les eaux de surface dans un but d'irrigation ou d'alimentation en eau potable par exemple (**Chabaan, 2016**).

Les mécanismes d'érosion éliminent en premier lieu la matière organique du sol, l'argile et les fractions limoneuses fines en amont, où ces fractions sont les plus chargées d'éléments nutritifs, leur lessivage entraîne la perte de fertilité des sols et il peut réduire les rendements de cultures, si les éléments nutritifs perdus ne sont pas remplacés en quantités suffisantes (**M'seffar, 2009**).

### VI. Les moyens de lutte contre l'érosion des sols

Il existe plusieurs voies d'intervention pour agir contre l'érosion des sols agricoles (Fig.2) : la mise en place d'aménagement hydrauliques (zones tampons) et de pratiques culturales adaptées (**Gauvin, 2000**).

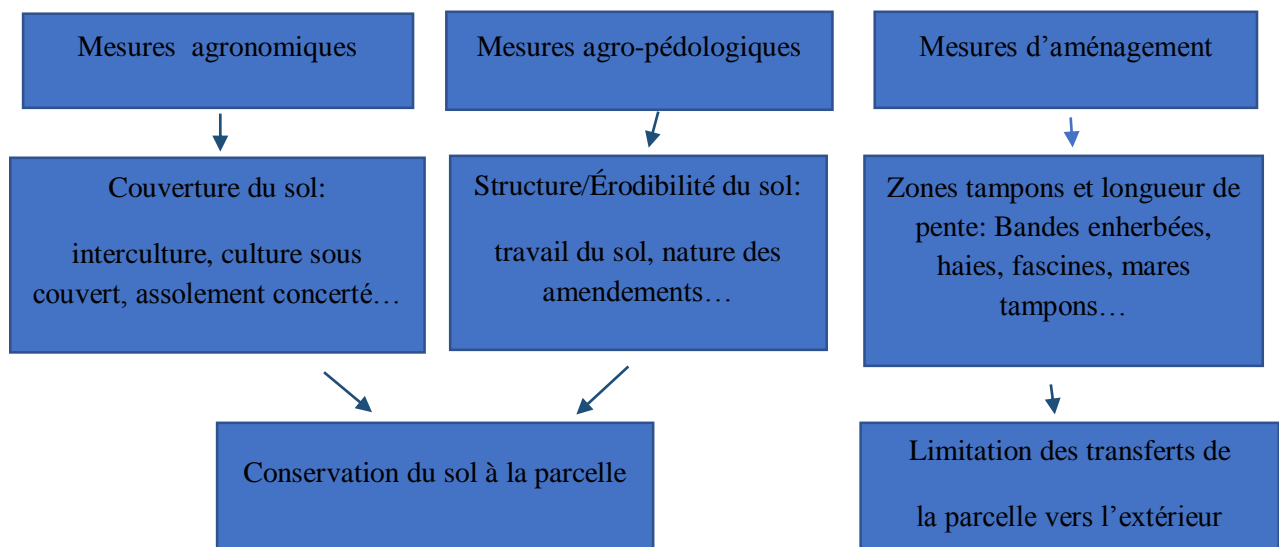


Figure 2 : Synthèse des mesures de conservation du Sol (Souter, 2007)

### 1-Les mesures d'aménagement

L'objectif principal des mesures d'aménagement est de limiter le transfert des parcelles vers l'extérieur par la perte de sol fertile.

#### Les types des zones tampons

Une zone tampon se définit comme toute surface végétalisée « maintenue ou mise en place expressément, susceptible d'intercepter des écoulements de surface diffus ou concentrés » donc permet de réduire le transfert de polluants et/ou de sédiments (Corpen, 2007), pour cela plusieurs types d'aménagements sont proposés :

##### a) Les fascines

Sont des dispositifs de type ligneux, le plus souvent implantés pour lutter contre l'érosion (Richet et al., 2016). Sont de petites barrières constituées de pieux vivants (boutures) ou morts derrière lesquels des boutures sont empilées sous forme de fagots (Rey, 2012). Le rôle principal des fascines est limité le ruissellement et éviter le déplacement des particules de sol hors parcelle en provoquant la décantation des particules charriées par le ruissellement au niveau de la même parcelle, sur les bordures de ces petit barrières (Fig. 3).



Figure 3 : Fascine (AREAS, 2010).

**b) Les bandes enherbées**

Les bandes végétales (bandes enherbées ; bandes riveraines) ont pour fonction principale de filtrer le ruissellement de surface avant qu'il n'atteigne un plan d'eau (**Franti, 1997**). La bande riveraine est sans doute la pratique agroenvironnementale en bordure des cours d'eau la plus connue, la plus utilisée et la plus efficace pour lutter contre l'érosion de sol et protéger l'intégrité du milieu aquatique (**Haycock et Muscutt, 1995**).

Le fonctionnement des bandes végétales repose essentiellement sur la diminution d'écoulement des eaux de surface (**Helmers et al., 2001**).

**c) Haies**

La haie exprime son rôle anti-érosif en conservant l'eau de la pluie, ainsi elle freine le ruissellement de l'eau, les haies stockent la terre en amont et limitent l'érosion superficielle des sols en aval (**Liarge, 2006**). Sans oublier son rôle protecteur contre le vent et la contribution à la protection de la biodiversité.

**d) L'association fossé – talus**

Cette association d'aménagements, en travers ou en bas de pente, va permettre de freiner et d'infiltrer les ruissellements et ainsi de piéger les sédiments, les écoulements non infiltrés sont dirigés vers un exutoire). L'association fossé – talus participe ainsi à la diminution des eaux de ruissellement et améliore leur qualité et freine le vent (**Maurry, 2008**).

Cet aménagement permet également de réduire l'érosion des sols en sortie d'ouvrages hydrauliques tels que les mares tampon (**Fabien, 2010**).

**e) Mare tampon**

Les objectifs de ce type d'ouvrage sont de réguler les débits de ruissellement et de réduire les surfaces touchées par les écoulements, elle est constituée d'une partie en eau permanente, d'une zone tampon et d'un ouvrage de fuite (**Naulin et Triplet, 2013**). Elle peut également être utilisée comme réserve d'eau (arrosage, incendie...) (**Fabien, 2010**).

La mare améliore la qualité des eaux qui y transitent. D'une part, elle favorise la sédimentation des particules en suspension, dont l'eau s'est chargée en ruisselant sur les sols cultivés (**Anonyme, 2006**).

**f) Le boisement d'infiltration**

L'implantation d'un bois limite la production de ruissellements sur les versants, stabilise le sol et permet d'infiltrer les écoulements venant de l'amont en fond (**Fabien, 2010**). Le même auteur ajoute que ce boisement est d'autant plus efficace sur de petits bassins versants et a des valeurs écologiques, paysagères et patrimoniales importantes et permet de valoriser des parcelles difficiles à exploiter ou à faible potentiel agronomique.

**g) La prairie inondable**

Cet aménagement régule les débits de ruissellement en stockant les surplus d'écoulement. Il consiste à barrer un fond de vallon par une digue. Ce rôle « tampon » de la prairie inondable permet une meilleure infiltration des eaux de ruissellement et augmente la sédimentation, tout en valorisant l'herbe (**Corpen, 1997**).

**h) La bande tassée**

La mise en place d'une bande tassée consiste à retasser la terre dans la zone de passage d'eau ce qui augmente la résistance du sol à l'incision et à l'arrachement (ravines), d'autant plus lorsque la densité racinaire est augmentée par un double semis (**Fabien, 2010**). Le même auteur ajoute que ce type d'aménagement est simple et économique mais est seulement adapté pour des bassins versants inférieurs à 100 ha de cultures et de pente faible (inférieur à 2-3%).

**Localisation des aménagements**

La localisation des aménagements en fonction de la topographie et de la disposition des cultures est primordiale (**Corpen, 1997**). Suivant les conditions de formation de l'érosion et les moyens de lutte mis en place, plusieurs localisations sont possibles au niveau des parcelles agricoles (**Fabien, 2010**), (**Fig.4**).

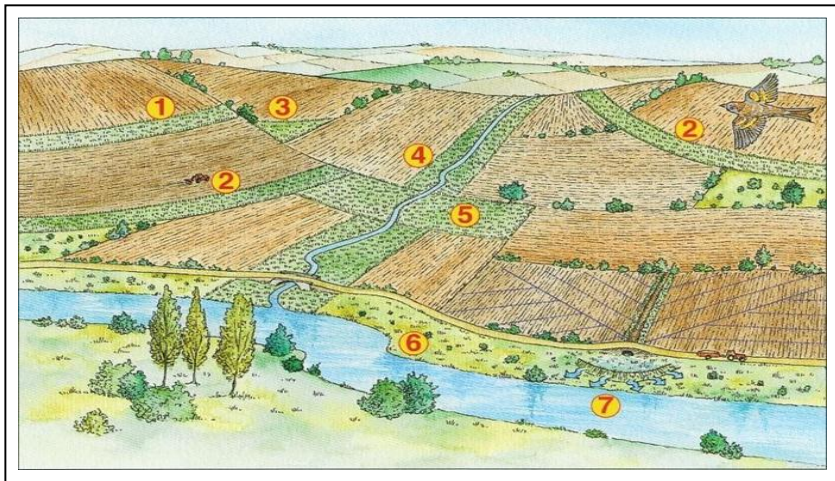


Figure 4 : Localisations possibles de zones tampons (Corpen, 1997).

**Légende de la figure 4 selon Corpen :**

**1- Bande tampon intraparcellaire :** elle permet de réduire la longueur de pente des parcelles et constitue un obstacle à l'écoulement : l'eau ruisselante diminue en vitesse et en volume.

**2- Bande tampon en bas de parcelle :** comme la bande intra parcellaire, elle fait obstacle au ruissellement, mais n'empêche pas la perte de terre à la parcelle.

**3- Zone tampon en angle de parcelle :** lorsqu'il s'agit de zones de versants et donc de concentration des eaux de ruissellement.

**4- Bande tampon en fond de thalweg :** elle permet de réguler les ruissellements issus des versants se concentrant sous forme de ruisseaux ou de rigoles intermittentes à la faveur de la topographie.

**5- Prairie permanente en travers de thalwegs :** l'humidité du sol à l'exutoire d'un thalweg peut être telle que la culture n'y est plus possible, la prairie permanente permet de valoriser cet espace.

**6- Bande tampon en bord de cours d'eau :** aujourd'hui obligatoire en bordure de cours d'eau, ce type de bandes constitue un minimum indispensable pour éviter un transfert direct des produits phytosanitaires, des engrais et des particules en suspension dans les cours d'eau.

**7- Mares tampons et banquettes d'absorption-diffusion en bas de pente :** dans les cas de ruissellement concentrés, ce type d'aménagement va jouer le rôle de décanteur et pourra avoir, selon la configuration, une fonction épuratrice.

**2- Les Mesures agronomiques et agro-pédologiques**

Le rôle principal des mesures agricoles et agro-pédologiques est la conservation du sol à la parcelle par des pratiques de gestion agricole de sol. La mise en place de pratiques culturales inadaptées sur des secteurs sensibles à l'érosion peut avoir des conséquences néfastes. Certaines pratiques agricoles sont reconnues pour leur efficacité en matière de lutte contre l'érosion des sols, il s'agit surtout des :

**a) Les Techniques Culturelles Sans Labour (TCSL)**

Les techniques culturales sans labour peuvent avoir un effet positif pour réduire le taux d'érosion des versants sous pluie intense et pour que l'impact soit optimal, il faut adapter l'ensemble des itinéraires techniques, voire son système de cultures, il faut réussir à conjuguer un taux de couverture du sol de plus de 40 % et la préservation de la perméabilité verticale pendant les périodes à risques (**Ouvry, 2008**).

Les TCSL laissent à la surface du sol les résidus de cultures et limitent ainsi les phénomènes d'érosion, de battance et d'évaporation. Plusieurs études ont montré que le non labour favorisait l'augmentation du stock de carbone (C) dans les premiers horizons du sol et l'accroissement de la quantité, de l'activité et de la diversité des microorganismes (**Ibekwe et al., 2002**).

**b) Les cultures intermédiaires**

Les cultures intermédiaires sont traditionnellement définies comme des plantes cultivées pour éviter que les sols restent nus pendant l'hiver (**Reeves, 1994**). Elles sont souvent cultivées dans le but de prévenir, entre autres, l'érosion des sols qui reste un problème d'actualité (**Sol, 2011**).

Le tissu racinaire des cultures intermédiaires peut contribuer à accroître la résistance du sol à l'arrachement, alors même que le gel en début de période hivernale, en détruisant la biomasse aérienne des espèces gélives, réduit son efficacité à protéger le sol de l'érosion (**Zuazo et Pleguezuelo, 2008**).

La partie aérienne des cultures intermédiaires (feuilles, tiges, etc.) peuvent intercepter les gouttes de pluie avant qu'elles n'atteignent le sol. Par cette action, les cultures intermédiaires permettent de limiter l'érosivité des pluies (**Romkens et al., 1990**).

**c) L'agroforesterie**

- Il s'agit de cultiver des arbres à objectifs multiples dans les meilleures terres cultivées, l'enracinement puissant des arbres les rend capables de prélever dans les horizons profonds du sol les nutriments entraînés par les eaux de drainage au-delà des racines des cultures ou les cations issus de l'altération des roches (**Roose, 1995**). Le même auteur indique ceux qui cultivent la terre, ceux qui plantent les arbres et ceux qui les exploitent sont les mêmes paysans, ce qui améliore leur sentiment de possession de la terre mais sur les terres louées ou s'il existe des droits de parcours du bétail, il peut être très difficile d'introduire l'agroforesterie sans soulever de graves problèmes fonciers.

**d) La technique de zaï**

**Zaï** vient du mot "zaïégré" qui veut dire "se lever tôt et se hâter pour préparer sa terre". Il s'agit en effet de récupérer des terres abandonnées, dégradées par une succession de cultures, complètement dénudées, décapées et encroûtées où le ruissellement est si fort qu'il emporte les graines et les résidus organiques qui pourraient régénérer la jachère (**Roose et al., 1993**).

**Le zaï'** aurait été utilisé anciennement par les agriculteurs les moins nantis, ne disposant que de terres pauvres et peu de moyens de production. Cette technique aurait été abandonnée à la suite de périodes d'abondance (1950-1970), de l'éclatement des familles, de la mécanisation de la préparation des nouveaux champs, de l'aménagement des bas-fonds, etc (**Roose et Rodrigue, 1990**).

La Figure 5 décrit en détail la méthode du zaï' et une variante agroforestière. Cette pratique consiste à préparer la terre très tôt dans la saison sèche, en creusant tous les 70 à 100 cm des cuvettes de 20 à 40 cm de diamètre, de 10 à 15 cm de profondeur en rejetant la terre en croissant vers l'aval, en vue de capter les eaux de ruissellement. La surface restante est encroûtée et sert d'impluvium dont le rapport de surface varie de 10 à 25 (**Roose et Rodrigue, 1990**)

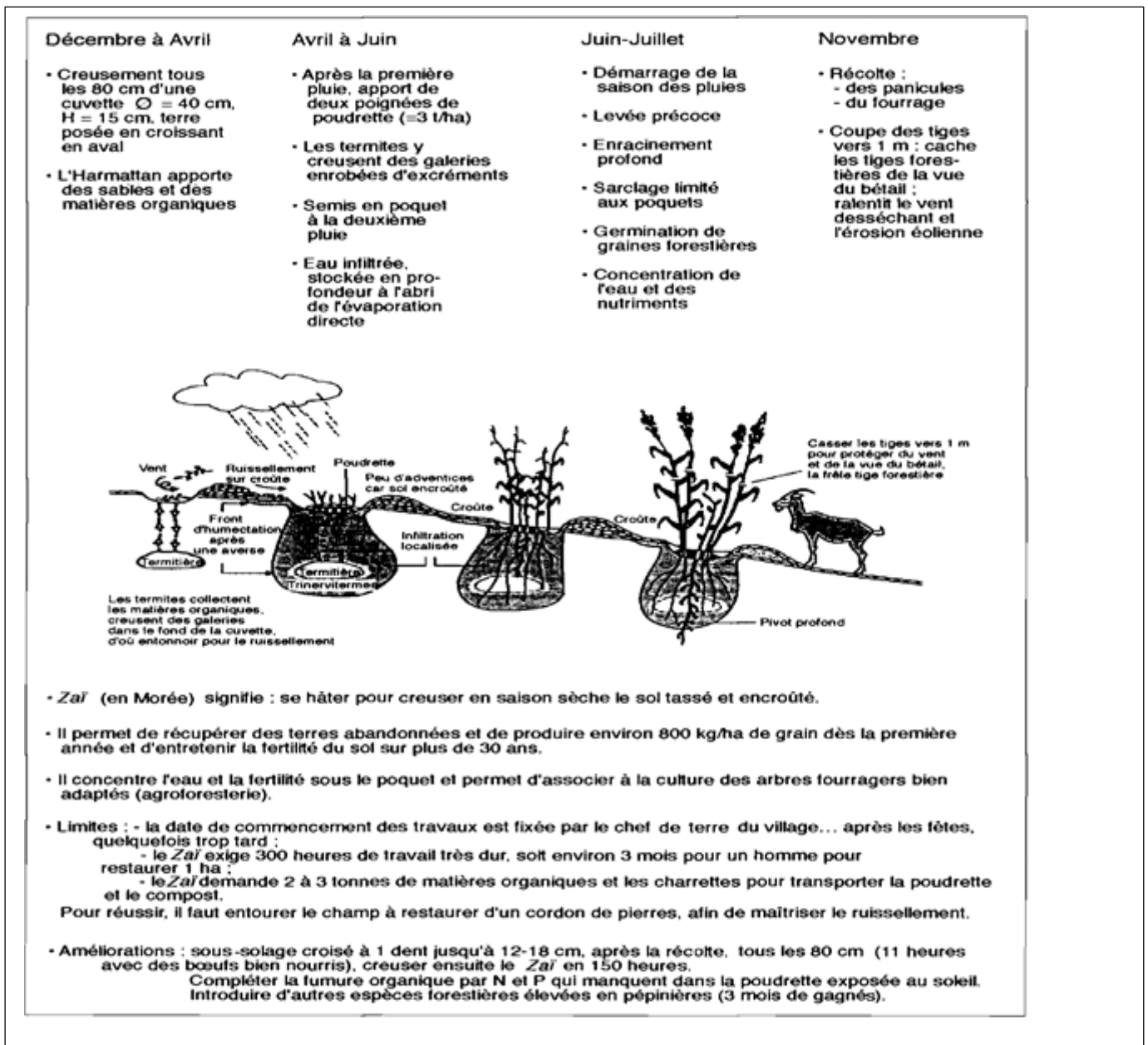


Figure 5 : Le Zaï, méthode traditionnelle de restauration des sols. (Roose et Rodrigue, 1990)

Les avantages du zaï concernent principalement la capture des eaux de ruissellement, la préservation des semences et de la fumure organique, la concentration de la fertilité et des eaux disponibles au début de la saison des pluies (plantation précoce) et en fin de saison (remplissage des grains) (Roose, 1993). Le même auteur indique que l'augmentation de la rugosité de la surface du champ permet de ralentir le ruissellement et le vent au ras du sol, de capturer au fond des cuvettes les débris organiques et les particules fines transportées en suspension et de protéger les jeunes plantules.

La pratique du zaï apporte encore un regain des activités biologiques du sol : avance de croissance des plantules qui profitent de la minéralisation du fumier apporté en fin de saison sèche, perforation de la croûte par les termites et régénération de la végétation ligneuse (**Roose, 1993**).

### **3-Autres mesures agronomiques et agro pédologiques**

D'autres mesures complémentaires peuvent être envisagées afin de protéger le sol contre l'arrachement, favoriser la sédimentation et l'infiltration et limiter la concentration des écoulements (**Fabien, 2010**) :

- Paillage (ou mulching) des terres laissées à nu après récolte,
- Mise en place de cultures adaptées (couverture végétale élevée),
- Positionnement des limites de parcelles sur les secteurs clés,
- Dimensionnement optimal des parcelles,
- Travail du sol dans le sens des courbes de niveaux,
- Positionnement des entrées de champ aux points haut

# **Partie II :**

## **Matériels et méthodes**

## Matériel et méthodes

### I. Présentation générale de la wilaya de Khenchela

#### I.1. Situation géographique

La wilaya de Khenchela est considérée comme l'un des plus grandes wilayas en termes de couvert forestier, car elle s'étend sur une superficie forestière estimée à 146 303 hectares, soit 15 % de sa superficie totale (APW, 2016). Son étendue territoriale couvre une superficie totale de 9751 km<sup>2</sup> (D.P.A.T).

Elle est située à l'Est du pays, au contrefort des monts des Aurès, dans l'aire géographique comprise entre 6°32' et 7° 34' de longitude Est et entre 35° 7' et 35°38' de latitude Nord. Elle est limitée par (Fig.6) :

- Au Nord par la wilaya d'Oum El Bouaghi.
- Au Nord-ouest par la wilaya de Batna.
- Au sud-ouest par la wilaya de Biskra.
- Au sud par la wilaya d'El Oued.
- A l'Est par la wilaya de Tébessa.



**Figure 06 : Carte de Khenchela par rapport aux autres wilayas (source CENEAP P.A.D.D de la wilaya de Khenchela, 2009)**

## I. 2. Caractères géologiques et géomorphologiques et pédologiques

### I.2. 1. Caractères géomorphologiques

#### - Le relief

Le relief de la wilaya de Khenchela présente, d'une manière générale, trois compartiments distincts :

- Une zone de hautes plaines, au nord, qui se singularise par une altitude d'ensemble oscillant entre 850 et 900 mètres et des pentes généralement faibles (inférieure à 3%) ;
- Une zone de montagnes au centre de la wilaya, formée par le massif des Aurès et Némemchas, dont le point culminant atteint 2169 m sur le Djebel Chélia, ce qui fait de lui l'un des sommets les plus élevés de l'Atlas Algérien. Cette zone, dont l'altitude oscille entre 1000 et 2169 mètres, est entrecoupée par des vallées étroites ;
- Une zone de plaines steppiques et présahariennes au sud, dont une partie se situe au-dessous du niveau de la mer (Oglat El Barra : moins 26 m). De topographie relativement plane, elle appartient à la grande cuvette du bassin de chott Melghir où se situe le grand Erg oriental (**Khebthane, 2015**).

Les facteurs générateurs contribuant à la détérioration des sols sont dans la plus part du temps naturels, dont les processus intervenant se résument dans plusieurs facteurs tels que : la rudesse du climat (sec) qui considère le facteur primordial dans la détermination du caractère de l'érosion, un substratum lithologique potentiellement instable, représentée par des roches fragiles (marnes, sables et limons), la présence des pentes très prononcées (supérieur à 12%) et la dégradation du couvert végétal couvrant la zone et les formes d'érosion les plus visibles se limitent au ravinement très développé par endroit, le ruissellement diffus qui décape sans cesse les sols et enfin l'action des vents qui présente une dynamique saisonnière marquée en relation avec le climat et l'état d'évolution du couvert végétal (**CFK, 2016**).

**- L'altitude**

La wilaya de Khenchela se caractérise par une très forte dénivellation. En effet l'altitude oscille entre moins 26 mètres au-dessous du niveau de la mer (Chott Melghir au sud-est de la wilaya) et 2169 mètres au niveau de la mer (Djebel Chélia) sur les monts des Aurès au nord-ouest de la wilaya (**Khabthene, 2015**).

Globalement, le même auteur indique cinq domaines à altitudes différenciées :

-Le domaine montagne des Aurès, au nord-ouest, qui se distingue par ses altitudes très élevées, où l'on dénombre de nombreux sommets dépassant les 1500 m : Djebel Chélia (2169 m), successions des monts atteignant 1623 à 2113 m sur la chaîne montagneuse du Djebel Tafrent, Djebel Fourhal (1698 m) ;

-Le domaine montagneux des Némemchas, à l'est dont l'altitude oscille entre 600 et 1400 m avec toutefois quelques sommets avoisinant les 1600 m (versant nord d'El Outa Guert ; Les monts des Némemchas se distinguent par leur dénivellation qui s'abaisse brutalement du nord au sud ;

-Le domaine de hautes plaines au Nord dont l'altitude oscille généralement entre 800 et 1000 m ;

-Le domaine des piémonts des Némemchas, dont l'altitude oscille entre 200 et 600 m ;

-Le domaine des basses plaines sahariennes, dont l'altitude se situe entre moins 26 mètres (bordure de Chott Melghir) et 200 mètres (piémonts des Némemchas).

Comme pour les classes d'altitudes, une carte des classes de pente caractérisent le territoire de la wilaya a été dressé, sur la base de la grille retenue par le MATET (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du tourisme) pour le classement des zones de montagne. Cette grille, qui tient compte de l'utilisation souhaitable des terres, préconise 04 classes (**Khebthane, 2015**) :

- **Classe 1** : pente comprise entre 0 et 3.5% : Relativement favorable à l'intensification agricole (mécanisation et irrigation) et à la réalisation d'infrastructures techniques.
- **Classe 2** : pente comprise entre 3 et 12.5% : elle est favorable au développement d'une agriculture intensive à semi intensive.

- **Classe 3** : pente comprise entre 12.5 et 25% : favorable à l'arboriculture fruitière et autres cultures pérennes fixatrices du sol au détriment des cultures annuelles et notamment les grandes cultures.
- **Classe 4** : pente supérieure à 25 % : constituant de ce fait une contrainte majeure pour la pratique des activités agricoles et un handicap pour la réalisation des infrastructures socioéconomiques (l'occupation du sol au niveau de cette classe est privilégiée par la sylviculture).

## **I.2. 2. Caractères pédologiques**

Compte tenu de la diversité des caractéristiques morphologiques, lithologiques et climatiques du territoire de la wilaya, il en résulte un large éventail de sols, dont la formation est conditionnée par la couverture végétale (**Khebthane, 2015**).

La carte des sols, dressée à l'échelle du 1/500 000 par **DURAND** (1954), a dénombré six classes de sols, auxquelles il convient d'ajouter la classe des sols minéraux brut (affleurement de la roche mère) et la classe des sols halomorphes (sols salés) (Carte 02) (**Durand, 1954**) :

### ➤ **Les sols calcaires humifères**

Ils sont rencontrés sur les monts et les piémonts de l'Aurès, à une altitude comprise entre 1000 et 1500 mètres ;

### ➤ **Les sols insaturés humifères**

Ces sols sont rencontrés sur les reliefs les plus élevés (plus de 1500 mètres d'altitudes) de l'Aurès, ils sont occupés par des forêts ;

### ➤ **Les sols calciques**

Ces sols sont rencontrés sur les bas piémonts, et sur les hautes plaines longeant la route qui mène de Khenchela à Faïs en passant par Kais et Rmila, ils s'étendent à l'est jusqu'à Ain Touila et au sud jusqu'à Babar en partant de Khenchela ;

### ➤ **Les sols éoliens d'ablation**

Ces sols sont rencontrés au sud de la wilaya, sur les piémonts des monts Nememchas, dont l'altitude est située entre 200 et 500 mètres ;

➤ **Les sols éoliens d'accumulation**

Ils sont localisés uniquement dans la zone sud de la wilaya, près du chott Melghir (sols sablonneux) ;

➤ **Les sols alluviaux basiques**

Ces sols sont localisés sur des zones de changement de pente, c'est à dire les zones où la pente devient plus douce. On les rencontre principalement dans les plaines entourant les dépressions (dépression de Gâaret et Tarf, cuvette du bas Sahara, et la dépression de Tazougart), mais aussi au niveau des vallées encaissées de Babar, de Bouhmama et de la plaine de Guentis ;

➤ **Les sols salins ou solontchak**

Ces sols caractérisant les dépressions sont rencontrés au niveau des zones d'accumulation. Ils sont le résultat d'une hydrologie à écoulement endoréique ou de la présence de roches triasique (gypse : roche saline) ;

➤ **Les roches mères**

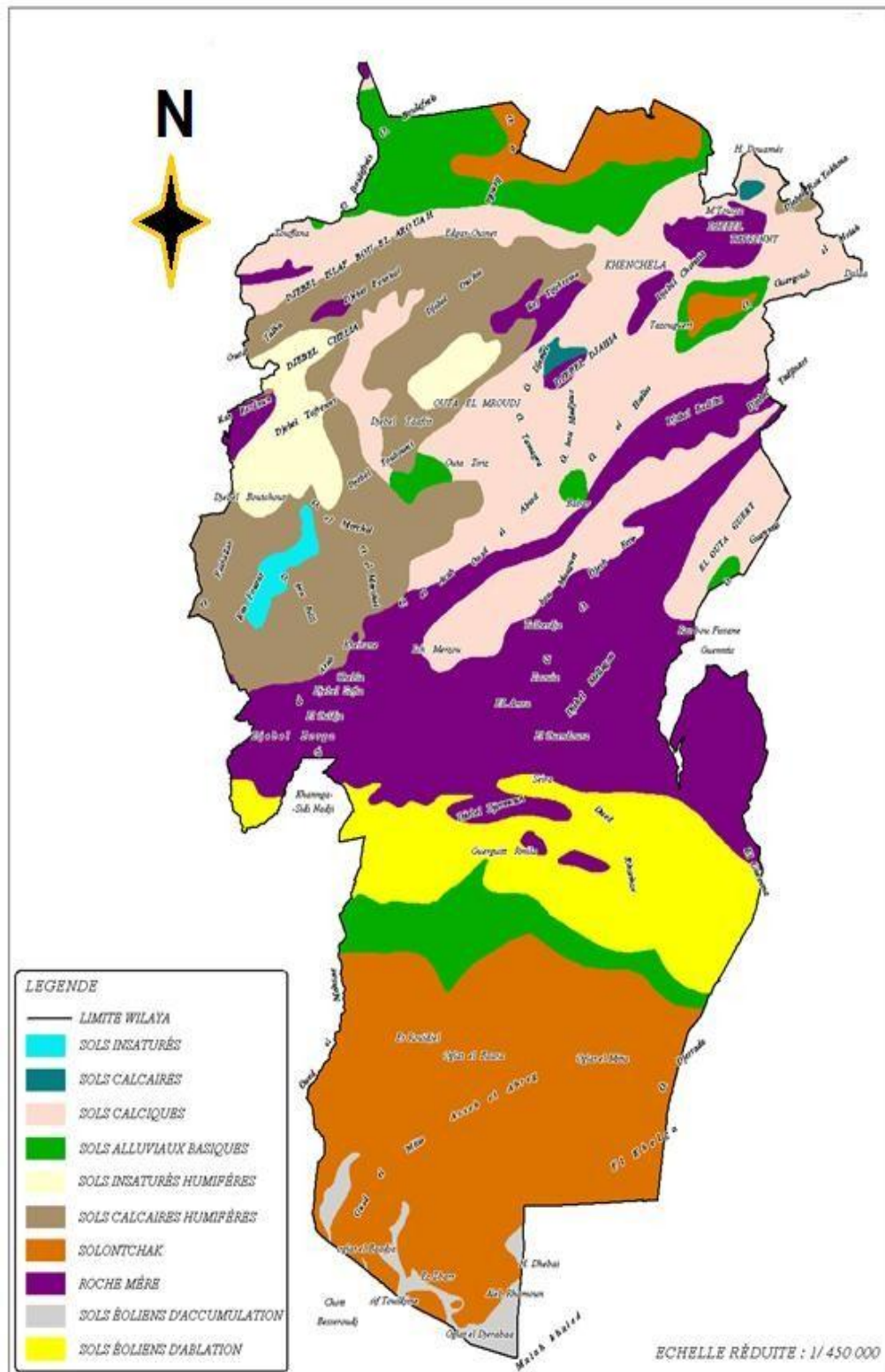
Ces roches, résultat d'une érosion intense due à une conjugaison de facteurs négatifs (relief montagneux, intensité des pluies, substratum tendre et à une absence de couvert végétal pérenne) affleurent notamment les monts des Nememchas (**Durand, 1954**).

### **I. 3. Caractères hydrographiques**

La wilaya de Khenchela s'inscrit dans les limites géographiques de trois bassins versants :

- Le bassin versant des Hautes Plaines Constantinoises, qui correspond à la partie nord de la wilaya (piémonts nord des Aurès et zone des dépressions) ;
- Le bassin versant de la Médjerdah, pour la partie nord-est correspondant aux versants sud des djebels : Chettaia, Tafrennt et Bou Tokhma, et, aux versants nord des Djebels : Tadilist et Tadjinnart ;
- Le bassin versant du Chott Melghir, pour les parties médiane et sud de la wilaya, correspondant au massif des Aurès, aux monts des Nememchas, aux vallées des oueds El Arab et Mellagou, ainsi qu'aux plaines steppiques et présahariennes du sud (**Redjil et Boudabouze, 2010**).

Le réseau hydrographique de la zone est de type endoréique, il est assez dense sur la quasi-totalité du territoire (Khebthane, 2015).



**Figure 07 :** Carte des classes des sols de la région de Khenchela (Durand, 1954)

Khenchela est traversée du nord-est au sud-est par l'Oued Baghai. La commune d'El Hamma est drainée du nord au sud par l'Oued El Hammam. La commune de Baghai est traversée par plusieurs Oueds parmi lesquels nous citons Oued Aimer au nord- est et Oued Baghai au nord-ouest.

La commune d'Ensigna est drainée par plusieurs Oueds, dont les plus important sont Oued Aimer au nord-est, Oued Mahdi et Oued Djemri au centre et Oued Bou Madjeur au sud.

Enfin, Oued Zoni au nord-est, Oued Oullal et Oued Fournis au sud traversent la commune d'El Mahmel.

Les ressources en eau proviennent, essentiellement, des eaux souterraines, à l'exception de la commune de Baghai qui dispose aussi d'un potentiel en eaux superficielles destiné à l'irrigation.

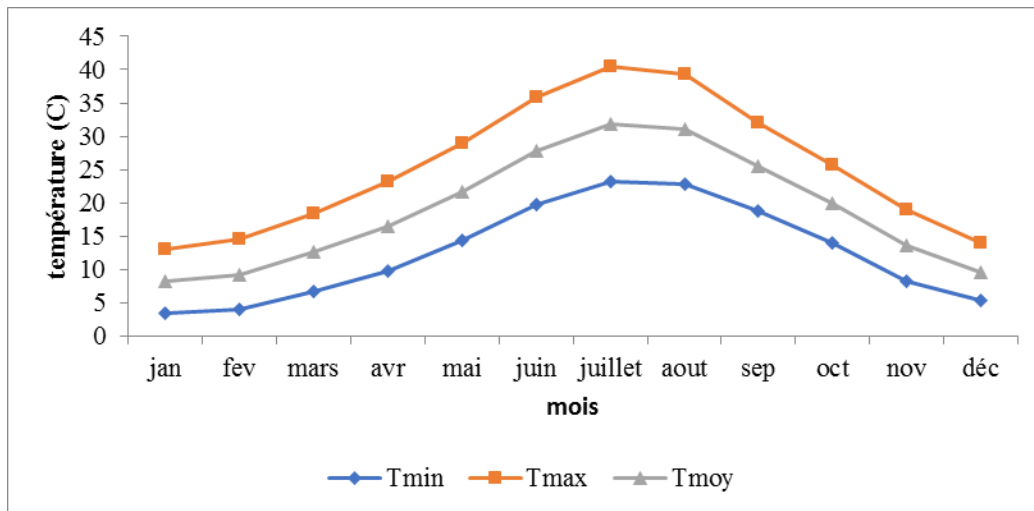
#### **I. 4. Caractéristique climatique**

Pour l'étude climatique de la wilaya de khenchela, nous avons référencier à la station météorologique d'El Hamma –Khenchela- (nord-est de l'Aurès) suivant une période de mesures de 26 ans entre 1994 à 2020.

##### **I. 4. 1. La température**

La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (**Ramade, 1984**).

La courbe des variations des températures moyennes mensuelles (**Fig.8**) montre que le mois de janvier est le mois le plus froid avec 8.19 °C et le mois de juillet est le plus chaud avec 31.83°C.



**Figure 08** : Variation des Températures mensuelles (1994 à 2020)

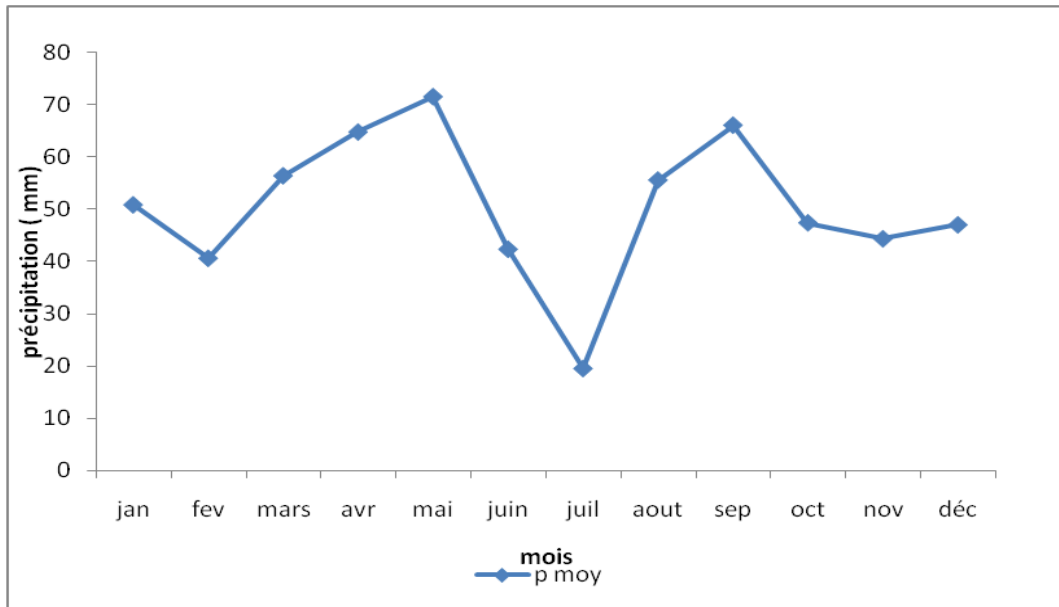
**T min** : Températures moyennes minimales mensuelles et annuelles

**T max** : Températures moyennes maximales mensuelles et annuelles

**T moy** : Températures moyennes mensuelles et annuelles

#### I. 4. 2. Précipitation

Les précipitations varient en fonction de deux facteurs déterminants : exposition et altitude. Il s'est avéré que la pluviométrie augmente de 40 mm en exposition nord et de 20 mm en exposition sud à chaque 100 m d'élévation d'altitude (**Redjil et Boudabouze, 2010**). Ces précipitations sont généralement irrégulières, accentuées parfois par de longues périodes de sécheresse, suivant une période de mesures de 26 ans entre 1994 à 2020.

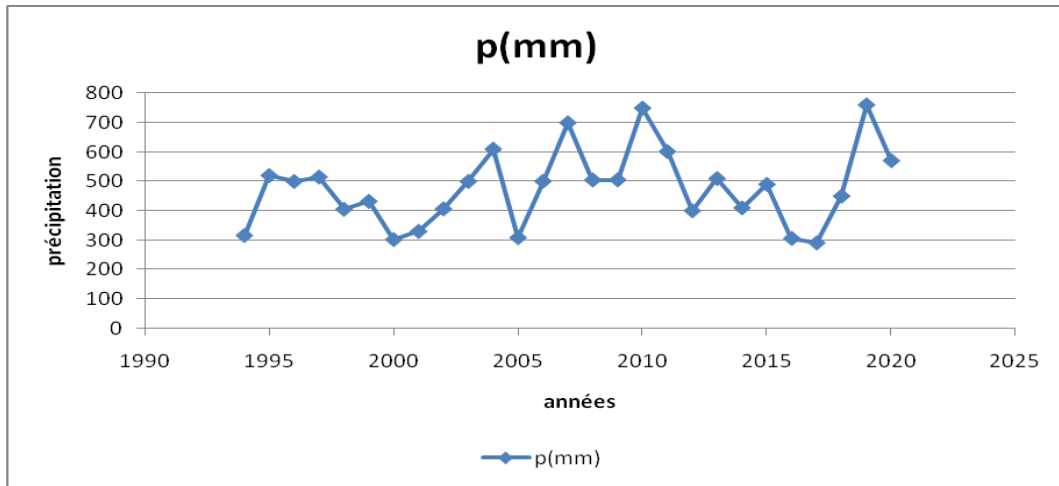


**Figure 09 :** Variation mensuelle des précipitations (1994 à 2020)

Les précipitations mensuelles (Fig.9) montrent la répartition des hauteurs moyennes sur la période (1994-2020), on a remarqué que les mois les plus pluvieux sont mai (71.58mm) et septembre (66.13 mm) et le plus sec est juillet avec des précipitations de 19.58 mm

Les pluviométries annuelles (**Fig.10**) montrent la répartition des précipitations sur la période (1994-2020), on a calculé la moyenne annuelle des précipitations, elle de l'ordre de 477,69 mm/an, nous remarquons que les années les plus pluvieux sont 2007 un cumule de 700 mm et 2010 avec un cumule de 750 mm, 2019 avec un cumule de 761 mm et ceux les plus secs sont 2017 avec seulement 290,7 mm.

Nous constatons une grande irrégularité des précipitations durant la période 1994-2020.



**Figure 10 :** Variation des précipitations annuelles (1994 à 2020)

#### I. 4. 3. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q) permet de situer l'étage bioclimatique de la zone d'étude.

**EMBERGER** a précisé 5 étages bioclimatiques : humide et sub-humide, aride et semi-aride, saharien. Et 4 variantes thermiques :

A hiver froid  $m < 0^{\circ}\text{c}$ .

A hiver frais  $0 < m < 3^{\circ}\text{c}$ .

A hiver doux ou tempéré  $3 < m < 5^{\circ}\text{c}$ .

A hiver chaud  $m < 7^{\circ}\text{c}$ .

Afin de déterminer l'étage bioclimatique de la région d'étude, nous avons calculé le quotient pluviométrique d'Emberger (Q) avec des données climatiques calculées durant la période 1994 – 2020.

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER est déterminé selon la formule suivante (**Stewart, 1969**) :

$$Q = 3.43 * \frac{p}{M - m}$$

**Q** : Quotient pluviométrique

**P** : Pluviométrie annuelle (mm)

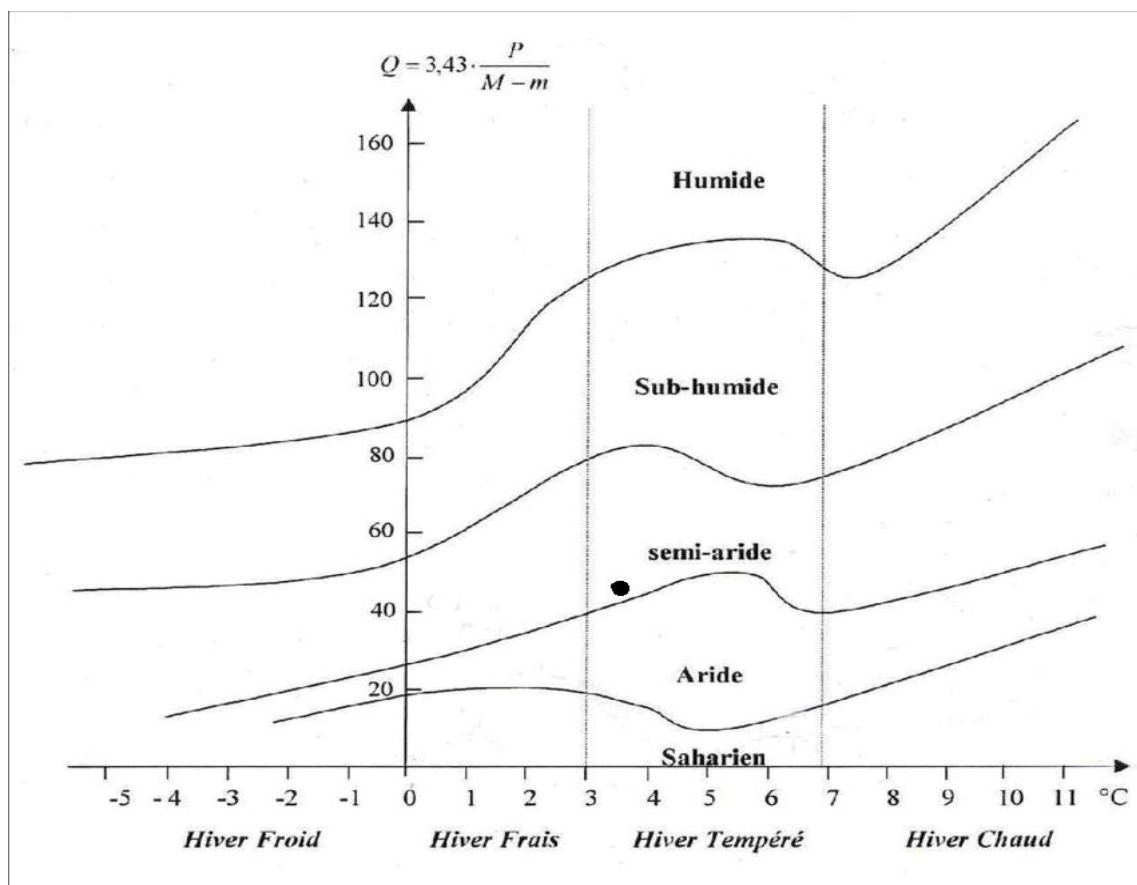
**M** : Moyenne maximale du mois le plus chaud (°C)

**m** : Moyenne minimale du mois le plus froid (°C).

D'après les données climatiques nous avons :

- La pluviométrie moyenne annuelle  $P = 477.69$  mm
- La moyenne maximale du mois le plus chaud  $M = 40.42$  °C.
- La moyenne minimale du mois le plus froid  $m = 3.43$  °C.

Le résultat de calcul de quotient pluviométrique est :  $Q=44.28$ . Donc le climagramme d'EMBERGER indique que notre zone d'étude est située dans l'étage bioclimatique semi-aride (**Fig.11**).



**Figure 11** : Localisation de la région de Khenchela sur le Climagramme d'Emberger (1994-2020).

#### I. 4. 4. Les vents

C'est l'un des éléments les plus caractéristiques du climat. La sensation de chaleur que nous éprouvons dépend beaucoup de sa force. Aussi il influe directement sur la température, et l'humidité et active dans une large mesure l'ETP (évapotranspiration). De par son action mécanique, le vent fort a des effets négatifs : chute des fruits, bris de branches et dessèchement de la plante provoquant des brûlures sur les parties jeunes et vertes des arbres. Il faut reconnaître au vent une action positive dans le sens où il assure la pollinisation (C.F.K., 2016). Le vent est le premier facteur déclenchant de l'érosion éolienne sa vitesse influence sur le déplacement des particules les plus fines du sol. Le tableau (06) résume les moyennes mensuelles de la force du vent enregistrées au cours de l'année 2016, nous remarquons que les mois de février, mars, juillet et novembre ont enregistrées les vitesses de vents les plus élevées. Généralement ces périodes coïncident avec des sols nus ce qui accélère l'effet de l'érosion éolienne.

Les mois	Jan	Fév	mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Vent Moy	3.5	4.0	3.9	4.4	3.8	3.6	3.5	3.2	3.2	3.1	3.7	3.7
Vent Max	34	43	43	39	36	43	33	35	34	38	46	34

**Tableau 03** : Moyenne mensuelles et annuelles de la force du vent (m/s) (C.F.K, 2016)

**II. Choix des sites**

Pour la réalisation de notre étude, nous avons réparti la wilaya de kenchela en deux (2) sites à travers la région selon un transect Nord/Sud dont l'ordre est le suivant :

- Le site nord qui se compose des communes suivantes : El Mahmel, Bouhmama, M'Sara, Ouled Rechache, Ain Mimoun.
- Le site sud est divisé en deux zones :
  - Une zone sud transitoire entre le désert et le tel (semi-aride) : barrage de Babar.
  - Une zone aride, au sud Située dans la zone de kheirane.

# **Partie III**

## **Résultats et discussions**

## Les aménagements anti érosif

### I. Le site nord

Plusieurs aménagements antiérosifs ont été réalisés au niveau du site nord dans des différentes communes de la wilaya de Khenchela.

Nous avons recensé dans cette zone quatre communes :

#### I. 1. Commune El mahmel

Les ouvrages réalisés dans cette zone sont de nombre de 2 aménagements (Tab.4), il s'agit des points de lieux suivant : trachatte et hamadi.

Nonobstant les pistes, les ouvrages réalisés, dans la commune d'el mahmel, se subdivisent en deux catégories :

1. Les ouvrages de lutte contre l'érosion hydrique et de conservation des eaux et des sols (correction torrentielle mécanique, murettes ...)
2. Les ouvrages de mobilisation des eaux superficielles et souterraines (mare d'eau, aménagement de source, djoub, bassin d'accumulation...)

Pour la 1<sup>ère</sup> catégorie, le PPDRI détienne un volume réalisé (1000 m<sup>3</sup>) suivis par le TUP à HIMO avec du volume réalisé (500 m<sup>3</sup>), et le reste est ventilé sur divers programmes (C.F.K, 2020).

L'état des ouvrages est, dans presque sa totalité, bon. Ils sont construits, en majorité, sous forme de gabions.

En ce qui concerne le 2<sup>ème</sup> groupe, d'ailleurs assez étoffé, avec 1 bassins d'eau avec du volume 1 m<sup>3</sup>, et le reste sur divers autres programmes. Leur état est globalement bon.

**Tableau 4.** Les aménagements anti érosives dans la commune d'el mahmel (C.F.K, 2020)

Lieu	Programme	Année	Ouvrage	Volume (U, m <sup>3</sup> , ml)	Caractéristiques	État	Observation
Trachatte	PPDR	2007	Bassin d'eau	1	100m <sup>3</sup>	Bon	
Trachatte	TUP HIMO	2010	Correction torrentielle	500	Pierre sèche et gabion	Bon	Pierre sèche et gabion
Hamadi	PPDRI	2012	Correction torrentielle	1000	Gabion	Bon	

## I. 2. Commune De Bouhmama

Le Schéma directeur de développement durable de la Daira de Bouhmama, daté de 2008, donne pour l'année 2007 les chiffres totaux de 791 exploitations, toutes privées, sur 3786 ha pour la commune de Bouhmama, avec 1151 ha d'arboriculture, 2030 ha de céréaliculture, 2 ha de viticulture et 17 ha de maraîchage

L'échantillon que nous avons considéré est composé de **45 exploitants** pris dans les différentes zones d'habitation de la commune avec une concentration sur les riverains et ceux qui vivent en pleine forêt du côté du mont Chélia.

Les ouvrages réalisés dans cette zone sont de nombre de 7 aménagements (Tab.5), il s'agit des points de lieux suivant : Eziriz, Ouled sinjeaa, Ouled boubker, Ouled meriem, El hamma , Meghaba cherguia, Tizgui.

Nonobstant les pistes, les ouvrages réalisés, dans la commune de Bouhmama, se subdivisent en trois catégories :

1. Les ouvrages de lutte contre l'érosion hydrique et de conservation des eaux et des sols (correction torrentielle mécanique, murettes ...)

2. Les ouvrages de mobilisation des eaux superficielles et souterraines (mare d'eau, aménagement de source, djoub, bassin d'accumulation...)

3. Les ouvrages d'adduction et de distribution des eaux d'irrigation (ced de dérivation, séguia...).

Pour la 1<sup>ère</sup> catégorie, les PPDRI détiennent un volume réalisé (3291 m<sup>3</sup>) suivis par les TUP à HIMO avec du volume réalisé (5000 m<sup>3</sup>), par les PSRE avec du volume de 5000 m<sup>3</sup> et le reste est ventilé sur divers programmes.

L'état des ouvrages est, dans presque sa totalité, bon. En ce qui concerne le 2<sup>ème</sup> groupe, d'ailleurs assez étoffé, avec 2 aménagements de source sur 1 m<sup>3</sup> selon le programme PSD, et le reste sur divers autres programmes. Leur état est globalement bon. Au sein de la 3<sup>ème</sup> catégorie, le PPDRI détiennent 1 séguia sur 750 ml. L'état est, en général, bon.

**Tableau 5.** Les aménagements anti érosives dans la commune de bouhmama (C.F.K, 2020)

Lieu	Programme	Année	Ouvrage	Volume (U, m <sup>3</sup> , ml)	Caractérist- iques	État
Eziriz	PPDRI	2003	Correction torrentielle	1451		Bon
Eziriz	PPDRI	2003	Murettes	340	Pierre sèche	Bon
Ouled sinjeaa	PPDRI	2008	Seguia	750		Bon
Ouled sinjeaa	PPDRI	2007	Murettes	1000		Bon
Ouled sinjeaa	PPDRI	2007	Correction torrentielle	500		Bon
Ouled boubker	TUP HIMO	2007	Murettes	1000		Bon
Ouled boubker	TUP HIMO	2007	Correction torrentielle	1000		Bon
Ouled meriem	PSD	2007	Aménagement de source	1		Bon
El hamma	PSD	2005	Aménagement de source	1		Mauvais
Meghaba cherguia	TUP HIMO	2009	Correction torrentielle	1000		Bon
Tizgui	TUP HIMO	2009	Murettes	1000		Bon
Tizigui	TUP HIMO	2009	Correction torrentielle	1000		Bon

### I. 3. Commune De M'sara

Selon les statistiques que nous avons recueillies auprès de l'ACV de M'Sara et, pour l'année 2009, il y aurait au niveau de la commune :

- 373 exploitants pratiquant l'arboriculture et totalisant 693 ha d'arboriculture et,
- 63 exploitants pratiquant le gros élevage et totalisant 287 Bovins, 7395 Ovins et 3162 Caprins.

Le Schéma directeur de développement durable de la Daïra de Bouhmama, daté de mai 2008, livre quant à lui pour l'année 2007 les chiffres totaux de 664 exploitations, toutes privées, sur 4000 ha pour la commune de M'Sara avec 675ha d'arboriculture.

Le même document et pour la même année et la même commune donne 203 bovins, 6950 ovins et 6800 caprins.

**Tableau 6.** Données structurelles et systèmes de production de la commune de M'sara (Boukhchem, 2010)

Superficie en propriété (Ha)		Céréales (Ha)	Arboriculture	Maraîchage	
Totale	476	244,85	Pommier 77,85	7,89	Autres (Forêt, alfa, terres improductives ou au repos...)
Moyenne	8,8		Autres 4,17		
Max	22				
Min	0,5				

Le pommier et le maraîchage sont irrigués quasi exclusivement par de l'eau de forages en majorité individuels dont certains non autorisés. Rarissimes sont ceux qui pratiquent une technique d'irrigation économisatrice d'eau.

Les ouvrages réalisés dans cette zone sont de nombre de 7 aménagements (Tab.7), il s'agit des points de lieux suivant : ain azza, oued elma, ain merouane, ligh messaad, draa medienyen, tighazza feradj, ali souiaai, oued elaneb, izelaaka, tranimet, teferka.

Nonobstant les pistes, les ouvrages réalisés, dans la commune de M'sara, se subdivisent en trois catégories :

1. Les ouvrages de lutte contre l'érosion hydrique et de conservation des eaux et des sols (correction torrentielle mécanique, murettes ...)
2. Les ouvrages de mobilisation des eaux superficielles et souterraines (mare d'eau, aménagement de source, djoub, bassin d'accumulation...)
3. Les ouvrages d'adduction et de distribution des eaux d'irrigation (ced de dérivation, séguia...).

Pour la 1<sup>ère</sup> catégorie, le PPDRI détienne un volume réalisé de correction torrentielle (400 m<sup>3</sup>) suivis par les TUP à HIMO avec un volume réalisé (1500 m<sup>3</sup>) et le reste est ventilé sur divers programmes (grand travaux). L'état des ouvrages est, dans presque sa totalité, bon.

En ce qui concerne le 2<sup>ème</sup> groupe, d'ailleurs assez étoffé, avec 4 bassins d'eau sur un volume 12 m<sup>3</sup> selon le PPDRI et un autre bassin selon le PSD, et 5 aménagements de source sur un volume 5 ml et le reste sur divers autres programmes. Leur état est globalement bon.

Au sein de la 3<sup>ième</sup> catégorie, les PPDRI détiennent deux séguias sur 4000 ml. L'état est, en général, bon.

Tableau 7. Les aménagements antiérosifs dans la commune de Msara (C.F.K, 2020)

Lieu	Programme	Année	Ouvrage	Volume (U, m <sup>3</sup> , ml)	Caractéristiques	Etat
Ain azza	PSD	2004	Bassin d'eau	1	50 m3	Bon
Oued elma	PPDRI	2009	Bassin d'eau	3		Bon
Ain merouane	PSD	2004	Aménagements de source	1		Bon
Ligh messaad	PSD	2004	Aménagement de source	1	50 m3/ bassinn	Moyen
Draa medienyen	PPDRI	2007	Bassin d'eau	6		Bon
Tighezza feradj	PPDRI	2012	Seguia	2000		En cours
Ali souiaai	(VIDE)	(Vide)	Forage	1		Bon
Oued elaneb	PSD	2008	Aménagement de source	1		Bon
Izelaaka	PSD	2004	Aménagement de source	1		Mauvais
Oued elma	PPDRI	2007	Seguia	2000		Bon
Tranimet	PSD	2004	Aménagement de source	1	50 m3/ bassinn	Bon
Oued elma	PPDRI	2007	Bassin d'eau	2	Pierre seche	Bon

Teferka	TUP HIMO	2011	Murettes	1000		Bon
Taferka	TUP HIMO	2011	Correction torrentielle	500	50m3	Bon
Teferka	PPDRI	2011	Bassin d'eau	1		Bon
Teferka	PPDRI	2011	Correction torrentielle	400		Bon



**Figure 12 : Bassin d'eau el msara (C.F.K, 2020)**

#### I. 4. Commune d'Ouled Rechache

Les ouvrages réalisés dans cette zone sont de nombre de 3 aménagements (Tab.8), il s'agit des points de lieux suivant : aouinet ensour et hamadja fouris.

Nonobstant les pistes, les ouvrages réalisés, dans la commune de Ouled Rechache, se subdivisent en trois catégories :

1. Les ouvrages de lutte contre l'érosion hydrique et de conservation des eaux et des sols (correction torrentielle mécanique, murettes ...)
2. Les ouvrages de mobilisation des eaux superficielles et souterraines (mare d'eau, aménagement de source, djoub, bassin d'accumulation...)

Pour la 1<sup>ère</sup> catégorie, le PPLCD détienne un volume réalisé (500 m<sup>3</sup>) suivis par le HP avec du volume réalisé (1500 m<sup>3</sup>), et le reste est ventilé sur divers programmes.

L'état des ouvrages est, dans presque sa totalité, bon. Ils sont construits, en majorité, sous forme de gabions.

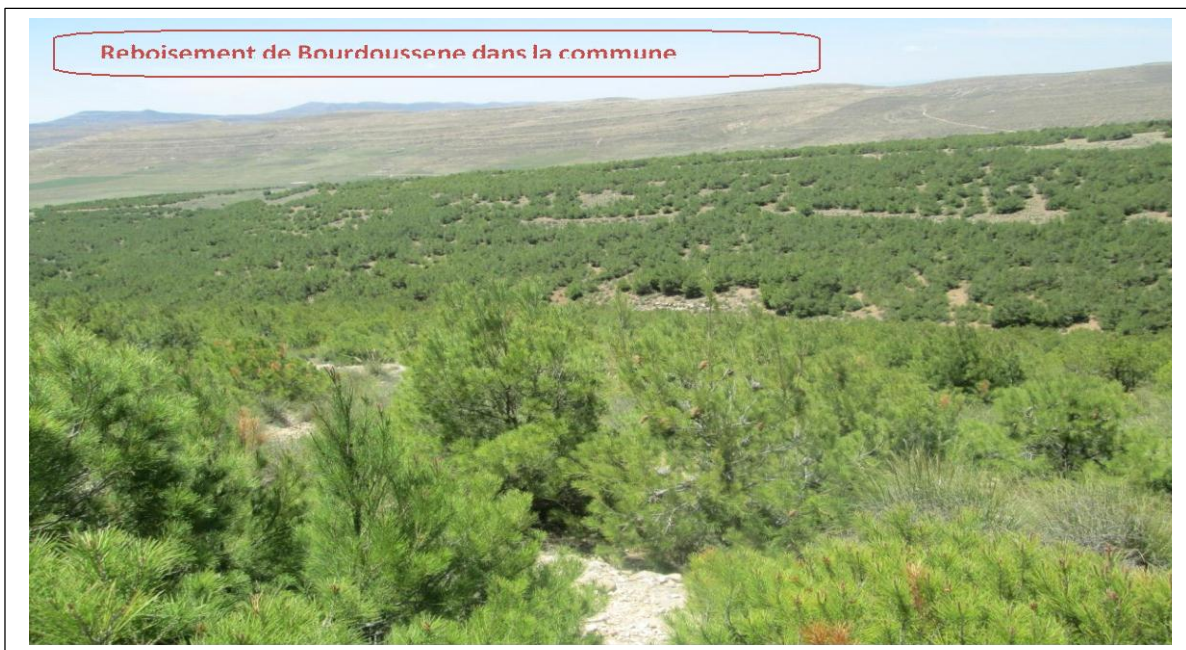
En ce qui concerne le 2<sup>ème</sup> groupe, d'ailleurs assez étoffé, avec 1 bassins d'eau (1 m<sup>3</sup>), et le reste sur divers autres programmes. Leur état est globalement bon.

**Tableau 8.** Les aménagements anti érosives dans la commune d'ouled rechache (C.F.K, 2020)

Lieu	Programme	Année	Ouvrage	Volume (U, m3, ml)	Caractéristiques	Etat
Aouinet ensour	PPLCD	2011	Correction torrentielle	500	Gabionnage	Bon
Hamadja fouris	HP	2008	Aménagement de source	1		Bon
Hamadja fouris	HP	2007	Correction torrentielle	1500		Bon
Hamadja fouris	HP	2008	Bassin d'eau	1	100m3	Bon



**Figure 13 :** La correction torrentielle dans la commune d'Ouled Rechache (C.F.K, 2020)



**Figure 14 :** Reboisement de Bourdoussene dans la commune d'Ouled Rechache (C.F.K, 2020)



**Figure 15 :** Reboisement d'Aouinet Ensour dans la commune d'Ouled Rechache (C.F.K, 2020)

### **I. 5. Commune de Ain Mimoun**

Cette commune est caractérisée par un réseau de vallées et de branches de grandes longueurs et kilomètres, qui se distingue par la galerie sud, dans laquelle la couverture végétale est faible, sauf pour l'absinthe ou les alliées, et aussi pour la pauvreté et la fragilité dès son sol, en plus des dégradations résultant des activités humaines (pâturage, labour, brûlage...), qui fait de l'érosion hydrique un phénomène connu un développement sans précédent, et c'est pourquoi ce site a été choisi pour faire face à ce phénomène dangereux, protéger les terres et les villages contre l'érosion, et également renforcer et protéger les routes et les routes (

Le type de réalisations est les barrières antiérosive 100% clôturées en forme de cube rectangle.

**Pour le calage des sites barrières :** la longueur du conduit est calculée à l'aide du ruban métrique de haut en bas, puis le nombre de trous requis pour ce conduit est calculé. Ensuite la distance (c'est-à-dire la longueur du ruisseau) est divisée par le nombre de barrières nécessaires pour un même canal allemand, donc on obtient la distance moyenne entre les barrières et on

l'appelle l'espacement, et le calage se fait par le haut vers le bas en utilisant des valeurs et des mesures précises (**Anonyme, 2021**).

L'endroit pour construire la barrière est excavé de forme rectangulaire et à une profondeur de 30 cm à 50 cm selon la dureté du sol, et les bords entrent de 50 cm à 70 cm pour assurer la pose de la barrière. Prises en dehors de la vallée pour faciliter le suivi et éviter d'enfouir les barrières rapidement en cas de pluie

L'emplacement de construction de la barrière est excavé de forme rectangulaire et à une profondeur de 30 cm à 50 cm, selon sa rigidité, et non jusqu'aux bords, de 50 cm à 70 cm, pour assurer l'installation de la barrière lors de fortes pluies (**Anonyme, 2021**).

Pour la construction de la barrière : la sélection de grosses pierres est nécessaire et elles doivent être non sphériques ou en œufs pour faciliter le processus de construction au sein d'un grillage en métal inoxydable appelé barricades GABIONS qui sont bien fermées à l'aide d'une colonne de fer dédiée qui tord les extrémités du réseau jusqu'à la suspension finale (**Anonyme, 2021**)

-Dans tous les cas, la barrière ne doit pas dépasser les bords de la vallée pour éviter la formation de nouveaux récifs

-La hauteur maximale des barrières ne dépasse pas 1,20 m pour éviter l'effondrement lors de fortes pluies, l'extrémité supérieure des barrières doit être en forme d'arc (curviligne), c'est-à-dire que le point médian du toit de la barrière est plus bas que les deux extrémités pour diriger l'eau s'écouler au milieu, ou elle doit être en forme d'une fenêtre en haut (Déversoir) pour les grandes barrières

Toute la taille est le lieu de clôture c'est à dire des barricades 100% clôturées pour plusieurs raisons, dont le manque de pierres sur le site et aussi la barrière clôturée ne nécessite pas une grande quantité de pierres, traitant ainsi le plus grand nombre possible de récifs et de vallées. Le cas du forage est le forage, donc la relation mathématique utilisée est :  $V = L \times I \times H$  Le chiffre obtenu sur le terrain est l'expression pour un rectangle, mais dans le cas de la fouille bédouine, la relation selon la taille des barrières est la suivante : La forme obtenue sur le terrain est un trapèze  $V = \frac{(G.base + P.base) \times H \times l}{2}$  (**Anonyme, 2021**).

La contre-barrière est érodée sous la barrière clôturée avec des pierres simples, c'est-à-dire sans clôture, et ceci afin de protéger les fondations de la chute des eaux torrentielles. La contre-

barrière est avec les barrières suivantes et sa taille est incluse dans la taille de la barrière principale.

Longueur = 1,2 m.

Largeur = selon la largeur de la vallée ou du ruisseau.

Épaisseur = 0.3m.



**Figure 16** : La correction torrentielle de Ain mimoun (**Hoggas et Boughougal, 2021**).



**Figure 17** : Le reboisement de Ain mimoun (Hoggas et Boughougal, 2021).



**Figure 18** : Brise vent de Ain mimoun (Hoggas et Boughougal, 2021).

## II. Le site sud

Pour ce site qui se compose des deux zones de barrage de Babar et la commune de Kheirane, plusieurs types d'aménagements ont été réalisés

### II.1. Les murettes

#### a) Utilité

Les murettes ralentissant l'écoulement des eaux de ruissellement afin de favoriser leur infiltration Elles servent généralement d'appui à des terrasses horizontales de largeur variable et aménagées en marches d'escalier successives (**Dib et Debbeche, 2017**).

Les terrasses peuvent être construites directement ou progressivement par des procédés faisant intervenir les façons culturales.

La construction progressive consiste à disposer des obstacles horizontaux appelés « ligne d'arrêt de labours », puis à effectuer les labours en versant vers le bas à l'intérieur des bandes de culture ainsi délimitées. La pente du terrain diminue ainsi progressivement (**Dib et Debbeche, 2017**).

#### b) Conditions d'application

La mise en terrasses horizontales n'est concevable que pour des sols perméables à taux d'infiltration élevé.

Cette technique est applicable pour des régions où prédominent les petites exploitations agricoles.

Dans les zones humides, la longueur des versants ne devrait pas dépasser 100 m. Elle peut toutefois être très supérieure dans de grandes exploitations en zones arides.

Lorsque la pente du terrain est douce (< 12%), il est nettement préférable d'utiliser la technique des cordons de pierres (**Roose, 1996**).

L'aménagement de terrasses ne se justifie que lorsque les terrains normaux de mise en culture manquent cruellement, car le prix de revient d'un aménagement de terrasses est relativement élevé (**Sheng, 1993**).



**Figure 19** : Les murettes dans la commune de kheirane (Hoggas et Boughougal, 2021)

## II. 2. Les seuils

### a) Utilité

Les seuils sont utilisés afin de réduire la vitesse du ruissellement à des taux non érosifs. Ils sont recommandés pour diminuer le ravinement ainsi que pour la correction torrentielle. Ce sont des ouvrages de petites envergures construits perpendiculairement au sens d'écoulement de l'eau dans des zones de fortes dénivelées (Dib et Debbeche, 2017).

Ils peuvent être faits en gabions (Fig.20) ou sans gabions.

### b) Conditions d'application

Le seuil en gabions (Fig.20) peut s'installer sur des pentes faibles jusqu'à des conditions sub-verticales. La hauteur des ouvrages en gabions ne doit pas dépasser 3 m en partie centrale pour des raisons de stabilité et de coût. Les gabions sont inadaptés dans le cas de torrents soumis à des phénomènes de transports solides très violents ou trop fréquents car ils nécessiteront un entretien fréquent (Greco, 1966).

Greco indique que les gabions peuvent être renforcés par des contreforts installés en aval de l'ouvrage. Il est déconseillé d'utiliser des gabions si le pH de l'eau de ruissellement est inférieur à 5 ou encore si la résistivité spécifique du sol est inférieure à 20 W-m car les mailles du gabion vont se corroder rapidement. Le seuil en pierres sèches, dont les caractéristiques sont proches du seuil en gabions, est largement répandus en Algérie. Leur efficacité dépend avant tout de la qualité et de la taille des pierres.



**Figure 20** : Les seuils en gabion (Hoggas et Boughougal, 2021)

### **II. 3. Le reboisement**

Le reboisement a toujours constitué une action déterminante dans les programmes d'extension du patrimoine forestier et de protection des terres. Ainsi, les reboisements opérés depuis l'indépendance jusqu'à ce jour ont connu un développement considérable. D'importantes superficies ont été plantées en espèces forestières, arboricoles et fourragères et ce sur aussi bien le domaine public que le domaine privé. Le bilan des réalisations depuis 1962, déduction faite des plantations fruitières et fourragères, s'élève à plus de 1,2 million d'hectares (Anonyme, 2007).

Le tableau (09) nous résume les taux de réussite par type de plantation par espèce et par période

Tableau 9. Taux de réussite par type de plantation par espèce et par période (C.F.K, 2020)

Action	Espèces	Période	Surf déclarée (Ha)	Surf planimétrée (Ha)	% réussite
reboisement	pin d'Alep	1962-1972	750	233,47	54
		1981-1990	1350	492,02	23
		1991-2000	2113	2113,56	14
		2001-2012	6554	6353,95	51
<b>Total reboisement</b>			<b>10767</b>	<b>9193</b>	<b>41</b>
plantation pastoral	opuntia	1991-2000	300	23,06	90
		2001	945	858,71	73
<b>Total plantation pastoral</b>			<b>1245</b>	<b>881,77</b>	<b>73</b>
plantation fruitier	Abricotier	2001-2012	170,5	170,5	94
	Olivier	2001-2012	373	282,51	88
	Pommier	2001-2012	24	24,58	93
<b>Total plantation fruitier</b>			<b>567,5</b>	<b>477,59</b>	<b>91</b>
<b>Total general</b>			<b>12579,5</b>	<b>10552,36</b>	

Le détail des taux de réussites par décennie est décliné. Ainsi, pour les reboisements, la meilleure période est la post indépendance du pays, avec 54% de réussite mais la différence de surface, entre la déclaration et le réel actuel, est de 516 ha. Pour la décennie de 2001-2012, le taux de réussite est de 51%, avec, seulement, 200 ha d'écart d'étendue. Cela tient pour cette dernière à la jeunesse des plantations non, encore, soumises aux aléas (naturel et humain) du temps. Pour la décennie 1991-2000, le taux est le plus faible (14%) mais avec un maintien de la surface déclarée. La période 1981-1990, accuse des chiffres bas, sur un double plan, 23% de réussite, par rapport aux densités de plantation et actuelle, et 858 ha d'écart surfacique négatif (C.F.K, 2020).

Pour les plantations pastorales, le taux de réussite, de la décennie 1991-2000, est parfait mais la superficie déclarée a régressé de 276,94 ha, soit 92%. Il ne reste, actuellement, que 23,06 ha (impact de Taberdga, dans la commune de Chechar). Le reste des réalisations est très récent, avec un écart d'assiette de 86 ha, seulement et un taux de réussite réel de 73%, qui devra subir les aléas du temps, entre actions humaines néfastes et rigueur de climat (C.F.K, 2020).

La conservation des forêts de kenchela indique qu'au niveau des plantations fruitières, l'abricotier et le pommier gardent leurs surfaces respectivement originelles avec des taux frisant le parfait (94% et 93%). Les plantations oléicoles perdent 90 ha, par rapport à la superficie déclarée et leur taux de réussite (88%), quoique parfait, restes-en deçà de ceux de l'abricotier et du pommier. Comme signalé plus haut, cela tient, essentiellement, du mode de gestion de ces plantations réalisées au profit de particuliers et sur les propres parcelles.

Le tableau (10) ci-dessous résume les Taux de réussite par type de plantation par espèce et par programme

**Tableau 10. Taux de réussite par type de plantation par espèce et par programme (C.F.K, 2020)**

Action	Espèces	Programme	Surf planimétrée (Ha)	Surf planimétrée (Ha)	% réussite
<b>reboisement</b>	pin d'Alep	barrage vert	700	319,97	5
		barrage vert, PSD	650	172,05	57
		CPR	750	233,47	54
		grands travaux	2113	2113,56	14
		PDZM, PPDRI	200	200,04	20
		PPDRI	1750	1549,33	67
		PPDRI, PPLCD	260	260,01	60
		PPDRI, PSD	100	100,01	50
		PPLCD	60	60,17	81
		PSCE	1000	999,88	50
		PSCE, PSD	200	200	53
		PSD	1350	1350,39	49
		PSD, GT, HP	1376	1375,93	31
		PSD, HP	258	258,19	80
<b>Total reboisement</b>			<b>10767</b>	<b>9193</b>	<b>41</b>

<b>plantation pastoral</b>	opuntia	grands travaux	300	23,06	90
		PPDRI	925	835,49	74
		PSD	20	23,22	45
<b>Total plantation pastoral</b>			<b>1245</b>	<b>881,77</b>	<b>73</b>
<b>plantation fruitier</b>	abricotier	PPDR	30	30	100
		PSD	5	5	77
		PSD, PSRE, PSCE	133,5	133,5	93
		PSRE	2	2	96
	olivier	PPDRI	278	187,26	87
		PSD	95	95,25	90
	pommier	PPDR	24	24,58	93
<b>Total plantation fruitier</b>			<b>567,5</b>	<b>477,59</b>	<b>91</b>
<b>Total general</b>			<b>12579,5</b>	<b>10552,36</b>	

Au sein des reboisements, les réalisations ayant perdu de leurs surfaces initiales appartiennent aux programmes suivants : le barrage vert (380 ha), le barrage avec PSD (478 ha), les CPR (517 ha) et les PPDRI (201 ha). Ainsi, leurs taux de réussite sont relatifs aux densités actuelles sur les surfaces restantes. Ainsi, les programmes affichant un taux inférieur à la moyenne (41%) sont les grands travaux (GT) (14%) sur la plus grande étendue, les PSD associés aux GT et aux hauts plateaux (HP) (31%) sur 1 376 ha. Ce sont ces deux derniers qui tirent la moyenne vers le bas.

Pour les plantations pastorales, ce sont les réalisations des PSD qui modulent la moyenne de la réussite, heureusement que la surface est, relativement, petite. Pour la plantation des GT, c'est

la surface initiale qui s'est, grandement, rétrécie. En ce qui concerne les plantations fruitières, pratiquement tous les programmes affichent de bons scores.

Dans certains impacts de reboisements, l'alfa a supplanté le pin d'Alep montrant, certainement, l'impertinence des approches du 'tout-reboisement en pin d'Alep'. (Sites de Merked (Fig.21) et de Coudiat Hamra, (Fig 22) dans les communes de Chechar et Kheirane).



**Figure 21** : Le reboisement en Pin d'Alep de Mekred (C.F.K, 2020)



**Figure 22** : Le reboisement de Pin d'Alep Coudiat Hamra (C.F.K, 2020).

# **Conclusion générale**

## **Et perspectives**

## Conclusion Générale

---

### Conclusion générale

Au terme de cette étude, nous pensons avoir contribué à la connaissance des problèmes de l'érosion en particulier dans la wilaya de Khenchela. On parvient aux conclusions suivantes :

-Tout d'abord, en ce qui concerne la synthèse pratique et qui a traité les aménagements antiérosifs réalisées au niveau de la wilaya afin de restaurer le sol.

-L'objectif principal de l'étude étant la compréhension du phénomène de l'érosion, il basé sur les travaux de lutte contre l'érosion dans la wilaya de Khenchela pour les deux zones : sud et nord.

En milieu aride et semi-aride les formations végétales naturelles forment un écran de défenses et de protection pour la biodiversité garante de la pérennité de la vie.

La lutte antiérosive devant être mise en œuvre en milieu rural n'est pas seulement un problème technique : elle doit aussi tenir compte du contexte humain car elle intéresse divers acteurs dont les intérêts ne sont pas forcément compatibles.

En fin, après les sorties sur terrain on a remarqué que la zone nord (Ain Mimoun) se caractérise par un reboisement naturel et taux de couverture dense, sol équilibré. Au contraire la zone sud par des forêts artificielles et taux de couverture faible.

# **BIBLIOGRAPHIE**

## Références bibliographiques

(1) : (Source [www.syndic-rivieres.org/écolriv3.htm](http://www.syndic-rivieres.org/écolriv3.htm))

**Anonyme, (2006).** Fiche Mare tampon de l'AREAS et de la Chambre d'Agriculture 76, 18 pages.

**Anonyme, (2007).** Politique forestière nationale et stratégie d'aménagement et de développement durable des ressources forestières et alfatières, 32 pages.

**Anonyme, (2009).** CENEAP, plan d'aménagement et de développement durable de la wilaya de Khenchela phase N°1 : rapport N°2 Evaluation territoriale « Bilan critique problématique d'aménagement », 34 pages.

**Anonyme, (2016).** Conservation des forêts Khenchela, 69 pages.

**Anonyme, (2021).** Subdivision des forêts de la commune d'El Hamma, 5 pages.

**Areas, (2008).** Brochure « Inondation, Erosion, Turbidité : un large choix de solutions pour les agriculteurs ». Chambres d'agriculture de la Seine Maritime et de l'Eure : 20 fiches.

**Arnold, J.B., Wall, G., Moore, N., Baldwin, C.S., et Shelton, U. (1989)** « Fiche technique : L'érosion du sol - Causes et Effets », Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales de l'Ontario, Division Agriculture et Affaires Rurales, Guelph, 7 pages.

**Auzet, A. V., Guerrini, M. C., & Muxart, T. (1992).** L'agriculture et l'érosion des sols : importance en France de l'érosion liée aux pratiques agricoles. *Economie rurale*, 208(1), pp 105-110.

**Beauchamp J. (2002).** L'eau et le sol [www.u-pecardie.fr/beauchamp/mstnanotec.gif](http://www.u-pecardie.fr/beauchamp/mstnanotec.gif)

**Beaux J. F. (1998).** L'environnement. Ed. Nathan, 159 pages.

**Boukhchem, R. (2010).** Zones forestières de Bouhmama et M'sara wilaya de Khenchela, 39 pages.

**Boussama, M. (1996).** Système d'information pour la conservation et la gestion des ressources naturelles ; Colloque International sur le rôle des technologies de télécommunication et de l'information en matière de protection de l'environnement, Tunis, 1-2 Novembre 1994, P.P.64-70.

**Brivois, O. (2005).** Contribution à la modélisation de l'érosion des fortes pentes par un écoulement turbulent diphasiques. Thèse Doc. Univ. Aix marseille II, 232 pages.

**Celik, I. (1996).** A review of the erosion control studies during the republic in Turkey. In Kapur.S.Akça.E.Eswaran.H,Kelling.G,Vita-Finzi,Mermut A6R,Ocal A-D, editor 1 international conference on land degradation, Adan. Turkey. 10-14 june 1996, pp 175-18.

**Chabaan, C. (2016).** Modeling of water erosion by seagis model. Case Watershed Dam Siliana.

**Chebbani. R. (1999).** Etude des risques d'érosion dans le bassin versant Isser, Algérie. Bulletin Réseau Erosion 19 : pp 85-95.

**Chellali, Y. (2017).** Calcul de l'index d'érosivité des pluies par l'équation universelle des pertes en sol dans la wilaya de Tipaza. École nationale supérieure de l'hydraulique- arbaoui abdellah - département aménagement et génie hydraulique. 82 pages.

**Chevalier, J. (1995).** Système d'aide à la planification pour la conservation des eaux et des sols (Tunisie). Système d'information géographique utilisant les données de télédétection. Act du colloque scientifique international, Hammamet. Tunisie, 1-2 Novembre 1994, 4-12.

**Collins, A. L., & Walling, D. E. (2007).** Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. *Geomorphology*, 88(1-2), 120-138.

Conservation des forêts kenchela, 2020.

**Corpen, (1997).** Produits phytosanitaires et dispositifs enherbés. Ministère de l'Agriculture et de la pêche, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Paris : 88 pages.

**Corpen, (2007).** Les fonctions environnementales des zones tampons. Les bases scientifiques et techniques des fonctions de production des eaux.

**Daoudji, B. (1994).** Erosion des alluvions non homogènes produite par la rétention des particules solides d'un bassin versant d'un barrage, université de Batna 169 pages.

**Dib, I. et Debbeche, A. (2017).** L'érosion du bassin versant de Beni Haroun (Oued Kotone) à Mila. Université des Frères Mentouri Constantine Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. 45 pages

**Durand J.H., (1954).** Les sols d'Algérie. Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural – Service des études scientifiques. Etude générale N° 2. Clairbois – Birmandreis. Alger. 244 pages.

**Ellison W. D. (1995).** Some effects of raindrops and surface flow a soil erosion and infiltration; Trans. An Geophys. Union, 26, pp 415-429.

**Ellison W.D. (1944).** Studies of raindrop erosion. Agric. Eng. 25: pp 131-181.

**Elwell H.A. et Stocking M. A. (1984).** Estimating soil life-span for conservation planning. Tropical Agriculture 61(2) : pp 148-150.

**Fabien, T. (2010).** Érosion des sols et qualité de l'eau en vallée de la Lèze. MASTER 2 « Fonctionnement des Écosystèmes et Anthropisation », 87 pages.

**Fournier, F. (1960) :** Climat et érosion : La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. PUF, Paris, France.

**Franti, T.G. (1997).** Vegetative Filter Strips for Agriculture. Lincoln (NE): University of Nebraska.

**Gauvin, D. (2000).** Inventaire des zones sensibles à l'érosion des sols en vallée d'Authie dans une perspective d'application des mesures agroenvironnementales. mém. Mém. Duess" Eau et Environnement", DEP, Univ. Picardie Jules Verne.

**Gosselin, B (1986).** La dégradation des sols agricoles : Causes, effets, prévention et correction. Bulletin Technique, Québec, Conseil des productions végétales du Québec, 147 p.

**Greco J. (1966).** L'érosion, la défense et la restauration des sols. Le reboisement en Algérie. Ed. P.M.A.R.A, 377 papes.

**Greco, J (1966).** L'érosion, la défense et la restauration des sols, et le reboisement en Algérie, 303 pages.

Haut-commissariat au développement de la steppe (HCDS), (2012). Rapports situation de la steppe, département pédologie, 12 pages

**Haycock, N.E. et A.D. Muscutt. (1995).** Landscape Management Strategies for the Control of Diffuse Pollution. Landscape and Urban Planning 31:313-321.

**Helmerts, M.J., D.E. Eisenhauer, J.M. Brothers, M.G. Dosskey et T.G. Franti. (2001).** Direction and Concentration of Surface Water Flow in a Vegetative Filter System. ASAE Paper No. 01-2070.

**Houyou, Z., Biolders, C.L., Benhorma, H.A., Dellal, A., Boutemdje, A., (2014).** Evidence of strong land degradation by wind erosion as a result of rainfed cropping in the Algerian steppe: a case study at Laghouat. *Land degrad. Develop.* doi: 10.1002/ldr. 2295..

**Ibekwe A.M., Kennedy A.C., Frohne P.S., Papiernik S.K., Yang C.-H., Crowley D.E., (2002).** Microbial diversity along a transect of agronomic zones. *FEMS Microbiology Ecology* 39, 183-191.

**Khabtane, A. (2015).** Contribution à l'étude des caractères morphologiques, physiologiques et des marqueurs moléculaires pour l'évaluation du polymorphisme phénotypique et génétique des espèces du genre *Tamarix* dans différents écotopes de la zone steppique de Khenchela (est algerien).

**Kronvang, B., Laubel, A., Larsen, S.E., Friberg, N., (2003).** Pesticides and heavy metals in Danish streambed sediment. *Hydrobiologia* 494, 93–101.

**Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C., & Daroussin, J. (2002).** L'érosion hydrique des sols en France. Rapport INRA, IFEN, 106.

**Liagre, F. (2006).** Les haies rurales : rôles, création, entretien. France Agricole Editions.

Long, H.L., Heilig, G.K., Wang, J., Li, X.B., Luo, M., Wu, X.Q., Zhang, M., (2006). Land use and soil erosion in the upper reaches of the Yangtze River: some socio-economic considerations on China's Grain-for-Green Programme. *Land Degrad. Dev.* 17 (6), 589–603.

**Maury, V. (2008).** Quel avenir pour les fossés cauchois ? *Études Normandes*, 57(3), 71-78.

**Mirmousavi, S.H., (2016).** Regional modeling of wind erosion in the North West and SouthWest of Iran. *Eurasian Soil Sci.* 49 (8), 942–953 pages.

**M'seffar, J. (2009).** L'érosion des sols agricoles en Estrie, causes et conséquences (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke.).

**Naulin, H., & Triplet, A. (2003).** Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols en Caps et Marais d'Opale. Parc naturel régional des caps et marais d'opale.

**Ouvry, J (2008).** Cultiver sans labour réduit l'érosion au sein des parcelles. *Perspectives agricoles*, (345), 62.

**Pautrot, C. (2012).** Érosion et dégradation des sols. Mémoires de l'Académie nationale de Metz.

**Ramade F. (1984).** Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. Ed. Mc. Graw-Hill, Paris. 397 pages

**Ramade F. (2003),** Élément d'écologie : Ecologie fondamentale, Paris, Dunod, 3<sup>e</sup>ed., 2003.

**Ramade, F. (2005).** Eléments d'écologie : écologie appliquée.

**Redjil, H., Boudabouze, H. (2010).** Dénombrement de quatre espèces d'Ardéidés dans la région de kenchela.

**Reeves, D. (1994).** Cover crops and erosion. in: Hatfield, J.L., Stewart, B.A. (Eds.), Crops Residue Management. Advances in Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, FL., pp. 125-172

**Rey, F. (2012).** Génie biologique contre l'érosion torrentielle. Editions Quae, 104 pages.

**Richet J.B., Ouvry J.F., Saunier M., (2016).** The role of vegetative barriers such as fascines and dense shrub hedges in catchment management to reduce runoff and erosion effects: experimental evidence of efficiency and conditions of use. Ecological Engineering, Sous presse.

**Robert, L. (2016).** Aménagement des cours d'eau et conservation des sols (Cours GAE--3005), ing. Et agr., professeur Université Laval, 329 pages.

**Romkens, M.J.M., Prasad, S.N., Whisler, F.D., (1990).** Surface sealing and infiltration. in: Anderson, M.G., Butt, T.P. (Eds.), Process studies in hillslope hydrology. John Wiley and Sons, Ltd., pp. 127-172.

**Roose E. (1973).** Dix-sept années de mesure expérimentale de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. ORSTOM Abidjan, 125 pages.

**Roose E. (1980).** Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. Thèse Doct. Ès Sciences, Université d'Orléans, 587 pages.

**Roose E. (1993).** Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne. In : La jachère en Afrique de l'Ouest. ÜRSTüM, Paris (France) : 233-244.

**Roose E. (1994).** Introduction à la GCES. Bulletin pédologique FAO.76, 420 pages.

**Roose E., Rodriguez L. (1990).** La G.C.E.S. Une nouvelle stratégie de lutte antiérosive appliquée à l'aménagement de terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques ; 233 : 49-61.

**Roose, E. (1996).** Land husbandry -components and strategy.FAO soils bulletin No 72. 381 pages

**Roose, E. (1995).** La GCES. Proposition d'une nouvelle approche de la lutte antiérosive pour Madagascar. Réseau Erosion-Bulletin, (15), pp 189-203.

**Roose, É. (2004).** Évolution historique des stratégies de lutte antiérosive- - Vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Science et changements planétaires/Sécheresse, 15(1), pp 9-18.

**Roose, E., Kabore, V., & Guenat, C. (1993).** Le zaï : fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). Série Pédologie, 28(2), pp 159-173.

**Sheng, T.C. (1993).** Guied pratique d'aménagement des bassins versants. Food & Agriculture Org. 185 pages.

**Sol, G. (2011).** L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 pages.

**Soutter M (2007).** Ingénierie des eaux et du sol - Processus et aménagements. PPUR, Lausanne : 294 pages.

**Sparovek, G., Schnug, E., (2001).** Temporal Erosion-Induced Soil Degradation and YieldLoss. Soil Sci. Soc. Am. J. 65 (5), pp 1479–1486.

**Steiger, J., Tabacchi, E., Dufour, S., Corenblit, D., & Peiry, J. L. (2005).** Hydrogeomorphic processes affecting riparian habitat within alluvial channel–floodplain river systems: a review for the temperate zone. River Research and Applications, 21(7), pp 719-737.

**Stewart, P. (1969).** Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère Bull.Soc. Hist.Nat. Afr.du Nord ; Alger, 59 :14

**Tribak, A. (2002).** Stratégies et techniques de lutte antiérosive dans les montagnes du préif oriental (Maroc). In Conférence : Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen, E. Roose, M. Sabir et G. De Noni (Eds). Rabat, Maroc, IRD pp. 45-55.

**Viers G. (1967).** Elément de géomorphologie. Ed. Nathan, 207 pages.

**Zuazo, V. H. D., & Pleguezuelo, C. R. R. (2009).** Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. *Sustainable agriculture*, pp 785-811.