

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

UNIVERSITE de TLEMCEM
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Ressources Forestières

MEMOIRE

Présenté par

EL-BORDJI BILLAL

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Foresterie

Option : Aménagement et Gestion des Forêts

Thème

Analyse des aménagements antiérosifs dans le bassin versant d'Oued El-Malah
(Wilaya d'Ain Témouchent)

Soutenu le 14/07/ 2021 devant le jury composé de :

Président : Mr HADDOUCHE I.	Pr	Université de Tlemcen
Encadreur : Mme ZEKRI-BELLAHCENE N.	MCB	Université de Tlemcen
Examineur : Mr AINAD TABET M.	MCB	Université de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, en témoignage de leur amour, du respect et de la
gratitude que je leur porte

« que Dieu les garde et les protège »

A mon frère Sidahmed

A mes sœur Wahiba et Amina

A mon petit neveu Aymen

A mes nièces : Marwa, Loudjain et Alae

A toute ma famille

A mes amis Abderrahmane, Ilyes, hadj, et à toute ma promotion de 5^{eme} année
foresterie

A ma deuxième famille en résidence universitaire

Ilyes, Merouane, Toufik, Yacine, Fathi

A tous ceux qui me sont chers

Remerciement

Je remercie avant tout le bon Dieu qui m'a donné la volonté et le courage dans la réalisation de ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et ma reconnaissance à mon promoteur madame BELLAHCENE N. pour avoir dirigé ce travail et pour ces précieux conseils.

Je remercie :

Monsieur HADDOUCHE I. Pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury.

Monsieur AINAD TABET M. pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'examiner ce modeste travail.

Mes remerciements aussi à l'ensemble du personnel de la conservation des forêts d'Ain Témouchent pour l'aide qui m'a été offerte de leur part.

Je remercie aussi l'ensemble des enseignants de notre département.

Résumé

L'objectif du présent travail est de faire une analyse de l'état et de l'efficacité de quelques aménagements antiérosifs et notamment des seuils de correction torrentielle installés depuis 1986 dans un micro bassin versant d'Oued El-Malah situé juste à l'amont du village de Hassi El Ghalla.

La méthodologie adoptée a été basée sur des observations directes sur terrain, des prises de photos et une collecte de données au niveau de la conservation des forêts de la wilaya d'Ain Témouchent.

Les résultats obtenus nous ont permis de constater un bilan positif plus que négatif de l'état des aménagements antiérosifs. Les seuils de correction torrentielle et les terrasses en gradins sont dans leur majorité en bon état. Le couvert végétal est assez dense et l'érosion dominante sur terrain c'est l'érosion en nappe, qualifiée comme moins dangereuse par rapport à l'érosion linéaire et l'érosion en masse.

La mise en place des actions antiérosives dans le bassin versant d'étude, a certainement protégé la ville de Hassi El Ghalla, située en aval, contre les inondations. Mais l'administration des forêts doit apporter quelques réhabilitations à ces actions et les entretenir d'une manière continue pour plus d'efficacité.

Mots clés : érosion hydrique, aménagements antiérosifs, analyse, bassin versant d'Oued El Maleh, wilaya d'Ain Témouchent.

Abstract

The objective of this work is to analyze the state and the effectiveness of some anti-erosion facilities and in particular the torrential correction thresholds installed since 1986 in a micro watershed of Oued El-Malah located just at the upstream of the village of Hassi El Ghalla.

The methodology adopted was based on direct observations in the field, taking photos and collecting data on the conservation of forests in the wilaya of Ain Témouchent.

The results obtained have enabled us to observe a positive rather than negative assessment of the state of the anti-erosion facilities. Most of the torrential correction sills and stepped terraces are in good condition. The vegetation cover is quite dense and the dominant erosion on the ground is sheet erosion, qualified as less dangerous compared to linear erosion and mass erosion.

The implementation of anti-erosion actions in the study watershed certainly protected the town of Hassi El Ghalla, located downstream, against flooding. But the forest administration must bring some rehabilitation to these actions and maintain them on an ongoing basis for more efficiency.

Keywords : water erosion, anti-erosion facilities, analysis, watershed of Oued El Maleh, wilaya of Ain Témouchent.

التلخيص

الهدف من هذا العمل هو تحليل حالة وفعالية بعض مرافق مكافحة الانجراف وعلى وجه الخصوص عتبات التثبيت التي تم تركيبها منذ عام 1986 في الحوض المائي الصغير لواد المالح الواقع في أعلى بلدية حاسي الغلة. اعتمدت المنهجية المعتمدة على الملاحظات الميدانية المباشرة والتقاط الصور وجمع البيانات من محافظة الغابات لولاية عين تموشنت.

لقد مكنتنا النتائج التي تم الحصول عليها من ملاحظة تقييما إيجابيا وليس تقييما سلبيا لحالة منشآت مقاومة الانجراف. معظم عتبات تثبيت السيول والمدرجات في حالة جيدة. الغطاء النباتي كثيف للغاية والانجراف السائد على الارض هو انجراف الصفيحة ، وهو مؤهل على أنه أقل خطورة مقارنة بالانجراف الخطي و الانجراف الكتلي.

من المؤكد أن تنفيذ إجراءات مكافحة الانجراف في الحوض المائي الصغير المشمول بالدراسة قد أدى إلى حماية مدينة حاسي الغلة ، الواقعة في اتجاه مجرى الحوض ، من الفيضانات. لكن يجب على إدارة الغابات إجراء بعض عمليات إعادة التأهيل لهذه الإجراءات والحفاظ عليها على أساس مستمر لمزيد من الكفاءة.

الكلمات المفتاحية: الانجراف المائي ، منشآت مقاومة الانجراف ، التحليل ، حوض وادي المالح, ولاية عين

تموشنت

Sommaire

Introduction générale	1
CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE	
1. Rappel sur l'érosion hydrique.....	4
1.1. Définition	4
1.2. Origines et mécanisme	4
1.2.1. Le détachement	4
1.2.2. Le transport	5
1.2.3. La sédimentation	6
1.3. Les formes de l'érosion hydrique	6
1.3.1. L'érosion en nappe	6
1.3.2. L'érosion linéaire.....	7
1.3.3. L'érosion en ravine	7
1.3.3.1. Les différents types de ravinement	8
1.3.3.1.1. Les ravines en V	8
1.3.3.1.2. Les ravines en U	9
1.3.3.1.3. Les ravines en tunnel	9
1.3.3.1.4. Les ravines remontantes	9
1.3.4. L'érosion en masse	11
1.4. Les causes et les conséquences de l'érosion hydrique.....	13
1.4.1. Les causes de l'érosion hydrique en Algérie.....	13
1.4.1.1. Le climat	13
1.4.1.2. Le sol.....	13
1.4.1.3. La topographie	14
1.4.1.4. L'influence de la végétation et les techniques culturales.....	14
1.4.1.5. L'action de l'homme.....	14
1.4.2. Les conséquences.....	15
2. Les moyens de lutte contre l'érosion hydrique.....	15
2.1. Les stratégies modernes d'équipement rural hydraulique.....	15
2.1.1. La RTM (La Restauration des Terrains de Montagne)	15
2.1.2. La CES (La Conservation de l'Eau et des Sols)	16

2.1.3. La DRS (La Défense et Restauration des Sols)	16
2.1.4. La GCES (Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité du Sol)	16
2.2. Les techniques de lutte contre l'érosion hydrique	17
2.2.1. Procédés mécaniques	17
2.2.1.1. Les terrasses	17
2.2.1.2. Les murettes en pierres sèches (Stone Walls)	17
2.2.1.3. Les cordons en pierres.....	18
2.2.1.4. Les Banquettes	18
2.2.1.5. La correction torrentielle.....	19
2.2.1.5.1. Les seuils de correction torrentielle	20
2.2.1.5.1.1. Le seuil en gabion	20
2.2.1.5.1.1.1. Formes et dimensions des gabions.....	21
2.2.1.5.1.1.2. Procédures pour la réalisation des seuils en gabions.....	22
2.2.1.5.1.2. Les seuils en pierres sèches.....	22
2.2.1.5.1.3. Les seuils en terre.....	23
2.2.1.5.2. Exécution des travaux de correction torrentielle.....	23
2.2.1.5.2.1. L'emplacement des seuils	23
2.2.1.5.2.2. L'espacement entre les seuils.....	24
2.2.1.5.2.3. Le nombre des seuils.....	24
2.2.1.5.2.4. Fondations des seuils	24
2.2.1.5.2.5. Le ramassage des pierres.....	25
2.2.1.5.2.6. Ancrage des seuils.....	25
2.2.2. Les procédés biologiques.....	25
2.2.2.1. Seuils biologiques	26
2.2.2.2. Reboisement.....	27
2.2.2.3. L'agroforesterie	28

Chapitre II : Etude du milieu

1. Situation géographique	31
2. Le relief.....	32
2.1. Zone littorale.....	32
2.2. Zone de plaine.....	32
2.3. Zone de montagne.....	33

3. Caractéristiques géologiques	33
4. Caractéristiques pédologiques	33
4.1. Sol calcaire.....	33
4.2. Sol rocheux	34
4.3. Sol sédimentaire sableux.....	34
4.4. Sol argileux	34
4.5. Sol salin.....	34
5. Caractéristiques hydrologiques.....	35
5.1 Hydrographie	35
5.2 Les ressources en eau.....	35
5.2.1. Les ressources superficielles.....	36
5.2.2. Les ressources souterraines.....	36
5.2.3. Les eaux non conventionnelles	36
6. Caractéristiques climatiques	37
6.1. Les précipitations :.....	37
6.2. Les températures	39
7. Répartition générale des terres du bassin d'Oued El-Malah	40
7.1. Terres agricoles.....	41
7.2. Les forêts.....	42
8. Sensibilité à l'érosion dans la wilaya d'Ain Témouchent	43
CHAPITRE III : Analyse des aménagements antiérosifs	
1. Approche méthodologique	45
2. Types d'aménagements antiérosifs présents.....	45
3. Analyse des aménagements antiérosifs	46
3.1. Procèdes mécaniques	46
3.1.1. Correction torrentielle.....	46
3.2. Procédés biologiques	51
3.2.1. Forêts.....	51
3.2.2. Plantation fruitière	51
4. Résultats d'analyse et discussion.....	52

CONCLUSION

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Liste des figures

Figure n°01 : Diagramme de Hjulstrom.....	5
Figure n°02 : Modes de transport par ruissellement.....	5
Figure n°03 : types d'érosion linéaire.....	7
Figure n°04 : érosion par ravinement.....	8
Figure n°05 : processus de ravinement en relation avec leur typologie.....	10
Figure n°06 : les formes de l'érosion en masse.....	12
Figure n°07 : Une vue de versants aménagés par des terrasses.....	18
Figure n°08 : Coupe transversale d'une banquette associée à un fruitier.....	19
Figure n°09 : Seuil en gabion.....	21
Figure n°10 : Seuils biologiques.....	26
Figure n°11 : Espèces de reboisement souvent utilisées en Algérie.....	27
Figure n°12 : localisation du bassin versant d'oued El-Malah.....	31
Figure n°13 : Situation du micro bassin versant étudié.....	32
Figure n°14 : Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El-Malah.....	35

Liste des tableaux

Tableau n°01 : Dimensions usuelles des gabions.....	21
Tableau n°02 : les ressources superficielles de la wilaya d'Ain Témouchent.....	36
Tableau n°03 : Situation des stations climatiques.....	37
Tableau n°04 : Changements saisonniers des précipitations au cours de la période (2000/2001-2010/2011).....	38
Tableau n°05 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures dans la station d'Ain Témouchent (1995/1996 – 2011/2012).....	39
Tableau n°06 : la répartition générale des terres dans la wilaya d'Ain Témouchent....	40
Tableau n°07 : Comparaison et traitement des bassins versant.....	43
Tableau n°08 : types d'aménagements antiérosifs réalisés dans le bassin versant d'Oued El Maleh depuis 1999.....	45
Tableau n°09 : caractéristiques des seuils de correction torrentielle analysés.....	47

Liste des photos

Photo n°01 : Pratique de l'agriculture sur la rive de l'oued EL-Malah.....	41
Photo n°02 : Reboisement de Pin d'Alep.....	42
Photo n°03 : Arbre emporté par le débit de la crue sur le cours d'eau principal.....	46
Photo n°04 : Affleurement rocheux symptôme d'une érosion en nappe important.....	47
Photo n°05 : seuil en gabion stable avec grillage coupé et volé, bonne fondation et bon ancrage.....	49
Photo n°06 : seuil en gabion stable avec grillage coupé et volé avec un atterrissement de 100%.....	49
Photo n°07 : seuil en pierres sèches instable dans son coté gauche à cause d'un mauvais ancrage.....	50
Photo n°08 et n°09 : terrasses avec murettes en gradins (Certaines pierres de murettes ont été emportées par la force du courant d'eau).....	51
Photo n°10 : oléiculture dans l'amont de la zone d'étude.....	52

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'érosion hydrique est un phénomène naturel inévitable dans l'évolution des paysages et de la modification du relief terrestre. Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte une partie de la terre vers un lieu de dépôt. Elle est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol, ce fléau attaque d'autant plus les sols lorsqu'ils sont exposés à l'action des agents atmosphériques de puissance érosive.

Elle se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur les parcelles en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît, soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (ruissellement par saturation). Ces deux types de ruissellement sont présents généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux (Cros-Cayot, 1996). Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace, l'érosion de versant diffuse ou en rigoles parallèles et l'érosion linéaire ou concentrée de talweg

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

Pour lutter contre l'érosion en Algérie, des moyens importants ont été mobilisés (reboisement, barrières vertes, correction torrentielle, fixation des berges et banquettes). Mais malgré plus de 50 ans de lutte antiérosive, les sols continuent à se dégrader à cause de multiples raisons dont principalement la méconnaissance ou la négligence des facteurs sociologiques.

Or bien peu d'aménagements antiérosifs donnent satisfaction car les aménagistes attendent l'apparition des ravines pour imposer des structures antiérosives très coûteuses et souvent peu efficaces.

L'objectif du présent travail est de faire une analyse des aménagements antiérosifs dans un micro bassin versant d'Oued El Malah, situé à l'amont du village de Hassi El Ghalla. Cette analyse a touché beaucoup plus les seuils de correction torrentielle (leur état actuel et les principaux éléments de leurs constructions).

INTRODUCTION GENERALE

Cette étude a été basée essentiellement sur des observations sur terrain et sur la collecte des données au niveau de la conservation des forêts d'Ain Témouchent.

Elle s'articulera autour des trois chapitres suivants :

Premier chapitre : il sera consacré à une synthèse bibliographique qui englobera deux principales parties, la première contiendra un rappel sur l'érosion hydrique (ses causes, ses conséquences et ses différents types) et la deuxième contiendra les différents moyens de lutte utilisés contre ce type d'érosion ;

Deuxième chapitre : il sera consacré à la présentation des différentes caractéristiques de la zone étudiée ;

Troisième chapitre : il fera l'objet d'une analyse des aménagements anti érosifs et notamment une évaluation de l'état des seuils de correction torrentielle.

CHAPITRE I : ÉROSION
HYDRIQUE ET MOYENS DE
LUTTE

1. Rappel sur l'érosion hydrique

1.1. Définition

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol. Elle se définit comme étant la perte de sol provoqué par l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt (Yacouba, 1999). Lorsque les gouttes de pluie frappent le sol, la force de leur impact permet de briser les agrégats et de disperser les particules qui forment le sol. C'est ce qu'on appelle l'effet splash. Le ruissellement se produit lorsque l'eau sur une pente ne peut pas s'infiltrer assez vite dans le sol ou qu'elle ne peut pas être interceptée par des obstacles naturels. Plus les précipitations et le ruissellement sont de forte intensité, plus les particules déplacées sont de grosse taille et en plus grande quantité. L'eau qui coule entraîne donc avec elle des particules de sol et cause de l'érosion. C'est principalement les eaux de ruissellement qui creusent les vallées.

1.2. Origines et mécanisme

Le mécanisme d'érosion d'un sol passe par 3 étapes : détachement, transport et sédimentation. Cependant, il est à signaler que la pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine du détachement, du transport et du dépôt des particules du sol arrachées.

1.2.1. Le détachement

Avant que les sédiments et les matières organiques ne soient transportés, ils doivent d'abord être détachés des forces cohésives présentes dans le sol. Ce détachement peut se faire par :

- Humectation par l'impact des gouttes de pluie ; effet splash.
- Une combinaison d'impacts des gouttes de pluie et du ruissellement,
- Le ruissellement seul.

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

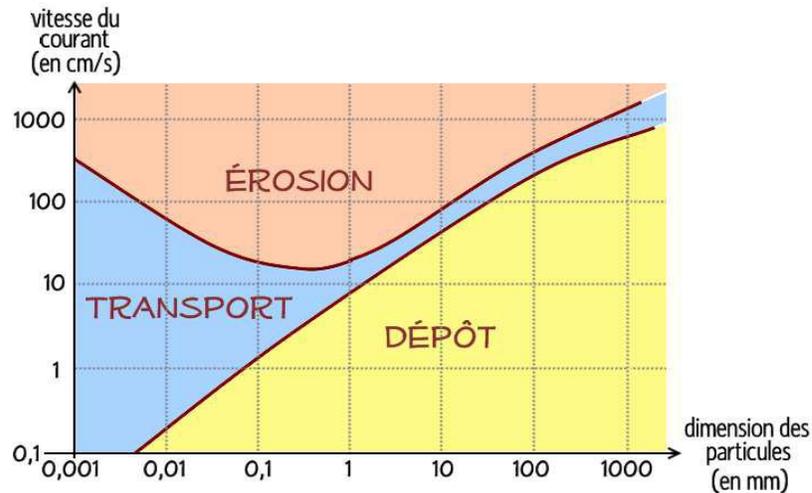


Figure 1 : Diagramme de Hjulstrom (1935)

1.2.2. Le transport

Il correspond au mouvement des sédiments vers l'aval, que ce soit sur un versant ou dans un cours d'eau. Il est dû à la fois aux gouttes d'eau de pluie (par rejaillissement= effet splash) et aux eaux de ruissellement. Ainsi, le transport est assuré par ces eaux. Cependant, il est à signaler que le mode de transport par effet splash est généralement négligeable sauf sur pente forte. Ce sont surtout les eaux de ruissellement qui sont les plus responsables du transport des particules du sol détachées. Les modes de transport par ruissellement sont illustrés sur la figure 2 :

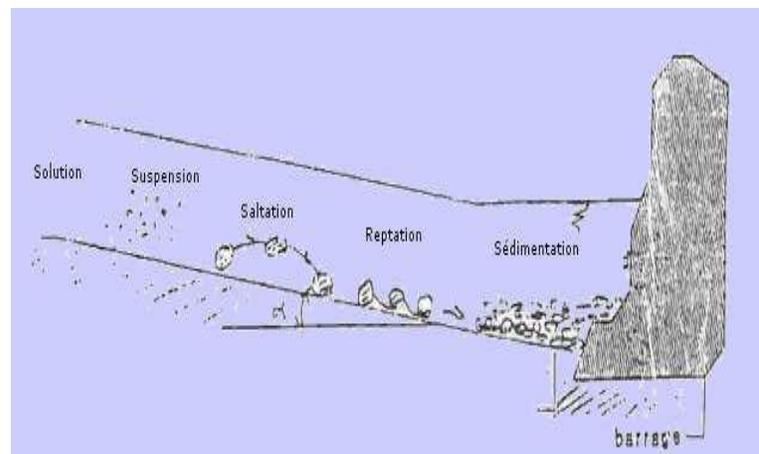


Figure 2 : Modes de transport par ruissellement (Yacouba, 1999)

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

L'écoulement de l'eau trie les sédiments par tailles par sa vitesse d'écoulement : plus la vitesse est importante, plus elle peut transporter des sédiments grossiers. Dès que la vitesse commence à diminuer les premiers sédiments qui se déposent sont les plus grossiers ; progressivement, les sédiments de tailles de plus en plus fines sont déposés au fur et à mesure que la vitesse d'écoulement diminue. L'écoulement dans un cours d'eau représente donc une zone de tri sélectif dans laquelle il y a des zones de sédiments grossiers là où la vitesse d'écoulement est rapide et des zones de sédiments fins là où la vitesse d'écoulement est lente.

1.2.3. La sédimentation

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

- Dimension.
- Densité.
- La capacité de transport du ruissellement ou du cours d'eau.

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

1.3. Les formes de l'érosion hydrique

1.3.1. L'érosion en nappe

C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion. Cette érosion en nappe entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface, autrement dit c'est une forme d'érosion diffuse. De ce fait, elle est peu visible d'une année à l'autre. Le signe le plus connu de l'érosion en nappe est donc la présence de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés. Également, il y a un autre symptôme de l'érosion en nappe est la remontée des cailloux en surface par les outils de travail du sol (Smiri, 1987).

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

1.3.2. L'érosion linéaire

L'érosion linéaire est exprimée par tous les creusements linéaires qui entaillent la surface du sol suivant diverses formes et dimensions (griffes, rigoles, ravines, etc.). En fait, L'érosion linéaire apparaît lorsque le ruissellement en nappe s'organise, il creuse des formes de plus en plus profondes. On parle de :

- Griffes lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur
- Rigoles lorsque les canaux dépassent 10 cm de profondeur mais sont encore effaçables par les techniques culturales (Fig. 3).



Figure 3 : début de l'érosion linéaire¹

1.3.3. L'érosion en ravine

Un ravinement est l'érosion soudaine d'un sol meuble ou d'autres surfaces de soutien par un jet d'eau. Ce phénomène se produit habituellement lors d'une forte averse de pluie (une crue soudaine) ou de tout autre type d'inondation par un ruisseau (Joseph, 2011).

Les dégâts causés sont d'autant plus importants que la stabilisation et la réparation de cette forme d'érosion sont les plus coûteux de tous les travaux de lutte contre l'érosion. Comme pour les autres

¹ <https://www.researchgate.net/figure/photos-illustrant-le-phenomene-derosion-lineaire>

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

processus de l'érosion hydrique, cette forme d'érosion déprécie considérablement la valeur et la productivité des terres agricoles.

Les ravins et les ravines, sont responsables de la mobilisation et du transport des sédiments vers l'aval des bassins-versants. En plus de leur contribution substantielle à l'envasement des barrages, ils occasionnent une perte directe du patrimoine foncier.



Figure 4 : érosion par ravinement²

1.3.3.1. Les différents types de ravinement

1.3.3.1.1. Les ravines en V

Elles se développent sur des matériaux homogènes comme les altérites d'argilite, de schiste et de marne. Une fois la couverture pédologique décapée, le ravinement progresse en deux temps. Durant une première période de plusieurs mois la roche se détend sous l'effet de l'alternance de périodes sèches et humides et libère des particules de la taille des sables grossiers. Dans un deuxième temps, à l'occasion d'une averse abondante tombant sur un sol déjà humide, le fond de ravine est décapé par le ruissellement venant de l'impluvium.

Le décapage du fond de ravine au-delà des sédiments déposés lors de la première période maintient le déséquilibre des berges et la forme en V de la ravine au cours de sa croissance (Olivry et Horelbeck, 1990). Pour stabiliser ces ravines il suffit d'empêcher l'évacuation des sédiments détachés des berges par un seuil pour bloquer l'enfoncement de la ravine, réduire la pente des versants jusqu'à

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

atteindre la pente d'équilibre de ces matériaux altérés et provoquer la végétalisation naturelle des berges. Pour réhabiliter définitivement la ravine, il faut encore réduire le débit de pointe du ruissellement provenant du bassin versant, ce qui est généralement plus difficile à réaliser, et revégétaliser la ravine et ses environs immédiats.

1.3.3.1.2. Les ravines en U

Elles se développent sur matériaux hétérogènes comme les couvertures pédologiques (formes juvéniles) et les croûtes calcaires. Les rigoles qui naissent à la surface des champs, si elles ne sont pas effacées par les techniques culturales, s'approfondissent verticalement en décapant le fond jusqu'à rencontrer une couche cohérente qui la force à s'élargir pour évacuer les débits de pointe qui augmentent avec la dégradation physique du milieu. Les berges s'élargissent par effondrement. La capture des sédiments par des seuils permet de bloquer l'évolution de la ravine (Hoeblich., 1992).

1.3.3.1.3. Les ravines en tunnel

Se forment dans des matériaux riches en argiles gonflantes ou en sels solubles (cas des marnes gypseuses) (Hudson, 1973 ; Stocking, 1976 ; Boix-Fayos *et al.*, 2000). Ces ravines progressent par bonds après un travail de sappe souterrain. Ce sont les ravines les plus dangereuses car leur évolution est imprévisible et leur stabilisation est difficile.

1.3.3.1.4. Les ravines remontantes

Les ravines ne se développent pas toujours en relation avec l'abondance du ruissellement venant de l'amont : elles peuvent dépendre de l'appel au vide créé par le creusement d'une route ou d'une rivière ou de la pression de la nappe à l'endroit d'une source (ruissellement hypodermique) (Coelho-Netto, 2000). La différence de fonctionnement est importante mais il n'est pas toujours facile sur le terrain de l'observer, sauf un développement maximal à proximité de son origine située souvent en bas de pente, au niveau de la rivière ou d'une source. Seul ce type de ravine remontante est capable de

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

couper une colline en deux, puisque l'origine est située en bas de versant. La tête de ravine est souvent plus profondément enfoncée dans le sol que les zones plus basses (car elle correspond à une sortie de la nappe temporaire suspendue) et il n'est pas rare de voir se succéder une série de ravines courtes, en cascade.

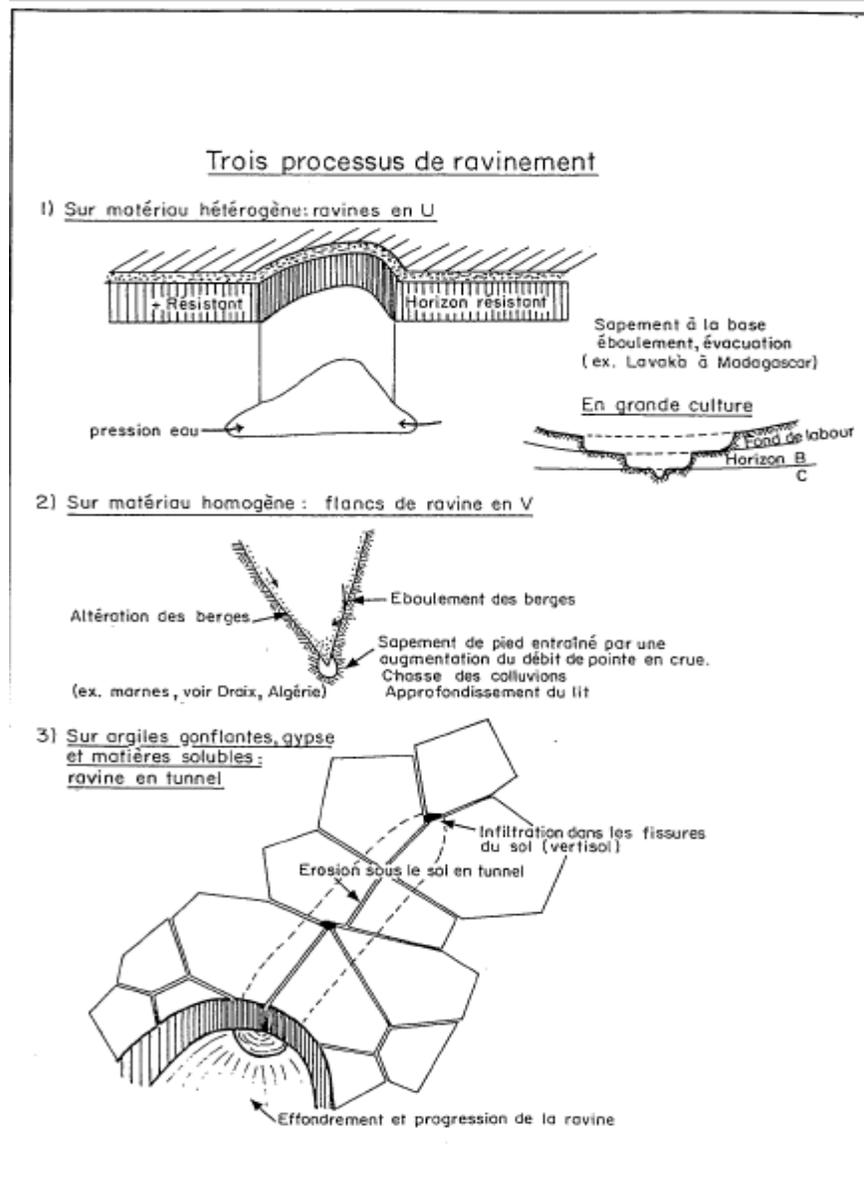


Figure 5 : processus de ravinement en relation avec leur typologie (Roose, 1994)

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

1.3.4. L'érosion en masse

L'érosion en masse est le déplacement de terre selon des formes non définies, comme les mouvements de masse, les coulées de boue et les glissements de terrain. Dans ce cas, seul l'état dispose des moyens techniques, financiers et légaux, pour maîtriser les problèmes de glissement de terrain, souvent catastrophiques, et pour imposer des restrictions d'usage aux terres soumises à des risques majeurs de mouvement de masse.

✓ Les glissements lents :

Il s'agit d'un glissement plus ou moins lent de la surface de la couverture du sol, généralement sans effusion. Ce phénomène peut généralement être observé sur des pentes raides en raison de la forme allongée des jeunes plantes forestières et de la forme en croix des racines des arbres matures.

✓ Les glissements rapides :

Un glissement de terrain en planches est une couche de sol plus ou moins épaisse qui glisse sur un horizon plus compact (généralement une roche altérée) comme un plan de glissement.

✓ Les versants moutonnés :

Dans un environnement humide, lorsque la ligne de vue de la couche superficielle dépasse le point de plasticité et se développe lentement, elle apparaîtra dans un environnement humide.

✓ Les coulées boueuses (lave torrentielle) :

Ce sont des mélanges d'eau et de sol à haute densité, ils ont passé la fluidité et transportent de grandes quantités de sol et de grosses roches à grande vitesse.

✓ Les glissements rotationnels en "coups de cuillère" :

Ce sont des glissements de terrain, le sol et certains objets lourds glisseront lors de la rotation, il y aura donc une pente inverse sur la pente. Il s'agit généralement d'une série de coups de cuillère pour donner au paysage une apparence de cisaillement.

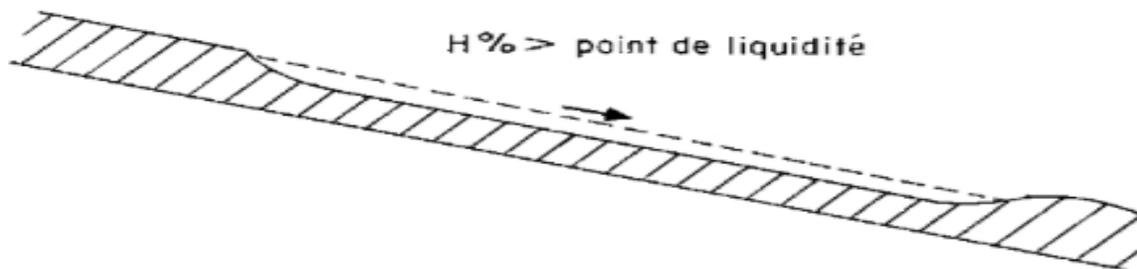
CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

✓ Les formes locales

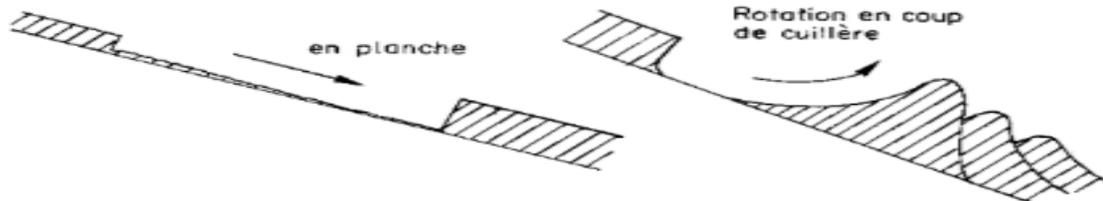
Ce sont des glissements de terrain, des ruptures de talus ou des effondrements de talus, qui conduisent à des glissements de terrain locaux. Ceux-ci sont très courants au sommet des ravins. Ils effondrent la partie supérieure du rebord du ravin et permettent au ravin de se développer vers le sommet de la montagne par érosion régressive.

GLISSEMENTS RAPIDES

1) Coulées boueuses



2) Glissements de terrain



MOUVEMENTS LENTS

3) Creep (Glissement lent des particules a la surface du sol sur pentes fortes)

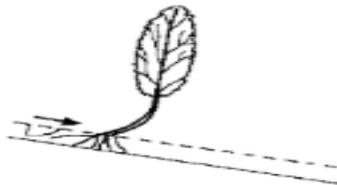


Figure 6 : les formes de l'érosion en masse (Roose, 1994)

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

1.4. Les causes et les conséquences de l'érosion hydrique

1.4.1. Les causes de l'érosion hydrique en Algérie

1.4.1.1. Le climat

L'Algérie du Nord est sous l'influence d'un climat méditerranéen de transition entre le tempéré et le tropical caractérisé par une période froide et humide allant de Novembre à Mars (hiver) et une autre chaude et sèche s'étalant d'Avril à Octobre (Emberger, 1955 ; Estienne& Godron, 1970).

De point de vue dynamique érosive, la plus forte érosion est enregistrée dans la saison d'automne, période connue par les orages de courte durée et de forte intensité (surtout dans le mois de Septembre et Novembre). Les écoulements sont très chargés de sédiments et les apports solides dans cette saison représentent souvent plus de 50% des apports solides de l'année entière. Dans les saisons d'hiver et du printemps, caractérisées par des pluies plus abondantes et durables, les transports liquides sont importants mais l'érosion reste faible (Zékri, 2003).

Selon Roose et *al.* (2010), la plupart des averses en zone de montagne méditerranéenne ont une faible intensité et une faible énergie : les risques majeurs sont liés à des averses de fréquence rare, soit des orages très violents lors des changements de saison, soit des pluies longues et saturantes provoquant des inondations considérables, des mouvements de masse, du ravinement torrentiel et la dégradation des berges des oueds.

L'agressivité des pluies se manifeste souvent sur des sols peu couverts par la végétation et plus secs suite à la saison chaude de l'été et du début d'automne. Cette période est connue aussi par les incendies répétées rendant les sols plus pulvérulents et plus vulnérables à l'érosion Splash et l'érosion par ruissellement. En effet l'érosivité des pluies n'est pas déterminante du risque érosif en région méditerranéenne mais c'est plutôt la fragilité des terrains (pentes fortes, substrats tendres et couvert végétal dégradé) qui en est la cause majeure (Zékri, 2017).

1.4.1.2. Le sol

Les principales caractéristiques des sols qui permettent de déterminer le degré de sensibilité à l'érosion hydrique sont les suivantes : la profondeur, la porosité, la granulométrie, la teneur en matière

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

organique (FAO, 1996), Les sols de la région méditerranéenne sont souvent peu profonds sauf ceux situant sur des formes géomorphologiques d'accumulation ou des sables. Les sols riches en argile saturés en calcium sont résistants à la battance mais sensibles au ravinement. Mais une fois le ruissellement déclenché, il cause une turbulence et accroît la perte en terre. Il augmente le cisaillement de ruissellement et les pertes de terre si le sol est encrouté (Roose, 1994).

1.4.1.3. La topographie

L'Algérie est un pays montagneux avec des reliefs jeunes. Les pentes sont fortes, l'altitude moyenne est d'environ 900 mètres. Les 68% du territoire sont situés à plus de 800 mètres d'altitude (Greco, 1996). Cela favorise le processus de l'érosion notamment si les sols sont peu couverts par la végétation.

1.4.1.4. L'influence de la végétation et les techniques culturales

Il s'agit du facteur primordial de protection du sol contre l'érosion. Le risque d'érosion augmente lorsque le sol n'a qu'un faible couvert végétal ou de résidus. L'érosion, le ruissellement et l'infiltration sont principalement dus à l'agressivité des précipitations, à la nature du terrain, au taux et à la nature du couvert végétal. L'érosivité de l'eau de pluie se reflète dans l'énergie des gouttelettes d'eau et du ruissellement, qui modifient la structure du sol et son état de surface, modifiant ainsi la porosité de la surface du sol, et donc la capacité d'infiltration du sol.

1.4.1.5. L'action de l'homme

Un survol rapide du Nord de l'Algérie, région la plus productive du pays mais aussi la plus fragile, nous montre des montagnes surpâturées et des garrigues brûlées, des collines dénudées, des sols squelettiques cultivés, décapés par le labour des versants (Roose, 1996)

Les mauvaises techniques culturales menées par la plupart des agriculteurs de la région favorisent largement le phénomène de l'érosion. La plantation selon la pente, l'extension de la céréaliculture sur des versants pentus et des cultures sous serre, la mécanisation de l'agriculture.

La croissance démographique et l'augmentation du niveau de vie ont induit à une demande de plus en plus importante en produits alimentaires, en eau et en habitat. Cette demande progressive, où les

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

besoins des populations dépassent souvent la production des écosystèmes, a poussé l'homme à utiliser des pratiques inappropriées qui ont bouleversé leur équilibre naturel et ont induit à une érosion accélérée. Cette dernière gagnent chaque année de plus en plus de terres, réduisent leur capacité de régénération en devenant parfois totalement stériles (Zékri, 2017).

1.4.2. Les conséquences

Parmi les conséquences de l'érosion hydrique en Algérie on peut citer :

- La dégradation des terres arables qui conduit à une diminution de la production agricole ;
- La perte de la fertilité initiale des sols ;
- La dégradation des infrastructures et des voies de communication ;
- L'envasement accéléré des barrages ;
- Augmentation des risques hydrogéologiques telle que les glissements des terrains ;
- Remblayage des canaux d'irrigation et de drainage et des réservoirs d'eaux.

2. Les moyens de lutte contre l'érosion hydrique

2.1. Les stratégies modernes d'équipement rural hydraulique

À l'occasion des graves crises sociales dans le bassin méditerranéen et aux Etats-Unis, les sociétés rurales ont développé des stratégies modernes d'équipement hydraulique des zones pentues. Il s'agit essentiellement de reforestation des hautes vallées, de correction des ravins et torrents et de terrassement en banquettes des terres cultivées sur fortes pentes. La priorité a été donnée à la réalisation de gros chantiers de terrassement et de reforestation.

2.1.1. La RTM (La Restauration des Terrains de Montagne)

Elle a été développée par les forestiers dans les années 1860, pour faire face à une crise d'érosion due aux populations montagnardes pauvres qui ne pouvaient survivre sans mener leurs troupeaux sur les terres communales déjà surpâturées, tassées par le bétail, entraînant le développement catastrophique des torrents. Pour protéger les vallées aménagées et les voies de communication, l'Office national des forêts a racheté les terres dégradées, reconstitué la couverture végétale et corrigé les torrents (Lilin ,1986).

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

2.1.2. La CES (La Conservation de l'Eau et des Sols)

Elle a été créée par Bennet aux USA lors de la terrible crise économique de 1930, pour conseiller les fermiers volontaires qui demandaient à l'état un appui technique et financier pour lutter contre l'érosion hydrique et éolienne. En effet, l'extension rapide des cultures industrielles peu couvrantes (arachide, coton, maïs) dans la Grande plaine a déclenché une érosion éolienne catastrophique : 20 % des terres cultivées furent dégradées par l'érosion à cette époque. Sous la pression de l'opinion publique, l'état mit en place simultanément un programme de recherches et un service de CES au niveau de chaque comté.

2.1.3. La DRS (La Défense et Restauration des Sols)

Elle a été développée par les forestiers dans les années quarante à quatre-vingt autour du bassin méditerranéen pour faire face à de graves pénuries d'eau, à l'envasement rapide des barrages (en trente ans) et à la dégradation des équipements et des terres. La DRS associe la RTM des forestiers (reboisement et correction torrentielle) et la CES des agronomes (banquettes plantées d'arbres fruitiers). Il s'agissait globalement de mettre en défens les terres dégradées par la culture et le surpâturage et de restaurer par les arbres la capacité d'infiltration des sols dégradés (Gréco, 1978).

2.1.4. La GCES (Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité du Sol)

Pour faire face aux problèmes graves d'érosion en milieu rural et aux résultats insuffisants des forestiers pour lutter contre l'érosion, les directeurs de l'Institut National de la Recherche Forestière (INRF) et l'institut de recherche pour le développement (IRD) ont mis en commun, en 1985, leurs moyens pour lancer un programme basé sur la GCES, pour répondre au double défi : intensifier l'agriculture et l'élevage en montagne, et réduire la dégradation des ressources en sol et eau. L'objet de cette session a été basé sur quelques principes :

- Participation des paysans regroupés dans des unités fonctionnelles (quartier, versant, terroir) dès la conception des projets ;
- Répondre aux problèmes immédiats des paysans, en particulier, valoriser la terre et le travail, tout en réduisant les nuisances liées au ruissellement et à l'érosion ;

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

- Le premier objectif est d'intensifier la production en optimisant à la fois la gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité du sol ;
- Le second objectif est de réduire l'érosion en améliorant la couverture du sol, les activités biologiques et les propriétés physiques liées à l'infiltration et à l'agrégation.

2.2. Les techniques de lutte contre l'érosion hydrique

On peut mettre en place et développer certaines techniques traditionnelles permettant de gagner des aires cultivables et de réduire les processus de dégradation. Ces aménagements restent, malgré leur grande variété, émiettés et peu répandus dans l'espace. Ils peuvent être groupés, en fonction de leur mode de confection en deux grands ensembles : procédés mécaniques et procédés biologiques.

2.2.1. Procédés mécaniques

2.2.1.1. Les terrasses

L'aménagement de terrasses et de voies d'eau protégées permettrait de cultiver ces versants abrupts en toute sécurité et de façon profitable. On peut alors accroître la production agricole, minimiser l'érosion, améliorer l'écologie des exploitations. Les terrasses sont des étendues de terre horizontales plus ou moins larges, disposées généralement en escalier sur un versant et soutenues par des talus abrupts. Ces talus sont construits soit en terre protégée par du gazon, soit en murettes de pierres si l'on en dispose. Lorsque le terrain devient vulnérable à l'érosion hydrique. Planhol et Rognon (1970) et Mainguet (2003) indiquent qu'au-dessus d'une pente, commence généralement le domaine des terrasses pour décomposer des pentes considérées comme trop fortes.

2.2.1.2. Les murettes en pierres sèches (Stone Walls)

Il s'agit d'un mur construit soigneusement en empilant des pierres plates calées par de petits fragments de roche. On en trouve fréquemment dans les massifs montagneux gréseux. Pour construire un muret de pierres sèches, il faut d'abord creuser une tranchée en courbe de niveau jusqu'à un horizon cohérent) mettre en place, au fond et sur la paroi de la tranchée, un filtre drainant constitué d'une couche de sable et de gravier. La longueur des murettes peut concerner la largeur de tout le versant et les écartements entre eux sont très variables et sont plus étroits pour les fortes pentes.



Figure 7 : Une vue de versants aménagés par des terrasses³

2.2.1.3. Les cordons en pierres

Habituellement, pour libérer de l'espace et cultiver la terre, les agriculteurs enlèvent les pierres de la surface du sol. Ceux-ci sont utilisés pour former un agencement de pierres sèches, appelées barrières de pierre, qui ont un réel effet antiérosif. Ce sont deux à trois pierres horizontales, qui sont disposées en courbe horizontale pour se renforcer mutuellement.

Ce type de corde peut filtrer le fumier et toutes sortes de matières organiques flottantes, de sorte que les agriculteurs pensent que c'est l'une de ses fonctions les plus utiles : maintenir la fertilité du sol.

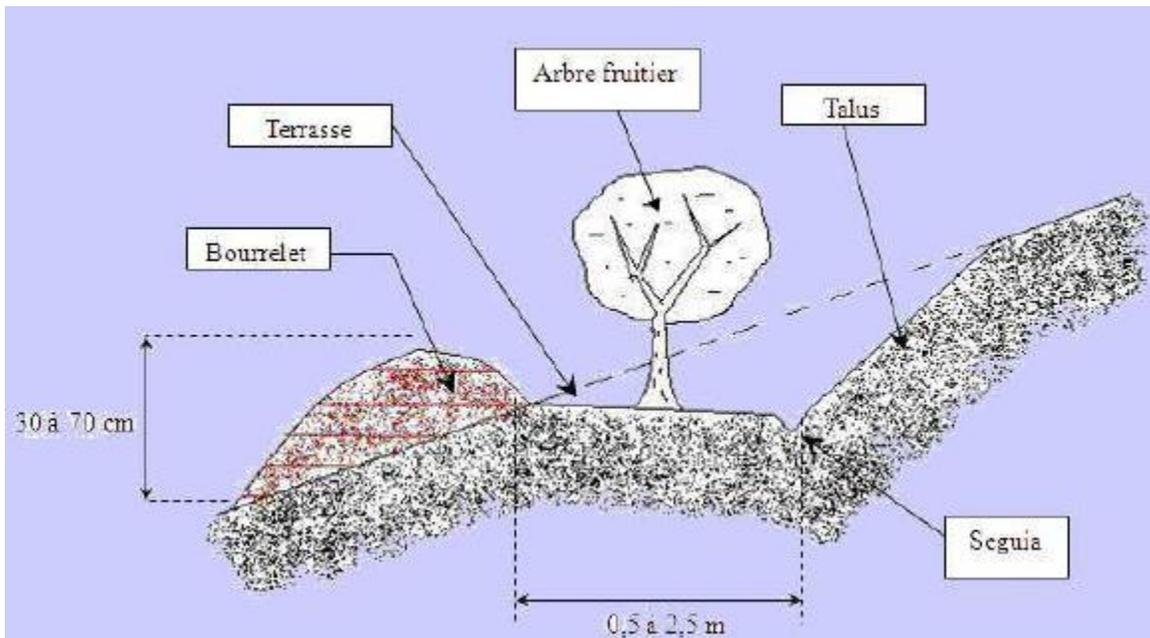
En principe, les cordons de pierre sont installés perpendiculairement à l'écoulement de l'eau, mais pas forcément perpendiculairement au vent : elles ne capturent donc pas toujours le sable qui circule dans la nappe pendant la saison sèche (Roose ,1994).

2.2.1.4. Les Banquettes

Ce sont des levées de terre de faible hauteur (0.50 m) établies selon les courbes de niveau, elles sont généralement plantées par des arbres permettant de valoriser les surfaces marginales de fixer les ouvrages et améliorer l'infiltration. Elles sont des petites terrasses horizontales, perpendiculaires à la ligne de la plus grande pente, dans le but est de remodeler une parcelle. Les banquettes forment un

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

obstacle à l'écoulement de l'eau, elles limitent donc l'érosion, brisent l'énergie du ruissellement et favorisent l'infiltration. Elles sont utilisées en DRS.



2.2.1.5. La correction torrentielle

La correction des crues, notamment la construction d'une série de fosses de fondation, consiste à transformer le profil longitudinal naturel de la crue en une série de marches légèrement inclinées vers l'aval. Ces seuils détruisent l'énergie du torrent et provoquent des dépôts de matière en amont de chaque petit barrage. Ces technologies sont mises en œuvre dans les torrents pour faire face aux phénomènes torrentiels (inondations et érosion) La prévention et la gestion des risques d'inondation s'appuient largement sur les mesures de protection prises dans le cadre des travaux de correction des crues du plan global de gestion des risques. Ces enjeux impliquent le choix des stratégies de protection et les caractéristiques d'efficacité du système existant (Tacnet, 2010).

- ✓ La correction active : est directement inspirée de l'approche RTM initiale. Elle vise à une modification des causes des phénomènes.

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

Les buts sont de :

- stabiliser les sols à l'aide de "petit génie civil" (Banquettes, terrassement, drainage) ;
- modifier les phénomènes d'arrachement et de reprise de matériaux en évitant l'enfoncement et la divagation des écoulements ;
- dissiper l'énergie du torrent et de diminuer sa capacité de transport.

Cette disposition permet une dissipation de l'énergie des écoulements et conduit progressivement à une modification de la pente du talweg évoluant théoriquement à long terme (en plusieurs générations d'ouvrages) vers la pente d'équilibre du torrent caractérisée par la disparition de tous phénomènes d'arrachement et de dépôt.

- ✓ La correction passive : ne s'attache plus aux causes des phénomènes mais au contrôle de leurs conséquences. Celui-ci peut prendre deux formes principales :

- soit une maîtrise du transit des matériaux à l'aide de canaux, de digues et de curage des lits afin d'éviter débordements et dépôts dans les zones sensibles.
- soit un stockage des matériaux transportés par le torrent, en amont des zones sensibles à l'aide d'ouvrages de rétention ou de plages de dépôt. La plage de dépôt étant conçue pour autoriser son curage et le rétablissement de sa capacité de stockage après les crues chargées en matériaux.

2.2.1.5.1. Les seuils de correction torrentielle

La correction pour le talweg ou les ravins comprend une série de seuils conçus pour réduire la pente naturelle du lit de la rivière, perturber la force de crue et régler les apports solides, les seuils peuvent être faits en gabions en pierres sèches, ou en pierre en terre.

2.2.1.5.1.1. Le seuil en gabion

Les gabions sont des caisses en grillage formées de pierres rangées avec soin et entourées de fil de fer galvanisé. Ces caisses sont transportées pliées et déployées sur le terrain, En chantier, les gabions sont assemblés et relier régulièrement et soigneusement les uns aux autres avec un fil de ligature, les pierres ne doivent pas être friables ni gélifiées et de dimension plus grande que celle de la maille de grillage.

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

Les gabions sont destinés à freiner la vitesse d'écoulement des eaux de crues et permettent ainsi de recharger nappe souterraine irriguer les terrasses avoisinantes par épandage d'une partie des eaux de ruissellement réduire le pouvoir érosif des eaux et les risques d'inondation dans les zones en aval. (Boufaroua et *al*, 1998)



Figure 09 : Seuil en gabion⁵

2.2.1.5.1.1.1. Formes et dimensions des gabions

On distingue les gabions cages qui servent à constituer le corps des ouvrages et les gabions semelles qui servent de constituer des massifs de fondation susceptible de subir des déformations (Tab.1) :

Tableau 1 : Dimensions usuelles des gabions

Type	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)
Gabions Semelles	2	1	0.5
	3	1	0.5
	4	1	0.5
	5	1	0.5
	6	1	0.5
Gabions Cages	2	1	1
	3	1	1
	4	1	1
	5	1	1
	6	1	1

Source : Leblond et Guérin (1984)

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

2.2.1.5.1.1.2. Procédures pour la réalisation des seuils en gabions

Tricoli (2002) a recommandées procédures suivantes dans la réalisation des gabions :

✓ Préparation

-Au niveau de l'ouverture et de l'emplacement de la cage en pierre, il faut faire attention à la taille de la cage en pierre,

-Au stade préliminaire de la pose des cages en pierre pour que chaque couche ait une bonne continuité, si les cages en pierre sont placées au-dessus d'une autre couche de cages en pierre, chaque cage en pierre doit être attachée aux autres cages en pierre sur les côtés et en bas.

✓ Remplissage

-Il doit être rempli de pierres de haute qualité (éviter les pierres fragiles ou poudreuses) ; la taille est assez grande, environ 20 cm.

-Lorsque la hauteur de la cage à pierres ne dépasse pas 60 cm, des tirants doivent être placés pour renforcer la cage à pierres. La moitié de la hauteur doit être placée horizontalement avec trois tirants (deux dans le sens de la largeur, un selon la longueur du gabion). Pour un filet de gabion d'une hauteur d'environ 1 m, ces tirants doivent être doublés à différentes hauteurs (environ 30 et 70 cm du bas).

✓ Fermeture

-Afin de fermer le niveau du filet de gabion, le fil métallique placé entre les deux piquets doit toujours être utilisé, et le fil métallique est suffisamment éloigné l'un de l'autre,

-Dans chaque cage en pierre, la dernière couche doit être faite de pierres plates pour s'assurer que la cage en pierre a une bonne forme et fournir une bonne couche pour la cage à placer dessus.

-Lorsqu'elle est fermée, la grille supérieure du filet de gabion doit être serrée et aucune grille libre ne doit être laissée.

2.2.1.5.1.2. Les seuils en pierres sèches

Nous appelons des seuils, des structures transversales qui permettent de corriger les pentes des rivières afin de réduire la vitesse lors des crues (Sogetha, 1968). La construction de seuils en pierre est une solution peu coûteuse mais nécessite du temps et des ouvriers qualifiés pour récolter la pierre et

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

ériger le mur. Lorsque de grands blocs d'enrochement sont pratiquement inutilisables pour les gabions, des dispositifs de filtrage pour les ravins et les petits ruisseaux d'eau peuvent être construits pour stabiliser la pente. Ces structures de remblai peuvent faire saillie vers l'extérieur et forcément lorsqu'elles sont installées dans la partie supérieure du bassin (Rabhi, 1997).

Cette technique consiste à stabiliser le fond des ravines par la construction de quelques seuils en pierres non cimentées mais bien ancrées sur les berges de manière à en augmenter la cohésion et la rigidité. Les pierres doivent être arrangées soigneusement de façon à ce que l'ouvrage soit bien stable, Celles-ci doivent être déposées sur le sol sans architecture spéciale et on continue à construire la diguette jusqu'à une hauteur qui dépasse de 10 à 15 cm du niveau initial du sol avant l'incision par érosion.

Cette technique est efficace du fait qu'elle contribue à casser l'énergie du ruissellement et à limiter sa capacité au creusement.

2.2.1.5.1.3. Les seuils en terre

Ils sont construits à partir de matériaux terreux (sable et argile) et formés par des couches damées de moins de 15 cm d'épaisseur chacune. Le seuil en terre pour sa caractéristique de facilité et de simplicité d'exécution, est le premier type d'œuvre à prendre en considération lorsqu'on veut aménager un torrent (la valeur des matériaux est pratiquement nulle puisqu'on utilise seulement le terrain agraire trouvable sur les mêmes lieux d'exécution du travail, la facilité de trouver les matériaux nécessaires à l'exécution du travail est le facteur le plus important qui influe sur le choix de ce type de seuil).

2.2.1.5.2. Exécution des travaux de correction torrentielle

2.2.1.5.2.1. L'emplacement des seuils

L'emplacement sera réalisé d'amont en aval, la distance entre les seuils dépendra de la pente, et aura des hauteurs différentes, selon le degré de relief à l'emplacement des seuils, la hauteur pourra augmenter ou diminuer. La manière de déterminer le seuil doit être telle que la pente entre le pied du seuil amont et le haut du seuil aval soit proche de 0 (c'est la pente de compensation, qui est la pente de la quantité de matière enlevée par le torrent correspondant à la quantité de matière transportée, également appelée pente limite) (Greco, 1966).

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

2.2.1.5.2.2. L'espaceur entre les seuils

Les conditions de séparation dépendent de la pente du sédiment qui doit être déposé en amont du barrage, de la hauteur effective du barrage, du niveau d'eau disponible et de la cible souhaitée pour le traitement du ravin (Burchard, 1980).

L'espaceur entre les seuils est donné par la relation liant la longueur du ravin avec le nombre des seuils :

$$E = \frac{L}{N}$$

{ E : écartement
L : longueur du ravin
N : nombre de seuils }

2.2.1.5.2.3. Le nombre des seuils

Pour construire les premiers seuils, une pente de compensation est calculée par mesure des pentes d'atterrissement naturelles ou artificielles. Le nombre des seuils à construire sera alors :

$$N = L \frac{(P - I)}{H}$$

{ N : nombre de seuils
L : longueur du ravin
P : pente du lit de la ravine
I : pente de compensation
H : hauteur moyenne de l'ouvrage. }

2.2.1.5.2.4. Fondations des seuils

Selon Nahal (1975), la fondation du travail de correction des torrents doit aller profondément et profondément dans les deux rives du canyon pour éviter les pertes par le bas et aux deux extrémités.

En effet, les fondations sont un élément essentiel de la structure car elles empêchent l'eau de soulever et de rincer le seuil pendant les périodes de pointe. Ces fondations seront ouvertes tout au long du passage, avec une profondeur de 0,55 à 0,75 m, avec une dimension maximale de 1 m dans le sol affouillable.

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

2.2.1.5.2.5. Le ramassage des pierres

Se fera manuellement et transportée par camions et tracteurs. La collecte et la fourniture des pierres nécessaires pour atteindre le seuil doivent répondre aux conditions suivantes :

- Évitez l'accumulation de pierres au contact de l'air et de l'eau, qui endommageraient la durée de vie du seuil (pierres dures)
- Évitez d'utiliser des pierres plates et rondes et des matériaux de lit de calcaire léger, car ils peuvent facilement s'échapper par le mur du seuil.
- Pour le corps principal du barrage, veuillez utiliser une pierre de plus de 10 cm de diamètre.

2.2.1.5.2.6. Ancrage des seuils

Le fait que le barrage consolidé soit ancré à la pente et au fond de la tranchée améliore grandement la stabilité de la structure. Ceci est important dans les ravines où l'on peut s'attendre à des débits de pointe élevés et où les sols sont facilement érodés, car cela réduit le risque d'affouillement et d'exploitation minière autour du barrage et prolonge considérablement le chemin par lequel passe l'infiltration.

Les ancrages se composent d'une tranchée de 0.6 m de profondeur et de largeur creusée en travers du chenal. En cas d'une instabilité excessive, la profondeur de la tranchée est portée à 1.2 ou 1.8 m (Burchard, 1980).

2.2.2. Les procédés biologiques

La lutte contre l'érosion par des végétations herbacées et ligneuses représente aujourd'hui un défi majeur sur les espaces où se localisent des enjeux socio-économiques, également dans les milieux semi-naturels (bassins versants torrentiels, berges de rivières).

La végétation protège le sol de l'impact des gouttes de pluies, elle ralentit les filets d'eau superficiels et favorise ainsi l'infiltration, elles ont pour but d'agir sur les processus de production de sédiments. En effet Le couvert végétal réduit et ralentit le ruissellement tout en protégeant la surface du sol.

Ce sont des combinaisons de techniques de l'aménagement agricole, pastoral et forestier. Elles permettent de mettre en place le couvert végétal et le mode d'utilisation des sols réduisant au minimum leur érodibilité.

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

2.2.2.1. Seuils biologiques

Compte tenu des conditions écologiques et du matériel végétal disponible, l'accent doit être mis sur le traitement biologique des petites ravines. L'outil de base est un seuil placé en travers de la ravine et constitué par un matériel végétal vivant. Ainsi la construction d'un seuil fait appel à divers types de matériel végétal, soit des grandes boutures d'espèces ligneuses, soit des plantes comme le sisal et des graminées « Très faciles à vivre ils existent pour presque chaque type de sol et exposition » (Fig.10), pour mieux freiner l'eau et protéger l'aval de l'ouvrage contre l'affouillement.

Le choix des espèces doit être guidé par leur adaptation aux exigences du traitement des ravines également la résistance à la vitesse de l'eau par exemple.

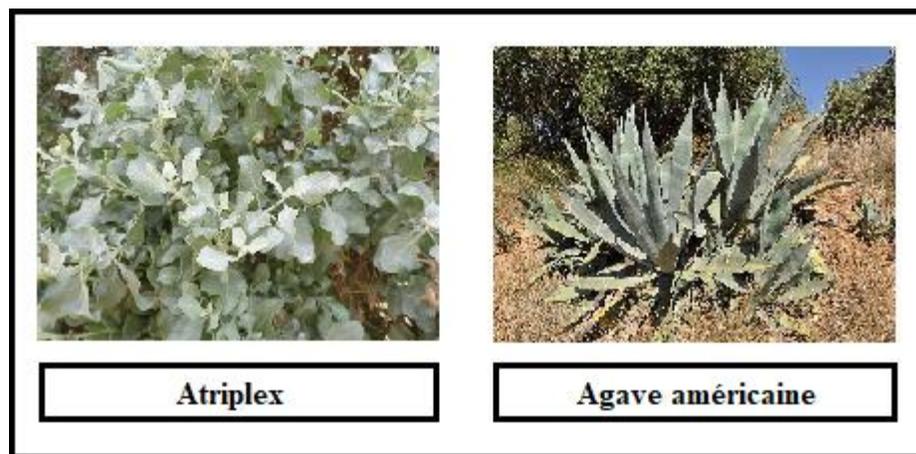


Figure 10 : Seuils biologiques

On peut distinguer deux objectifs pour ce type d'aménagement :

- L'objectif principal sera généralement l'amélioration de la productivité agricole ou forestière.
- Le deuxième objectif est la réduction du débit solide et la régularisation des écoulements, il concerne surtout les secteurs situés à l'aval de la zone traitée.

En Algérie les espèces le plus souvent utilisées comme cordons végétal et aussi pour la fixation des berges sont : le Cactus, l'Agave américaine et l'Atriplex.

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

2.2.2.2. Reboisement

C'est la plantation en des parcelles d'une dizaine d'espèces qui constituent la strate arborée, qui sont à base de : Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), Cyprès vert (*Cupressus sempervirens*), Thuya (*Tetraclinis articulata*), Peuplier blanc (*Populus alba*), Le chêne vert (*Quercus ilex*), Le chêne liège (*Quercus suber*), etc. (Fig. 11) :

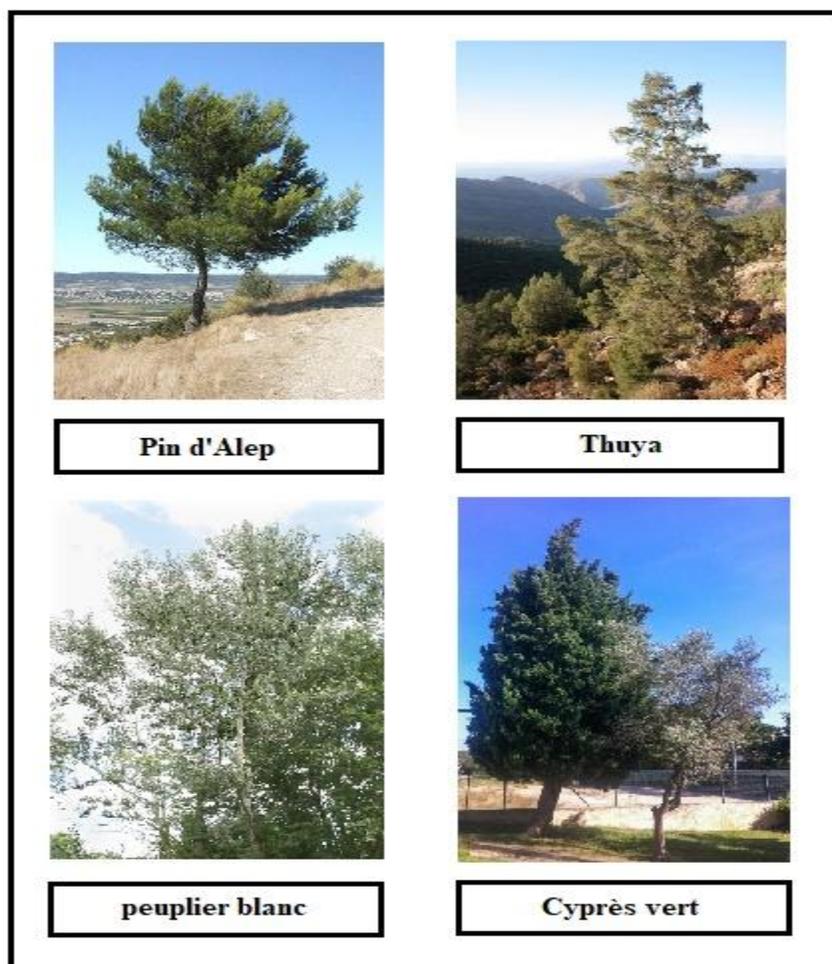


Figure 11 : Espèces de reboisement souvent utilisées en Algérie

Ces espèces forment des peuplements purs ou parfois s'associent pour constituer des peuplements mélangés.

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

Dans les ravines, le couvert le plus efficace se caractérise par une grande densité végétale, des systèmes racinaires profonds et fournis, des plants de petite taille. Bien qu'on ne puisse fournir de données quantitatives, il est évident qu'un couvert dense et de petite taille, doté de racines fournies et profondes, accroît la stabilité de la surface du sol.

Un couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes de l'année où les pluies sont les plus agressives, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité à la surface du sol.

En fait, un couvert végétal bien développé protège le sol de l'action des pluies de diverses manières :

- L'interception des gouttes des pluies permet la dissipation de l'énergie cinétique, ce qui diminue dans une large mesure l'effet "Splash".
- Les plantes ralentissent les eaux de ruissellement par la rugosité qu'elles donnent au terrain.
- Son système racinaire maintient le sol en place et y favorise l'infiltration.
- L'apport en MO suite à l'activité microbienne dans la zone racinaire améliore la structure du sol et sa cohésion et par suite diminue les risques d'érosion.

2.2.2.3. L'agroforesterie

Il s'agit d'une combinaison de cultures du sol et d'arbres dans la même parcelle. Le sol n'est jamais laissé complètement nu, les différents végétaux correspondent à des besoins différents : alimentation humaine et animale, bois, etc.

- ✓ Les espèces fourragères

Le choix des espèces fourragères doit tenir compte de leurs exigences écologiques. L'Atriplex et l'Opuntia sont des espèces fourragères à enracinement profond, utilisée pour la protection des berges et des thalwegs.

CHAPITRE I : ÉROSION HYDRIQUE ET MOYENS DE LUTTE

✓ Les espèces arboricoles

Le choix des essences fruitières doit se faire en fonction des exigences agro climatiques des espèces et des vœux des riverains. Les espèces proposées en priorité sont les espèces rustiques telles que l'olivier, le figuier, l'amandier, etc.

✓ Les espèces forestières

Le pin d'Alep (*Pinus halpensis*), le genévrier (*Juniperus phoenicea*), le chêne vert (*Quercus ilex*), les Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), (*Oléo lentisque*) et (*Tetraclinis articulata*) sont les espèces qui semblent bien réussir.

Chapitre II : Etude du milieu

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

Le micro bassin versant choisi pour l'analyse des aménagements antiérosifs se trouve sous une forêt naturelle de Pin d'Alep et il est situé à l'amont de la ville de Hassi El Ghalla (Fig. 13).



Figure 13 : Situation du micro bassin versant étudié

2. Le relief

Selon Benselama (2019) le bassin versant d'Oued El Malah se compose de trois zones :

2.1. Zone littorale

Qui est de nature sablonneuse, constituée par des affleurements rocheux où les terres agricoles en ilots sont enclavées à l'intérieur des matorrals situés aussi bien sur les versants que sur les replats. Elle s'étend sur une longueur de 40 km occupant 22,10% de la superficie totale de la wilaya avec une population de 25,09% de la population globale répartie à travers huit (08) communes côtières.

2.2. Zone de plaine

Occupe près de 25,34% du territoire de la wilaya. Elle est constituée par des sols alluvionnaires dont les éléments à caractère salin proviennent des monts du Tessala, et sont drainés vers la plaine de M'léta et la sebkh. Celle-ci regroupe sept (07) communes et abrite 45,53% de la population totale, La densité est de 282 habitants/Km².

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

2.3. Zone de montagne

Les monts de Sebaa Chioukh, des Traras et du Tessala sont constitués par un faciès moyennement dur (grès avec intercalations marneuses et des bancs calcaires). Cette dernière regroupe 13 (treize) communes et occupe une superficie de 124.930 Ha (52,56 % de la superficie totale de la wilaya avec une densité de 88 hab./km²). Paradoxalement cette zone n'abrite que 29,38% de la population totale de la wilaya.

3. Caractéristiques géologiques

La région étudiée appartient au plateau d'Ain Témouchent qui correspond à une terrasse néogène et quaternaire, faiblement inclinée vers la mer à travers laquelle percent des îlots secondaires qui créent des accidents sur la topographie généralement calme. Selon Benselama(2019) l'étude géologique a permis d'individualiser les formations perméables suivantes :

- ✓ Aquifère des alluvions quaternaires ;
- ✓ Aquifère des basaltes Plio-Quaternaires ;
- ✓ Aquifère des sables et grès du Pliocène ;
- ✓ Aquifère des calcaires du Miocène supérieur ;
- ✓ Aquifère des calcaires et grès d'Oligo- Miocène ;
- ✓ Aquifère du Jurassique inférieur.

4. Caractéristiques pédologiques

Le bassin versant d'Oued El-Malah comprend différents types de sols, qui sont dus dans leurs différences à la nature des roches dont ils sont issus (Dihmane, 2015) :

4.1. Sol calcaire

C'est un sol de surface calcaire durci qui a une force de cohésion qui l'aide à résister à l'érosion et qui recouvre une sorte de sol rouge. C'est un groupe de sols qui contiennent du carbonate de calcium en différentes proportions et sous forme de particules fines et durcies sous la surface, ce qui conduit à la formation de tartre. Il contient 50 % de chaux, 30 % d'argile, 8 % d'azote et le reste est un mélange de matières organiques.

4.2. Sol rocheux

Le sol rocheux recouvre le terrain qui favorise l'émergence de divers facteurs d'érosion, qu'ils soient hydriques ou éoliens. Il se forme sur des roches ou des formations de surface qui ne se sont pas encore développées en raison de l'absence de dissolution complète des matières minérales qui entrent dans leur composition. La situation varie selon le type de ces roches, le climat et la topographie de la région. Il est considéré comme un sol immature en raison du facteur topographique qui contribue à son érosion et au ralentissement de son développement. Des sols pauvres en raison de leur manque de valeur agricole et de leur faible rendement.

4.3. Sol sédimentaire sableux

Ce sol résulte de l'absence d'une composition équilibrée dans ses horizons (a, b, c), car sa formation dépend principalement du stade de sa jeunesse en raison de l'absence de facteurs et de conditions pour son développement. Il se caractérise comme un sol peu profond sujet à l'érosion hydrique, car il s'étend sur des terres caractérisées par sa pente, semblable aux pentes des montagnes, aux vallées profondes et aux zones de changement entre les pentes.

Ce sol contient des miettes de granit sableux, des matériaux de chaux et de graviers, et est également constitué de grès, d'argiles sableuses et de matières organiques qui offrent des opportunités et la possibilité d'exploiter ces sols dans le domaine agricole, Notamment les légumes irrigués, contrairement aux cultures saisonnières comme les céréales qui ne pas aider leur cohésion et donc Il est exposé à divers facteurs d'érosion, et donc l'importance de ce type de sol est mis en évidence selon les cultures qui le préservent.

4.4. Sol argileux

Ce sol s'étend sur les bords des vallées inondées et de leurs affluents, ce qui lui confère une valeur agricole importante. Il se caractérise par ses petites particules, sa capacité à saturer et stocker l'eau, la profondeur et les zones de faible pente prédominant. Parmi les minéraux les plus importants trouvés dans ce sol et le fer, l'aluminium et la silice. Ce type de sol recouvre la plupart des terres agricoles de la zone inférieure du bassin d'oued El-Malah.

4.5. Sol salin

Ce sol est caractérisé par une salinité élevée. On le trouve dans certaines zones de drainage, en particulier à proximité d'oued El-Malah, près de certains marécages et étangs d'eau, où s'accumulent les eaux de pluie et les vallées. Il est en constante expansion dans la zone inférieure du

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

bassin, et l'exploitation excessive des matériaux sableux en dessous du niveau zéro conduit à la formation de mares d'eau qui s'accumulent, y compris des quantités cliniques d'eau salée répandues à des niveaux de salinité variables au détriment des terres agricoles.

5. Caractéristiques hydrologiques

5.1 Hydrographie

Le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Maleh ainsi que ces principaux Oueds sont représentés dans la figure suivante :

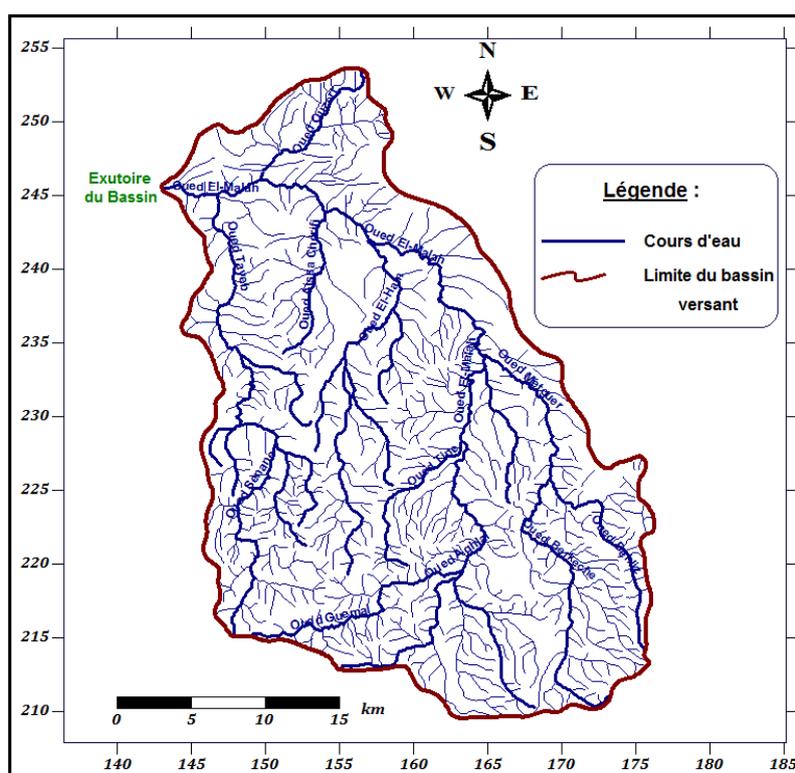


Figure14 : Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El-Malah

5.2 Les ressources en eau

Ain Témouchent est caractérisée par des ressources en eau très importantes, cette richesse naturelle doit permettre une activité humaine très remarquable, particulièrement dans le domaine d'agriculture, ce qui fait la mobilisation de ces ressources est obligatoire pour satisfaire les différents secteurs d'utilisation.

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

5.2.1. Les ressources superficielles

Les ressources superficielles se présentent en 11 ouvrages qui se divisent entre 08 petits barrages et 03 retenues collinaires.

Tableau 2 : les ressources superficielles de la wilaya d'AinTémouchent

Nom des ouvrages	Communes	Daïra
O/Sidi Ameer	OuledKihal	El Malah
O/Bouguedra	El Malah	El Malah
O/El Malah	El Malah	El Malah
O/Michemiche	Aghlal	Ain Kihal
O/Sidi Haddouche	Ain Kihal	Ain Kihal
O/Bendjelloul	Oulhaça	Oulhaça
O/Sekkane	Ain Tolba	Ain Kihal
O/Mekhaissia	Sidi Ben Adda	Ain Témouchent
O/Ouled Azzouz	Sidi Ouriache	Oulhaça
O/Kolla	Hassasna	Hammam Bouhdjar
O/Chaabet El Hamra	Aghlal	Ain Kihal

Source : DRE (2017)

5.2.2. Les ressources souterraines

En 2017, dans la wilaya d'Ain Témouchent, les ressources souterraines se présentaient en 404 forages, 800 puits et 23 sources.

5.2.3. Les eaux non conventionnelles

Elles sont composées principalement de :

- ✓ Six (06) lagunes : Emir AEK, Ain Larbaa, Sidi Safi, El Amria, Hassi El Ghalla et El Malah avec une capacité total de 9 215m³/j,
- ✓ Trois (03) stations d'épuration : Ain Témouchent, Ain Tolba et Bouzedjar avec une capacité de 11 354m³/j.
- ✓ Station de dessalement de Chatt el Hillal avec une capacité de 65 217 m³/j.

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

6. Caractéristiques climatiques

Le climat est défini comme un ensemble de phénomènes (pression, température, humidité, précipitations, ensoleillement, vent, etc.), qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution à un endroit donné.

Selon Merioua (2014) la climatologie est bien une science de l'atmosphère, et c'est aussi un objet situé au sol, c'est-à-dire au niveau de la morphologie et du processus hydrologique qui fait du changement climatique. La climatologie se situe également au niveau de la végétation ou des organismes supérieurs, et la climatologie doit souvent être inférée d'un point de vue biologique.

Le climat de la zone d'étude appartient au climat méditerranéen, comme toutes les régions de l'Ouest Algérien, avec deux saisons distinctes, la saison des pluies en saison froide et la saison sèche en saison chaude. Par conséquent, ce climat est caractérisé par des précipitations irrégulières durant le mois et l'année. Ceci influe sur la physionomie et la régénération des peuplements végétaux naturels et aussi les succès des repeuplements et les reboisements dans la région.

Pour caractériser le climat de la zone d'étude nous avons choisi les stations de référence suivantes (Tab.3) :

Tableau 3 : Situation des stations climatiques

Stations climatiques	Longitude Ouest	Latitude Nord	Altitude (m)
El-Malah	1° 05' 35'' W	35° 23' 33'' N	71
Ain Témouchent	1° 08' 28'' W	35° 17' 22'' N	245

6.1. Les précipitations

Les précipitations moyennes annuelles varient de 350 à 540mm et les apports superficiels totaux sont estimés à 47 millions de m³. La répartition moyenne des précipitations se présente comme suit :

- ✓ Le long du littoral une moyenne de 300 mm/an.
- ✓ Les plaines sub-littorales : 400 à 500 mm/an.
- ✓ Les hauteurs de Tessala : Plus de 500 mm/an.

La pluie au niveau d'Ain Témouchent tombe surtout en hiver, avec relativement peu de pluie en été. Sur l'année, les précipitations moyennes sont de 485mm. D'une manière générale la quasi-totalité

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

d'eau de pluie collectée par l'ensemble des bassins versants est malheureusement drainée chaque année vers la mer ou vers la Sebkha en raison de l'absence des ouvrages hydrauliques (Merouane et Meriah, 2018).

Le tableau 4 représente les quantités moyennes de précipitations saisonnières dans le bassin de l'oued El-Malah, qui varient d'une saison à l'autre et d'une station à l'autre. Dans les stations climatiques.

Tableau 4 : Changements saisonniers des précipitations au cours de la période
(2000/2001-2010/2011)

Les saisons	Automne		Hiver		Printemps		Été		Moyenne interannuelle
Les stations	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm
Ain Témouchent	141,4	33,52	169,5	40,18	103,1	24,44	7,8	1,85	421,9
Chaâbat	102,5	30,71	168,5	50,48	59	17,68	3,7	1,11	333,8
El-Malah	94,6	31,91	127,6	43,04	69,1	23,31	5,1	1,72	296,5

Source : Agence nationale des ressources hydrauliques (2014)

Dans la station d'Ain Témouchent les précipitations hivernales moyennes ont été estimées à 169,5 mm, ce qui équivaut à 40,18 % des précipitations annuelles totales, suivies de l'automne avec 141,4 mm (33,52 %), le printemps avec 103,1 mm (24,44 %) et l'été avec une moyenne de 7,8 mm (1,85 %).

Dans la station de Chaâbat les précipitations saisonnières moyennes les plus élevées sont enregistrées en hiver avec 168,5 mm, ce qui équivaut à 50,48 % des précipitations annuelles totales, suivies de l'automne avec 102,5 mm (30,71 %), le printemps avec 59 mm (17,68 %) et enfin l'été avec une moyenne de 3,7 mm (1,11 %).

Dans la station El-Malah les précipitations hivernales moyennes ont été estimées à 127,6 mm, ce qui équivaut à 43,04 % des précipitations annuelles totales, suivies de la saison d'automne avec

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

94,6 mm (31,91%), le printemps avec 69,1 mm (23,31%), et enfin l'été avec une moyenne de 5,1 mm (1,72%). On conclut de cet écart des précipitations saisonnières moyennes pour la période étudiée que :

Les saisons printanière et estivale ont enregistré moins de précipitations que la moyenne saisonnière, et l'été est la saison la plus sèche dans toutes les stations climatiques du bassin de l'Oued El-Malah.

La valeur maximale des précipitations saisonnières, en hiver, a été enregistrée à la station Ain Témouchent, estimée à 169,8 mm, et la valeur la plus faible en été, estimée à 3,7 mm, à la station Chaâbat.

Le volume des précipitations saisonnières en hiver et en automne représente les plus grandes proportions du volume annuel des précipitations. Cela se traduit par certains effets négatifs sur l'exposition du sol aux processus d'érosion. En plus la présence de quelques terres agricoles dans les zones en pente augmente la vulnérabilité des sols au risque d'érosion hydrique.

6.2. Les températures

Les moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales et maximales qui correspondent à une courte durée de 17 ans d'observation de 1995 à 2012 sont données dans le tableau suivant (Benselama, 2019). On a :

Tableau 5 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures dans la station d'Ain Témouchent (1995/1996 – 2011/2012)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
Tm(°C)	18,7	15,69	11	9,164	8,2	8,2	9,8	11,6	14,3	18,6	21,4	22,6	14,1
TM (°C)	28,86	25,6	19,0 8	16,68	15,6	16,3	18,97	21,33	25,8	28,98	31,4	31,24	23,32
T Moy(°C)	23,8	20,65	15,0 4	12,92	11,9	12,3	14,4	16,4	20,0	23,8	26,4	26,9	18,7

Source : ANRH d'Oran (2014)

Tm : moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales (°C).

TM : moyennes mensuelles et annuelles des températures maximales (°C).

T Moy : $(Tm+TM) / 2$.

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

Selon le tableau 5, il s'avère qu'à partir de Mai et jusqu'à Octobre, les températures moyennes mensuelles tendent à s'accroître en présentant des valeurs allant de 20 °C à 26,9 °C supérieures à la moyenne annuelle (18,7 °C), par contre la saison comprise entre Novembre et Avril représente des températures moyennes mensuelles qui varient entre 11,9 °C et 16,4 °C inférieures à la moyenne annuelle (18,7 °C).

Le maximum des températures est atteint en Août avec une moyenne de 26,9 °C et le minimum se situe en Janvier à l'environ de 11,9 °C.

7. Répartition générale des terres du bassin d'Oued El-Malah

Le secteur agricole est considéré comme l'un des secteurs économiques les plus importants dans la région d'étude. Elle se caractérise par un caractère rural compte tenu des composantes et des qualifications agricoles qu'elle possède, représentées par l'abondance de terres arables fertiles.

La superficie d'Ain Témouchent est estimée à 237689 hectares où les terres agricoles sont les plus dominantes avec 180184 hectares, représentant 75.81 % de la superficie totale de la wilaya.

Les terres sont réparties comme suit (Tab.6) :

Tableau 6 : la répartition générale des terres dans la wilaya d'Ain Témouchent

Les terres	Terre agricole		Terre improductive	Pâturages et chemins	Zones forestières	Zones urbaines	Superficie totale
	Irrigée	Non irrigée					
Surface (hectare)	4419	175765	15296	8104	29556	4549	237689
Pourcentage (%)	75,81		6,44	3,41	12,43	1,91	100

Source : Direction des Services Agricoles de la Wilaya d'Ain Témouchent (2014)

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

7.1. Terres agricoles

Les terres arables occupant une superficie de 180 184 hectares, soit 75,81%, dont 4419hectares sont des superficies irriguées, soit 2,45%, et 175765hectares restent des superficies non irriguées, avec un taux de 97,55%



Photo 1 : Pratique de viticulture sur la rive de l'oued EL-Malah (cliché EL-BORDJI, juin 2021)

Les terres improductives occupent une superficie de 15296 hectares, représentant 6,44% du total des terres agricoles.

Les 3,41 % restants équivalent à une superficie de 8104 hectares, se composent de pâturages et de corridors. Les terres non agricoles occupent une superficie de 34 105 hectares, représentant 14,34 % de la superficie totale de la wilaya, et elles sont réparties comme suit :

7.2. Les forêts

Les zones forestières représentent 29 556 hectares, soit 12,43 % de la superficie totale de la wilaya.

Le reste des terres non agricoles occupe une superficie de 4549 hectares, avec un taux d'environ 1,91%, composé de logements, d'équipements, d'infrastructures et autres.



Photo 2 : Reboisement de Pin d'Alep (cliché EL-BORDJI, juin 2021)

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU

8. Sensibilité à l'érosion dans la wilaya d'Ain Témouchent

Les principaux bassins versants de la wilaya d'Ain Témouchent, leurs superficies et leur sensibilité à l'érosion sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Comparaison et traitement des bassins versants de la wilaya d'Ain Témouchent

Indicateurs de qualité	Les bassins versants			
	Oued El-Malah	Montagnes Tessala	Oued Tafna	Bassin côtier
Sensibilité à l'érosion	Très sensible	Très sensible	Très sensible	Très sensible
Superficie de bassin (hectares)	80.590	81.480	32.010	43.609
Superficie traitée (hectares)	2.803	4.998	2.166	1.201
Taux de traitement	3,48	6,14	6,77	2,76

Source : C. F. Ain Témouchent (2015)

En lisant les données du tableau ci-dessus, nous constatons que tous les bassins versants qui composent la wilaya de Ain Témouchent sont très sensible à l'érosion, mais la superficie traitée reste faible par rapport à leurs superficies totales.

CHAPITRE III : Analyse des aménagements antiérosifs

CHAPITRE III : ANALYSE DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

1. Approche méthodologique

Pour atteindre l'objectif de la présente étude, la méthodologie adoptée a été basée sur des observations sur terrain, des prises de photos et une collecte de données au niveau de la conservation des forêts de la wilaya d'Ain Témouchent.

La collecte des données a visé les aménagements antiérosifs réalisés dans la zone d'étude : leurs types, leurs superficies et la date de leurs réalisations.

La sortie sur terrain nous a permis de visualiser l'état des aménagements antiérosifs présents dans la station d'étude et de les photographier. Une analyse plus détaillée a été menée pour les seuils de corrections torrentielles en examinant leur état général actuel et les principaux éléments de leur construction.

2. Types d'aménagements antiérosifs présents

L'ensemble des actions antiérosives réalisées depuis 1999 dans le bassin versant d'Oued El Maleh sont données dans le tableau suivant :

Tableau 8 : types d'aménagements antiérosifs réalisés dans le bassin versant d'Oued El Maleh depuis 1999

Type de Projet	Année	Communes	Nature des Actions	Unité	Volumes prévus	Volume Réalisé
PER	1999	El Maleh	Reboisement	Ha	3	3
PER	2000	El Maleh	Plantation Viticole	Ha	13	13
PER	2000	El Maleh	Plantation Olivier	Ha	10	10
PER	2000	El Maleh	Plantation Viticole	Ha	23	23
PER	2002	El Maleh	Correction Torrentielle	M ³	500	500
PER	2002	El Maleh	Plantation Viticole	Ha	20	20
PER	2002	El Maleh	Plantation Viticole	Ha	18	18
PER	2002	El Maleh	Plantation Viticole	Ha	20	20
PSRE	2002	El Maleh	Plantation Fruitière	Ha	30	30
PCSC	2006	El Maleh	Bande Forestière	Ha	40	40
PSD	2007	El Maleh	Correction Torrentielle	M ³	500	500
PCSC	2008	El Maleh	Plantation Olivier	Ha	20	20
PCSC	2008	El Maleh	Reboisement	Ha	6	6
PCCE	2010	El Maleh	Reboisement	Ha	6	6
PNE	2017	El Maleh	Repeuplement	Ha	10	10
PNE	2020	El Maleh	Reboisement	Ha	15	
PNE	2020	EL Maleh	Entretien de reboisement	Ha	10	

CHAPITRE III : ANALYSE DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

Les actions réalisées selon les différents programmes ont été comprises essentiellement entre des reboisements et des plantations fruitières, comme procédés biologiques de lutte contre l'érosion. Ainsi que la correction torrentielle comme procédé mécanique de lutte.

3. Analyse des aménagements antiérosifs

3.1. Procèdes mécaniques

3.1.1. Correction torrentielle

Dans la zone d'étude, 1000 m³ de travaux de correction torrentielle ont été réalisés en 1986, suivie par 500 m³ dans le cadre du Programme d'Emploi Rural (P.E.R) en 2002 et 500 m³ dans le cadre du Programme Sectoriel du Développement (P.S.D.) en 2007.

L'analyse de ce type d'aménagement a été menée sur des seuils installés sur le cours d'eau principal seulement d'un micro bassin versant situé juste à l'amont du village de Hassi El Ghalla. Ce dernier se trouve menacé par des inondations vu qu'il se trouve en aval d'un bassin versant en pente et avec un débit d'eau important au niveau de son cours d'eau principal.

Nous avons remarqué des arbres entiers avec leurs systèmes racinaires qui ont été arrachés témoignant de l'importance du débit des crues qui traversent le cours d'eau principal (photo 04). L'installation des seuils de correction torrentielle a permis de briser la vitesse d'écoulement des eaux et minimiser les transports solides et liquides qui menacent le village de Hassi El Ghalla.



Photo 3 : Arbre emporté par le débit de la crue sur le cours d'eau principal (Cliché Zékri et El-Bordji, 19 juin 2021)

CHAPITRE III : ANALYSE DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

Au niveau de la station d'étude nous avons observés aussi des affleurements de roches calcaires témoignant d'une érosion en nappe importante (photo 3)



Photo 4 : Affleurement rocheux symptôme d'une érosion en nappe importante (Cliché Zékri et El-Bordji, 19 juin 2021)

Au niveau du cours d'eau principal, nous avons observé, analysé et photographié l'état et la stabilité de 17 seuils de correction torrentielle. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : caractéristiques des seuils de correction torrentielle analysés

Type de Seuil	Localisation	Fondation	Ancrage	Déversoir	Bassin de dissipation	Végétations	Atterrissement %
Gabion	CEP	+++	+++	+	-	+++	100
Pierre sèche	CEP	++	-+	-	-	+++	100
Gabion	CEP	++	+-	-	+	+++	100
Pierre sèche	CEP	--	-+	-	-	+++	100
Pierre sèche	CEP	++	++	-	-	+++	100
Pierre sèche	CEP	+	++	-	-	+++	100

CHAPITRE III : ANALYSE DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

Pierre sèche	CEP	++	+-	+	-	+++	100
Pierre sèche	CEP	-	++	-	-	+++	100
Pierre sèche	CEP	+-	++	-	-	+++	100
Pierre sèche	CEP	-	++	-	-	+++	100
Pierre sèche	CEP	-	++	-	+	+++	100
Pierre sèche	CEP	-	++	-	-	+++	100
Gabion	CEP	++	++	+	+	+++	100
Gabion	CEP	++	+	+	+	+++	100
Gabion	CEP	+	+	-	+	+++	100
Gabion	CEP	+	+	-	+	+++	100
Pierre sèche	CEP	+	+	-	-	+++	100

Légende du tableau :

Fondation :

+ : bonne
- : médiocre

Ancrage :

+ : bonne
- : médiocre

Végétations :

+ : présente
- : absent

Déversoir :

+ : présent
- : absent

Bassin de dissipation :

+ : présent
- : absent

En observant les données mentionnées dans le tableau ci-dessus nous constatons, un bilan plus positif que négatif de l'état des seuils de correction torrentielle examinés. La fondation et l'ancrage des seuils ont été bien menés dans la plus part des seuils. Par contre le déversoir et le bassin de dissipation sont le plus souvent absents.

Nous avons constaté aussi, lors de la prospection sur terrain, que le grillage des seuils en gabion a été coupé et volé dans tous les seuils installés.

CHAPITRE III : ANALYSE DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

Le recouvrement de la végétation est important et l'atterrissement à l'amont de chaque seuil a atteint 100% dans tous les seuils



Photo 5 : seuil en gabion stable avec grillage coupé et volé, bonne fondation et bon ancrage
(Cliché Zékri et El-Bordji, 19 juin 2021)



Photo 6 : seuil en gabion stable avec grillage coupé et volé avec un atterrissement de 100%
(Cliché Zékri et El-Bordji, 19 juin 2021)

CHAPITRE III : ANALYSE DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

Nous avons aussi constaté que les seuils en pierres sèches sont moins stables que les seuils en gabion. Cela a été dû dans la plus part des cas à un mauvais ancrage soit dans le coté gauche ou droit (photo 7).



Photo 7 : seuil en pierres sèches instable dans son coté gauche à cause d'un mauvais ancrage
(Cliché Zékri et El-Bordji, 19 juin 2021)

3.1.2. Terrasses et murettes en gradins

La partie amont du micro bassin étudié a été coupé en terrasses soutenues par des murettes pour briser la vitesse d'écoulement des eaux photo 8 et 9





Photo 8 et 9 : terrasses avec murettes en gradins
(Certaines pierres de murettes ont été emportées par la force du courant d'eau) (Cliché Zékri et El-Bordji, 19 juin 2021)

3.2. Procédés biologiques

3.2.1. Forêts

Le micro bassin versant étudié se trouve sous une forêt naturelle domaniale, d'une superficie de 69 hectares. Composée de 90% de Pin d'Alep et 10% d'Eucalyptus. Avec un sous bois dominé par le *Chamaerops humilis* (le Doum) et le Calicotome épineux (*Calicotome spinosa*), indicateurs d'un surpâturage à cause de la charge pastorale importante.

3.2.2. Plantation fruitière

Nous avons observé dans la zone étudiée une plantation d'olivier dans la partie amont du bassin versant (photo 10)



Photo 10 : oléiculture dans l'amont de la zone d'étude (Cliché Zékri et El-Bordji, 19 juin 2021)

4. Résultats d'analyse et discussion

L'analyse des aménagements antiérosifs présents dans la zone d'étude a permis de dégager les principaux résultats suivants :

- Les travaux de correction torrentielle ont été réalisés depuis 1986 pour lutter contre l'érosion hydrique et notamment pour protéger la ville de Hassi El Ghalla contre les inondations ;
- Les types de seuils de correction torrentielle utilisés sont les gabions et les seuils en pierres sèches. La plupart sont en bon état et les pierres utilisées pour leur construction ont été présentes dans leur majorité sur place vu leur grande disponibilité dans la région ;
- L'instabilité de certains seuils en gabions a été due principalement au coupage total du grillage, où certaines pierres ont échappé des seuils par les crues ;
- L'instabilité de certains seuils en pierres sèches est due soit à un mauvais ancrage ou à une mauvaise fondation ;
- Cette instabilité favorise les processus de l'érosion régressive et du renardage ;
- L'installation de déversoir est totalement absente dans l'ensemble des seuils examinés, cela rend le seuil moins résistant aux forces des courants d'eau ;
- L'atterrissement a atteint 100% dans la majorité des seuils ce qui est tout à fait normal vu l'ancienneté de leur mise en place (1986, 2002 et 2007) ;

CHAPITRE III : ANALYSE DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

- Les terrasses en gradins couvrent une partie de la partie amont du bassin et sont renforcées par des murettes ;
- Certaines pierres de murettes ont été emportées par la force des courants d'eau ;
- Le couvert végétal est assez abondant avec une forêt naturelle de Pin d'Alep en bon état et quelques sujets d'Eucalyptus ;
- Certains arbres ont été totalement arrachés par la force des crues et d'autres leur système racinaire a été déchaussé du sol par l'érosion en masse ;
- Le passage aussi des incendies au niveau de la forêt est nettement observé ;
- Le sous bois est assez dense mais composé essentiellement du Doum et du Calicotome témoignant d'un surpâturage dans la région (des troupeaux d'ovins ont été observés se pâture lors la sortie) ;
- La plantation fruitière est présente dans la partie amont du bassin composé surtout d'Oléiculture. Ce type de culture de genre pérenne protège mieux le sol contre l'érosion, que la céréaliculture par exemple, souvent cultivée dans les terrains en montagne dans la région ;
- Le problème d'enclavement n'existe pas, nous avons observé deux pistes en très bons états dans la zone d'étude, ce qui permettra plus une mise en valeur des terres et la mise en place de cultures plus résistantes à l'érosion ;
- La charge caillouteuse est très importante à la surface des sols avec affleurements de roches calcaires. Cela est un symptôme de la dominance de l'érosion en nappe ;
- L'érosion linéaire est moins importante malgré un degré de pente assez fort, ceci est justifié par la nature des sols sur place qui sont peu vulnérables à ce type d'érosion ;
- Mis à part le cours d'eau principal et d'autres petites chaâbets les autres stades de l'érosion linéaire (griffes, rigoles, ravins, tunnels) sont peu ou pas visibles ;
- L'érosion en masse par contre est assez présente à cause de l'importance du degré de la pente et des forts débits au niveau des cours d'eau ;
- Ces forts débits sont originaires aussi de la charge caillouteuse très remarquable qui couvre le sol. Où l'eau des précipitations se dirige le plus vers le ruissellement que vers l'infiltration.
- La nature des terrains et des sols en place (érodabilité et érodibilité) nous fait prévoir que le processus de l'érosion hydrique conduit plus à des transports liquides que solides dans la zone d'étude.

CHAPITRE III : ANALYSE DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

A l'issue de ces résultats d'analyse, nous estimons un bilan beaucoup plus positif que négatif des aménagements antiérosifs dans la zone étudiée. Néanmoins il faut que l'administration des forêts apporte les travaux de réhabilitation suivants :

- Entretien des seuils de correction torrentielle par la remise en place des pierres emportées et leur surélévation ;
- La couverture des gabions de nouveau dans la mesure du possible par le grillage métallique ;
- La remise en place aussi des pierres emportées au niveau des murettes ;
- Contrôle plus vigilant du surpâturage et des incendies ;
- Favoriser la mise en valeur des terres et les plantations fruitières dans le cadre des projets de développement rural.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Une multitude de méthodes de lutte antiérosives ont été appliquées dans le monde et en Algérie pour freiner les processus d'érosion. Certaines ont réussi et d'autres ont présenté des inconvénients dans leur mise en place et une inadaptation avec les aspects socioéconomiques des zones traitées.

Ces méthodes coûtent souvent très chers et parfois un mauvais choix ou une mauvaise installation des techniques à mettre en place se répercutent négativement sur le plan économique. Car leur efficacité devient limitée et parfois totalement inexistante.

L'objectif du présent travail rentre dans ce cadre où nous avons essayé de faire une analyse de l'état et de l'efficacité de quelques aménagements antiérosifs et notamment des seuils de correction torrentielle installés depuis 1986 dans le micro bassin versant d'oued El-Malah situé juste à l'amont du village de Hassi El Ghalla.

Les résultats obtenus nous ont permis de constater un bilan positif plus que négatif de l'état des aménagements antiérosifs. Les seuils de correction torrentielle se trouvent dans leur majorité en bon état. L'instabilité de certains seuils en gabions a été due principalement au coupage total du grillage, où certaines pierres ont échappé des seuils par les crues, et non pas à l'un des critères de leur mise en place. Pour les seuils en pierres sèches nous avons distingué l'instabilité de quelques uns à cause soit à un mauvais ancrage ou une mauvaise fondation. Cela favorise les processus de l'érosion régressive et du renardage.

L'atterrissement des terres transportées à l'amont de chaque seuil est arrivé à 100% dans la plupart des seuils. Ce qui est tout à fait normal vue l'ancienneté de leur mise en place. Mais la présence d'un couvert végétal assez dense permettra de remplacer le rôle de ces seuils mécaniques.

La présence des terrasses en gradins dans la partie amont du bassin d'étude, jouent aussi un rôle important dans l'atténuation de la vitesse d'écoulement des eaux et de l'érosion. Mais leurs murettes de soutènement nécessitent actuellement un entretien pour plus d'efficacité.

L'activité de l'érosion linéaire est moins importante ceci est justifié par la nature des sols sur place qui sont peu vulnérable à ce type d'érosion. L'érosion en masse par contre est assez présente à cause de l'importance du degré de la pente et des forts débits au niveau des cours d'eau. La charge caillouteuse est très importante à la surface des sols avec affleurements de roches calcaires. Cela est un symptôme de la dominance de l'érosion en nappe.

La nature des terrains et des sols en place nous fait deviner que le processus de l'érosion hydrique conduit plus à des transports liquides que solides dans la zone d'étude.

CONCLUSION GENERALE

L'installation des actions antiérosives dans le bassin versant d'étude a certainement protégé la ville de Hassi El Ghalla, située en aval, contre les inondations. Mais l'administration des forêts doit apporter quelques réhabilitations à ces actions et les entretenir d'une manière continue pour plus d'efficacité. Encourager la mise en valeur des terres et les plantations fruitières dans le cadre des projets de développement rural est aussi très souhaitable.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- **Benselama O., 2019.** Etude des processus d'érosion dans le bassin versant d'OUED EL MALEH D'AIN TEMOUCHENT et l'analyse des facteurs de risque. Thèse de doctorat, Univ. Ain Témouchent, 25 p.
 - **BOIX-FAYOS C., CALVO-CASES A., SORIANO-SOTO MD., 2000.** Piping and gulling dynamics on agricultural terraces. Evolution after land abandonment.
 - **Boufaroua M, Albergel J et Pépin Y., 1998.** Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la dorsale Tunisienne. In: Annuaire des publications de l'association internationale des géologues.
 - **Burchard H., 1980.** Ouvrages et méthodes de correction des ravines. États-Unis : Ed F.A.O, 219-265.
 - **Cros-cayot S., 1996.** Distribution spatiale des transferts de surface a l'échelle du versant. Contexte Américain. Thèse de doctorat de l'ENSAR, 218 p.
 - **Emberger L., 1955.** Une classification biogéographique des climats. Recueil, travaux de laboratoire géolo-zoologique, Faculté des sciences. Service botanique. Montpellier.
 - **FAO., 1996.** Mesure de terrain de l'érosion et de l'écoulement des eaux de surface. Bulletin pédologique 68, 153 p.
 - **Greco J., 1966.** L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. Alger : Ed M.A.R.A. 393 p.
 - **Greco J., 1978.** La défense des sols contre l'érosion. La Maison Rustique, Paris, 183 p.
 - **Hadjiat K., 1997.** Etat de dégradation des sols en Algérie. Rapport d'expert PNAE, banque mondiale. 45 p.
 - **Hjulstrom F., 1935.** Studies of Morphological Activity of Rivers as Illustrated by the River Fyris. Bulletin of the Geological Institute, University of Uppsala.
 - **Hoeblich JM., 1992.** Le lavaka malgache, une forme d'érosion utilisable. Bull. Réseau Erosion 12, 255-268.
 - **Hudson NW., 1973.** Soil conservation. Batsford, London, .Int. Symposium ((Gully erosion under Global change)) Leuven, Belgium, abstract 33, 320 p.
 - **Joseph J. Assaad, Yehia Daou et Hadi Salman., 2011.** « Correlating washout to strength loss of underwater concrete », Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials, vol. 164, no 3, juin 2011,153–162.
 - **Leblond, Guerin., 1984.** Travaux de conservation des sols l'étude des projets et leur réalisation par des techniques à haute intensité de main d'œuvre. Ed.PNUD-OIT/81/044 Genève, 223 p.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- **Lilin C., 1986.** Histoire de la restauration des terrains en montagne. *Cah. ORSTOM Pédol.*, 22 : 139-146.
 - **Mainguet M., 2003.** Les sécheresses et le génie créateur de l'homme dans les milieux secs : nouvelle géographie de l'adaptation, Université de Reims Champagne-Ardenne. France.
 - **Merioua M., 2014.** Phyto-écologie et éléments de cartographie de la couverture végétale cas : littoral d'Ain Témouchent, Thèse de doctorat, Univ. Tlemcen, 17 p.
 - **Merouane S., Meriah K., 2014.** LES ENJEUX DE LA GESTION DES RESSOURCES EN MILIEU
 - **Nahal I., 1975.** Principes de conservation du sol. Ed. Masson & Cie, Paris, 143 p.
 - **Olivry J.C. et Horeilbeck J., 1990.** Erodabilité des terres noires de la vallée du Buech (France). *Cah. ORSTOM Pédol. Spécial érosion*, 25, 1-2 : 95-110.
 - **Planhol de X. & Rognon P., 1970.** Les zones tropicales arides et subtropicales, A. Colin, Paris. 487 p.
 - **Rabhi J., 1997.** Etude hydrologique et aménagements du haut bassin versant de Merguellil (centre de la Tunisie), Mém d'ingénieur, INA de Tunisie, 84 p.
 - **Roose E., 1994,** « Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols », Bulletin pédologique de la FAO, 70 p.
 - **Roose E., 1996 :** Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. *Bull Réseau Érosion*, 16, 87-97.
 - **Roose E., Sabir M. et Laouina A., 2010.** Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc : valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. Ed. IRD, Marseille, 343 p.
SEMI-ARIDE : CAS DE LA REGION D'AIN TEMOUCHENT. Mém. de master, Univ. Tlemcen, 6 p.
 - **Smiri A., 1987.** Type of erosion and quantification of soil losses. Université internationale de Casablanca.
 - **Sogetha ., 1968.** Les ouvrages en gabions, techniques rurales en Afrique. 58 p.
 - **Stocking M., 1976.** Tunnel erosion. *Rodhesian Agric.J.*, 73, Z: 35-39.
 - **Tacnet j.-NL, 2000.** Amélioration des méthodes de calcul des barrages correction torrentielle calcul globale et prise en des interactions sol structure. Synthèse des travaux. Cemagref .6 p.
 - **Tricoli D., 2002.** Procédure pour la réalisation des seuils en gabion, 10 p.
 - **Yacouba, H., 1999.** Effet des techniques traditionnelles de gestion des eaux sur la disponibilité hydrique des sols de glaciaires (article à paraître dans les annales de l'université de Niamey).
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- **Zékri N., 2003.** Analyse du facteur d'agressivité climatique et son influence sur l'érosion et le ruissellement dans le bassin versant de la Tafna (Nord Ouest Algérien). Mém. Magi, Dép. Forest., 101 p.
- **Zékri N., 2017.** Caractérisation des formations superficielles et analyse spatiale de la sensibilité à l'érosion des sols dans la wilaya de Tlemcen-Algérie. Thèse de Doctorat en Foresterie, Univ. Tlemcen, 132 p.

