

Département des Sciences de la Terre

Licence ès Sciences et Techniques

Eau & Environnement

Projet de fin d'étude

L'évaluation des ouvrages de correction mécanique et de lutte contre l'érosion, le cas du bassin versant de l'Ourika (Maroc).

Réalisé par : SRITI Laila

ZARHNOUNE Rima

Soutenu le : 24 Juin 2022

Devant la commission d'examen composée de:

- Pr. EL WAHIDI Farid, Encadrant interne, FST Marrakech
- Mr. KHALIL Hicham, Encadrant externe, DREFLCD Marrakech
- Pr. AZIZI Abdelfattah, Examineur, FST Marrakech

Dédicace :

Nous dédions ce travail

*À l'âme de notre Professeur **RIZKI Abdejabar**.*

À nos chers parents, aucune expression ne saurait exprimer toute l'affection et tout l'amour qu'on porte. Que ce travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, de vos prières et le fruit de vos innombrables sacrifices.

À nos chères adorables frères et sœurs, on vous exprime à travers ce travail nos sentiments de fraternité et d'amour.

À nos grandes familles. À nos honorables enseignants pour le savoir que vous nous avez inculqué.

À nos amis, avec eux on a passé des moments inoubliables.

À tous ceux qui nous sont chers

SRITI Laila & ZARHNOUNE Rima

Remerciements

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce mémoire de fin d'étude par des remerciements à ceux qui nous ont beaucoup aidés au cours de cette période de stage.

Nous remercions en premier lieu **الله** le puissant pour tout, de nous avoir aidées à accomplir ce travail.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères et les plus distingués à Monsieur **EL WAHIDI Farid**, notre encadrant pédagogique pour ses précieuses connaissances, ses précieux conseils et son expérience, si généreusement partagées. Nous le remercions ainsi pour sa disponibilité permanente, pour ses commentaires et ses corrections et relectures de ce manuscrit, qui nous ont aidés à surmonter beaucoup de difficultés et ont permis à ce travail d'aboutir. Un petit mot de merci avec une grande gratitude qu'on ressent sincèrement envers vos efforts et dévouements.

Nos vifs remerciements s'adressent également à notre encadrant externe Monsieur **KHALIL Hicham**, Chef de service des études d'aménagements et de la planification au sein de la Direction Régionale aux Eaux et Forêts de Marrakech. Nous le remercions pour tous les efforts qu'il a déployé pour nous fournir les ressources documentaires, et aussi pour son aide. Ainsi pour le temps qu'il nous a consacré tout au long de cette durée pour nous aider à élaborer ce travail dans les meilleures conditions.

Sans oublier à remercier les personnes qui ont contribué de loin à la réalisation de ce modeste travail : Monsieur **SAIDI Mohamed El Mehdi**, Monsieur **DAOUDI Lahcen** et Madame **CHOUKRI Fatiha**, pour leurs soutiens et leurs recommandations qui ont été indispensables pour finaliser ce travail.

Nous adressons également, notre profonde gratitude à l'équipe pédagogique du département de géologie de la Faculté des Sciences et Technique de Marrakech pour leurs efforts, et persévérances, pour instaurer une formation de qualité dont nous avons bénéficiés.

Nos sincères remerciements ainsi que nos grâces les plus dévouées à tout le personnel de la Direction Régionale aux Eaux et Forêts de Marrakech pour leurs sympathies, leurs soutiens, leurs aimables accueils et leurs collaborations très étroites pendant tout le déroulement de notre stage.

Nos profonds remerciements pour les membres du Jury : **AZIZI Abdelfattah**, d'avoir accepté de lire, d'évaluer et de critiquer notre travail.

Enfin, on tient à remercier nos familles pour leur encouragement et leur soutien permanent et inconditionnel tout au long de nos années d'étude.

Un grand Merci à tous.

Table des matières

Introduction	1
Problématique	2
Objectifs.....	3
Structure du document.....	4
Présentation d'organisme de stage : la Direction régionale des Eaux et Forêts de la Lutte contre la Désertification de Haut-Atlas.....	5
Outils de travail	6
<u>Première partie: Synthèse Bibliographique</u>	
Chapitre 1 : L'érosion hydrique	7
1-Définition	7
2- Les causes de l'érosion hydrique :	7
3- Les processus de l'érosion hydrique :	8
3-1-Le détachement :	8
3-2-Le transport :	8
3-3-Le dépôt :	8
4-Les formes de l'érosion hydrique :	9
4-1-L'érosion en nappe ou « sheet erosion » :	9
4-2-L'érosion linéaire :	9
4-3-L'érosion en masse :	10
5- l'érosion dans le bassin versant de l'Ourika :	10
Chapitre 2 : les aménagements de lutte antiérosive.....	12
1-Introduction :	12
2-Les aménagements biologiques :	12
3- Les aménagements mécaniques :	13
3-1-Description des seuils de correction mécanique :	13
3-2-Mise en place des seuils	15
<u>Deuxième Partie: Matériels et Méthodes</u>	
Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude	16
1- Contexte géographique.....	16
2- Caractéristiques géométriques.....	17
3-Caractéristiques topographiques	18
3-1- Pente :	18

3-2--Carte hypsométrique :	19
3-3-Réseau hydrographique :	20
3-4-Carte d'exposition des versants :	20
4-Contextes pluviométrique et hydrométrique dans le bassin versant de l'Ourika :	21
4-1- Contexte pluviométrique :	22
4-1-1- Variation annuelle :	22
4-1-2- Variation moyenne saisonnière :	22
4-1-3- Variation moyenne mensuelle :	23
4-2-Contexte hydrométrique :	23
4-2-1- Variation moyenne annuelle :	23
4-2-2- Variation moyenne saisonnière :	24
4-2-3- Variation moyenne mensuelle :	24
5-Inondations :	25
6-Contexte pédologique :	25
7- Contexte géologique et Lithologie :	26
6- Végétation et Occupation des sols :	27
8-Aspects socio-économiques :	28
9-Aménagements mécaniques antiérosifs du Bassin versant de l'Ourika.....	28
Chapitre 2 : Méthodologie	30
1. Projets, études et travaux d'aménagement antérieurs: synthèse sur les différentes techniques mises en œuvre dans le bassin versant de l'Ourika	30
2. Prospection de terrain :	31
3. Evaluation de l'état des ouvrages prospectés en utilisant une grille d'évaluation :	31
<u>Troisième Partie: Résultat et Discussion</u>	
1-Etude générale des ouvrages de correction mécanique.....	33
A- Nature des seuils.....	33
B- Etat de conservation des seuils	34
C- Degré de comblement par la charge solide des seuils	35
2-Grille d'évaluation de l'état des seuils au niveau de la région d'Oualmas.....	36
3- Classification des seuils selon l'érodibilité des terrains environnants.	38
4-Les aménagements antiérosifs sur les flancs des versants :	39
Conclusion et Recommandation :	41
Références Bibliographiques	42

Liste des Tableaux

Tableau 1: Forme de l'érosion linéaire (Hadir, 2010)	10
Tableau 2: Intensité d'érosion et pertes en terres estimées selon le modèle RUSLE (Fiche techniques des Bassins Versants-Programme Décennal, 2014).....	11
Tableau 3: Caractéristiques morphologiques du bassin versant de l'Ourika jusqu'à Aghbalou	17
Tableau 4: Quantité (m3) de seuils réalisés au niveau des différents sous bassins (DREF, 2010)	29
Tableau 5: Etat des seuils dans les différents douars du bassin versant de l'Ourika	37
Tableau 6: Indice de risque d'érosion des seuils	39

Liste des Figures

Figure 1: Schéma récapitulatif du document	4
Figure 2: Organigramme de la DREF-HA- Marrakech	5
Figure 3: (a); Seuil en pierres sèches, (b); Seuils en maçonneries, (c); Seuils en gabions.....	15
Figure 4: Carte de situation géographique du bassin versant d'Ourika à Aghbalou	16
Figure 5: Carte de la pente du bassin versant de l'Ourika	19
Figure 6: Carte hypsométrique du bassin versant de l'Ourika	19
Figure 7: Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika	20
Figure 8: Carte d'exposition des versants du bassin versant de l'Ourika	21
Figure 9: Précipitations annuelles d'Aghbalou 1970/2021 en (mm)	22
Figure 10: Précipitations moyennes saisonnières d'Aghbalou 1970/2021 en (mm).....	22
Figure 11: Précipitations moyennes mensuelles d'Aghbalou 1970/2021 en (mm)	23
Figure 12: Débits moyens annuels d'Ourika 1970/2021	23
Figure 13: Débits moyens saisonniers d'Ourika 1970/2021	24
Figure 14: Débits moyens mensuels d'Ourika 1970/2021	24
Figure 15: Carte géologique du bassin versant de l'Ourika (Extraite de carte géologique de Marrakech au (1/500 000)	27
Figure 16: Carte interactive sur l'état des lieux des corrections mécaniques des ravins de l'Oued Ourika (année 2017) et mesures de restauration	31
Figure 17: Répartition (en nombre) des seuils selon leur type	33
Figure 18: Degré de conservation; (a) : des seuils en pierres sèches, (b) : des seuils en gabion, (c) : des seuils en maçonnerie	34
Figure 19: Degré de sédimentation : (a) ; Seuils en pierres sèches, (b) ; Seuils en gabion, (c) ; Seuils en maçonneries.....	35
Figure 20: : (a) : Seuil1 en maçonnerie du ravin 1, (b) : Seuil2 en maçonnerie du ravin 1, (c) :Seuil 2 en maçonnerie du ravin 2, (d) : seuils en gabion du ravin 3, (e) : Déversoir endommagé du seuil 3 du ravin1	38
Figure 21: (A), (b) et (d) : Culture en terrasses qui consiste à l'aménagement des terrains en terrasse ou planches horizontales étagées. (c) : Seguia qui sert à casser la pente, l'objectif principal de cet aménagement est le transfert de l'eau. (e) : Aménagement en banquettes des versants, (f) : seuils en pneu vise à briser la vitesse des eaux de ruissellement	40

Liste des Abréviations

DREFLCD-HA : La Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification de Haut Atlas

GIREPSE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau & Paiement des Services Environnementaux

RUSLE : Revised Soil Loss Equation

BV : Bassin versant

ABHT : Agence de Bassin Hydraulique de Tensift

HA : Haut Atlas

Introduction

Depuis la formation des massifs montagneux, les divers processus d'érosion, de transport des matériaux et leur dépôt dans les ouvrages et infrastructures hydrauliques ont présenté des problèmes environnementaux majeurs et de viabilité de ces ouvrages dans le monde entier.

Autrement dit les zones montagnardes ont la caractéristique d'être très surpeuplées par des communautés rurales pauvres tirant la majorité de leurs besoins de systèmes agropastoraux extensifs au détriment des ressources naturelles vulnérables. Tandis que cette exploitation excessive de ces écosystèmes forestiers aboutie à des catastrophes naturelles notamment la disparition du couvert végétal, la dégradation accrue des sols, etc.

Le Maroc, par sa position géographique, sa diversité orographique, son régime climatique alternant saisons sèches chaudes et d'autres froides pluvieuses et souvent d'une pluviométrie agressive. Ces facteurs conjugués à une anthropisation considérable des milieux naturels laissent développer des formes extrêmes de dégradation des terres particulièrement celle due à l'érosion hydrique. Elle est considérée comme l'un des phénomènes de dégradation des ressources naturelles qui touche avec des intensités diverses une grande partie du territoire marocain.

Le Haut Atlas occidental d'une manière générale, le bassin de l'Ourika en particulier constitue une zone connue par ses inondations, ses crues très dévastatrices et par une infrastructure et une population locale très vulnérables aux risques de dégradation des terres (érosion, glissement de terrain, ravinement, etc.). Elle constitue ainsi une zone riche d'enseignements pour étudier les efforts fournis par les services publics de l'Etat pour atténuer les effets de l'érosion hydrique et réduire la vulnérabilité des populations locales et leurs biens.

Problématique

La zone d'étude faisant partie du Haut Atlas, n'échappe pas à cette dégradation qui menace infrastructures, biens et services environnementaux. Le bassin versant de l'Ourika, limité au point exutoire de la station d'Aghbalou, est une zone très touchée par des événements extrêmes fréquents tels que les crues, les inondations et les phénomènes torrentiels. Ces évènements sont le résultat de l'effet combiné des facteurs naturels (sols imperméables et/ou friables, topographie accidentée, précipitations aléatoires et souvent agressives, températures très faibles en hiver et élevées pendant l'été, faible couvert végétal) et socioéconomiques (pression pastorale, prélèvement du bois de feu et extension des terrains agricoles...).

Pour la minimisation de l'impact de l'érosion, la régénération des écosystèmes forestiers, la reconstitution des peuplements naturels dans les zones fortement dégradées et la protection des douars, des infrastructures économiques et des terrains agricoles contre les inondations, un projet d'aménagement a été réalisé sur le bassin versant de l'Ourika par la Direction Régional des Eaux et Forêts depuis 1996. Parmi les techniques antiérosives qui sont mises en œuvre, l'installation des ouvrages de correction mécanique au niveau des ravins du bassin versant correspondant.

Néanmoins, très peu d'étude d'évaluation exhaustive des ouvrages et travaux de correction mécanique qui ont été réalisés lors du programme d'aménagement du bassin versant. Pendant cette période (1996 – 2022) qui s'étale sur plus de deux décennies, ces ouvrages de lutte contre les crues restent-ils fonctionnels et jouent-ils toujours leurs rôles ? Faudrait-il renforcer ce réseau d'ouvrages et identifier d'autres zones qui présentent une vulnérabilité aux crues et aux ravinements ?

Objectifs

Dans le cadre d'un stage au sein de la Direction Régionale aux Eaux et Forêts de Marrakech, le présent mémoire de fin d'étude porte sur l'évaluation des ouvrages antiérosifs de correction mécanique dans le bassin versant de l'Ourika. Un objectif scindé en trois sous-objectifs :

- a) Diagnostic du contexte géographique, biophysique (géomorphologique, climatique, hydrographique, géologique, la végétation et l'occupation des sols) et socio-économique du bassin versant de l'OURIKA.*
- b) Élaborer une description des ouvrages et des seuils de correction mécanique, de leur répartition sur le bassin versant de l'OURIKA.*
- c) Évaluer leur état fonctionnel selon une grille d'évaluation composée d'indicateurs objectifs.*

Structure du document

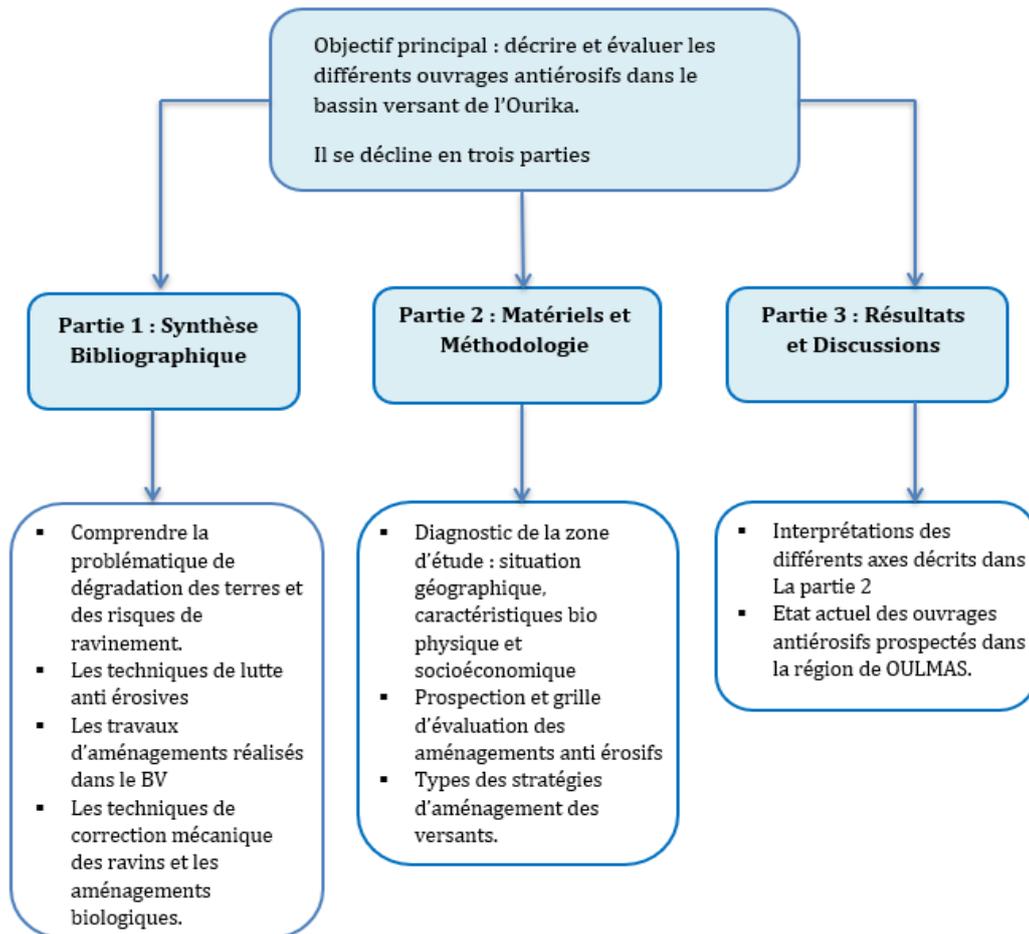


Figure 1: Schéma récapitulatif du document

Présentation d'organisme de stage : la Direction régionale des Eaux et Forêts de la Lutte contre la Désertification de Haut-Atlas.

La Direction Régionale des Eaux et forêts et de la Lutte contre la Désertification de Haut Atlas-Marrakech (DREFLCD-HA) situé à Bab Doukkala-Marrakech, est un nouveau siège inauguré en 2012. La construction de ce bâtiment s'inscrit dans la cadre de la politique du gouvernement visant le rapprochement de l'administration du citoyen et se propose de renforcer l'infrastructure administrative au niveau régional. Ce siège a, aussi, était créé pour améliorer la gestion des ressources humaines et matérielles et promouvoir la coordination entre les différents services régionaux (Essaouira, Chichaoua, Rhamna, Kelaa des Sraghna et Marrakech).

Le département des eaux et forêts a pour mission de :

- Elaborer et mettre en œuvre la politique du gouvernement, dans les domaines de la conservation et du développement durable des ressources forestières, alfatières, Sylvo-pastorales dans les terrains soumis au régime forestier, aussi que le développement cynégétique, piscicole continentale et des parcs et réserves naturelles ;
- Coordonner la mise en place des mécanismes institutionnels pour la préparation, l'exécution, le suivi et l'évaluation de la politique du gouvernement en matière de lutte contre la désertification ;
- Participer à l'élaboration et à la mise en œuvre, de la politique du gouvernement en matière de développement rural.

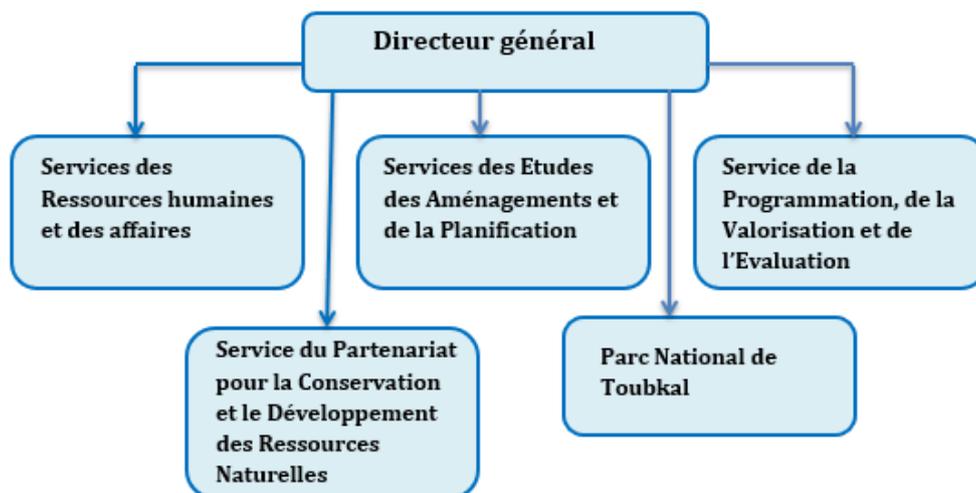


Figure 2: Organigramme de la DREF-HA- Marrakech, Juillet 2018

Outils de travail

- **ArcGIS :**

ArcGIS est un système complet qui permet d'organiser, collecter, analyser, gérer, communiquer et de diffuser des informations géographiques. Il est également considéré comme la principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, il permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque.

- **SAS PLANET**

Cet extraordinaire logiciel permet de visualiser des photos satellites de la planète sans être connecté à l'internet, et on peut y connecter un GPS pour visualiser sa trace en temps réel sur la photo satellite.

- **Google Earth**

Google Earth est un logiciel développé par la société Google, permettant une visualisation de la terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires

- **Global mapper**

Est un puissant outil de visualisation et de traitement cartographique qui permet d'afficher les images raster, les données d'altitude et les données vectorielles les plus répandues. Il convertit, édite, imprime, acquière des données GPS, et vous permet d'utiliser des fonctionnalités SIG sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple.

- **Carte MNT**

Un **Modèle Numérique de Terrain (MNT)** est une représentation de la topographie d'une zone terrestre sous une forme adaptée à son utilisation par un ordinateur. En cartographie les altitudes sont habituellement représentées par des courbes de niveau et des points cotés.

Première partie : Synthèse Bibliographique

Chapitre 1 : L'érosion hydrique

1-Définition

L'érosion hydrique est un phénomène géologique naturel qui a façonné la surface de la terre au cours des âges géologiques (**White, 1986**). Les changements climatiques et des paysages sous l'influence de la pression démographique et l'extension des cultures d'exploitation, ont contribué à l'augmentation de l'exposition des terres au processus de ruissellement, et par conséquent, à la dégradation des sols par érosion (**Vezena et Bonn, 2006**). Diverses sortes d'activités humaines, pratiques agricoles, exploitations forestières, pâturages, construction des routes et bâtiments tendent à modifier les phénomènes d'érosion, en l'accéléralant souvent de façon considérable (**Wachal, 2007**). Elle résulte du détachement, sous l'effet de l'énergie cinétique des gouttes de pluie, et du transport de fragments ou de particules du sol ou de roches de leur emplacement initial par l'eau, dégradant la qualité des eaux et la fertilité des sols et réduisant la capacité des réservoirs.

2- Les causes de l'érosion hydrique :

- **Les caractéristiques physiques du sol** : L'érodibilité (la vulnérabilité de ce sol à l'érosion) est surtout influencée par la texture du sol, sa structure, sa teneur en matière organique et sa perméabilité. En général, les sols qui affichent une plus grande résistance à l'érosion sont ceux dans lesquels l'eau s'infiltré plus rapidement, ceux qui sont riches en matière organique et ceux dont la structure est améliorée. Les sables, ont tendance d'être moins vulnérables à l'érosion que les limons, les sables très fins et certains sols argileux.
- **La Pente** : Plus la pente d'un champ est raide et plus cette pente est longue, plus les risques d'érosion sont grands.
- **La longueur de la pente** : plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule, prend de la vitesse et de l'énergie et plus l'érosion s'intensifie.
- **La rugosité du terrain** : les terrains lisses opposent peu de résistances à l'érosion par contre les terrains rugueux sont les moins érodés.
- **L'érosivité des précipitations** : Concentration dans le temps et dans l'espace.
- **Le couvert végétal** : Le risque d'érosion augmente si le sol n'est pas suffisamment protégé par le couvert végétal, la végétation protège le sol de l'impact des gouttes de pluie et elle a tendance à réduire la vitesse d'écoulement de l'eau et à favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol.

3- Les processus de l'érosion hydrique :

3-1-Le détachement :

Le détachement des particules du sol se produit sous l'action de deux agents érosifs :

- **La pluie** : L'énergie de l'eau apportée par les gouttes de pluie est à l'origine de la déstructuration des agrégats présents à la surface (**Boiffin, 1976 ; Le Bissonnais, 1988**). L'impact des gouttes de pluies sur la surface du sol provoque le détachement des particules du sol qui seront éjectées de la surface et transportées, avant de se déposer à la surface. Ce rejaillissement d'eau et de sol est désigné par le terme de splash. Sur les surfaces horizontales, le rejaillissement des particules par le "splash" ne provoque pas d'érosion, alors que sur les terrains en pente, il se produit un transport préférentiel vers le bas des versants (**De Ploey, 1968**).
- **Le ruissellement** : Le ruissellement est un moteur essentiel de l'érosion, il détache, transporte et exporte les fragments du sol (**Leguédais, 2003**).

3-2-Le transport :

Quand la charge en sédiments est inférieure à la capacité de transport de l'écoulement, les particules du sol peuvent être ainsi transportées vers l'aval. Au contraire quand la charge en sédiments est supérieure à la capacité de transport, les sédiments en excès se déposent. Il existe d'autres facteurs moins importants qui favorisent le déplacement et le transport des particules de sol tels que la gravité et le vent.

3-3-Le dépôt :

Il se produit quand l'énergie cinétique qui déplace les matériaux issus du détachement, diminue ou s'annule. Cette troisième phase des processus d'érosion hydrique apparaît lors du ralentissement du ruissellement. Les particules les plus grossières sont les premières à sédimenter, les plus fines étant transportées plus loin. On parle de tri granulométrique (**Kaurak Leite, 1990**).

4-Les formes de l'érosion hydrique :

4-1-L'érosion en nappe ou « sheet erosion » :

L'érosion en nappe ou diffuse est le stade initial de la dégradation des sols par l'érosion hydrique (**Rosse, 1994**). Il s'agit d'un décapage uniforme de l'horizon superficiel du sol. L'importance de l'érosion en nappe dépend à la fois de la durée des pluies de son intensité et de l'énergie des pluies, qui favorisent le détachement des particules et déclenchent le ruissellement.

4-2-L'érosion linéaire :

Quand le ruissellement en nappe se concentre et acquiert, par augmentation de la vitesse d'eau, un pouvoir érosif accru qui provoque des incisions linéaires dans le sol de plus en plus profondes (**Foster, 1990 et Moore & Foster, 1990**). Selon la profondeur des canaux, on constate plusieurs types :

- **Les griffes** : lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur.
- **Les rigoles** : un canal étroit et en pente, qui concentre le ruissellement et s'encaisse de plusieurs décimètres (10 cm).
- **Les ravins** : Quand les rigoles constituent un réseau bien ramifié et atteignent une profondeur d'ordre métrique, on parle dans ce cas de l'érosion par ravinement. Les ravins peuvent se multiplier jusqu'à totalement couvrir les versants les bad-lands.

Le tableau 1 suivant présente une caractérisation des différentes formes de l'érosion linéaire :

Tableau 1: Forme de l'érosion linéaire (Hadir, 2010)

Forme	Tracé	Longueur	Largeur	Profondeur
Griffe	Sinueux	<1 m	< 10 cm	5-6 cm
Rill	Rectiligne	Centaine de m	10-20 cm	5-10 cm
Rigole	Sinueux	Dizaine de m	5-70 cm	10-30 cm
Ravine	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1m	10-30 cm
Petit ravin	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1m	50-200

4-3-L'érosion en masse :

Tandis que l'érosion en nappe s'attaque à la surface du sol et le ravinement aux lignes de drainage du versant. L'érosion en masse se traduit par le déplacement des masses des sols qui est très répandu sur les terrains à forte pente. Ce déplacement peut prendre plusieurs formes telles que : les mouvements de masse, les coulées de boue et les glissements de terrain.

La cause des mouvements de masse provient du déséquilibre entre d'une part la masse du sol, de l'eau stockée et des végétaux qui le couvrent et d'autre part, les forces de frottement qui permettent la stabilisation de ces matériaux sur la roche altérée en pente. Les mouvements de masse constituent la manifestation d'un processus appelé solifluxion (**Hadir 2010**).

5- l'érosion dans le bassin versant de l'Ourika :

Le bassin versant de l'Ourika d'une superficie de 66.500 ha, qui est l'un des bassins où plusieurs problématiques sont visées par plusieurs recherches et études. Ce bassin connaît beaucoup de dégradation de ses écosystèmes forestiers le long du lit de l'oued Ourika.

Pour cela la Direction Régionale des Eaux et Forêts du Haut Atlas a réalisé une étude à l'amont de la station d'Aghbalou dont l'objectif est d'aménager l'amont du bassin versant de l'Ourika (**AHT GROUP AG – RESING, 2016**).

L'évaluation des pertes en sol a été basée sur le modèle Revised Soil Loss Equation (RUSLE) qui exprime le taux d'érosion (T/ha/an).

Les résultats de l'étude montrent que presque 60% des superficies du bassin (Amont d'Aghbalou) appartiennent à la classe d'érosion forte (50 à 100 T/ha/an) comme il est montré dans le tableau 2

Tableau 2: Intensité d'érosion et pertes en terres estimées selon le modèle RUSLE
(Fiches techniques des Bassins Versants-Programme Décennal, 2014)

Bassin	Superficie	Classes d'érosion en T/ha/ans				
		Minime à nulle (0-20)	Moyenne à faible (20-50)	Forte (50-100)	Très forte >100	Total
Ourika	Ha	1330	21945	38570	4655	66500
	%	2	33	58	7	100

Chapitre 2 : les aménagements de lutte antiérosive

1- Introduction :

Cependant les processus, les causes et les facteurs déterminant l'érosion étant très variable, il n'y a pas de recette généralisable de lutte antiérosive. Pour cela, L'érosion est souvent mal maîtrisée car elle est discontinue dans l'espace et dans le temps. En matière de traitement des zones touchées par l'érosion hydrique, il est recommandé d'appliquer un traitement des techniques antiérosives qui ont comme objectifs de maîtriser l'érosivité du ruissellement ou réduire l'érodibilité de la surface.

Ce traitement antiérosif a deux volets principaux :

- **Un volet mécanique** appelé communément correction torrentielle, consistant à implanter un réseau de seuils à travers des ravins de différents type.
- **Un volet biologique** nécessitant la végétalisation des versants et des ravins.

Pour avoir l'effet souhaitable Il est indispensable d'appliquer ces techniques antiérosives dans les 2 volets, étant donné que l'utilisation d'un seul volet ne sera pas conduire à des résultats satisfaisants, car les seuils se comblent rapidement et perdent leur efficacité. Quoique le traitement par l'établissement de la végétation sur les versants assure une permanence des effets confiants.

2- Les aménagements biologiques :

Dans les milieux semi-naturels comme les bassins versants, les ravins torrentiels et les berges des rivières où se concentrent à l'amont des enjeux économiques importants, la lutte antiérosive de restauration biologique constitue la première étape vers leur aménagement. Elle consiste à planter des espèces végétales qui permettant de protéger ou de stabiliser les sols contre les différentes formes d'érosion (**Tayaa & Bouachid, 2004**). Ce traitement biologique a un effet très bénéfique, il ralentit les filets d'eau superficiels et favorise ainsi l'infiltration, il a pour but d'agir sur les processus de production de sédiments. Du même coup, il exerce un contrôle efficace sur le ruissellement superficiel et le débit des crues.

Les aménagements antiérosifs biologiques sont des combinaisons de techniques de l'aménagement agricole, pastoral et forestier. Parmi lesquels on cite :

- **Les seuils biologiques** : L'outil de base est un seuil placé en travers de la ravine et il est constitué par un matériel végétal vivant, ainsi la construction d'un seuil faisant 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 et s'adaptent à tout

type de sol et exposition ». Ce dispositif antiérosif a pour but de réduire le débit solide et la régularisation des écoulements dans les secteurs situés à l'aval de la zone étudiée, et d'améliorer la productivité agricole ou forestière.

- **Le reboisement** : Plantation en parcelles d'une dizaine d'espèces qui constituent la strate arborée, sont à base de : chêne vert (*Quercus rotundifolia*), genévrier rouge (*Juniperus phoenicea*), genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), thuya (*Tetraclinis articulata*), et le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*).

Un couvert végétal est d'autant plus efficace pour réduire l'érosion qu'il dissipe l'énergie des gouttes de pluie, qu'il ralentit l'écoulement des eaux à la surface du sol et pour maintenir une bonne porosité superficielle en évitant l'encroûtement superficiel (**Roose, 1996 ; Sabir & Roose, 2004**).

3- Les aménagements mécaniques :

3-1-Description des seuils de correction mécanique :

La construction d'un seuil fait appel à divers types de matériel. Le type et le choix de l'ouvrage revient au spécialiste de correction torrentielle. Ils doivent être pris en compte pour le dimensionnement, l'emplacement et l'espacement, l'importance du transport solide, la pente initiale, la pente de projet et les risques de chocs dynamiques sur les ouvrages. Ces ouvrages de correction des ravins ce sont des petits barrages de stabilisation ou des seuils qui présentent généralement un déversoir dans leurs parties centrales et sont implantés en escalier. Cette disposition permet une dissipation de l'énergie d'écoulement et conduit progressivement à une modification de la pente vers la pente d'équilibre. Ils sont construits au travers du lit d'un ravin. Et ils sont placés perpendiculairement à l'axe du lit pour arrêter l'érosion en profondeur et sur les côtés, pour retenir les matériaux charriés, et pour stabiliser les éboulis des berges en leur procurant un appui.

Existe autant de types de seuils selon les matériaux de construction utilisés :

- **Les seuils en pierres sèches** : sont des seuils construits uniquement en pierre sans d'autre élément de consolidation. Ils sont utilisés pour les petites et moyennes ravines sur des pentes faibles (**Leblond et Guerin, 1984**), ils sont souples et peuvent s'adopter aux modifications du terrain en comblant les ravinements qui pourraient se produire sous barrage, ils ne dépassent pas 3 mètres de hauteur et ils ne sont jamais implantés dans les terrains argileux.
- **Les seuils en gabion** : Les gabions ce sont des caisses métalliques en grillage galvanisé qui servent à constituer le corps des ouvrages et qui est remplie de pierres soigneusement rangées. Ce sont particulièrement recommandés pour les terres argileuses ou marneuses (**Greco, 1966**), car ils se prêtent avec une

certaine souplesse aux affouillements et aux mouvements du sol. Ces seuils sont utiles pour la correction des ravins à largeur importante et permettent une bonne stabilisation des berges.

Le remplissage des gabions par des pierres qui doivent répondre à une certaine caractéristique pour assurer un bon fonctionnement et une bonne résistance des seuils, on utilisera les :

- ❖ Matériaux durs non poreux ni friables.
 - ❖ Pierre de diamètre supérieur au moins de 1,5 fois de la grosseur des mailles.
 - ❖ Les dimensions de l'ouvrage (hauteur et largeur) sont en fonction de la largeur et profondeur de la ravine.
 - ❖ De préférence la hauteur de l'ouvrage ne doit pas dépasser les 3 mètres.
-
- **Les seuils en maçonnerie ou en béton** : Ce sont des barrages très solides construits en bétons dans les talwegs ayant une section étroite (généralement ne dépasse pas 25 m), et une pente supérieure à 10 %. Selon **Nahal (1975)**, ces seuils sont utilisés pour des écoulements importants et pour des hauteurs de chute supérieure à 3 m. Ce type d'aménagement est déconseillé dans les terrains excessivement gréseux et poreux (danger d'érosion latéral qui augmente avec la plus forte perméabilité du terrain), et leur coût très élevé.. Pour assurer une solidité suffisante au seuil il faut les ancrés dans les berges de la ravine d'une manière réfléchie (pour transmettre une bonne partie de la pression), et qu'il soit bâti sur des fondations profondes.



Figure 3: (a); Seuil en pierres sèches, (b); Seuils en maçonneries, (c); Seuils en gabions

3-2-Mise en place des seuils

Le nombre de seuils installés sur un ravin est en fonction de deux paramètres. Le premier est lié au ravin et l'autre est lié au seuil proprement dite.

- Paramètres liés au ravin : longueur du ravin, sa pente et sa profondeur ; Plus la pente est élevée, plus l'écartement entre les seuils est faible et le nombre de seuils est élevé.
- Paramètres liés au seuil : la hauteur effective choisie pour les seuils.

La compréhension de la distance requise entre les seuils est nécessaire pour la planification et la conception optimale des seuils luttant efficacement contre l'érosion (Hassanali et Beecham, 2009).

Deuxième partie : Matériels et Méthodes

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

1- Contexte géographique

La vallée d'Ourika se situe à 35 km de Marrakech, entre la latitude Nord 30° et $31^{\circ}20'$, et entre la longitude West $7^{\circ}30'$ et $7^{\circ}60'$. Elle s'étale sur une superficie de 503 km^2 . Le bassin versant de l'Ourika fait partie de la rive gauche du grand bassin de Tensift (le versant Nord du Haut Atlas). Il est limité au Nord par la plaine du Haouz, au Sud par le bassin versant de Tifnout, à l'Est par celui de Zat et à l'Ouest par celui de Rheraya. Il se répartit principalement sur trois communes rurales celle d'Ourika, Setti Fadma et Oukaimden.

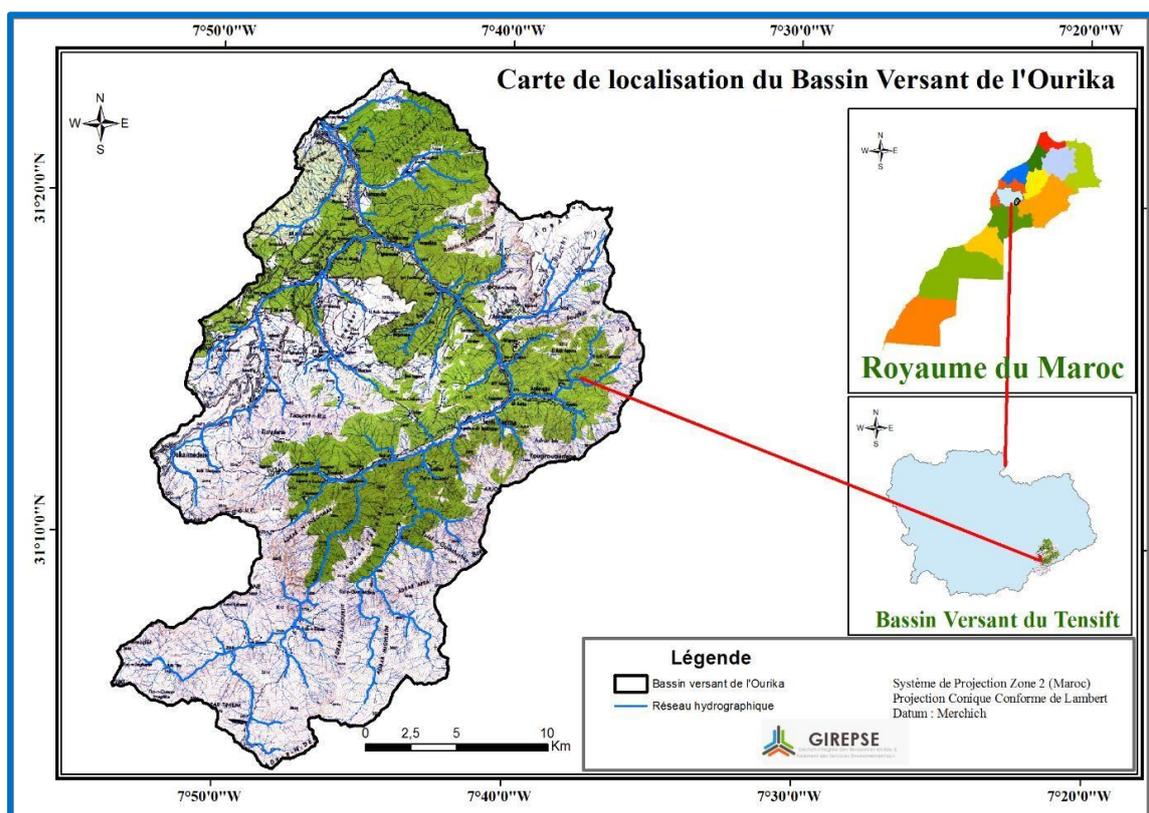


Figure 4: Carte de situation géographique du bassin versant d'Ourika à Aghbalou

2- Caractéristiques géométriques

Cet axe est consacré à une description générale du bassin versant de l'Ourika, afin de définir ses caractéristiques morphologiques. Nous parlons donc d'altitudes, pentes, forme, superficie, périmètre... Ces agents ont une importance majeure puisqu'ils interviennent et souvent combinés, dans la vitesse et le type d'écoulement qui influence fortement la réponse hydrologique du BV et notamment le régime des écoulements en période des crues.

Tableau 3: Caractéristiques morphologiques du bassin versant de l'Ourika jusqu'à Aghbalou

Périmètre (km)	104
Superficie (km ²)	503
Indice de compacité (K _C)	1.3
Longueur du cours d'eau principal (Km)	45.5
Longueur du rectangle équivalent (Km)	39.2
Largueur du rectangle équivalent (Km)	12.8
Altitude maximale (Km)	4001
Altitude minimale (Km)	1070
Altitude médiane (Km)	1750
Altitude moyenne (Km)	2500
Pente moyenne du cours d'eau principal	2.15%
Pente moyenne des principaux affluents	9.35%
Pente moyenne des versants montagneux	35%

- **Superficie et périmètre :** La superficie et le périmètre sont les deux paramètres qui influencent la durée et la vitesse de l'écoulement superficiel, autrement dit un petit bassin réagit lentement à une averse. Pour notre bassin versant, il occupe 503 km² sur un périmètre de 104 km.
- **Forme :** Pour caractériser et comparer entre les bassins versants, il existe plusieurs indices parmi lesquels l'indice de Gravelius K_G (indice de compacité).

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K_G : l'indice de forme de Gravelius.

A : la surface du bassin versant Km^2 .

P : le périmètre du bassin versant Km

Cet indice sert à qualifier la forme d'un bassin versant par le rapport entre le périmètre d'un bassin versant à celui d'un cercle de même surface. Dans notre cas $K_G=1.3$, donc le bassin versant de l'Ourika est souvent parmi les bassins à forme allongée c.-à-d. trois fois plus long que large, de ce fait cette forme favorise que la durée de rassemblement des eaux superficielles est longue.

3-Caractéristiques topographiques

Plusieurs paramètres hydromorphologiques varient avec l'altitude comme l'humidité, la température, les apports pluviaux. En plus, la pente qui a des influences sur la vitesse d'écoulement des eaux superficielles. Le relief peut se déterminer au moyen d'indices ou de caractéristiques topographiques suivantes :

3-1- Pente :

La pente est l'un des paramètres qui désigne une importance dans l'aménagement du bassin versant, car elle détermine le temps de concentration des eaux qui s'écoulent vers l'exutoire. Donc elle indique la phase érosive du cours d'eau dans les zones à pentes très fortes, là où se produit un ruissellement torrentiel. Au contraire, la pente faible en plaine se traduit par la prédominance de la sédimentation et l'infiltration des eaux vers la nappe des eaux souterraines. Au niveau du bassin versant de l'Ourika les pentes sont dans l'ensemble fortes. Ils varient entre 0° et 71° . 51

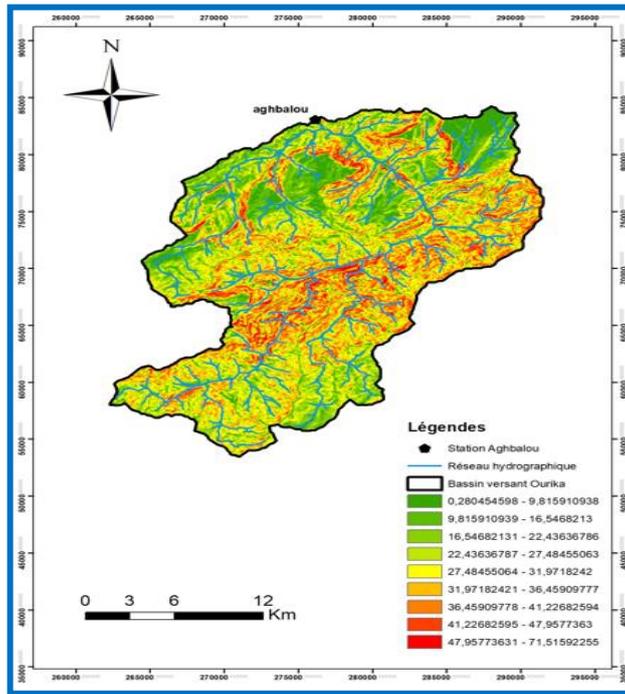


Figure 5: Carte de la pente du bassin versant de l'Ourika

3-2--Carte hypsométrique :

C'est une carte qui représente la variation spatiale des tranches d'altitudes du bassin versant en fonction des superficies. Dans le bassin versant de l'Ourika, la répartition altimétrique varie entre 4000 m au point le plus haut et 848 m à l'exutoire (la station d'Aghebalou).

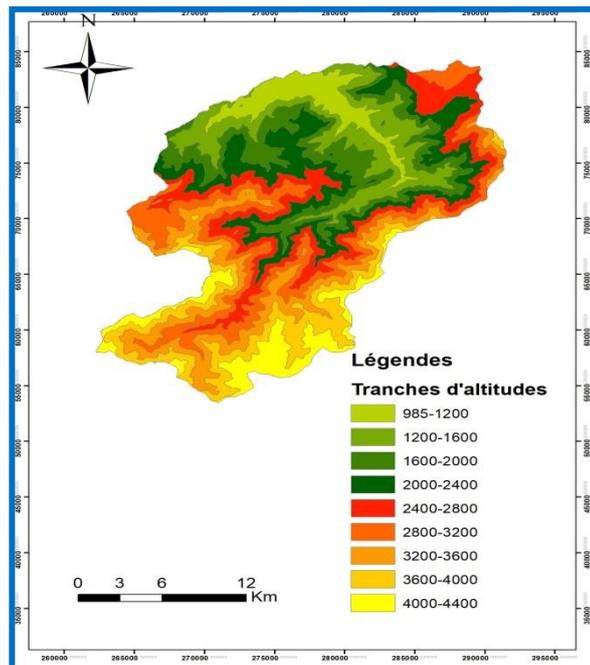


Figure 6: Carte hypsométrique du bassin versant de l'Ourika

3-3-Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est l'ensemble des ruisseaux de drainage permanents ou temporaires, considéré comme l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin versant.

Cependant, dans la partie amont du bassin versant de l'Ourika, le réseau hydrographique est fortement développé du fait de la présence d'un socle précambrien imperméable (granite, granodiorite, gneiss), d'un relief qui est très accidenté et d'une couverture végétale notamment limitée. En revanche sur la plaine (partie aval), par l'existence d'un relief plus ou moins modéré, des terrains moins résistants et peu perméable et d'une couverture végétale abondante que celui de l'amont, donc le réseau hydrographique est moins développé.

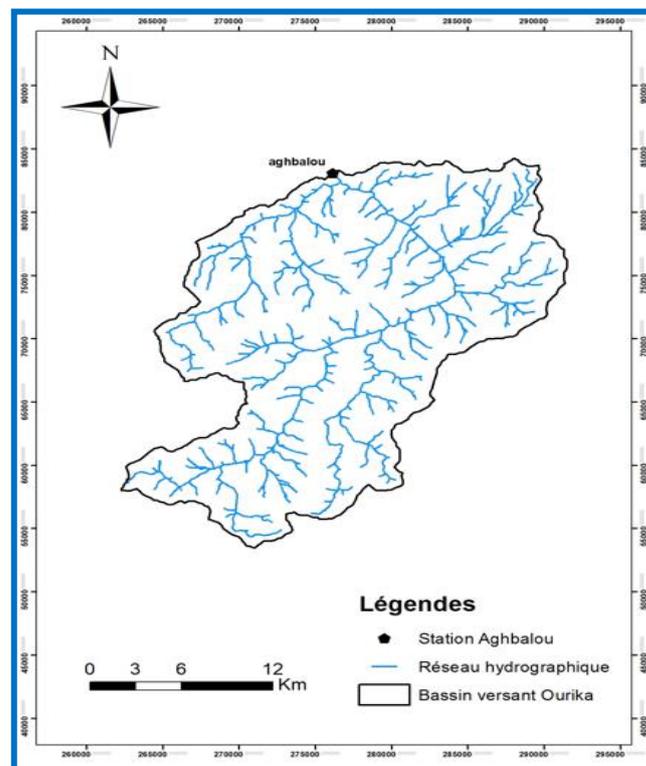


Figure 7: Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika

3-4-Carte d'exposition des versants :

L'exposition aux flux humides du Nord-Ouest, des bassins versants du Haut Atlas orienté vers le Nord et vers l'Ouest, accentue davantage l'humidité qui est encouragée par la faible exposition des adrets aux rayonnements solaires. De ce fait Il en résulte des précipitations beaucoup plus importantes au niveau de ces bassins versants.

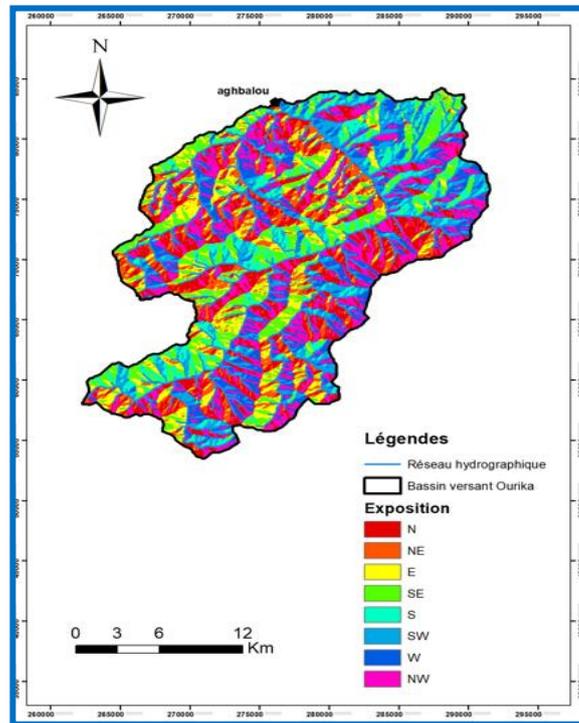


Figure 8: Carte d'exposition des versants du bassin versant de l'Ourika

4-Contextes pluviométrique et hydrométrique dans le bassin versant de l'Ourika

Les données des précipitations et des débits sont principalement recueillies à la station d'Aghbalou qui se situe à l'exutoire du bassin versant de l'Ourika, aux coordonnées Lambert suivantes :

$$\mathbf{X = 276.150, Y = 83.050, Z = 1070 \text{ m (NGM)}}$$

Avec **NGM** : Niveau moyen de la mer

Ces données des précipitations et des débits du cours d'eau sont fournies par l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT). C'est un organisme gouvernemental qui gère les stations climatiques et hydrométriques et veille à leur bon fonctionnement. Pour l'analyse de ces données, il a été choisi de travailler à différents pas de temps pour établir une comparaison, à l'échelle mensuelle, saisonnière, et annuelle.

4-1- Contexte pluviométrique :

4-1-1- Variation annuelle :

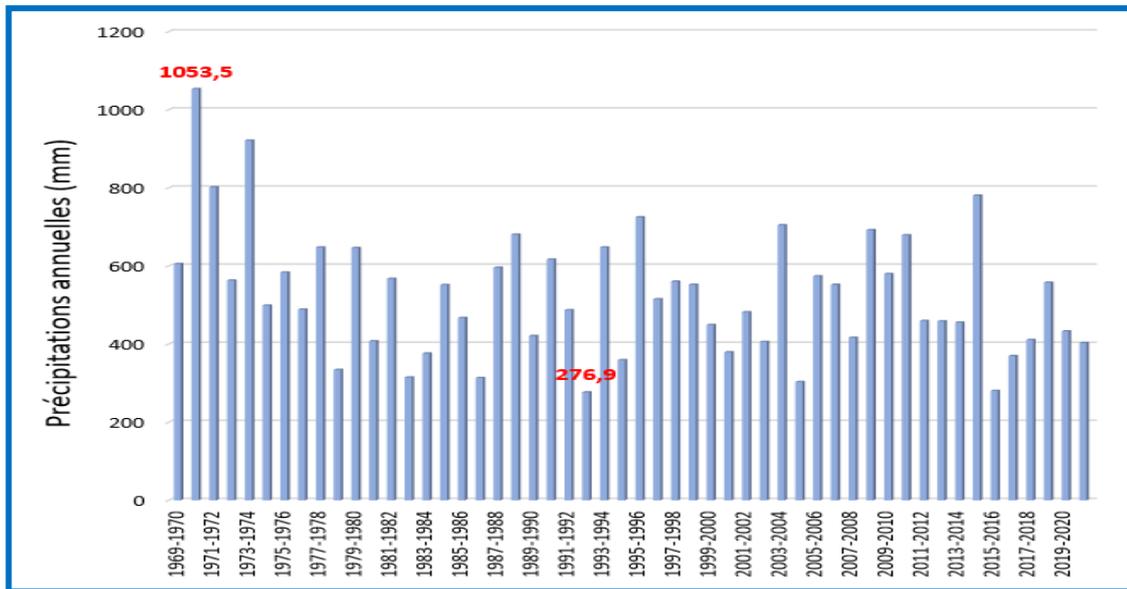


Figure 9: Précipitations annuelles d'Aghbalou 1970/2021 en (mm).

Au cours de la durée qui s'étant depuis 1970 jusqu'à 2021, la pluviométrie a connu une forte irrégularité interannuelle, traduite par le climat semi-aride de la zone d'étude. D'après cette courbe on en déduit que les années exceptionnellement pluvieuses sont les années 1970-1971, 1973-1974 et 1995-1996.

4-1-2- Variation moyenne saisonnière :

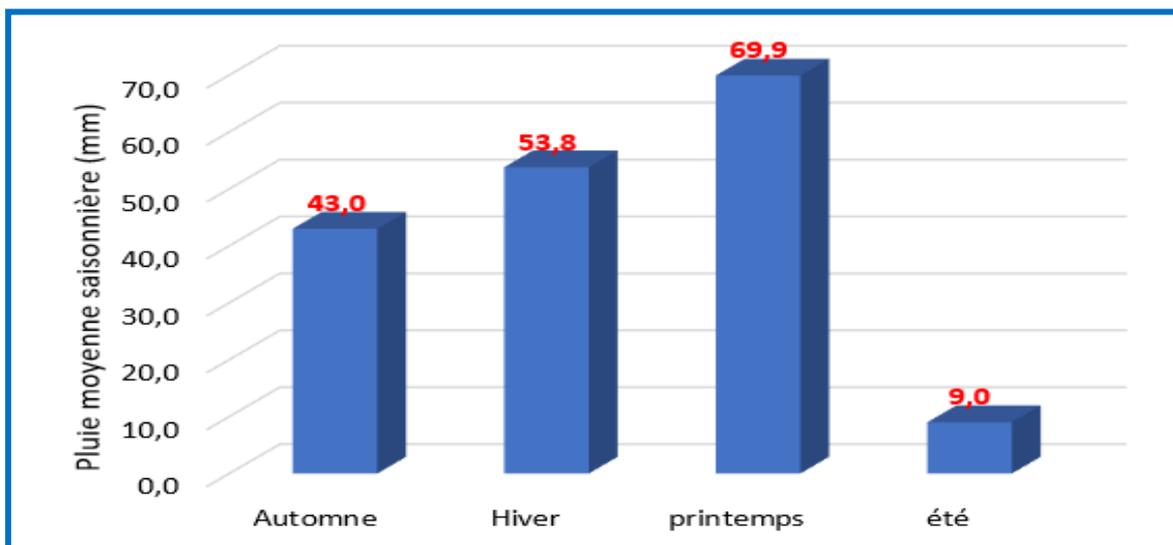


Figure 10: Précipitations moyennes saisonnières d'Aghbalou 1970/2021 en (mm)

La période saisonnière pluviométrique est constituée de trois phases :

- Une phase plus pluvieuse : l'hiver et le printemps d'une moyenne respectivement de 161.4 mm et 209.8 mm.
- Une phase moyennement pluvieuse : l'automne d'une moyenne de 129.0 mm.
- Une phase sèche : l'été d'une moyenne de 27.0 mm.

4-1-3- Variation moyenne mensuelle :

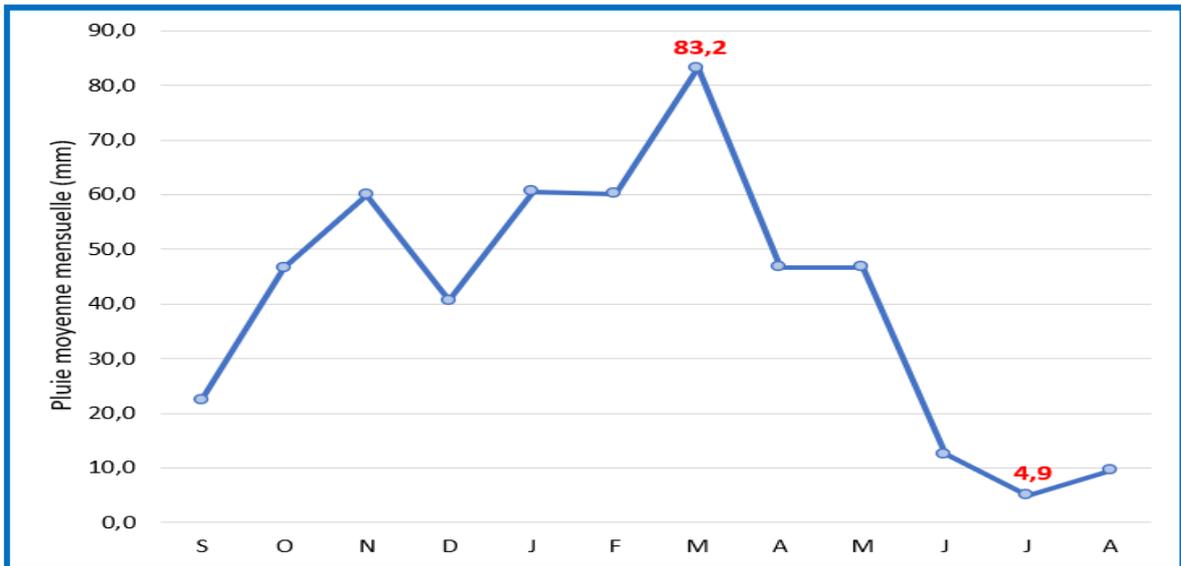


Figure 11: Précipitations moyennes mensuelles d'Aghbalou 1970/2021 en (mm).

La hauteur des précipitations croit progressivement à partir du mois de septembre jusqu'à le mois novembre. Puis elle diminue dans le mois de décembre et reprend sa remontée jusqu'à le mois Mars où elle atteint son maximum (83.2 mm). Après elle décline pour atteindre son minimum (4.9mm) au mois de Juillet à partir duquel elle reprend sa remontée.

4-2-Contexte hydrométrique :

4-2-1- Variation moyenne annuelle :

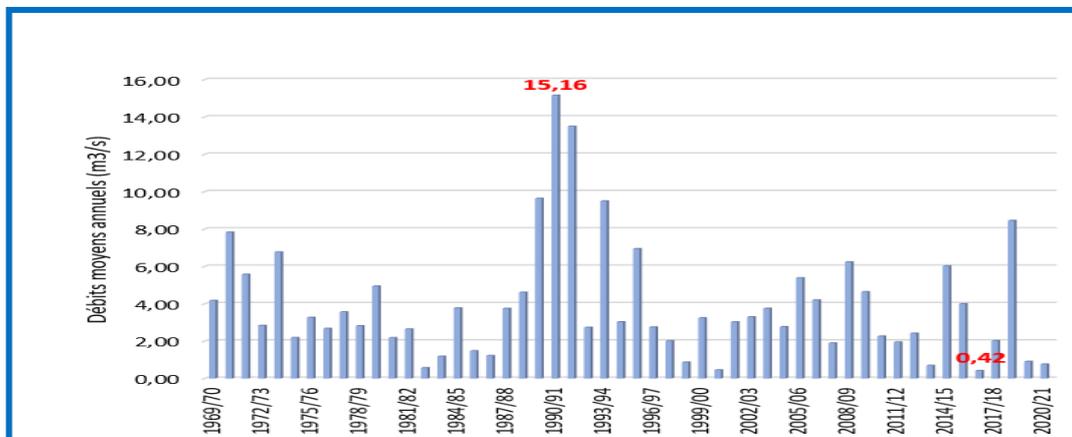


Figure 12: Débits moyens annuels d'Ourika 1970/2021

La courbe montre une irrégularité des débits au cours de ces 51 ans. En effet la station d'Aghbalou enregistre des intensités importantes dans les débits pour l'année 1990-1991 avec une valeur maximale de 15.16 (m³/s).

4-2-2- Variation moyenne saisonnière :

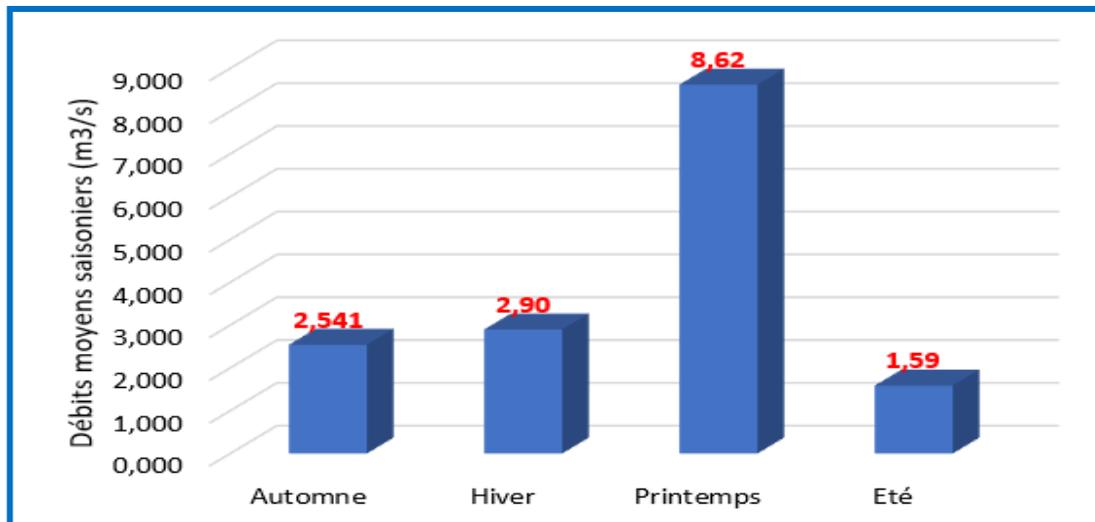


Figure 13: Débits moyens saisonniers d'Ourika 1970/2021

Les débits du printemps sont les plus élevés (8.62m³/s), suivi par ceux de l'hiver puis d'été avec des moyennes respectives de (2.90m³/s) et (2,54 m³/s). Les écoulements d'automne sont les moins importants avec une moyenne de (1,59 m³/s).

3-2-3- Variation moyenne mensuelle :

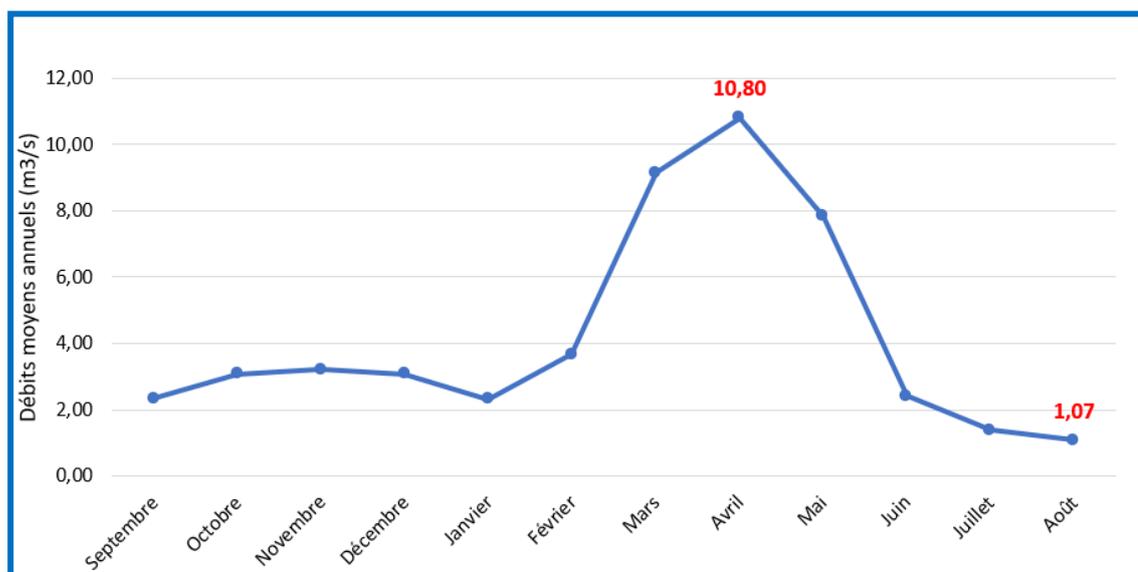


Figure 14: Débits moyens mensuels d'Ourika 1970/2021

Semblablement à la courbe des précipitations, la courbe des débits croît progressivement à partir du mois de Septembre jusqu'à ce qu'elle atteigne son maximum (10.80mm) au mois d'Avril. Puis elle décline pour atteindre son minimum (1.07mm) au mois juillet à partir duquel elle reprend sa remontée.

5-Inondations :

Le bassin versant de l'Ourika est un environnement propice au développement à des risques d'orages fréquents et violents, où le taux du couvert végétal reste faible. La quasi-totalité de la superficie de ce bassin versant est soumise à une érosion forte à très forte, ce qui implique des risques de crues exceptionnelles et des menaces d'inondation. Les données hydrologiques recueillies dans la station d'Aghebalou, relatives aux débits des crues enregistrées dans le passé ont montré que la vallée d'Ourika pourrait être inondée plusieurs fois durant une même année. Les crues les plus importantes ont eu lieu en 1925, 1949, 1967, 1980, 1995 et 1999 (**Doukkali, 2003**).

La plus dévastatrice sur les plans humain et matériels de ces crues a été celle d'août 1995 : La crue n'a duré que 3 heures, avec un temps de montée très bref : dix minutes. A la station d'Aghbelou, un débit de 1030 m³/s a été enregistré. 680 m³/s a été enregistré à Tahanaout. Les dégâts ont été estimés à 210 personnes disparues majoritairement des touristes, et des dégâts matériels de 70 millions de Dirhams (**Saidi & al., 2010**). Ces débits de pointes correspondent aux débits maximaux annuels de périodes de retour de 30 et 100 ans respectivement (**Doukkali, 2003**).

6-Contexte pédologique :

Sous l'influence des facteurs climatiques et la végétation au niveau de la vallée de l'Ourika, la nature lithologique du substrat donne naissance à des différents types des sols :

- **Les sols minéraux bruts** : appelés aussi les sols squelettiques à affleurement rocheux, résultant de l'altération des formations géologiques éruptives et métamorphiques (granite, dolorite et migmatite). Ce type de sol est défavorable à l'installation de la végétation sous les conditions de sécheresse. Mais, ils sont couverts généralement de matorral, de chêne vert rabougri, d'oléastre et de caroubier.
- **Les sols rouges fersialitiques** : sur les cônes de l'Ourika affleure des sols très favorables à une agriculture irriguée, au moins dans leur partie amont. Ce type de sol résulte de l'altération des grès rouges du permotrias sous des conditions climatiques assez chaudes, et souvent caractérisé par une texture argilo-sableuse qui garantit un terrain poreux perméable.

- **Les lithosols** : les flyshs schisteux gréseux, sur les versants secs avec une faible couverture végétale, ne sont pas évolués pour donner naissance à un sol. Cependant ce milieu est constitué de formation dure non carbonatée couvert de reboisement de pins.

7- Contexte géologique et Lithologie :

Sur le flanc Nord de l'Atlas de Marrakech se situe notre bassin versant où se manifestent deux parties :

- **Une partie amont (méridionale)** : Sur les hautes altitudes supérieures à 2000 m, le socle de la chaîne atlasique est constitué des mosaïques cristallines imperméables qui sont propices à un ruissèlement rapide des eaux de pluie. On y rencontre des roches magmatiques notamment des roches plutoniques (granites et granodiorites), des roches volcaniques (andésites, rhyolites) et des faciès métamorphiques (gneiss et migmatique).
Une partie avale (septentrionale) : Sur les altitudes inférieures à 2000 m se rencontrent les dépôts permo-triasiques et quaternaires plus tendres. La lithologie du permo-trias est composée d'un faciès Nord, subatlasique, formé de conglomérats, grès et siltites, et d'un faciès Sud des hauts plateaux, formé essentiellement de siltites argileuses et localement de grès massifs.

Afin d'étudier les observations lithologiques extraites de la carte géologique 1/ 500 000 et des prospections de terrain, les roches tendres à moyennement tendres expriment une étendue inférieure à 40 %. Tandis que le substrat dur représente jusqu'à 65%. Quant aux blocs et galets charriés par l'Ourika dérivant absolument du socle de la partie axiale de la chaîne atlasique. En ce qui concerne les matériaux latéraux plus tendres prenant naissance des versants, leurs entrées au niveau des drains principaux sont très variées : matériaux alluviaux et matériaux non alluviaux.

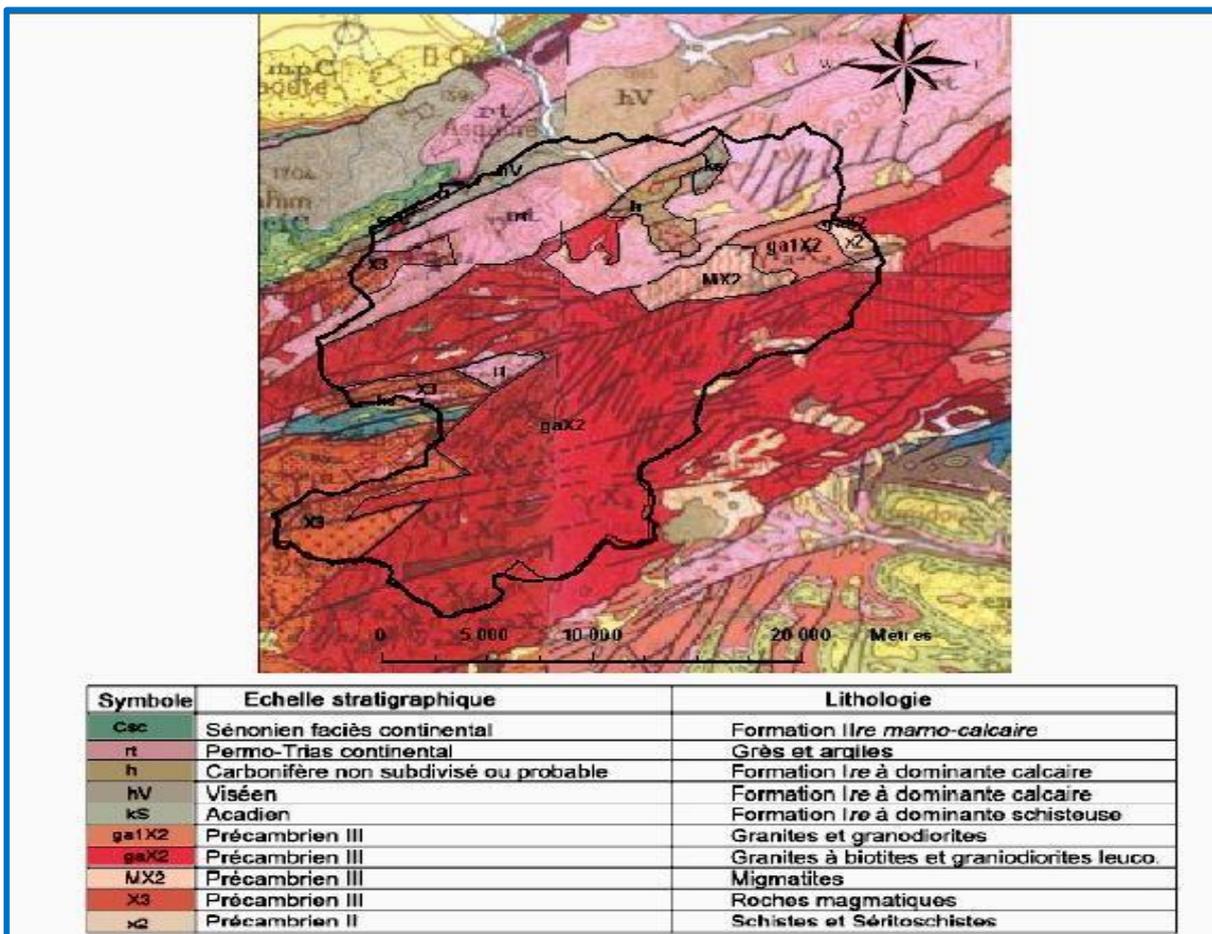


Figure 15: Carte géologique du bassin versant de l'Ourika (Extraite de carte géologique de Marrakech au (1/500 000))

6- Végétation et Occupation des sols :

Selon l'acteur **Mr Rihane en 2015**, le sol dans le bassin versant de l'Ourika est occupé de la façon suivante :

- **Les forêts** représentent 31,41% de la superficie du bassin versant : on y retrouve les forêts denses (3,77%) composées essentiellement du *chêne vert*, du *genévrier rouge*, du *lentisque*, du *thuya*, de *l'oléastre*... ; les forêts moyennement denses

(10,54%) de la même composition floristique ; les forêts claires (3,97%) et les forêts très claires (16,40 %).

- **Le sol nu, le matorral et les vides assylvatiques** constituent environ 64,68% de la superficie du bassin versant.
- **Les cultures en terrasses et arboriculture** représentent 3,91 % de la superficie du bassin versant.

On constate qu'une superficie assez importante du bassin versant de l'Ourika est occupée par un champ forestier, néanmoins son état est très dégradé et clairsemé sur une grande partie de cette superficie.

8-Aspects socio-économiques :

D'après le recensement (2014, RGBH), la population sur le bassin versant de l'Ourika est estimée à 66306 habitants, Avec une densité de l'ordre de 115 habitant/Km², dispersée sur 12659 foyers.

L'agriculture opérée sur les terrasses et la vallée, est considérée comme étant la principale origine de nourriture de la majorité de la population telle que 95% des cultures exploitées s'étalent sur une superficie inférieure à 5 ha. En ce qui concerne les cultures annuelles, les céréales occupent la première place avec des pourcentages qui atteignent 90 % dans certaines exploitations agricoles de la zone (à l'Est du bassin versant).

Parmi les céréales, l'orge occupe 60 à 90 % des cultures annuelles, la part restante revient au maïs. Le maraîchage et l'arboriculture à base de noyer, pommier et cerisier qui sont relativement plus pratiquée et lucrative. L'élevage est de type extensif et le cheptel est constitué de caprins (17700) et d'ovins (19800) pâturant principalement en forêt (HCEFLCD, 2012). Cependant, les conditions de vie de la population sont difficiles en raison du faible revenu généré par l'agriculture et l'élevage, de l'enclavement des douars et du manque des infrastructures et équipements sociaux.

9-Aménagements mécaniques antiérosifs du Bassin versant de l'Ourika

Pour lamener les écoulements dans les différents ravins qui sillonnent la vallée de l'Ourika, briser la vitesse des eaux de ruissellement, retenir les éléments solides et pour laisser couler l'eau afin que l'oued atteigne son profil d'équilibre pour un écoulement normal..., un vaste programme de correction torrentielle a été entrepris dans le cadre du projet du développement du bassin versant d'Ourika. Parmi ces techniques figurent les techniques biologiques et les techniques mécaniques.

Les ouvrages de correction mécanique sont constitués soit en pierres sèches installés dans les ravins de faible débits (d'ordre 3 et 4), seuils en gabions ou en maçonneries cimentés qui sont construits au niveau des ravins plus important qui drainent l'Oued d'Ourika (ravin d'ordre 1 à 2).

Depuis 2001, date du lancement de projet Ourika et jusqu'en 2006, 48 279 842 Dirhams ont été investis avec un volume réalisé en matière de traitement mécanique de 156 741 m³ de matériaux et dont le coût de réalisation ces traitements s'élève à 50 973 600 Dirhams.

Tableau 4: Quantité (m³) de seuils réalisés au niveau des différents sous bassins (DREF, 2010)

Sous Bassin versant	Seuils en maçonnerie		Seuils en gabion		Seuils en pierres sèche		Total	
	Quantité (m ³)	Nombre						
Aït Machkou r Anins	200	3	700	6	1100,00	138	2000,00	147
Tizi N'Oucheg	935,5	3	1061,37	9	2002,50	139	3999,37	151
Anammar	500,27	3	4185,69	27	2626,5	352	7312,51	382
Ouigrene	367,71	2	1696,60	20	12 466,34	1171	14 530,65	1193
Amloughi	1910,00	10	1754,01	12	6778,13	516	10 422,14	538
Assni	1803,08	17	11 346,87	81	21 335,67	1011	34,485,2	1109
Assif Noussel	2404,67	15	9318	75	2590,69	198	14 313, 52	288
Assif Nouzrou	1548,89	19	3773,05	29	6604,26	587	45 930,20	635
Chiker	254,38	5	2773,55	25	1514,96	175	4288,51	200
Tighziret			514,11	8	2356,99	145	3125,48	158
Agouns			4888,09	52	12 630,77	1152	20 531,76	1217
Om Lahoua	3012,90	13	901,35	4	3910,04	336	4811,93	340
Aït Amer			1600,00	8	1400	88	1600,00	8
Agaiouar			1600,00	12			3000,00	100
Total			0				0	0
Total	12 937,40	90	46116,85	368	77 316,90	6008	136371,15	6466

Chapitre 2 : Méthodologie

Face à la dégradation des écosystèmes dans les montagnes, le Maroc entreprend un programme de grande envergure visant à lutter contre l'érosion et la dégradation du sol par des aménagements antiérosifs appropriés. Malgré tous ces investissements, l'érosion hydrique continue à se manifester d'une manière de plus en plus dangereuse provoquant régulièrement des dégâts aux cultures, routes et autres infrastructures. L'efficacité de ces aménagements reste encore discutable. A cet effet notre travail contribue à mettre en évidence une démarche méthodologique qui repose essentiellement sur :

- Une description des différentes techniques mises en œuvre dans le bassin versant de l'Ourika.
- Une visite de prospection sur le terrain.
- Une évaluation de l'état des ouvrages prospectés en utilisant une grille d'évaluation.

1. Projets, études et travaux d'aménagement antérieurs: synthèse sur les différentes techniques mises en œuvre dans le bassin versant de l'Ourika

Cette partie repose sur l'analyse des :

- Notes, rapports et études d'aménagement réalisés par l'administration des eaux et forêts.
- Carte interactive du projet GIREPSE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau & Paiement des Services Environnementaux), publiée le 03 Aout 2017. La carte présente et décrit les points d'intervention de correction mécanique et mesure de restauration des ravins de l'Oued Ourika. Elle fait une synthèse de l'état des aménagements de correction torrentielle des ravins. Il s'agit du type de l'ouvrage, des renseignements sur le nom de la commune et le nom du douar où se trouve le ravin traité, le degré de destruction des seuils, le type de la végétation en amont et la quantité des sédiments retenus, etc.

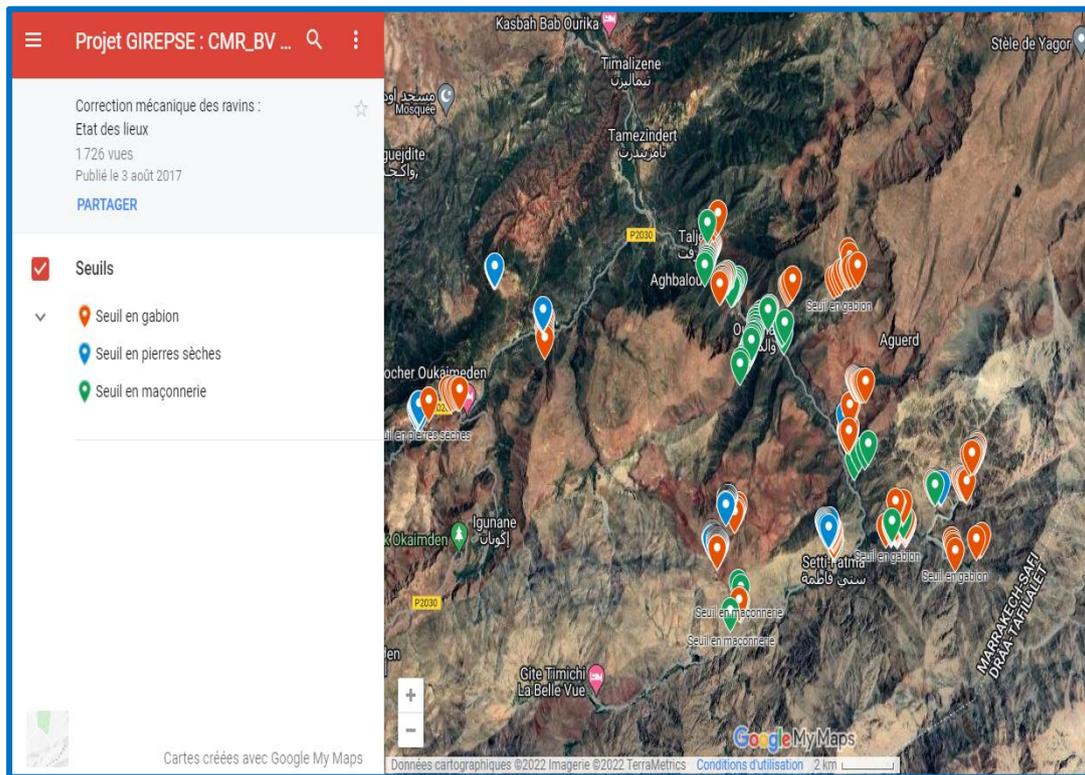


Figure 16: Carte interactive sur l'état des lieux des corrections mécaniques des ravins de l'Oued Ourika (année 2017) et mesures de restauration

2. Prospection de terrain :

Cette visite a été effectuée le 10 juin 2022, dans la région d'Oualmès où se concentre la majorité des interventions antiérosives. La région d'Oualmès se situe à 56 km au Sud de Marrakech.

La visite de prospection sur le terrain a une importance considérable. L'objectif de cette mission était de se familiariser avec le milieu et aussi pour collecter quelques informations à savoir : une idée générale sur les particularités de la zone d'étude et toucher de près la problématique centrale de façon concrète.

3. Evaluation de l'état des ouvrages prospectés en utilisant une grille d'évaluation :

A la lumière du terrain, nous avons abordé notre problématique en trois angles différents :

- **L'état des seuils.**
- **Les aménagements anti-érosifs des flancs des versants.**

- **La dynamique érosive dans l'environnement des seuils : indice de risque d'érosion.**

Ces paramètres peuvent être réalisés en se basant sur une grille d'évaluation qui se focalise sur les critères suivants :

-L'état des seuils ; Cet axe est consacré sur :

- Le type : seuils en maçonnerie, en gabion ou en pierres sèches.
- Le dimensionnement : longueur, largeur (épaisseur), hauteur.
- L'écartement moyenne entre les seuils en m.
- L'état de conservation ; un ouvrage est stable lorsqu'il tend à conserver sa position initiale sans déformation ou mouvement pendant une période assez longue : l'état de l'ancrage latérale des seuils, et l'état du déversoir.
- Le fonctionnement : la hauteur ensevelie et le taux de remplissage des seuils en amont par la charge solide.

-Les aménagements des flancs des versants :

La nature de traitement : Une vision purement mécanique de la correction torrentielle est cependant insuffisante, les aménagements associés aux travaux mécaniques de la conservation des sols sont représentés par les reboisements arboricoles et forestiers, les banquettes et les terrasses sur terrains.

Troisième partie : Résultats et Discussions

1-Etude générale des ouvrages de correction mécanique

Une étude exhaustive des différents ouvrages de correction mécanique installés dans le bassin versant de l'Ourika est synthétisée à partir des précédents rapports, notes et études réalisés dans la zone (étude d'aménagement du bassin versant de l'Ourika ; le projet GIREPSE). Elle a permis de faire sortir les travaux d'aménagement et de restauration ainsi que leurs caractéristiques techniques.

A- Nature des seuils

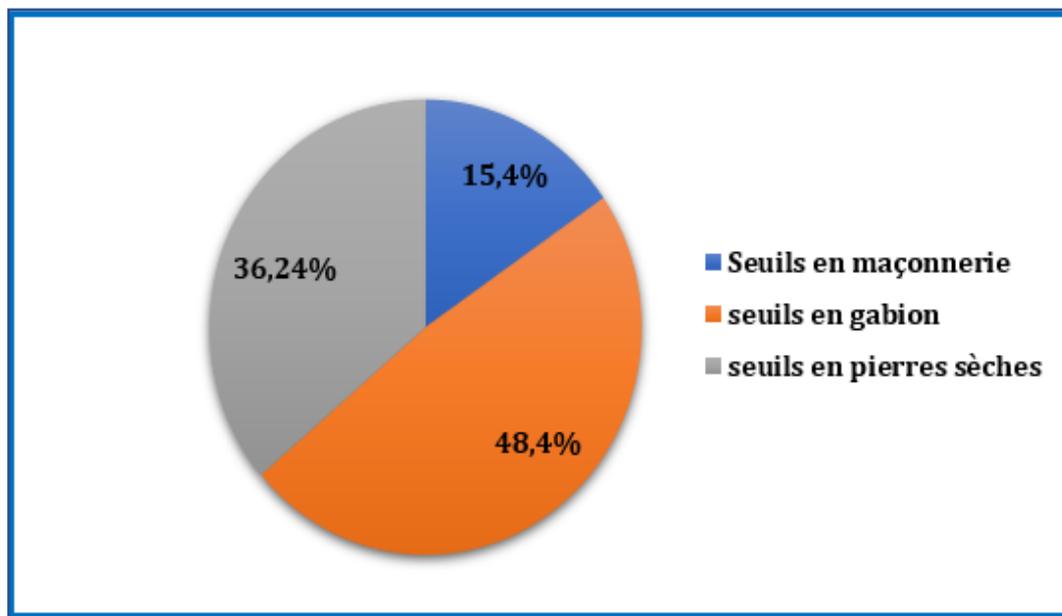


Figure 17: Répartition (en nombre) des seuils selon leur type

Avec un nombre de 378 seuils répartis sur les différents ravins du bassin versant de l'Ourika, les seuils en pierres sèches sont les plus nombreux (48.4%), puis les seuils en gabion (36.24%). A la fin on trouve les seuils en maçonnerie (15.4%).

B- Etat de conservation des seuils

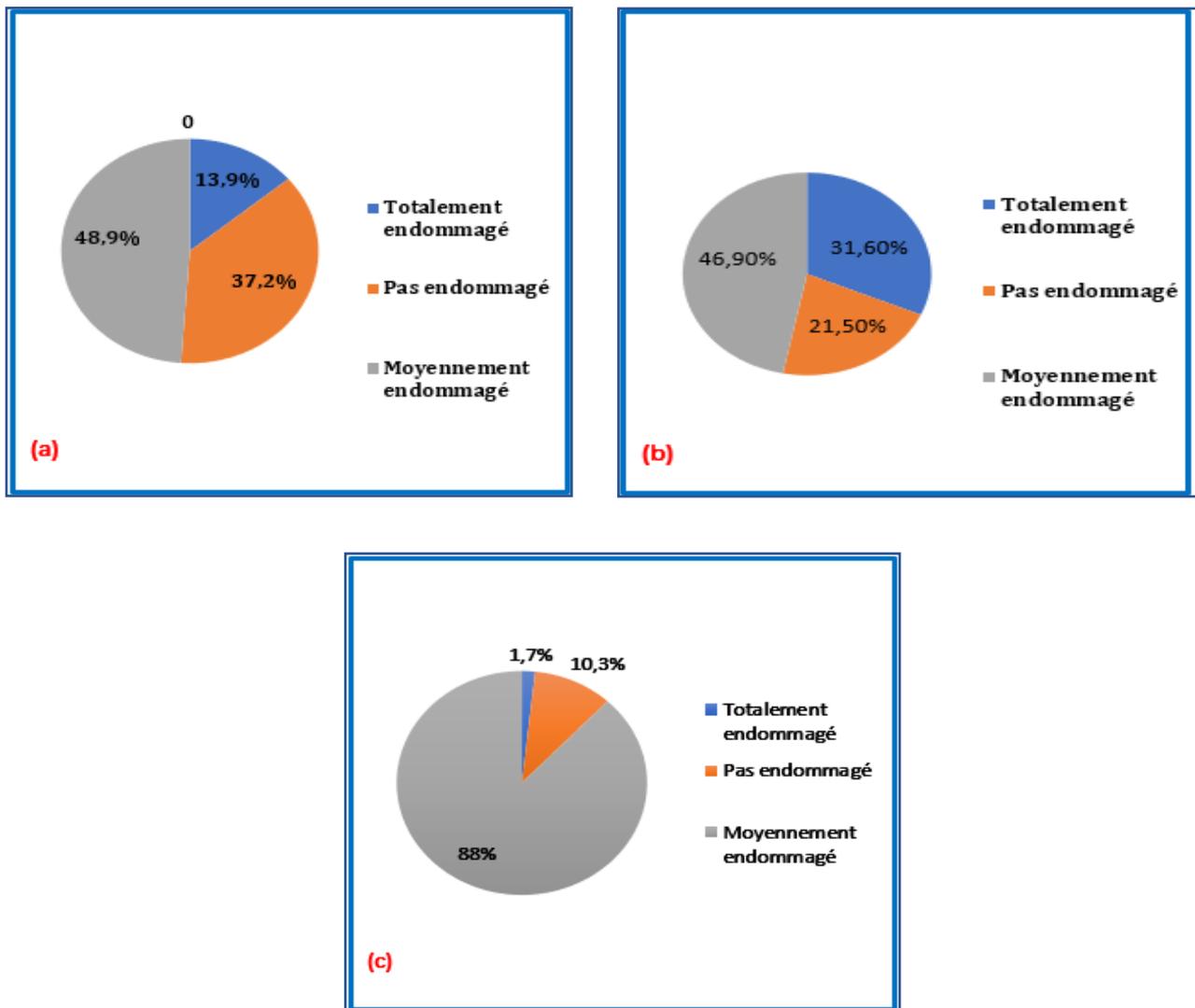


Figure 18: Degré de conservation; (a) : des seuils en pierres sèches, (b) : des seuils en gabion, (c) : des seuils en maçonnerie.

D'après l'analyse des 3 graphes ci-dessus, on remarque que : les seuils en maçonnerie ont un degré de conservation le plus élevé (88% moyennement endommagé), tandis que les seuils en pierres sèches et les seuils en gabion sont les plus endommagés, leur degré de destruction est respectivement 13.90% et 31.60%.

C- Degré de comblement par la charge solide des seuils

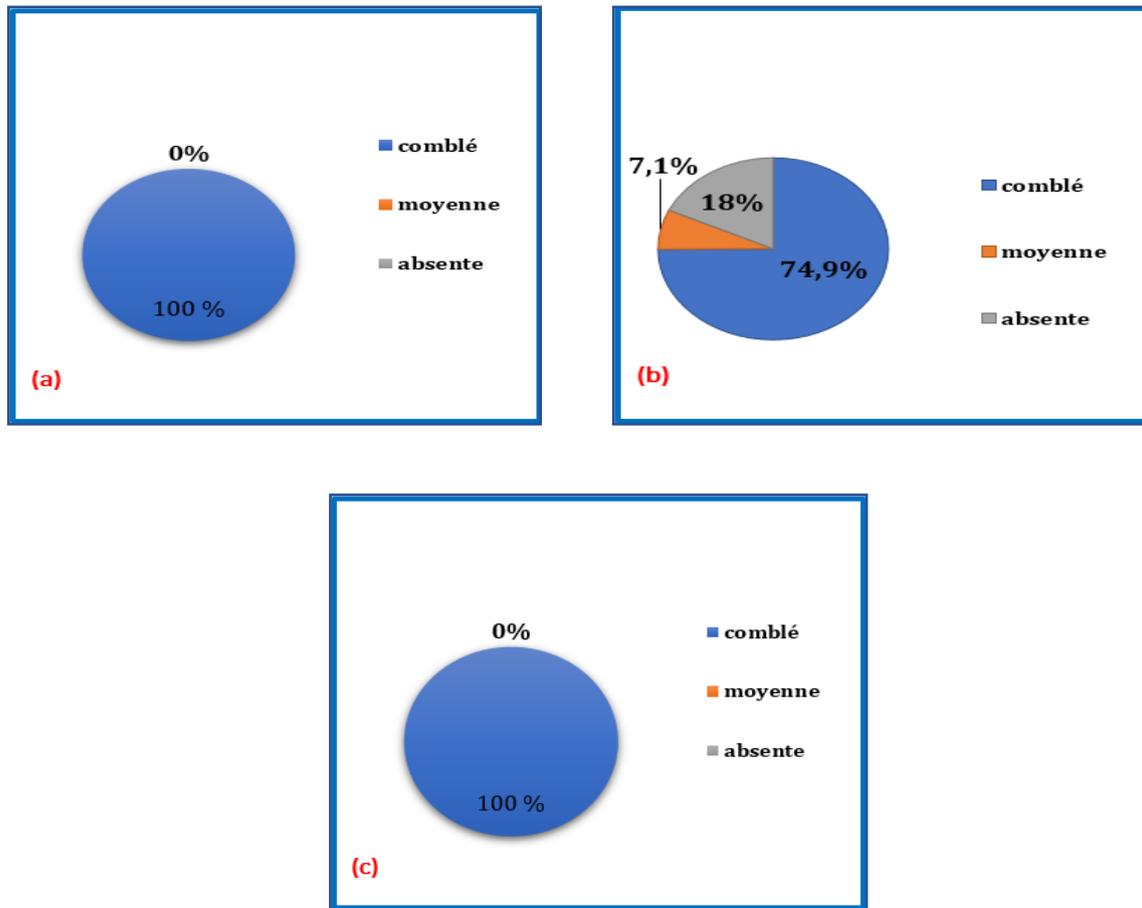


Figure 19: Degré de sédimentation : (a) ; Seuils en pierres sèches, (b) ; Seuils en gabion, (c) ; Seuils en maçonneries.

La figure 19 montre que les seuils en pierres sèches et les seuils en maçonnerie sont totalement comblés par la charge solide, tandis que les seuils en gabions sont encore actifs pour la rétention de la charge solide.

Plusieurs questions se posent alors quant à l'efficacité de ces ouvrages comblés pour retenir les charges solides. En effet, bien qu'ils jouent un rôle de casseurs de pente pour réduire l'énergie cinétique du ravinement, ils ne retiennent plus les matériaux mobilisés lors des crues. D'autre part, les autorités compétentes doivent renforcer ce dispositif de lutte par une augmentation de la densité linéaire.

2-Grille d'évaluation de l'état des seuils au niveau de la région d'Oualmas

Dans cet axe, une évaluation de l'état actuel des ouvrages de correction mécanique a été effectuée au niveau de 3 ravins des différents douars de la région d'Oualmas. Ceci est basé sur le constat d'une visite de ces ouvrages pour analyser leur état et leur fonctionnement. Au niveau de ces douars, un ensemble de 10 seuils ont été inventoriés et évalués. Ces seuils se répartissent en 4 seuils de maçonneries au niveau du premier ravin (R1). Trois autres seuils en maçonnerie au niveau du deuxième ravin 2 (R2) et 3 seuils en gabion au niveau du ravin 3 (R3). Le tableau 6 présente les caractéristiques techniques et d'état de conservation des seuils visités.

A partir du tableau 6 on peut sortir que la totalité des seuils en maçonnerie prospectés sont totalement remplis, donc ces seuils ne jouent plus le rôle de rétention de la charge solide mais ils interviennent d'une manière importante dans la correction de la pente du ravin traité. Et pour les seuils en gabion sont encore active pour retenir les sédiments en amont et aussi pour stabiliser la pente du ravin. Nous remarquons que l'écartement moyen entre les seuils n'est pas respecté entre les seuils en maçonnerie. Cela est expliqué par l'emplacement de ces ouvrages en aval du ravin où la pente est considérablement faible.

Par ailleurs, ces derniers sont bien ancrés dans les berges et les fonds malgré que leur âge soit assez long (20 ans).

Tableau 5: Etat des seuils dans les différents douars du bassin versant de l'Ourika

	Paramètres relatifs aux seuils Ravin 1				Paramètres relatifs aux seuils Ravin 2			Paramètres relatifs aux seuils Ravin 3		
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Type (g=gabion ; PS : pierres sèches ; M = Maçonnerie ; G = gabion)	M	M	M	M	M	M	M	G	G	G
Longueur	20	24	27	23	-	6	6.5	7.7	6.7	7.5
Hauteur	3	3.94	6.20	4.5	-	2.5	2.3	2.8	2.4	2.3
Largueur (épaisseur)	1.4	1.34	1.24	1.24	-	0.45	0.53	1.4	2.6	2.3
Hauteur ensevelie (couverte par les charges solides) en (m)	3	3.24	6.2	4.5	-	2.5	2.3	6.16	5.7	6
Taux de remplissage en amont par la charge solide en %	100	100	100	100	100	100	100	80	85	80
Etat du déversoir	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+
Etat de l'ancrage latérale des seuils (enterré ; semi-enterré ; déterré ;)	E	E	E	E	-	E	E	SE	SE	SE
Ecartement moyen entre les seuils en (m)	78.33				79			7.5		

Signification des symboles donnés aux critères : + : Non endommagé, - : Endommagé, E : Enterré, SE : Semi-Enterré

Dans la figure20 ci-dessous on trouve quelques seuils qui ont été indiqués dans le tableau 5 :



Figure 20: : (a) : Seuil1 en maçonnerie du ravin 1, (b) : Seuil2 en maçonnerie du ravin 1, (c) :Seuil 2 en maçonnerie du ravin 2, (d) : seuils en gabion du ravin 3, (e) : Déversoir endommagé du seuil 3 du ravin1

3-Classification des seuils selon l'érodibilité des terrains environnants.

Pour classer les seuils selon les variantes de leurs environnements et pour quantifier l'érosion de ravinement, en exploitant les résultats de la grille réalisée sur terrain, un indice de risque d'érosion **I** a été créé à la base des valeurs données pour chacune de ces variantes. Cet indice sert à qualifier l'adaptation de chaque seuil avec son environnement selon la formule suivante :

$$I_1 = P_1 / \sum P_i \quad \text{tel que : } P_1 = (x*y*z)^{1/3}$$

P_1 : le poids du seuil 1

x : la valeur donnée au facteur environnemental x

ΣP_i : la somme des poids des seuils

y : la valeur donnée au facteur environnemental y

I_1 : l'indice du seuil 1

z : au facteur environnemental z

Dans notre cas, (x) : la nature du substrat, (y) : le niveau d'artificialisation et (z) la couverture végétale étaient les variantes étudiées pour chaque seuil.

Tableau 6: Indice de risque d'érosion des seuils

Ravin	Ravin1				Ravin2			Ravin3		
	Seuil1	Seuil2	Seuil3	Seuil4	Seuil1	Seuil2	Seuil3	Seuil1	Seuil2	Seuil3
Indice	0.23	0.26	0.26	0.25	0.39	0.33	0.28	0.33	0.33	0.33

D'après le tableau 6 on peut déduire l'état de chaque seuil étudié, en effet les seuils qui ont un indice de risque d'érosion inférieur à 0.3 sont les moins menacés aux risques d'érosion, alors que ceux qui ont un indice compris entre 0.3 et 0.4 sont les plus exposés à cette dégradation.

4-Les aménagements antiérosifs sur les flancs des versants :

Face aux problèmes de l'érosion, les communautés rurales ont développé un savoir local et des stratégies de gestion des terres, de l'eau et de la fertilité des sols. Cette ingéniosité locale répond efficacement à cette problématique de dégradation des terres et sont bien adaptées aux conditions socio-économiques locales. Parmi les aménagements antiérosifs réalisés sur les versants (figure 21) on a rencontré :



Figure 21: (A), (b) et (d) : Culture en terrasses qui consiste à l'aménagement des terrains en terrasse ou planches horizontales étagées. (c) : Seguia qui sert à casser la pente, l'objectif principal de cet aménagement est le transfert de l'eau. (e) : Aménagement en banquette des versants, (f) : seuils en pneu vise à briser la vitesse des eaux de ruissellement.

Conclusion et Recommandation :

Le bassin versant de l'Ourika est un environnement propice au développement des phénomènes torrentiels fréquents, dévastateurs et catastrophiques dont la dangerosité résulte de leur soudaineté et leur rapidité ne laissant pas beaucoup de temps pour réagir. A cet effet, un projet de développement du bassin versant de l'Ourika était élaboré par le Haut-Commissariat aux Eaux et forêts (DREF/HA). Ce projet a essayé de traiter le problème d'érosion et des inondations dans le bassin versant de l'Ourika, il est financé par le fond Hassan deux pour le développement socio-économique avec un montant d'environ 1 000 000 000 DH.

Dans cette étude, nous avons fait une analyse des aménagements mécaniques anti érosifs réalisés dans le bassin versant de l'Ourika tel que : les seuils en pierres sèches (36.2%), les seuils en gabions (48.4%) et les seuils en maçonnerie (15.4%). La comparaison des différents types de seuils utilisés dans la correction torrentielle, a montré que les seuils en gabion restent les plus efficaces et les plus adaptés à ce type de milieu.

Le diagnostic de 10 seuils de correction torrentielle (7 seuils en gabion ,3 seuils en maçonnerie) nous a permis de tirer les constatations suivantes :

- La conception et la construction des ouvrages n'ont pas toujours été conformes aux normes.
- Une grande partie des seuils ne fonctionnent pas (plus de 50 %) : seuils vieux.
- Le manque de suivi et d'entretien.
- L'absence de la sensibilisation de la population rurale qui continue à utiliser des méthodes culturales non appropriées.

Cependant les phénomènes torrentiels connaissent toujours une ampleur inquiétante. Mais sans ces aménagements, la situation au niveau du bassin versant de l'Ourika aurait été plus grave. On peut entreprendre des actions et des recommandations de manière à limiter au maximum possible les risques d'érosion hydrique des sols. Il s'agirait par exemple, pour le bassin versant de l'Ourika, d'aménager les ravins que la population qualifie de dangereux pour sécuriser durablement leurs édifices, d'affecter un technicien expert dans le domaine de correction mécanique chargé de suivre et de maintenir en permanence les ouvrages pour augmenter leur durabilité et d'encourager les pratiques agricoles qui protègent durablement les ressources en sol...

Références Bibliographiques

DREF. 2010 : PROJET DU DEVELOPPEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OURIKA. Rapport interne.

BLALI, A. 2011 : GUIDE DE TRAITEMENT DES RAVINS A L'USAGE DES ACTEURS COMMUNAUTAIRES DE LA VALEE DE L'AGOUNDISS, DREF.P34.

DREF. 2002 : ETUDE D'AMENAGEMENT DE LA FORET D'OURIKA ETUDE PRELIMINAIRE (document interne).

SAIDI, M.E. 2013 : APPORT DES LOGICIELS DE SIG DANS LA MORPHOMETRIE DES BASSINS VERSANTS L'EXEMPLE D'ARCGIS. Guide méthodologique d'utilisation.P9.

CHRIF S. et EDDERKAOUI R. 2014 : LA LUTTE CONTRE L'EROSION DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OURIKA PROTECTION MECANIQUE ET BIOLOGIQUE (MAROC), FST Marrakech, LST EE, Projet de fin d'étude.P56.

ZOBIRI M. 2004 : ANALYSE ET EVALUATION DES AMENAGEMENTS DE CONSERVATION DE L'EAU ET DU SOL A L'AMONT DU BARRAGE EL IZDIHAR de SIDI ABDELLI, TLEMCEN ALGERIE, Mémoire pour l'obtention de magistère en foresterie.P128.

ESSOUSSI I. 2017 : EVALUATION QUALITATIVE DES CORRECTIONS MECANQUES DES RAVINS REALISES AU NIVEAU DE LA RIVE GAUCHE DE L'OUED OURIKA: ETAT DES LIEUX ET PROPOSITIONS DE RESTAURATIONS, ECOLE NATIONALE FORESTIERE D'INGENIEURS DE SALE.P104.

HOUNDODE DJIDJOHO J. 2015 : CONTRIBUTION A L'EVALATION DES AMENAGEMENTS DE LUTTE ANTIEROSIVE DU BASSIN VERSANT DE L'OURIKA, TENSIFT, ECOLE NATIONALE FORESTIERE D'INGENIEURS DE SALE.P83.

HIQUI A. 2015 : LES EVENEMENTS HYDROLOGIQUES EXCEPTIONNELS DU HAUT ATLAS DE MARRAKECH. ANALYSE FREQUENTIELLE, SIMULATION ET APPLICATION AU CAS DE NOVEMBRE 2014. FST Marrakech, MST EVG EE, Projet de fin d'étude.P65.

HADDANI H.2012 : ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS DE RHERAYA, OURIKA ET ZAT (TENSIFT MARRAKECH, MAROC) : HYDROCHIMIE ISOTOPIQUE (MAROC), FST MARRAKECH, MST EVG EE, Projet de fin d'étude. P111.

RIHANE R. 2015 : CONTRIBUTION A L'EVALUATION DES SERVICES HYDROLOGIQUES DE LA FORET ET DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS DAND LE BASSIN VERSANT DE L'OURIKA, ECOLE NATIONALE FORESTIERE D'INGENIEURS DE SALE.P100.

KARMAOUI, A., ZEROUILI, S., AYT OUGOUGDAL, H., & SHAH, A. A. (2021). A new mountain flood vulnerability index (MFVI) for the assessment of flood vulnerability. *Sustainable Water Resources Management*, 7(6), 1-13.

ACHAACH Z. AIT RAMI K. 2014 : ETUDE DES AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS DANS LA REGION D'AIT WIYKSANE (BASSIN VERSANT DU ZAT), FST Marrakech, LST EE, Projet de fin d'étude.P62.

AIT ZAOUIT A. 2018 : L'APPORT DE QUELQUES ACTEURS TERRITORIAUX DANS L'AMENAGEMENT ET LA GESTION DES RISQUES NATURELS CAS DE L'ABHT ET LA DREF-HA AU BASSIN VERSANT DE L'OURIKA.P82.

TOUMI, S., MEDDI, M., MAHE, G., & BROU, Y. T. (2013). Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Mina en Algérie par télédétection et SIG. *Hydrological sciences journal*, 58(7), 1542-1558.

ASERAR, N., MOUSSADEK, R., & DOUIRA, A. (2019). Étude quantitative de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de Ben Ahmed (Maroc Central). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 7(2).

Sites web consultés

<http://www.gire-pse.com>

<https://saidi.ma>

https://www.google.com/search?q=dref+marrakech&rlz=1C1GCEA_enMA978MA978&oq=dref&aqs=chrome.1.69i57j35i39j0i512l2j0i10j46i512j0i10i512j0i10i13.4213j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8