



Master Spécialisé

Sciences de l'Environnement & Développement Durable

MEMOIRE

Présenté par

HILAL AYOUB

Sous le Thème :

**Contribution à l'étude du rôle des types d'occupations du sol
dans la lutte contre l'érosion et l'amélioration de l'infiltration
de l'eau dans le sol au niveau du Bassin Versant d'Oualmas**

Encadré par : Pr. Mr A. KHATTABI et H. FOUGRACH

Soutenu le : 14 Juillet 2016 devant le jury :

-Pr. W. BADRI	Faculté des Sciences Ben M'sik, Casablanca	Président
-Pr. M. HSAINE	Faculté des Sciences Ben M'sik, Casablanca	Examineur
-Pr. A. KHATTABI	Ecole Nationale Forestière des Ingénieurs, Salé	Co-encadrant
-Pr. H. FOUGRACH	Faculté des Sciences Ben M'sik, Casablanca	Encadrant

Année Universitaire 2015-2016

DEDICACES

A mon cher père

Qui ma transmis les valeurs, l'amour du sacrifice et celui de continuer à avoir l'espoir et donner sans limites. mon gardien spirituel, ma source de soutien moral et matériel. Tu étais toujours près de moi pour m'encourager et me conseiller. Je ne trouve pas les mots pour t'exprimer mon amour, ma gratitude pour tes sacrifices et surtout mon grand respect. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. Puisse le tout puissant te procurer du bonheur de la bonne santé et très longue vie

A ma très chère mère

Pour sa compréhension, sa patience et son soutien durant toute la période de mes études. Tu représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et L'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

A mes chères sœurs :

SOUKAINA et KABIRA

Un remerciement particulier et sincère pour tous vos efforts fournis. Vous avez toujours été présents. Que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et mon profond respect.

Aux famille HILAL, JAAFAR, BENSSETI, NASSIK

Veillez percevoir à travers ce travail, l'expression de ma profonde affection et énorme respect.

A tous mes amis

A tous les étudiants de Master Sciences de l'Environnement et Développement Durable,

Master Biologie et Santé & Master Biotechnologie et Démarche Qualité.

A toutes les personnes

Qui ont servis pour ma formation, mon éducation et mon enseignement. A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.

REMERCIEMENTS

On ne saurait commencer sans remercier **ALLAH** le tout puissant, le tout miséricordieux, qui nous a donné Grâce et bénédiction pour mener à terme ce travail.

Au terme de ce travail je remercie...

Monsieur Talbi, le Doyen de la Faculté des Sciences Ben M'Sik.

Monsieur le Professeur FOUGRACH Hassan, de la faculté des sciences ben m'sik Je le remercie infiniment pour son encadrement, ses compétences, sa grande disponibilité et ses qualités humaines exceptionnelles. Je tiens également à vous remercier pour la générosité, la confiance et la sympathie que vous m'avez témoignées au cours de la préparation de ce travail.

Monsieur le Professeur KHATTABI Abdellatif, professeur à l'école nationale forestière des ingénieurs de Salé et président de l'AMSR, pour m'avoir accueilli au sein de votre laboratoire, votre sympathie, votre soutien et la mise à ma disposition de tous les moyens nécessaires à la réalisation de ce travail.

Monsieur MELIHO Modeste, Madame RACHDI bouchra et Monsieur BELHOUARI Abderrahmane, pour leur aide, leur disponibilité, pour m'avoir transmis leur savoir et pour l'expérience que vous m'avez apportée. Veuillez trouver ici le témoignage de tout mon respect et de ma sincère reconnaissance.

Les membres du jury, qui ont bien voulu accepter de juger ce travail:

Monsieur BADRI Wadii et HSSAIN Mohammed, Professeurs à la Faculté des Sciences Ben M'Sik,

AVANT PROPOS

Ce mémoire est issu du stage de fin d'études que j'ai réalisé dans le cadre de l'obtention d'un Diplôme du Master Spécialisé Science de l'Environnement et Développement Durable (SEDD) dont les enseignements sont dispensés par la Faculté des Sciences Ben'Msik Casablanca. Au cours de ce stage effectué au sein de l'association Marocaine des sciences régionales, projet GIRPSE, l'objectif est l'Evaluation du rôle des occupations dans la lutte contre l'érosion dans le Bassin Versant d'Oualmas. La sortie sur terrain a permis la collecte de toutes les données nécessaires pour la réalisation du travail. Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de mémoire de fin d'étude.

SOMMAIRE

DEDICACES	
REMERCIEMENTS	
AVANT PROPOS	
LISTE DES FIGURES	1
LISTE DES TABLEAUX	2
LISTE DES PHOTOS	3
LISTE DES ABREVIATIONS	4
PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL	5
RESUME.....	6
ABSTRACT	7
INTRODUCTION GENERALE.....	8
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique	10
I. L'érosion hydrique	10
I.1 Définition.....	10
I.2 Les principaux agents érosifs	10
I.3 Les formes de l'érosion hydrique :	12
I.4 Facteurs de l'érosion.....	13
II. Problématique de l'érosion hydrique dans le bassin versant d'ourika	18
III. Effet du couvert végétal sur l'érosion hydrique	19
III.1 Les mécanismes d'action de la végétation	19
IV. L'effet de l'utilisation des terres.....	23
V. Aménagement de lutte contre l'érosion au Maroc.....	24
VI. Conclusion.....	25
Chapitre II : Matériels et méthodes	26
I. Présentation de la zone d'étude :	26
I.1 Situation géographique.....	26
I.2 Découpage administratif et population.....	29
I.3 Morphométrie générale	31
I.4 Géologie	34
I.5 Climat	35
I.6 Hydrologie.....	35

I.7	Végétation	38
I.8	Activités humaines	41
II.	Techniques utilisées :	42
II.1	Test de simulations de pluie	42
II.2	Analyse du sol: technique et méthode	49
III.	Outils du travail	51
IV.	Conclusion.....	51
CHAPITRE III : Résultat et discussion.....		52
I.	Résultats	52
II.	Discussion	59
CONCLUSION		61
ANNEXES		63
Liste de Référence Bibliographique		74

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique des bassins versant de Tensift (Ourika, Oualmas).....	26
Figure 2 : Carte topographique d’Ourika (Zone Oualma).....	27
Figure 3 : carte de la limite du Bassin Versant D’Oualmas (avec les stations).....	28
Figure 4 : Découpage administratif de la Région Marrakech-Safi (Source : HCPRPH, 2014).....	29
Figure 5 : Taux d'accroissement de la population entre 2004 et 2014 (Source : HCPRPH, 2014)...	30
Figure 6 : Densité communale de la population en 2014 (Source : HCPRPH, 2014)	31
Figure 7 : Carte des altitudes du bassin versant d’Oualmas	32
Figure8 : Carte des pentes du bassin versant d’Oualmas.....	33
Figure 9 : Carte d’expositions des versants.....	33
Figure 10 : Carte géologique du bassin versant d’Oualmas.....	34
Figure 11 : Carte des réseaux hydrographiques d’Ourika (Source : Saidi & al., 2010).....	36
Figure 12 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant d’Oualmas.....	37
Figure 13 : Carte des occupations du sol du Bassin Versant d’Oualmas.....	39
Figure 14 : graphique de la variation de l’infiltration en fonction du temps des différentes occupations	52
Figure 15 : carte d’INDVI du Bassin Versant d’Oualmas des années 1987 et 2015.....	57
Figure 16 : Carte potentielle du risque d’érosion du Bassin Versant d’Oualmas.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Population des Provinces et de la Préfecture (Source : HCPRPH, 2014).....	29
Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques du bassin versant de l'Ourika (Source : Saidi & al., 2010)	32
Tableau 3 : Précipitations (mm) moyennes en 30 ans (1982- 2012)	35
Tableau 4: Taux d'activité selon les provinces (source : Haut commissariat au plan, annuaire statistique du Maroc de 2013)	41
Tableau 5: Les formules de calcul des paramètres.....	48
Tableau 6 : Corrélations (If, P10)	53
Tableau 7 Variation de pluie d'imbibition en fonction des différentes occupations.....	53
Tableau 8: Corrélations (PI, PEN)	54
Tableau 9: Variation de ruissellement en fonction des différentes occupations.....	54
Tableau 10: Corrélations (kr, R)	55
Tableau 11: Variation de détachabilité en fonction des différentes occupations.....	55
Tableau 12: Corrélations (D, SC)	56
Tableau 13: Texture et matière organique des différentes occupations.....	57

LISTE DES PHOTOS

Photo1 : <i>Juniperus phoenicea</i>	40
Photo 2 : <i>Juniperus oxycedrus et Quercus ilex</i>	40
Photo 3 : Teste de simulation de pluie.....	42
Photo 4 : Métal de forme triangulaire à bord arrondi	43
Photo 5 : Appareil de mesure d'humidité : TDR	44
Photo6 : Pénétromètre à poche.....	45
Photo 7 : Scissomètre.....	46
Photo 8 : Chaine de mesure de rugosité.....	46
Photo 9 : Mesure de l'intensité de pluie simulée.....	47
Photo 10 : Matériels d'échantillonnage du sol.....	49

LISTE DES ABREVIATIONS

AMSR : Association Marocaine des Sciences Régionales

D : Détachabilité

Da : Densité apparente

DREF : Direction Régional des Eaux et foret (Marrakech)

DRS : Défense et Restauration des Sols

FAO : Food and Agriculture Organisation

GIREPSE : Gestion intégrée des ressources en eaux et paiement des services environnementaux.

H : Humidité

HCEFLCD : Haut commissariat des eaux et foret et à la lutte contre la désertification.

HCPRPH : Haut Commissariat au Plan Recensement de la Population et de l'Habitat

IF : Infiltrabilité

Kr : Coefficient de ruissellement

SC : Surface couverte

SO : Surface ouverte

SS : Cisaillement

P : Porosité

PEN : Pénétration

Pi : Pluie d'imbibition

PNABV : Plan National d'Aménagement des Bassins Versants

R : Rugosité

PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la convention de collaboration établie entre la faculté des science Ben M'sik Casablanca, d'une part, et l'Association Marocaines des Sciences Régionales, d'autre part, relative à la mise en œuvre de certaines activités du projet GIREPSE (www.gire-pse.com) financé par le centre de Recherche et de Développement International, Canada.

L'AMSR : l'Association Marocaine des Sciences Régionales a été constituée, le 6 aout 2013, entre des chercheurs.

Cette association est régie par les dispositions du dahir n°1-58-376 du 3 Joumada 1378 (15 novembre 1958), tel qu'il a été modifié et complété par le dahir portant loi N°1-73-283 du 6 Rabia I 1393 (10 avril 1973) réglementant le droit des associations, et par la loi n° 75-00 promulguée par le Dahir n° 1-02-206 du 12 Joumada I 1423 (23 juillet 2002).

Les objectifs de l'AMSR sont, entre autres, de contribuer au progrès et à l'avancement des Sciences Régionales par le développement d'une recherche interdisciplinaire et trans-sectorielle ; promouvoir les Sciences Régionales, leurs concepts, méthodes et outils auprès des organisations, des institutions et des établissements de recherche ou de formation supérieure ; être un lieu d'échange et de partage d'information et de connaissances pour l'ensemble de la communauté scientifique qui s'intéresse aux Sciences Régionales, et un forum pour l'approfondissement de la réflexion sur des thématiques relatives aux Sciences Régionales ; promouvoir l'échange de connaissances scientifiques et d'expériences techniques avec les groupements professionnels, les organismes régionaux, nationaux et internationaux ayant pour objectif la production ou l'utilisation des connaissances des Sciences Régionales.

RESUME

Le Haut Atlas de Marrakech est une zone géographique composée des bassins versants du N'Fis, de la Gheraya, de l'Ourika, du Zat et du Ghdat. Ces bassins versants sont situés sur le flanc nord de la chaîne montagneuse du Haut Atlas. Ils sont donc exposés aux flux perturbés océaniques en provenance du Nord et du Nord Ouest. Ces flux arpentent les versants et se condensent aisément sur les hauts reliefs des bassins. Ces derniers sont par ailleurs caractérisés par des substratums peu perméables, des pentes élevées et un réseau hydrographique bien ramifié. Ces conditions morphologiques et climatiques favorisent une pluviosité importante et des crues violentes.

Le présent travail a été réalisé dans le cadre des activités du projet **Gestion Intégrée des Resource en Eau et Paiement des Services Environnementaux** pour développer des réponses efficaces et équitables à la minimisation des risques climatiques, à l'amélioration du système hydro-écologique et à la valorisation des biens et services environnementaux.

En effet plusieurs tests et analyses ont été réalisés au niveau du bassin versant d'Oualmas en se basant sur la méthode de base de simulation de Roose, 1996. Les résultats obtenus ont montrés les réponses des différents types d'occupations du sol vis-à-vis des paramètres hydrologiques. Par ailleurs le rôle des types d'occupations du sol en faveur d'érosion a été démontré. Ainsi la description environnementale de la zone d'étude qui a décrit le milieu naturel, physique et socio économique a été faite en premier lieu afin de décrire tous les facteurs essentiels qui déclenchent l'érosion. La conclusion de ce travail montre que les terres forestières présentent moins de risque d'érosion par rapport à toutes les autres occupations du sol.

Enfin quelques recommandations sont proposées pour minimiser le risque d'érosion.

Mots clés : GIRPSE, Marrakech, Ourika, Simulation de pluie, Bassin Versant d'Oualmas, Occupations du sol.

ABSTRACT

The High Atlas is a geographic region composed of the watershed N'Fis, the Gheraya, Ourika, Zat and Ghdat. These watersheds are located on the northern flank of the mountain range of the High Atlas. They are exposed to ocean disrupted flows from the North and North West. These flows roam the slopes and readily condense on the high reliefs of the basins. They are also characterized by low permeability substrata, high slopes and well-branched river system. These morphological and climatic conditions promote high rainfall and severe flooding.

This work is devoted to GIREPSE project to develop effective and equitable responses to minimizing climate risks, improvement of hydro-ecological system and the valuation of environmental goods and services.

By effects of rain simulation tests have been realized at the Oualmas watershed based on the simulation method of Roose, 1996. The results have shown the responses of different types of soil occupations for the hydrological parameters. In addition the role of types of land uses in favor of erosion has been demonstrated. Thus the environmental description of the area of study that described the natural, physical and socio economic was first made to describe all essential factors that trigger erosion. The conclusion of this work shows that forest lands pose less risk of erosion in comparison to all other land uses.

Finally some recommendations are proposed to minimize the risk of erosion.

Key words: GIREPSE, Marrakech, Ourika, Rain simulation, Oualmas watershed, Soil Occupations.

INTRODUCTION GENERALE

L'érosion est considérée comme l'un des grands problèmes de l'environnement au monde. Elle menace à la fois les pays développés et les pays en développement.

L'érosion du sol est surtout grave dans les pays méridionaux de la Communauté où aux aspects socio-économiques s'ajoutent ceux d'ordre physique.

L'irrégularité topographique et versants en fortes pentes, l'irrégularité climatique qui se manifeste dans les fréquentes successions de périodes de sécheresse et de pluies intenses, présence de sols facilement érodables à cause de leur texture, favorisant l'érosion du sol (**Giordano ,1994**).

Au Maroc, l'érosion touche durement ses terres. Effectivement, des études réalisées par la FAO montrent que plus de 40% des terres sont menacées par ce phénomène. Ces pertes de terres ont un impact socioéconomique au niveau régional et national.

Le phénomène est influencé principalement par des facteurs naturels et anthropiques. Les incendies, l'urbanisation, la déforestation, et la mauvaise connaissance des techniques de culture sont parmi les interventions négative de l'homme qui engendrent une forte dégradation du couvert végétal, et les facteurs naturels jouent aussi un rôle dans la dégradation surtout par la sécheresse qu'a connue le Maroc dans les années 1980 et 2000 ceux-ci a favorisé la dégradation des terres et des grands bassins.

Le Maroc en tant que pays à climat aride et semi-aride, vulnérable au changement climatique, présente de nombreux enjeux quant à l'avenir des ressources hydriques et leurs impacts potentiels sur les équilibres sociaux, économiques et écologiques. La zone d'étude du projet **GIREPSE** est le **Bassin Versant de Tensift**, la réflexion est menée à l'échelle de ce bassin mais avec une focalisation de l'investigation au niveau du sous bassin versant de l'Ourika, en vue de développer des réponses efficaces et équitables à la minimisation des risques climatiques, à l'amélioration du système hydro-écologique et à la valorisation des biens et services environnementaux.

Ce sous bassin est caractérisé par la faiblesse des précipitations et leur grande variabilité spatio-temporelle. Les ressources en eau de surface y sont irrégulières et inégalement réparties.

Ce sous bassin connaît beaucoup de dégradation de ses écosystèmes forestiers, une érosion intense, une forte fréquentation de touristes locaux et internationaux, surtout pendant la période estivale, et un développement de petites infrastructures touristiques en aval tout le

long du lit de l'oued Ourika. Ceci le rend très vulnérable aux inondations éclaircies et l'histoire en a donné la preuve du fait qu'il a connu des crues dévastatrices dans le passé. Ces crues deviennent de plus en plus intenses, malgré des aménagements de régulation de débits des oueds réalisés dans le bassin, non seulement à cause de l'évolution du climat, mais aussi à cause des actions anthropiques qui continuent à dégrader les sols et le couvert végétal, aussi bien sur les terrains forestiers que sur les parcelles agricoles, accélérant ainsi les phénomènes d'érosion et la rapidité des écoulements d'eau.

L'objectif de ce projet est dans un premier temps, d'étudier le changement des occupations du sol dans le bassin versant d'Ourika plus précisément le sous bassin d'Oualmas et mettre en évidence leur relation avec l'érosion et les inondations, en se basant sur des tests de simulations de pluie, et d'adopter dans un second temps une méthodologie qui permettra d'analyser un ensemble de facteurs et de dresser une carte de risque à l'érosion, document de référence pour tout plan d'aménagement.

Ce document s'articule autour de 3 chapitres qui représentent les étapes de la démarche progressive suivie :

Dans le premier chapitre, après une introduction générale, nous présenterons dans une première partie les mécanismes, les formes et les facteurs de l'érosion hydrique. La deuxième partie sera consacrée à la méthodologie adoptée dans l'étude de l'occupation des sols ainsi que le matériel et outils utilisés pour la modélisation des processus érosifs dans le sous bassin d'Oualmas.

Une analyse et discussion des résultats obtenus est présentée dans la troisième partie.

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

I. L'érosion hydrique

I.1 Définition

L'érosion hydrique est le résultat d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol (**Hamma, 2004**).

C'est un phénomène naturel essentiel de l'évolution des paysages et de la modification du relief terrestre. Elle correspond à un déplacement de matière sous l'action de l'eau. Les flux de matière générés sont transférés sur la surface continentale et conduisent à l'arasement des zones montagneuses et à la formation de riches plaines alluviales (**Leguédois, 2010**).

La pluie, la nature des sols, l'utilisation du sol et la pente sont des facteurs du ruissellement et de l'érosion qui interagissent de façon complexe dans une série de processus qui peuvent intervenir successivement ou simultanément par l'action des gouttes de pluie (détachement et rejaillissement), l'infiltration des eaux de pluie, la détention superficielle et le ruissellement, l'érosion diffuse (nappes ruisselantes), l'érosion linéaire (griffes, rigoles, ravines, ravins), le dépôt et l'atterrissement de matériaux transportés par les cours d'eau.

Ce transport d'eau et de terre, plus ou moins massif et rapide, peut générer des conséquences importantes sur un plan économique, social et écologique : le potentiel agronomique des terres s'en trouve diminué, les risques d'inondations accrus (coulées de boue, augmentation de l'intensité et du volume des crues de rivière), et la dégradation des milieux.

I.2 Les principaux agents érosifs

La pluie et le ruissellement superficiel ainsi que la gravité sont à l'origine du détachement des particules de sol, de leur transport et de leur dépôt. Donc ce détachement est lié au deux premiers agents à la fois (pluie et ruissellement). La pluie est l'agent principal de l'érosion hydrique. Son aptitude à provoquer de l'érosion est appelée érosivité, elle dépend surtout de son intensité et de l'énergie cinétique qui en résulte.

I.2.1 La pluie

La pluie est reconnue depuis longtemps comme un agent essentiel de l'érosion des sols. C'est souvent le deuxième facteur d'importance après la végétation car elle est influencé par le couvert végétal et ses résidus qui, en interceptant la pluie, diminuent la quantité d'eau et modifient la distribution de taille et de vitesse, et donc l'énergie cinétique, des gouttes arrivant au sol. L'énergie et l'eau apportées par les gouttes de pluie sont à l'origine de la déstructuration des agrégats présents à la surface, du détachement de fragments de sol et de leur transfert. L'érosivité des pluies dépend, d'une part, de l'intensité et d'autre part, des caractéristiques des gouttes de pluie comme la taille, la vitesse, la forme, l'angle d'impact. Généralement, le détachement par les gouttes de pluie est exprimé en fonction de leur énergie cinétique (**Leguédois, 2010**).

I.2.2 Le ruissellement

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol. L'écoulement d'une lame d'eau est un moteur essentiel de l'érosion. Il détache, transporte et exporte des fragments de sol. Le ruissellement superficiel est généré soit par saturation de la porosité du sol, soit par refus à l'infiltration dû à une pluie dont l'intensité est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol (**Bussière, 1996**).

Les principales variables qui contrôlent l'action du ruissellement sur le détachement et le transport de particules sont la pente, la vitesse et l'épaisseur de l'écoulement.

Cet agent érosif est lié à la pluie vue qu'il ne débute que quand la vitesse avec laquelle la pluie arrive au sol est plus importante que la vitesse avec laquelle l'eau entre dans le sol. Dit autrement, le ruissellement est la différence entre l'intensité de la pluie et le taux d'infiltration d'eau dans le sol ($R=P-I$, en mm h^{-1}).

La réduction de l'infiltration est par les facteurs suivants :

- ✓ la tension capillaire qui diminue avec l'augmentation de la teneur en eau du sol due à l'infiltration ;
- ✓ le gradient de la tension capillaire qui diminue au fur et à mesure de l'épaississement de la couche superficielle humectée ;

- ✓ le développement, à la surface du sol, d'un horizon mince qui devient moins perméable que le sol sous-jacent par le gonflement des argiles à l'humectation et par le compactage dû à la force cinétique des gouttes de pluie (**Horton, 1940**).

I.2.3 Gravité

Rarement évoquée, la gravité est aussi un agent qui participe à la mobilisation et au transfert de particules à la surface du sol. La gravité est aussi la force principale qui limite l'érosion, en s'opposant à la mise en mouvement des particules et en étant le moteur de la sédimentation (**Leguédais, 2010**).

I.3 Les formes de l'érosion hydrique :

I.1.1 L'érosion en nappe ou "sheet erosion"

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.

Elle entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de l'horizon superficiel. Les énergies des gouttes de pluie et du ruissellement s'appliquent à toute la surface du sol induisant ainsi le transport des particules. Le transport des particules se fait en fonction de leurs taille (les petites particules seront transportés rapidement avec un faible débit de ruissellement, et les grande particules seront transportés par un débit plus important), et aussi en fonction de l'inclinaison de la pente du terrain (plus la pente est forte plus les particules seront transportées rapidement (**Zaher, 2010**)).

I.1.2 L'érosion linéaire

Lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, il se forme d'abord des flaques; ensuite ces flaques communiquent par des filets d'eau et lorsque ces filets d'eau ont atteint une certaine vitesse, 25 cm par seconde d'après Hjulström (1935), ils acquièrent une énergie propre qui va créer une érosion limitée dans l'espace par des lignes d'écoulement.

Cette énergie n'est plus dispersée sur l'ensemble de la surface du sol, mais elle se concentre sur des lignes de plus forte pente (**Roose, 1994**).

I.1.3 L'érosion ravine ou ravinement

C'est un stade avancé de l'érosion linéaire. Il dépend de l'énergie du ruissellement, laquelle dépend du volume ruisselé multiplié par le carré de sa vitesse (**Roose, 1994**). Cette érosion se produit généralement dans les vallées sèches et dans les fonds de thalwegs qui constituent des chemins d'écoulements préférentiels pour l'eau qui ruisselle (**Edderkaoui & Chrif, 2014**).

L'ampleur des dégâts causés par ces ravines dépend de la durée et l'intensité des précipitations, du type de couvert végétal, des caractéristiques du sol et des pratiques culturales. On peut distinguer deux types de ravine : ravines en "V", ravine en "U" et ravine en tunnel.

La différence entre ces trois en plus de leurs structures et leurs formes, ces ravines se forment selon la nature du substrat. Les ravines en « U » se développent sur matériaux hétérogènes comme les couvertures pédologiques sur croûtes calcaires.

Les ravines en « V » se développent sur des matériaux homogènes comme les altérites d'argilite, de schiste et de marne.

Les ravines en *tunnel* se forment dans des matériaux riches en argiles gonflantes ou en sels solubles (cas des marnes gypseuses). Les eaux circulant dans la masse du sol emportent les argiles ou les sels solubles en formant des cavités linéaires qui grandissent progressivement jusqu'à l'effondrement du toit des tunnels. Ce sont les ravines les plus dangereuses car leur évolution est imprévisible et leur stabilisation est difficile (**Zobiri, 2013**).

I.4 Facteurs de l'érosion

Le facteur principal qui provoque l'érosion hydrique est la pluie, mais ce facteur ou bien son ampleur varie selon d'autres paramètres tels que le type de sol, la topographie du terrain ainsi que couvert végétal et les activités humaines.

I.4.1 L'intensité de la pluie

C'est une caractéristique importante de la pluie : d'une part, elle joue sur le débit du ruissellement, et donc sur le détachement et la capacité de transport de l'écoulement ; d'autre part, elle influence directement le détachement du sol par le splash. Puisque les gouttes de pluie à forte intensité ont tendance à être plus grosses que les gouttes de pluie à faible intensité. La relation entre détachement de sédiments et intensité de pluie n'est pas linéaire : le détachement augmente approximativement avec le carré de l'intensité de la pluie.

Si l'intensité est doublée, le détachement est augmenté par 4 ($2^2=4$), si l'intensité augmente par 3, le détachement augmente par 9 ($3^2=9$).

I.4.2 La répartition saisonnière de la pluie

Plusieurs cas de figures se présentent, les plus communs sont les suivants :

- Des hivers pluvieux : les pluies fréquentes sont de faible intensité. Le sol demeure saturé, ce qui provoque un ruissellement même avec une faible intensité de pluie.
- Des orages convectifs au printemps : les cultures d'été n'ont pas encore émergé, le sol est nu, et ces pluies temporellement et spatialement localisées ont une forte intensité et érosivité.
- Des pluies fortes après une longue période de sécheresse : ceci est le cas en zone semi-aride. Après une longue saison sèche, il y a peu de végétation pour protéger la surface du sol, alors les premières pluies de la saison humide sont plus érosives que celles de la fin de saison quand la végétation est mieux établie.

I.4.3 La topographie

Concentration du ruissellement lié à la topographie du terrain, et le paramètre le plus important dans ce cas est la pente. Son inclinaison et sa longueur.

Il n'est point besoin d'une forte pente pour déclencher ce processus sur certains sols. C'est ainsi qu'à Séfa, au Sénégal, des pentes de 2,5 % ont dû être abandonnées après défrichage et trois années de culture mécanisée. Donc il est plus lié aux différents usages et utilisations des sols ainsi que d'autres paramètres et facteurs déjà cités. Car on peut trouver une pente très importante qui peut déclencher un fort processus érosif mais ceux-ci seront freinés ou bien minimisés par la présence d'un couvert végétal (**Roose & Lelong, 1977**).

Le degré d'inclinaison de la pente joue un rôle très important, car plus le degré de l'inclinaison des versants est grand, plus l'énergie cinétique de l'écoulement et la détachabilité des particules du sol sont importantes (**Hadir, 2010**).

L'inclinaison est en relation directe avec le transport des particules. Plus la pente est faible, seules les petites particules seront transportées et plus elle est importante, ce sont les grandes particules, voire même des blocs qui peuvent être transportés.

La longueur de la pente aussi joue son rôle, puisque les pentes les plus longues permettent une plus forte accumulation du ruissellement, ce qui accroît l'énergie globale de celui-ci et ses possibilités de détachement et de transport (**El Hadraoui, 2013**).

I.4.4 Le sol

Les sols sont caractérisés par leur capacité à résister à l'érosion ce qu'on appelle l'érodibilité qui est déterminée par la stabilité structurale = capacité d'une motte de terre à ne pas se fragmenter sous l'effet de la pluie et de l'humectation.

Autrement dit l'érodabilité d'un sol représente la sensibilité d'un sol à l'arrachement et au transport des particules qui le composent sous l'action des gouttes de pluies et/ou de l'écoulement (**Le Bissonais & al., 2005**)

I.4.4.1 Texture

C'est le pourcentage des différentes composantes du sol en matière de limons, argile et sable. Les études ont démontrées que plus la fraction limoneuse est très importante plus le sol devient plus érodable.

Des textures avec trop peu d'argiles ont une faible cohésion et donc une faible stabilité structurale. En-dessous d'environ 10-15% d'argile, la stabilité structurale est plutôt faible. Ces sols ont tendance à former une croûte de battance en surface : une couche dense et peu poreuse qui limite l'infiltration.

La création de ce qu'on appelle croute de battance durant une période de presque 4 mois. Présence d'agrégats de toutes tailles en premier mois puis les agrégats les plus petits ont été fragmentés et scellés les agrégats de taille plus grande sont encore visibles (mois Mai), après les agrégats de taille plus grande ont été fragmentés ou sont scellés et puis après au dernier mois c'est à dire après forte pluies tous les agrégats ont été fragmentés et scellés (**Algayer & Darboux, 2011**).

I.4.4.2 Structure

Plus le sol est riche en agrégats plus il ya une bonne infiltration de l'eau et ceux-ci peuvent influencés l'érosion et même les inondations. La variation de l'érodibilité des sols est expliquée par la résistance des agrégats à la dispersion et au transport en nappe (**Hammouda, 2010**).

I.4.4.3 La matière organique

La matière organique se trouve dans le sol sous plusieurs formes : vivante dans les racines, fraîchement tombée au sol, partiellement décomposée, très humifiée. L'humus a un impact important sur la stabilité structurale des sols. Il y a également des polysaccharides qui sont

libérés par les racines des plantes et qui ont tendance à renforcer la stabilité structurale localement, mais cet effet est transitoire et moins important que celui de l'humus.

L'augmentation de la teneur en matière organique favorise l'agrégation des particules, et l'infiltration des eaux à la surface du sol. Elle diminue donc le ruissellement (**Le Bissonais & al., 2005**).

I.4.4.4 L'état hydrique

Désigne le taux de l'infiltration et de ruissellement en fonction de la saturation du sol en eau et cela varie surtout en fonction des saisons.

Lorsque le sol est sec la tendance d'infiltration de l'eau est rapide, par contre sur un sol humide proche de la saturation, quand la capacité d'infiltration est approximativement égale à la conductivité hydraulique à saturation, le ruissellement peut être déclenché rapidement si l'intensité de précipitation est supérieure à la capacité d'infiltration.

Alors que pour le cas des sols très se, après des précipitations intenses (orages) le sol va connaître un décapage très important.

I.4.5 Pratique anthropique

L'homme constitue la source du déclenchement et de l'accélération de l'érosion par ses pratiques inadaptées sur les versants, ses actions de déboisement puis de défrichement, ses incendies et surpâturages et techniques culturales.

I.4.5.1 Les techniques culturales

L'utilisation intensive de la mécanisation surtout au Maroc qui est inadaptable ni au climat du pays ni à la structure du sol. Surtout ce qu'on appelle le labour qui est une mauvaise pratique utilisée au Maroc alors que les sols au Maroc ne sont pas trop profonds ainsi que le climat ne permet pas cette technique puisque cette dernière fait perdre au sol des quantités énormes d'eau vu que le climat n'est pas humide. En plus des cultures utilisées qui nécessitent un travail continu de terre ce qui conduit à l'épuisement puis perte de cette dernière.

I.4.5.2 Défrichement

Le défrichement est causé surtout par la mise en place des cultures à la place des forêts à cause de la pression démographique et l'augmentation de la demande. Sur les parcelles

cultivées, le sol est périodiquement mis à nu et fragilisé par les labours et les sarclages successifs, ce qui rend les sols plus touchés par l'érosion.

I.4.5 .3 Pâturage

L'espace pastoral se dégrade suite au surpâturage qui induit un déséquilibre de la dynamique des peuplements forestiers. Le surpâturage cause la disparition de la couverture végétale, laissant ainsi des surfaces importantes du sol exposées aux effets érosifs des pluies et du ruissellement.

Surtout au Maroc le pâturage a un grand effet sur la dégradation du couvert végétal. D'une part la consommation et d'autre part le passage répété des animaux entraînent un tassement du sol qui provoque une diminution de l'infiltration à la surface du sol, augmentant ainsi les risques de ruissellement et de ravinement.

Dans les régions méditerranéennes, le pâturage était autrefois saisonnier et le bétail devait se déplacer sur des distances considérables pour assurer son alimentation. La charge animale supportée par les parcours est couramment supérieure à ce qu'elle devrait être. Cela se traduit par une modification des caractéristiques hydrologiques du sol et une augmentation de la perte en terre.

I.4.5 .4 Bois de feu

Au Maroc le bois présente la deuxième source d'énergie. L'utilisation du bois de feu est beaucoup plus que sa production par l'écosystème, ceux-ci estimés à 10,5 millions de m³, alors que la production naturelle de la forêt marocaine ne dépasse pas 3 millions de m³ (FAO, 1983). Ce qui conduit par la suite à la dégradation et recule du couvert végétal puis déclenchement des processus érosifs aussi bien que des inondations.

I.4.5 .5 L'incendie

Les incendies ravagent de vastes étendues d'écosystèmes forestiers. Les feux de forêt sont relativement rares dans le Sud et le Centre du pays, mais sont assez fréquents dans le Rif et, dans la plus grande majorité des cas, ils prennent naissance et s'étendent dans les périmètres de reboisement à base de conifères. Durant les années de sécheresse, l'ampleur des incendies de forêt augmente par rapport à la moyenne. Ainsi, en raison de la sécheresse, la superficie ravagée par le feu au cours de l'année 1995 atteint 6 824 ha dont 5 800 ha dans la région du Rif occidental (MEMEE, 2001)

Les études ont montrés que l'érosion est très observée juste après le feu car les sols deviennent très sensibles à l'érosion hydrique, en particulier lorsque cette période coïncide avec la saison des pluies torrentielles (**Hammouda, 2010**).

Mais en général le taux d'incendie au Maroc n'est pas aussi important par rapport à d'autre pays même par rapport aux autres facteurs conduisant la dégradation du couvert végétal ainsi qu'a l'érosion hydrique.

II. Problématique de l'érosion hydrique dans le bassin versant d'ourika

Le sous bassin versant de l'Ourika d'une superficie de 66.500 ha, qui est l'un des sous bassins où plusieurs problématiques sont visées par plusieurs recherches et études. Ce sous bassin connaît beaucoup de dégradation de ses écosystèmes forestiers le long du lit de l'oued Ourika. Ceci le rend très vulnérable aux inondations éclaircies et l'histoire en a donné la preuve du fait qu'il a connu des crues dévastatrices dans le passé. Ces crues deviennent de plus en plus intenses, malgré des aménagement de régulation de débits des oueds réalisés dans le bassin, non seulement à cause de l'évolution du climat, mais aussi à cause des actions anthropiques qui continuent à dégrader les sols et le couvert végétal, aussi bien sur les terrains forestiers que sur les parcelles agricoles, accélérant ainsi les phénomènes d'érosion et la rapidité des écoulements d'eau.

Les études effectuées par la DREF permettent de faire le diagnostic suivant :

- Très faible couverture végétale et une dégradation accrue des écosystèmes forestiers, dues à la forte pression de la population par le parcours, écimages, bois de feu...etc.
- Population pauvre à faible revenu se trouve dans des zones difficilement accessibles éloignées et dans des conditions très austères.
- Relief très accidenté caractérisé par de fortes pentes et les versants abrupts.
- Formation de cellules orageuses régulièrement.

Ces données se traduisent par la manifestation de fortes crues et d'intenses phénomènes d'érosion dans le bassin .Ainsi la zone a connu d'importantes inondations dont les plus importantes au cours de ces dernières années sont celles de 1964-65 ; 1968-69-1988- 1995 - 1999. Le débit a atteint parfois des niveaux très élevés.

La dangerosité des crues de l'Ourika provient de leur soudaineté, et leur rapidité de ne pas laisser beaucoup de temps aux riverains de fuir. La plus catastrophique reste celle du 17 Aout 1995.

De ce fait, le traitement de ce bassin parait nécessaire pour lutter contre l'érosion, les risques catastrophiques des inondations et éviter le déplacement de la population tout en sauvegardant l'activité socio-économique locale.

III. Effet du couvert végétal sur l'érosion hydrique

Elle est de loin le facteur le plus important. La végétation vivante protège la surface du sol de l'impact des gouttes de pluie, et donc du détachement par le splash ; les tiges et troncs forment des obstacles qui ralentissent la vitesse du ruissellement, ce qui réduit le détachement par le ruissellement ainsi que sa capacité de transport. Les racines forment un réseau près de la surface qui tient le sol en place, augmentant ainsi sa résistance au détachement. Les feuilles mortes et débris végétaux protègent la surface de l'impact des gouttes, ralentissent le ruissellement, et ajoutent de la matière organique au sol, ce qui le rend plus résistant à l'érosion.

La relation entre végétation et l'érosion n'est pas simple :

- Elle dépend d'une part de la densité du couvert végétal
- Elle dépend, d'autre part, du type de végétation : des plantes à feuillage haut sont moins efficaces parce que les gouttes d'eau qui tombent des feuilles ont le temps d'atteindre une vitesse presque égale à celle de la pluie. Même la forme de la feuille peut jouer en altérant la taille de la goutte qui tombe au sol. Des feuilles qui concentrent l'eau à leur surface pour agrandir la taille des gouttes peuvent en effet provoquer une érosion sous la couronne si le sol est nu (**Dennis, 2008**).

Plusieurs études, menées dans différentes conditions environnementales, ont prouvé l'effet positif de la couverture végétale dans la protection du sol contre l'érosion. De ce fait, de nombreux chercheurs ont orienté leurs investigations pour expliquer les mécanismes d'action de la végétation et l'influence des différents types de couvert végétal sur l'érosion hydrique.

III.1 Les mécanismes d'action de la végétation

La végétation peut intervenir contre l'érosion hydrique de surface de deux manières principales : d'une part, elle peut empêcher l'ablation du substrat, d'autre part, elle peut favoriser la sédimentation, en retenant les sédiments érodés plus à l'amont (**Rey & al., 2002**)

III.1.1 Rôle de la végétation contre l'ablation

La végétation protège les sols de l'ablation par réduction de l'énergie des agents érosifs et maintien des sols.

III.1.1. 1 Réduction de l'énergie de l'érosion pluviale

La végétation permet de réduire l'énergie de l'érosion pluviale en jouant un rôle d'interception des gouttes de pluie, grâce aux parties aériennes des plants. Cette interception est fonction de la densité de la surface foliaire et de la structure du couvert végétal. En forêt, les précipitations inférieures à 2 mm en 24 h sont presque entièrement interceptées ; au-delà, l'interception diminue lorsque l'intensité de la pluie augmente, selon une fonction logarithmique.

Pour une même essence, l'interception augmente avec la densité et la surface terrière. Par son couvert, la végétation joue ainsi un rôle de protection mécanique : elle permet de diminuer l'énergie cinétique des gouttes de pluie et de réduire l'effet de *splash*, surtout grâce aux litières et buissons, dont le rôle est plus important que celui de la canopée aérienne (**Rey & al., 2002**).

III.1.1. 2 Réduction de l'énergie du ruissellement

Au sol, la végétation permet de lutter contre le ruissellement, en augmentant l'infiltration de l'eau.

Elle constitue pour cela un écran à la surface du sol, barrant le cheminement des filets d'eau. L'architecture individuelle des plants ou des associations de plants joue à ce titre un rôle important. De plus, la végétation améliore les propriétés physiques et chimiques des sols. C'est notamment le cas pour la végétation feuillue, considérée comme une formation végétale améliorante pour les sols, ou en général pour les formations végétales denses. La pédogenèse sous forêt est plus importante que sous n'importe quelle autre formation végétale, car la biomasse, l'activité biologique et l'enracinement sont plus importants. Un sol forestier favorise l'infiltration de l'eau dans le sol plus qu'une autre occupation du sol. Une litière forestière hétérogène et perméable peut ainsi absorber et retenir plus de 10 mm d'eau. Les sols sont plus poreux et favorisent, de ce fait, l'infiltration de l'eau (**Giordano, 1994**).

Sont capable de stocker de plus grandes quantités d'eau, jouant un rôle d'éponge, plus ou moins important selon l'état de saturation des sols. Le taux d'infiltration des eaux de ruissellement pour un sol dépend de la surface drainée à l'amont.

La régulation hydrologique jouée par la végétation a ainsi pour effet de diminuer la quantité, la concentration et le débit du ruissellement et entre des terrains nus et une forêt, le ruissellement diminue et le temps d'écoulement de la pluie augmente jusqu'à 500 fois (**Giordano, 1994**).

Par rapport à des terrains dénudés, la forêt peut réduire d'au moins 80% la pointe de crue et d'au moins 50% le volume ruisselé rapidement. Elle peut tripler la rétention initiale avant le début d'un écoulement. Elle peut multiplier par cinq la capacité maximale d'infiltration pendant une crue. Il existe, cependant, des seuils d'efficacité en ce qui concerne l'hydrologie : l'influence de la forêt est moindre pour les événements pluvieux longs ou abondants. En effet, une fois le sol saturé, la forêt ne joue qu'un rôle réduit dans le ruissellement (**Rey & al., 2002**).

III.1.1. 3 Maintien des sols

La végétation permet de maintenir les sols grâce aux systèmes racinaires. Les végétaux permettent, en effet, d'améliorer la cohésion des sols et donc de renforcer leurs propriétés mécaniques.

Lorsque les racines pénètrent à 50 cm dans un sol peuvent doubler la consolidation de ce dernier (**Rey & al., 2002**).

III.1.2 Rôle de la végétation en faveur de la sédimentation

La végétation peut exercer un effet favorable sur la sédimentation des particules, grâce à des processus de piégeage et de rétention d'une partie des sédiments érodés à l'intérieur d'un bassin versant.

Il existe un effet de filtration des écoulements au travers de la végétation. Ces écoulements déposent les sédiments par suite de la réduction de leur énergie de transport.

Des études faites ont montré que les sédiments grossiers pouvaient également être piégés par des obstacles végétaux. D'autres études ont montrées que la végétation est d'avantage susceptible de piéger les sédiments fins (**Rey & al., 2004**).

Sur une zone marneuse en érosion de surface inférieure à 500 m², un obstacle végétal recouvrant 20% de cette zone et situé entièrement à son aval peut permettre de maîtriser complètement la sortie de sédiments de celle-ci.

Les végétaux constituent en effet un obstacle au ruissellement. Ils peuvent également se développer au contact des sédiments atterris arrivant au niveau de l'obstacle après chaque phase de ruissellement, colonisant ainsi les sédiments piégés. Cette dynamique végétale

naturelle peut permettre d'une part de retenir durablement les sédiments piégés, grâce au développement des systèmes radiculaires, d'autre part d'augmenter la capacité de piégeage des obstacles végétaux. En conséquence, à l'intérieur des bassins versants, de grandes quantités de sédiments érodés peuvent être piégées par des obstacles végétaux et ne rejoignent pas l'exutoire des bassins

D'ailleurs, plusieurs études ont montré que la production sédimentaire des bassins ou des versants diversement végétalisés ne variait pas de façon linéaire avec la couverture végétale **(Rey & al., 2004)**.

III.1.3 Efficacité des différentes formations végétales.

L'effet de la végétation peut être différent selon les formations végétales, il peut dépendre du type de végétation ou de l'utilisation du sol. Certains auteurs affirment que la forêt constitue la meilleure protection contre l'érosion hydrique de surface en montagne **(Rey & al., 2004)**.

D'autres auteurs ont observé qu'une couverture arbustive ou une végétation basse peut offrir une protection similaire à celle jouée par des arbres **(Rey & al., 2004)**.

La strate végétale a une importance vis-à-vis de l'efficacité de la maîtrise de l'érosion.

Ils ont ainsi observé une érosion croissante depuis une formation arborée et arbustive, une formation arborée, une formation uniquement au sol (herbacée et sous-arbustive), une formation au sol cultivée et enfin jusqu'aux sols nus. L'érosion diminue en effet lorsqu'on passe progressivement des marnes dénudées à un couvert d'arbres isolés, puis à un couvert arbustif et herbacé, et enfin à un couvert groupés.

Le rôle de la couverture herbacée est souvent dénigré, alors que bien souvent, elle peut être très efficace pour lutter contre l'érosion hydrique de surface.

La strate herbacée présente notamment la particularité de bien recouvrir le sol et ainsi d'offrir de bonnes possibilités de stockage d'eau en profondeur. Son action peut être optimale en mélange avec une formation arborée, les arbres permettant de dessécher les couches profondes, tandis que les herbes maintiennent la couche superficielle du sol.

Certains auteurs ont même observé une augmentation de l'érosion sur des terrains où une couverture herbacée avait été remplacée par une couverture arbustive, ils expliquent cela par une moindre résistance des ligneux bas au ruissellement diffus. Toutefois, on doit constater qu'en contexte torrentiel, la couverture herbacée est bien souvent insuffisante pour lutter efficacement contre l'érosion concentrée. Il apparaît donc que, suivant le type de ruissellement, l'herbe ne constitue pas la meilleure solution pour lutter contre l'érosion linéaire.

Au sein d'une même strate végétale, l'efficacité de la protection contre l'érosion hydrique de surface peut donc dépendre des espèces végétales, notamment de leur morphologie et de leur dynamique la morphologie et la taille des végétaux sont importantes pour la maîtrise de l'érosion, car cela détermine la formation de litière, élément qui favorise l'infiltration de l'eau dans le sol **(Rey & al., 2004)**.

IV. L'effet de l'utilisation des terres

Le processus d'érosion est étroitement lié au mode d'occupation du sol, qui contribue largement à son aggravation ou à son atténuation. L'occupation du sol détermine le degré de protection des sols. Comme il a été déjà mentionné l'influence du couvert végétal sur l'érosion linéaire est ainsi très importante. Son action est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, recouvre une forte proportion du sol et ralentit l'écoulement du ruissellement ou encore maintient une bonne porosité à la surface du sol. D'une part, la couverture végétale protège contre le phénomène de battance des pluies et prolonge alors la perméabilité des sols et réduit le volume ruisselé. D'autre part, une grande quantité de l'énergie du ruissellement est absorbée par la litière qui entretient la mésofaune (influençant la vitesse d'infiltration). Enfin, l'état de la couverture végétale influence directement la rugosité du sol. Celle-ci dépend notamment du nombre de tiges par mètre carré. Un couvert végétal composé d'herbacées à tiges nombreuses aura une action protectrice du sol plus efficace contre le ruissellement que des arbres **(Roose & Sarrailh, 1990)**. Donc moins un sol est couvert, plus le risque d'érosion est élevé.

Par ailleurs, les types de culture et leur rotation vont conditionner la durée et la densité de couverture du sol par la végétation. Les cultures à risque, c'est-à-dire qui favorisent l'érosion hydrique, sont les cultures de plantes sarclées ou assimilées (pomme de terre, maïs, betteraves sucrières, chicorées et cultures maraîchères de pleine terre). Donc la rotation de culture joue un rôle très important pour faire face au processus érosif, tout en favorisant le ruissellement et la fertilité des sols, et en augmentant la profondeur du sol par les racines des cultures utilisées **(Dupilet, 2003)**.

Le caractère saisonnier des cultures annuelles fait que les risques d'érosion restent très élevés sur la majorité des sols cultivés de cette façon. Les cultures semées à l'automne (céréales, légumineuses) ne commencent à couvrir le sol qu'à partir du mois de janvier, plus tard quand la sécheresse persiste jusqu'au mois de novembre ou décembre, ce qui engendre un retard du recouvrement des sols. Les terrains de culture restent donc nus pendant une bonne partie de l'année et sont directement exposés aux agents dégradants **(Tribak & Morel, 2004)**.

La litière joue également un rôle non négligeable pour minimiser l'érosion, du fait que la litière et les débris de végétaux présentes dans un sol réduisent l'énergie cinétique des gouttes de pluies, ralenti la vitesse de ruissellement, et joue également un rôle d'éponge toute en absorbant une quantité importante d'eau (par exemple la paille) **(Heusch, 1970)**.

La jachère permet une évolution de la matière organique vers sa minéralisation, toute en sachant que la matière organique améliore la structure du sol, et de ce fait diminue l'effet splash des gouttes de pluie et freine la formation d'une croûte de battance. Mais leurs utilisation n'est pas toujours fiable vu que les terrains jachères deviennent complètement nu après déchaumage en été ce qui conduit au compactage du sol qui par conséquent minimise l'infiltration et puis favorise le ruissèlement. Mais il faut noter que les terrains en jachère ne se comportent pas tous de la même manière; leur dynamique reste contrôlée par des paramètres liés aux caractéristiques des sols, de la pente et des aspects géomorphologiques des versants.

En ce qui concerne le labour, il favorise l'infiltration de l'eau en augmentant sa porosité mais au même temps le sol est appauvri en matière organique. Et même le sens du labour par rapport à la pente joue un rôle plus ou moins important contre l'érosion et le ruissèlement. Le travail du sol dans le sens de la pente accentue fortement le phénomène de ruissellement en traçant des lignes d'écoulement préférentielles pour l'eau. Un travail perpendiculaire à la pente est donc souhaitable, bien que parfois difficile à mettre en œuvre. Le non labour permet sur les terrains limoneux de conserver la matière organique en surface et donc d'améliorer fortement la stabilité structurale du sol. Mais la durabilité du non labour peut conduire par la suite au compactage du sol **(Dupilet, 2003)**.

V. Aménagement de lutte contre l'érosion au Maroc

Le Maroc, pays essentiellement aride, est durement confronté depuis plusieurs années aux graves menaces de l'érosion et de la dégradation sévère de ses ressources naturelles (sol, couvert forestier et végétal...). Face à cette situation, le Maroc a adopté entre 1990 et 1996, avec la collaboration d'organismes internationaux et la participation de divers partenaires concernés, un Plan National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV) visant à la gestion durable des ressources naturelles associées, la préservation des eaux à leur source et l'amélioration du niveau de vie des populations démunies qui en dépendent (HCEFLCD).

Les principaux objectifs en termes de lutte contre l'érosion du PNABV sont :

- La réduction de l'envasement des barrages et l'amélioration de la qualité de l'eau ;
- Le développement socio-économique des populations ;

- La sécurisation de tout le domaine forestier (9 millions d'hectares);
- La prévention contre les incendies et la surveillance sanitaire ;
- Le renforcement des infrastructures socio-économiques au niveau des bassins versants.

Pour cela, 22 bassins versants occupant une superficie de près de 15 millions d'ha ont bénéficié d'un programme d'action entre 2008 et 2012 ce qui a permis de :

- Protéger le reboisement et consolider les plantations anciennes ;
- Régénérer et reconstituer des milieux forestiers ;
- Élaborer des plans d'aménagement antiérosifs au niveau de 6 bassins versant

L'érosion présente un risque notable pour les bassins versants, il est nécessaire alors d'évaluer ce danger par une étude de l'évolution de l'occupation du sol ainsi que de modéliser ce phénomène pour produire à la fin une carte de sensibilité à l'érosion aidant à gérer la dégradation des sols. La géomatique constitue un outil fiable et robuste qui permettra de réaliser cette étude. Cela constitue l'objet du chapitre suivant qui traite l'apport de la géomatique dans le suivi et la gestion de notre problématique (**El Hadraoui, 2013**).

VI. Conclusion

Le présent chapitre traite la partie bibliographique afin de présenter les mécanismes, les formes et les facteurs de l'érosion hydrique tout en détaillant l'effet du couvert végétal sur cette dernière.

Ainsi que plusieurs travaux montrent le rôle important joué par la végétation pour protéger le sol contre l'érosion hydrique tout en tenant compte la répartition de cette dernière sur le terrain, du type de couvert et du type d'action de la végétation sur les différents processus érosifs.

Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude :

I.1 Situation géographique

Le sous Bassin de l'Ourika fait parti du Bassin versant de Tensift, ce dernier est réparti principalement sur 3 Communes rurales, à savoir l'Ourika, Setti Fadma, et l'Oukaïmden au voisinage du Parc National de Toubkal (à 75 km au Sud de la ville de Marrakech) (**Figure 1**).

Ce bassin est un système hydrographique bien individualisé du Haut Atlas de Marrakech, compris entre 31° et 31°20' Nord et entre 7°30' et 7°60' Ouest. L'oued principal prend ses sources dans les hauts reliefs de la chaîne du Haut Atlas à des altitudes avoisinant 4000 m. Les altitudes varient de 1070 m à l'exutoire d'Aghbalou au point culminant situé à 4001 m, et l'altitude moyenne est de l'ordre de 2500 m.

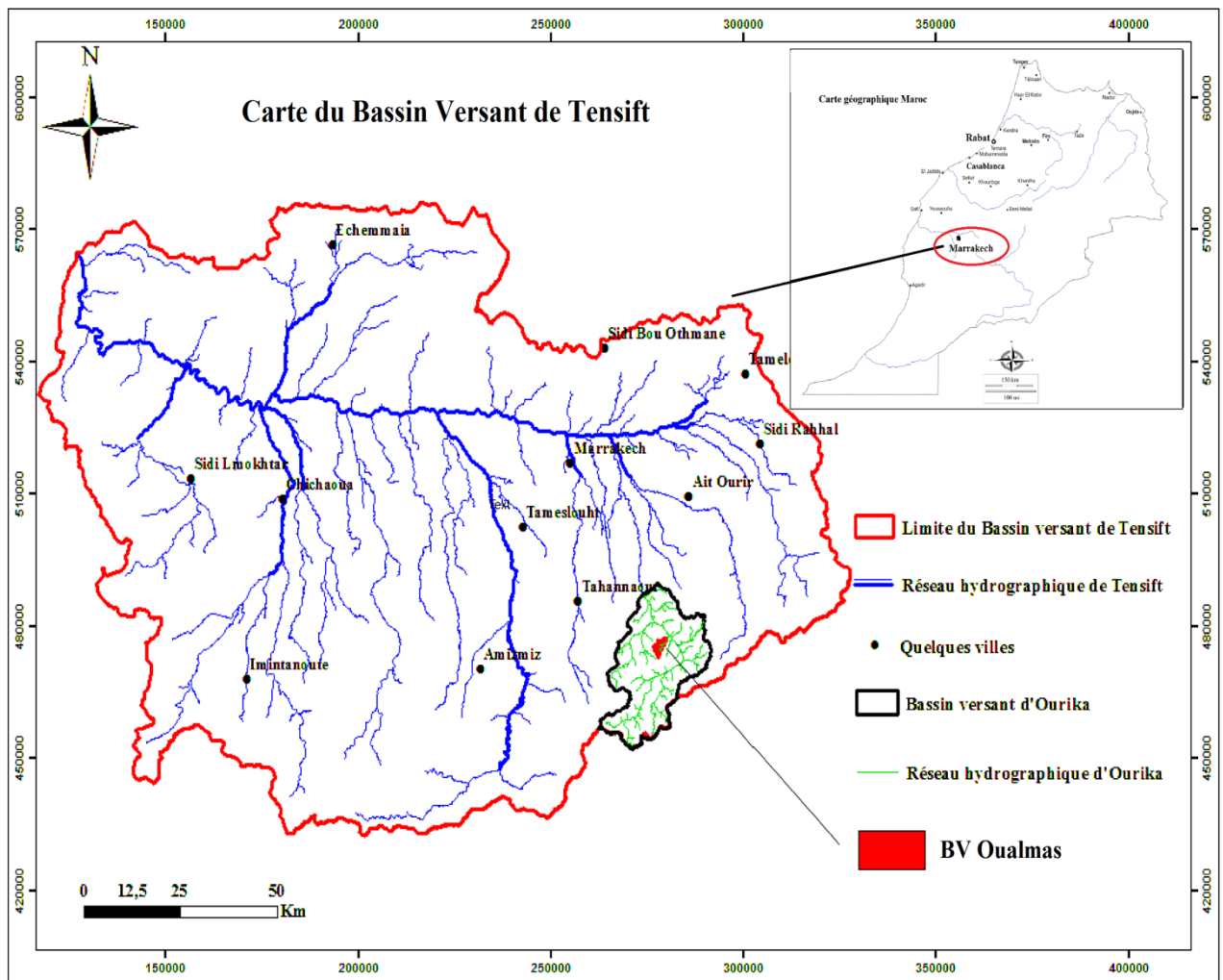


Figure 1 : Situation géographique des bassins versant de Tensift (Ourika, Oualmas

(Source : MELIHO, 2016)

Le bassin versant d'Ourika lui-même est divisé en plusieurs sous bassins, On cite de l'amont vers l'aval trois sous bassins principales :

- Sous Bassin de Setti fadma
- **Sous Bassin d'Oualmas**
- Sous Bassin d'Amassine

Le sous bassin d'Oualmas présenté dans la carte si dessous (**Figure 2**) est l'objet de cette étude, et se situe entre les deux sous bassins (Amassine et Setti fadma).

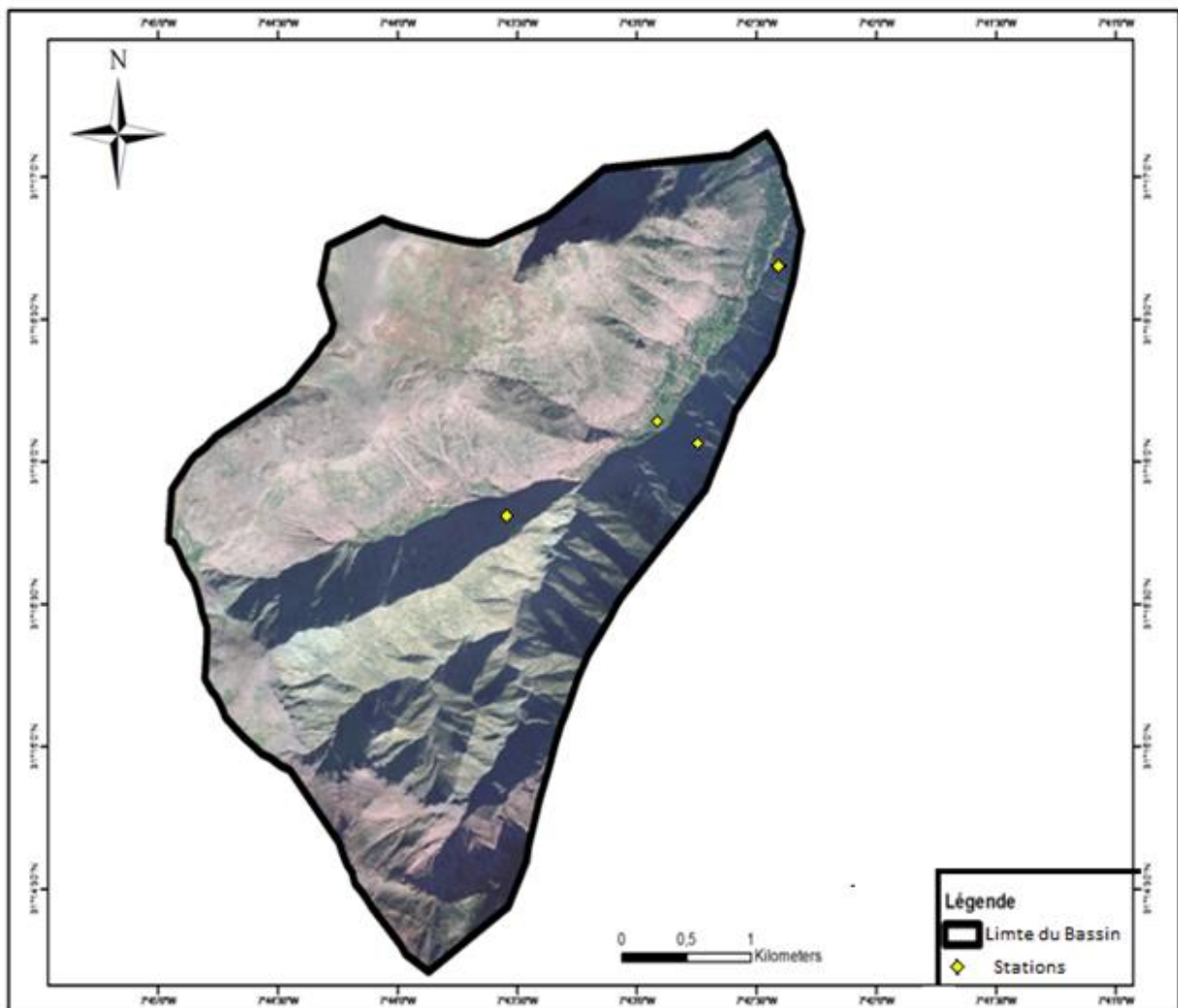


Figure 3 : carte de la limite du Bassin Versant D'Oualmas (avec les stations)

I.2 Découpage administratif et population

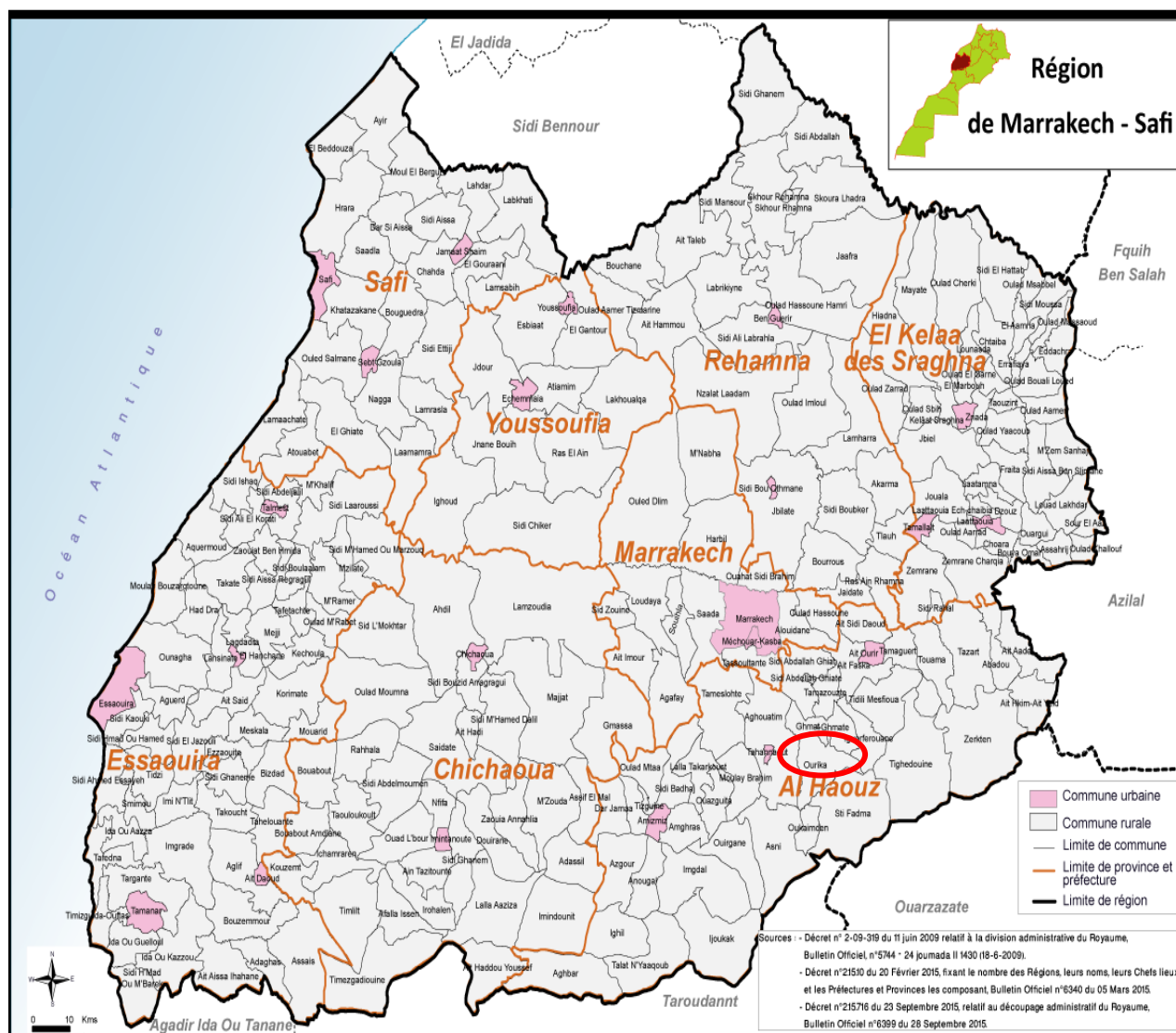


Figure 4 : Découpage administratif de la Région Marrakech-Safi (Source : HCPRPH, 2014)

Tableau 1 : Population des Provinces et de la Préfecture (Ensemble des deux milieux urbain et rural)

	Ménages	Habitants	Etrangers	Marocains
Région: Marrakech-Safi	928 120	4 520 569	8 636	4 511 933
Préfecture: Marrakech	302 137	1 330 468	6 764	1 323 704
Province: Saffi	144 490	691 983	396	691 587
Province: Al Haouz	111 627	573 128	362	572 766
Province: El Kelaa des Sraghna	97 874	537 488	115	537 373
Province: Essaouira	95 520	450 527	795	449 732
Province: Chichaoua	73 928	369 955	66	369 889
Province: Rehamna	57 514	315 077	65	315 012
Province: Yousseoufia	45 030	251 943	73	251 870

Source: Haut Commissariat au Plan, Recensement de la Population et de l'Habitat, 2014

La province d'Al Haouz est parmi les régions qui abritent un nombre important de la population qui est de l'ordre de 573 128 ha (**Tableau 1**), donc la zone connaît une pression importante sur les différentes ressources (le bois, ressource en eau et autre). Cette province a enregistré un taux d'accroissement de 1,7 entre 2004 et 2014 (**Figure 4**).

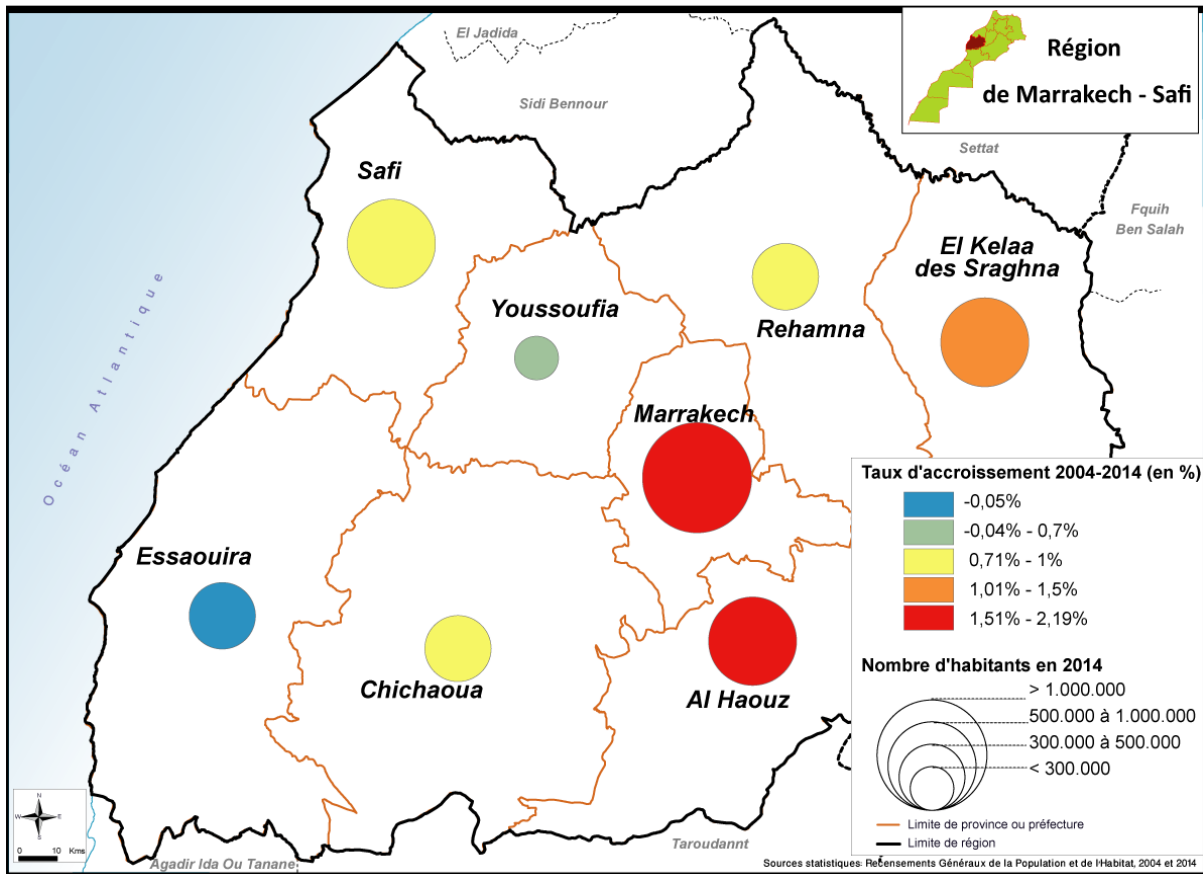


Figure 5 : Taux d'accroissement de la population entre 2004 et 2014 (Source : HCPRPH, 2014)

La densité de la population de la région est de 115,4 habitants au km². Comparée à la densité de l'ensemble du MAROC (47,6), la région est la quatrième des plus densément peuplées du pays.

Pour le niveau communal, la densité varie de 12 habitants/Km² (5 communes ont une densité inférieure à 20 habitants par Km²) à 41.000 habitants/Km² au niveau de la ville de Marrakech. Alors que la densité de la population au niveau du Bassin d'Ourika varie entre 251 à 500 hab/km² (**Figure 5**).

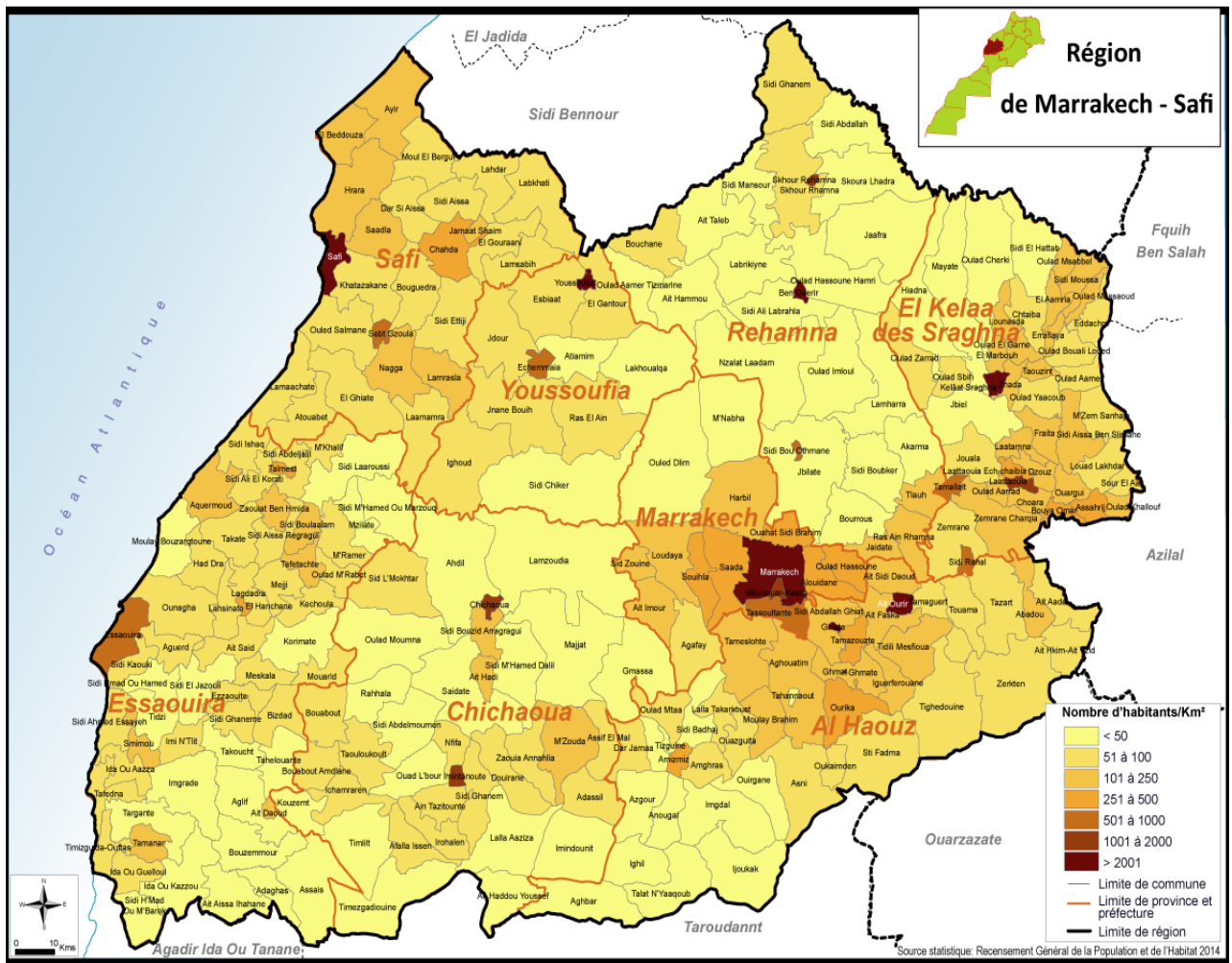


Figure 6 : Densité communale de la population en 2014 (Source : HCPRPH, 2014)

I.3 Morphométrie générale

La région de l'Ourika est caractérisée par l'abondance des reliefs élevés et avec des altitudes moyennes comprises entre 1600 et 3200 m qui présentent 75 % des surfaces du bassin

Les pentes sont généralement fortes. Celles du cours principal ne dépassent pas 5 %, mais celles des affluents et des versants montagneux sont beaucoup plus importantes. Ces pentes confèrent à l'oued un caractère violent et torrentiel. Et le tableau ci-dessous résume toutes les caractéristiques morphologiques du bassin versant d'Ourika (**Tableau 2**).

Alors que la zone d'Oualmas concernée par l'étude se situe à des altitudes comprises entre 1150 m et 2450 m, et les altitudes élevées se concentrent dans la partie nord-ouest et toute la partie sud du bassin, ainsi que des pentes qui varient entre 0 et 70 % avec la dominance des fortes pentes ce qui rend la zone très accidentée en majeure partie (**Figure 6 et 7**).

Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques du bassin versant de l'Ourika

Périmètre (Km)	104
Surface (Km ²)	503
Longueur du cours principal (Km)	45,5
Longueur du rectangle équivalent	39,2
Largeur du rectangle équivalent (Km)	12,8
Altitude maximale (m)	1001
Altitude minimale (m)	1070
Altitude moyenne (m)	2500
Pente moyenne du cours principal	2,15%
Pente moyenne des principaux affluents	9,35%
Pente moyenne des versants montagneux	35%

(Source : Saïdi & al., 2010)

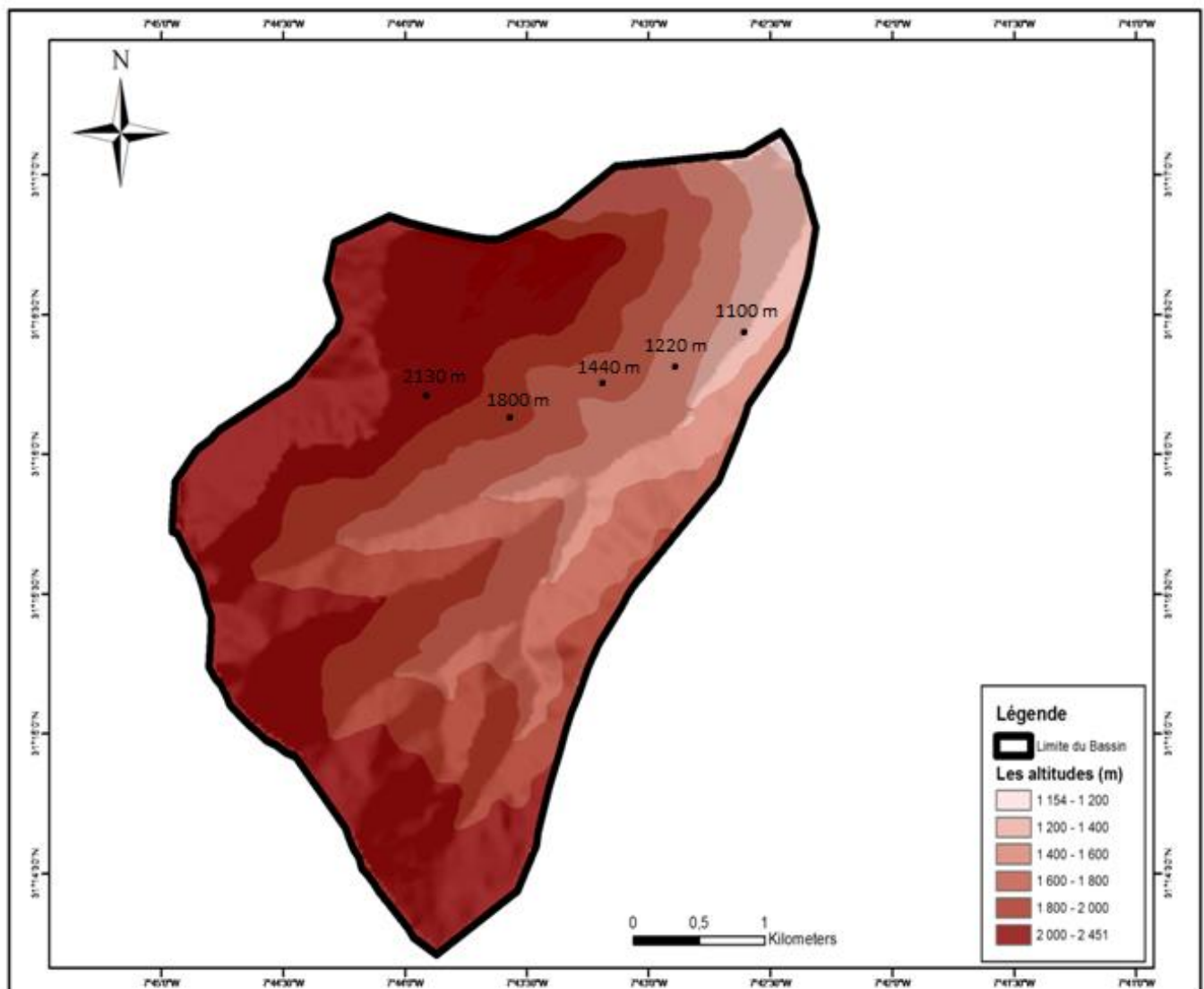


Figure 7 : Carte des altitudes du bassin versant d'Oualmas

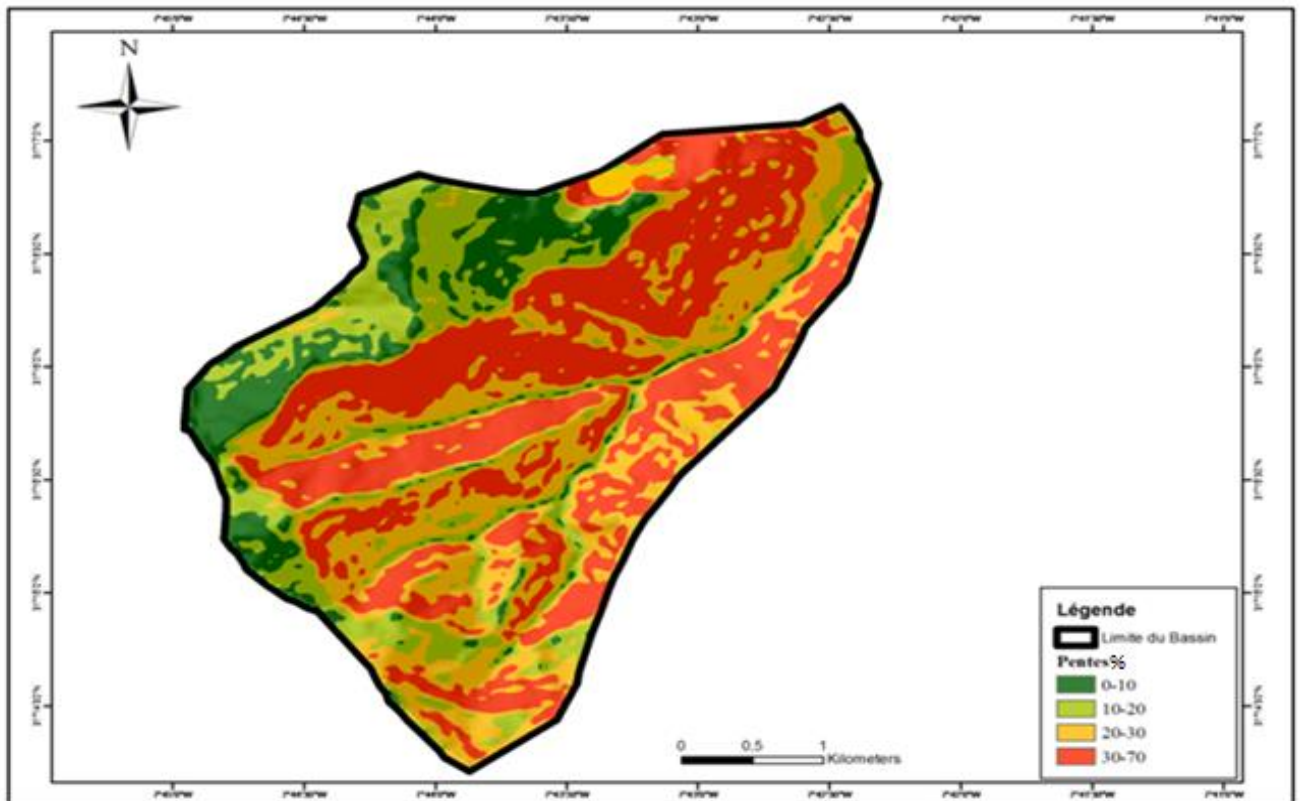


Figure8 : Carte des pentes du bassin versant d'Oualmas

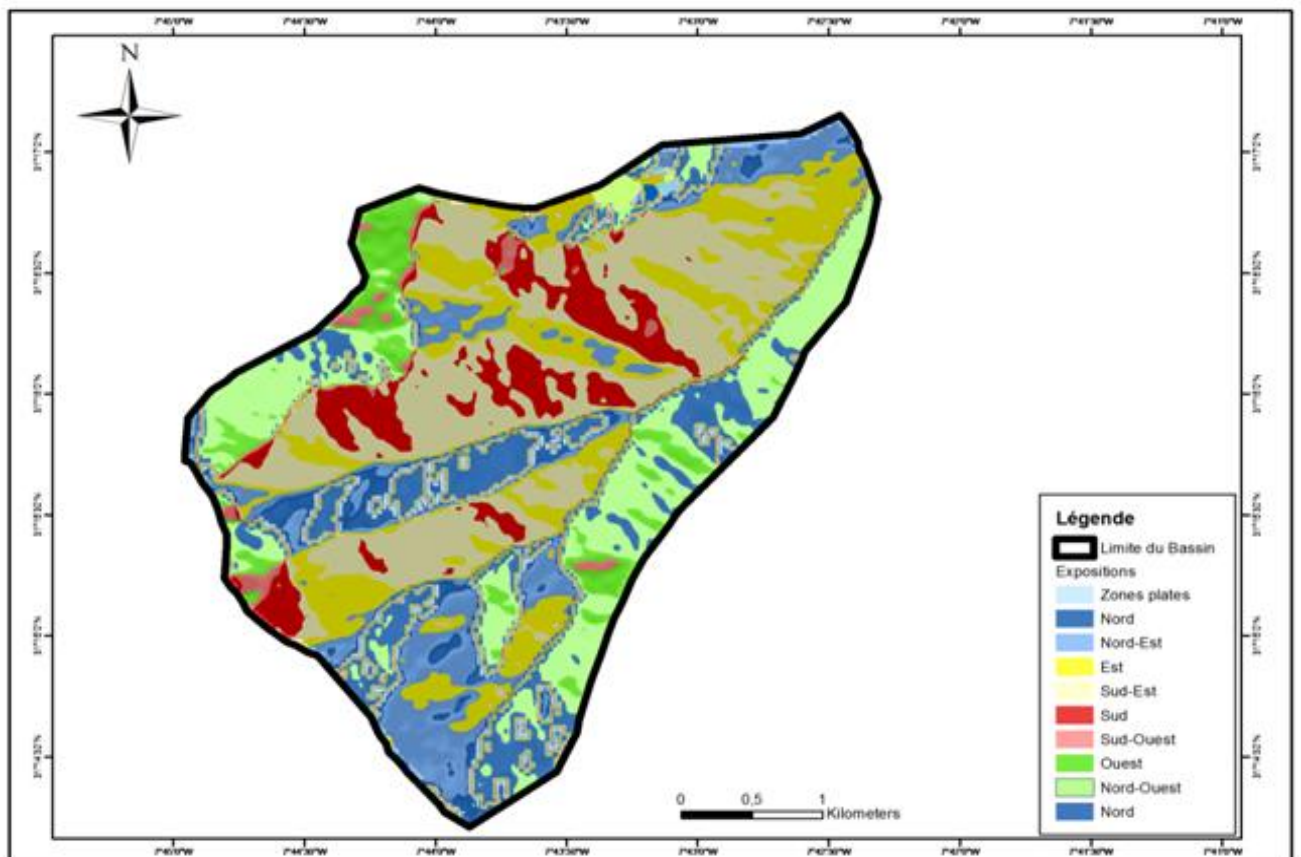


Figure 9 : Carte d'expositions des versants

I.4 Géologie

Le bassin Versant d'Oualmas se compose au total de huit formations géologiques qui sont représentées dans la carte ci dessous (**Figure 9**) qui a été réalisée à partir de la carte géologique 1/60000 du versant Nord du Haut Atlas de Marrakech, zone Oukaimden-Ourika.

Les formations géologiques sont les suivantes :

- Gneiss, Micaschistes, Amphibolites, Rhyolites, Ignimbrites et Granodiorite font partie de l'âge Précambrien.
- Conglomérat, Grés et Trachyandésites font partie de l'ère primaire (paléozoïque) le cambrien.
- Conglomérat, Sélites et Grés font partie de l'ère secondaire (mésozoïque) le trias.

Le classement de ces formations selon leur dureté (plus dure au moins dure) est le suivant : Gneiss, Rhyolite, Granodiorite, Trachyandesites, Silites grès puis conglomérats.

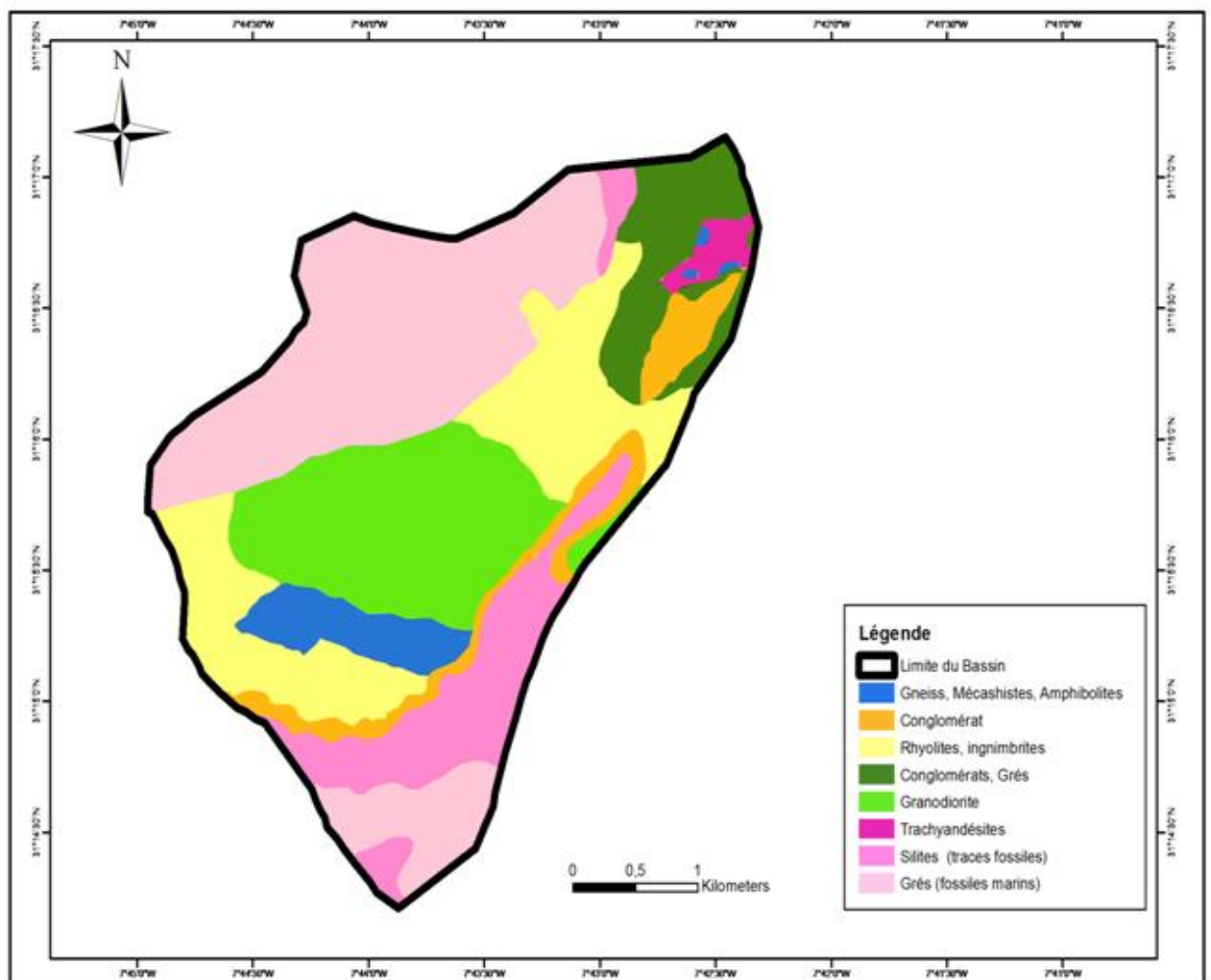


Figure 10 : Carte géologique du Bassin Versant d'Oualmas

I.5 Climat

Le climat de la région de Marrakech- Safi se distingue par une variabilité apparente (température estivale moyenne des maxima 37.7°C et des minima 4.9°C) avec une pluviométrie faible et irrégulière. Les précipitations varient en hauteur, en intensité et dans la distribution géographique, elle varie de 800mm en région de montagne à 190mm dans la plaine.

Il reste soumis aux influences de l'Océan Atlantique, aux altitudes très élevées du Haut Atlas. Le caractère aride et semi-aride domine dans toute la région, le subhumide apparaît seulement dans le haut atlas à une altitude comprise entre 1500 et 2000m. Au niveau du bassin versant d'Ourika le climat est semi aride caractérisé par sa variabilité.

Presque la moitié de la superficie régionale présente des précipitations inférieures à 300 mm/an en moyenne dans la chaîne atlasique. Les basses températures permettent des précipitations de flocon de neige à partir de 2500m d'altitude.

Tableau 3 : Précipitations moyennes en 30 ans (mm) (1982- 2012)

Mois Stations	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Totale
AGHBALOU	42	49	57	59	31	10	2	4	14	37	52	50	407

La zone d'étude est proche de la station d'Aghbalou avec une moyenne de précipitation qui est de l'ordre de 407 mm/an, il s'agit d'une moyenne en 30 ans, et une température minimale 0.3°C et maximale 34,9°C. Ces données ont permis de calculer le quotient d'Emberger ($Q=40,45$), à partir de cette valeur et la température minimum, le bioclimat au niveau de la zone d'étude est Semi-aride Frais (Climagramme d'Emberger). L'amplitude thermique est de 34.6 °C donc le climat est semi continental modéré d'après le Climagramme de Debrach.

I.6 Hydrologie

L'ordre du cours d'eau principale est de 6, cette classification se base sur une méthode d'ordination de strahler qui stipule que deux segments de cours d'eau d'ordre (1) donne un segment d'ordre (2) et ainsi de suite (**Annexe1**). Ceux-ci donnent au bassin une hiérarchisation très importantes du cours d'eau, Le retraçage du réseau est fait à partir de la carte topographique au 100 000è d'Oukaimeden-Toubkal (**Figure 11**). La longueur totale du réseau est estimée à environ 1550 km et la densité de drainage est de l'ordre 3,1 km/km².

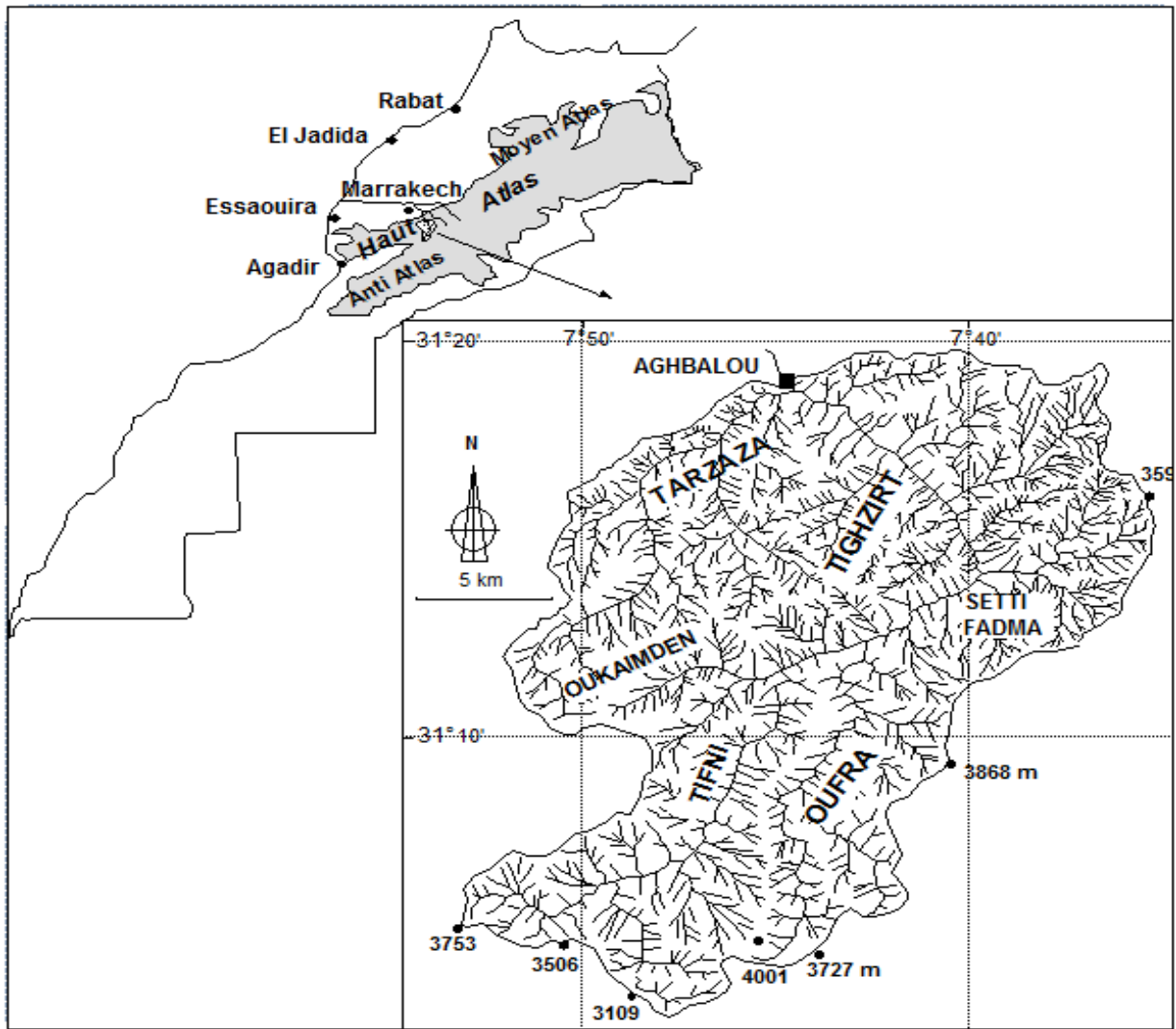


Figure 11 : Carte des réseaux hydrographiques d'Ourika (Source : CHRIF & EDDERKAOU, 2014).

Le réseau hydrographique au niveau d'Oualmas est constitué généralement de trois effluents principaux dans la partie sud du bassin ainsi que d'autres effluents secondaires, et qui se rassemblent au niveau d'un réseau principale (partie nord) qui rejette directement dans l'Oued d'Ourika (**Figure 12**).

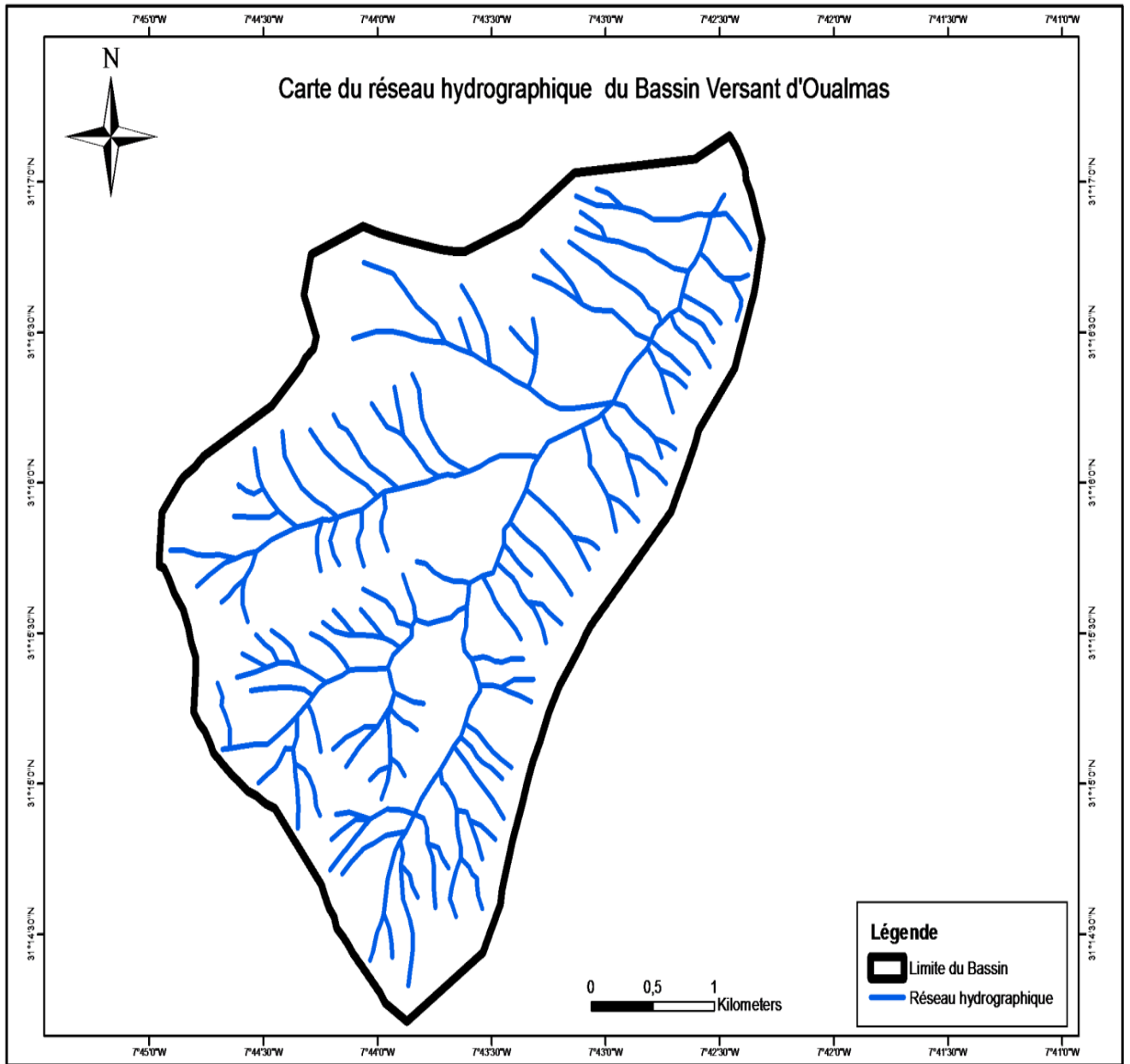


Figure 12 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Oualmas

I.7 Végétation

Le Haut Atlas est le domaine des massifs forestiers du chêne, du thuya et des autres conifères **(HCPRPH, 2014)**.

La zone d'Oualmas est caractérisée par la présence de certaines espèces végétales. Dans la partie où les altitudes sont moins importantes (au dessous de 1400 m) on trouve *Juniperus phoenicea* (Genévrier rouge) **(Photo1)**, et plus on monte dans l'altitude (au dessus de 1400 m) on observe la chênaie de *Quercus rotundifolia* à *Juniperus oxycedrus*, il s'agit respectivement d'un mélange entre le chêne vert avec le genévrier oxycédre **(Photo 2)**. Le chêne vert de la zone est sous forme de taillis ne dépassant pas 6 mètres d'ateur vu qu'il se trouve dans la limite de son aire de répartition, alors qu'ailleurs (dans son aire de répartition), il peut atteindre en moyenne 20 mètres d'ateur, car l'étage bioclimat où se trouve principalement le chêne vert est le subhumide alors que dans la zone concerné il se trouve dans la limite entre le semi aride et le subhumide. Les deux formations sont rencontrées sous forme de forêt dense, forêt moyennement dense ainsi que matorral.

Notons bien que, selon les observations sur le terrain ainsi que les parcelles expérimentales, on a pu estimer visuellement le taux de recouvrement. Dans le cas de cette zone d'étude, et suite de ce que nous avons vu sur le terrain, lorsque le recouvrement est important (dépassé 60%) on est dans une forêt dense, vu que la zone est plus ou moins dégradée, 40% de recouvrement pour les forêts moyennement denses, ainsi que 25% pour les forêts claires **(Figure 13)**.

Ces taux de recouvrement ont été déterminés suite aux observations des paysages ainsi que les fiches de description de la zone (fiche de simulation) qui présentent tous les éléments descriptifs et toutes les mesures nécessaires sur le terrain (mesure des différents paramètres) **(Annexe 2)**.

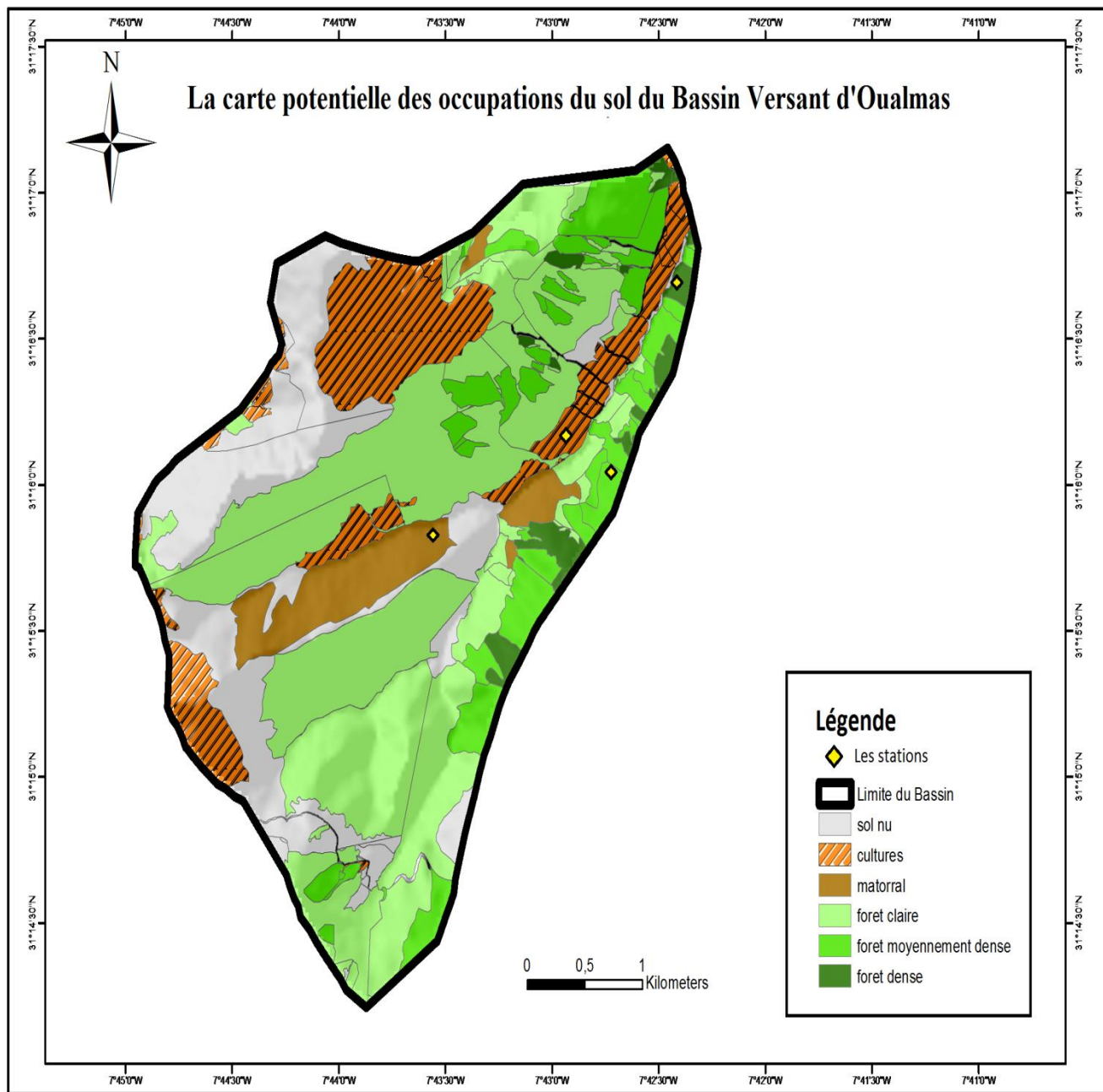


Figure 13 : Carte des occupations du sol du Bassin Versant d'Oualmas (avec des points de stations)

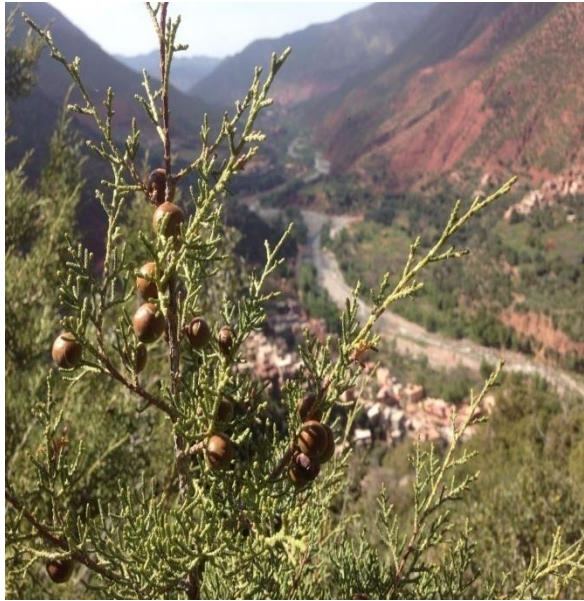


Photo1 : *Juniperus phoenicea*



Photo 2 : *Juniperus oxycedrus* et *Quercus rotandifolia*

I.8 Activités humaines

Au niveau de la province d'Al Haouz le taux d'activité rural est de 60% ce qui montre la pression exercé par ses habitants sur les écosystèmes (**Tableau 4**).

La zone d'Ourika abrite de nombreuses activités humaines. L'économie dans le bassin est basée essentiellement sur l'agriculture et l'élevage, et accessoirement sur les activités industrielles, minières et tourisme.

Tableau 4: Taux d'activité selon les provinces

Année 2012	Taux D'activité %		
	Total	Urbaine	Rurale
Marrakech	47,1	46,0	50,5
Essaouira	61,0	45,2	67,2
El kelaa des Sraghna	54,3	41,1	59,8
Al Haouz	57,8	43,0	<u>60,0</u>
Safi	52,5	43,4	62,5

Source : Haut commissariat au plan, annuaire statistique du Maroc de 2013

L'agriculture est l'activité exercée par excellence dans la zone d'étude (Oualmas), car ses habitants assurent leurs besoins au dépend de cette activité, et vu la difficulté du terrain et les problèmes d'inondations, les terrains de cultures sont mis en place sous forme de terrasses toute en essayant de minimiser les pertes.

Les principales cultures dans le sous bassin d'Oualmas sont :

- ✓ Céréaliculture (l'orge, blé, etc..).
- ✓ L'oléo-culture.

Alors que pour l'élevage au niveau de la zone est généralement celui des bovin, ovin et caprin, ce dernier est le plus pratiqué dans la zone.

II. Techniques utilisées :

II.1 Test de simulations de pluie

II.1.1 Description du dispositif expérimental

Le simulateur de pluies utilisé est un simple irrigateur manuel (Roose, 1996). Il s'agit d'une version simplifiée à l'extrême du simulateur de pluie. Il est constitué d'une rampe d'arrosage de 50 cm de large, comportant une ligne de trous de 0,5 mm de diamètre distants de 1 cm, reliée par un tuyau souple d'environ cinq mètres de long à un bidon de 60 litres situé au-dessus de la placette. La placette mise en place dans la direction de la pente du terrain, de superficie de 1 m² (60 cm x 166 cm) est délimitée latéralement par deux barres de fer de 166 cm de long, simplement posées sur le sol de façon à matérialiser les côtés de la placette sans briser l'état de surface du sol. Des bourrelets de terre humide sont disposés sur l'extérieur des barres pour les stabiliser et assurer le cas échéant l'étanchéité de la bordure (**Photo 3**).

À l'aval un métal de forme triangulaire à bord arrondi est conçu pour recueillir le ruissellement et le conduire à un récipient pour le collecter et le quantifier (**Photo 4**).



Photo 3 : Test de simulation de pluie



Photo 4 : Métal de forme triangulaire à bord arrondi

II.1.2 Etat de surface

- **Surfaces couvertes, ouvertes et fermées**

Avant le démarrage du test de simulation, différents paramètres de surface sont mesurés. L'état de surface du sol est décrit par la méthode des points quadrats (Roose, 1996). On matérialise les deux diagonales de chaque parcelle, et on laisse descendre (systématiquement, sans viser) un crayon à intervalle régulier le long de la ligne tous les 2 cm. Au point de contact avec le sol, on note sur une fiche l'état de surface rencontré : la surface nue ou couverte et la surface fermée ou ouverte. Les surfaces couvertes au ras du sol (SC) englobent tout ce qui est litière, végétation et cailloux non intégrés dans la masse du sol. Les surfaces ouvertes (SO) concernent surtout les fissures, les galeries et les mottes constituant des pièges favorisant l'infiltration. Les surfaces fermées (SF) correspondent aux zones obturées par une pellicule de battance (environ 1 mm d'épaisseur), croûte de sédimentation (3 à 30 mm d'épaisseur), semelle de tassement, croûte d'érosion (d'épaisseur allant de 5 à 30 mm et très tassée), témoin de passage d'un animal ou d'un dépôt provenant de l'érosion hydrique et surface des cailloux intégrés dans le sol. A partir de ces relevés, le pourcentage de chaque état de surface est calculé :

- % de la surface du sol nue = Le nombre de points dont le sol est nu / Le nombre total des points observés le long des deux diagonales ;
- % de surface couverte = 100 % - % du sol nu ;

- % de la surface du sol ouverte = Le nombre de points dont le sol est ouvert / Le nombre total des points observés le long des deux diagonales ;
- % de surface fermée = 100 % - % surface du sol ouverte.

II.1.3 Humidité du sol

L'humidité du sol est mesurée avant le démarrage du test, et se fait au niveau de la parcelle expérimentale ainsi que pour l'échantillonnage du sol à différentes profondeurs à l'aide d'un appareil de mesure d'humidité sur terrain le TDR (**Photo 5**).



Photo 5 : Appareil de mesure d'humidité : TDR

II.1.4 Résistance du sol à la pénétration et au cisaillement

D'autres paramètres liés à l'état de surface sont mesurés. Les résistances à la pénétration (PEN kg/cm²) et au cisaillement (SS kg/cm²) sont mesurées respectivement, aux alentours de la parcelle, par un pénétromètre de poche (**Photo 6**) et un scissomètre (**Photo 7**) à raison de

dix répétitions pour chaque paramètre. Les pénétromètres servent à déterminer la résistance à la pénétration d'un sol.

La résistance à la pénétration est un moyen de déterminer la capacité de support de charge du sol et la facilité avec laquelle les racines vont se frayer un chemin dans le sol.

La résistance à la pénétration est une caractéristique mécanique qui, pour certaines textures, dépend de paramètres variables, tels que le degré d'humidité, la densité et la force de liaison entre les particules minérale.

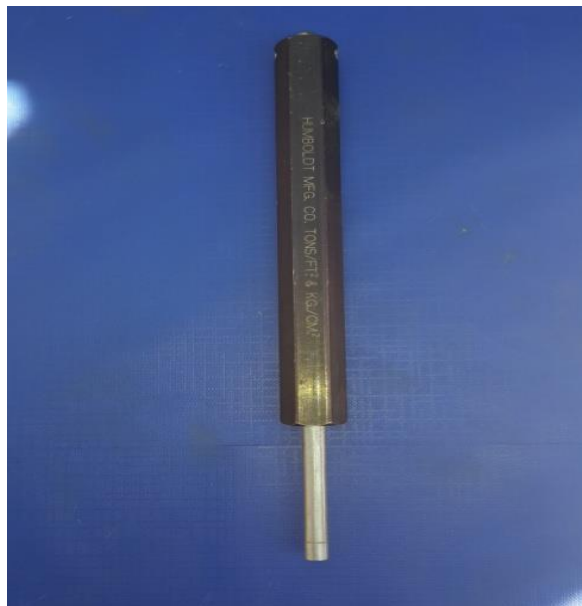


Photo 6 : Pénétromètre à poche

Le scissomètre est un instrument utilisé en mécanique des sols pour mesurer la cohésion de certains sols fins (exemple : argiles, limons, vases). L'appareil mesure sa résistance au cisaillement sous contrainte normale nulle (unité dans une situation non drainée).

En général une tige métallique avec des pales à son extrémité est enfoncée dans le sol en limitant les remaniements inévitables. Les pales sont mises ensuite en rotation par un couple de torsion dans l'axe de la tige. La rupture du sol est progressive, la vitesse de cisaillement des sols influe beaucoup sur les résultats des essais.

Un scissomètre peut aussi servir à mesurer la cohésion de la neige.



Photo 7: Scissomètre

II.1.5 Indice de rugosité

L'indice de rugosité (R) est déterminé par la méthode de la chaînette (**Roose, 1996**) qui consiste à utiliser une chaînette métallique posée de façon rectiligne. Trois répétitions sont mesurées pour chaque placette.

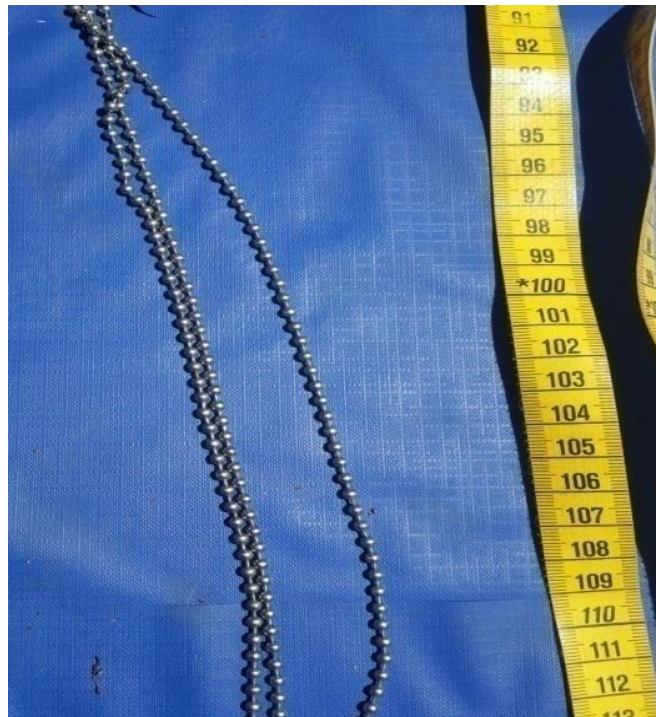


Photo 8 : Chainette de mesure de rugosité

II.1.6 Test de simulation de pluie

Après l'évaluation de l'état de surface et après la mesure de l'intensité de pluie simulée (intensité initiale), on démarre le test qui consiste à arroser le plus régulièrement possible la placette de 1 m² par des mouvements de va et vient de la rampe d'arrosage dans le sens de la placette, avec des pluies d'environ 80 mm/h d'intensité réglée par une vanne à la sortie de la citerne. Le réglage parfait de cette intensité reste toutefois difficile à obtenir et nécessite plusieurs essais pour le stabiliser. En fin la mesure de l'intensité finale de pluie simulée une autre fois à la fin du test (**Photo 9**).



Photo 9 : Mesure de l'intensité de pluie simulée

Sur la fiche terrain, on reporte toutes les 5 minutes, les valeurs de la quantité d'eau ruisselée jusqu'à stabilisation. La durée du test maximale est d'une heure.

A partir des mesures après chaque test d'infiltration, on calcule :

- *La pluie d'imbibition (Pi) :*

La pluie d'imbibition (Pi en mm) est définie comme étant la hauteur d'eau infiltrée avant le début du ruissellement, elle est calculée à partir du temps de réaction du sol (**Tr**) et l'intensité de pluie. En effet, le temps de réaction du sol est le laps de temps que met le sol avant le ruissellement. La durée de ce temps dépend de plusieurs facteurs liés au sol.

- *L'infiltrabilité (If) :*

La capacité d'infiltration d'un sol décroît avec le temps lors d'un événement pluvieux. Elle tend progressivement vers un régime constant appelé infiltration permanente ou infiltration finale (If, mm/h).

La surface de 1 m² des placettes est très faible par rapport à la forte variabilité naturelle des unités de paysage étudiées. On s'est efforcé de choisir pour chaque occupation trois placettes comportant des états de surfaces jugés représentatifs du site et des variations observées (sous couvert et hors couvert). Le nombre total de tests de simulation de pluie réalisé est de :

5 occupations * 3 répétitions = 15 parcelles de simulation de pluies. La totalité des paramètres mesurés sur le terrain seront utilisés pour le calcul de certains indices (**Tableau 5**).

Tableau 5: Les formules de calcul des paramètres

Abréviation	Signification	Unité	Formule de calcul
IF	Capacité d'infiltration finale	mm/h	$I_f = P - R$ Avec : P : Intensité de pluie simulée (mm/h) = $((I_1 + I_2) / 2) * 60$ I_1 : intensité initiale de la pluie simulée avant simulation (l / min) I_2 : Intensité finale de la pluie simulée après simulation (l / min) R : intensité du ruissellement (mm/ h) = $((V_r / 1000) / 5) * 60$ V_r : volume ruisselé (ml).
Pi	Pluie d'imbibition	mm/h	$P_i = (p * T_r) / 60$ Avec : P : intensité de pluie simulée (mm/h) T_r : Temps de déclenchement de ruissellement (mn)
D	Détachabilité	g/m ² /h	$D = \text{poids des sédiments (g)} * (60 / \text{durée de simulation (l/mn)})$
Kr	Coefficient de ruissellement	%	$K_r = (L_R / L_P) * 100$ Avec : L_R : Lamme d'eau ruisselée totale (mm) = $(R_i / 60) * \Delta t$ R_i : intensité de ruissellement à chaque pas de temps Δt : pas de temps (mn) L_P : Lamme d'eau précipitée totale (mm) = $L_R + L_I$ L_I : Lamme d'eau infiltrée totale (mm) = $\sum L_{li}$ L_{li} : Lamme d'eau infiltrée à chaque pas de temps (mm) = $(l_i / 60) * \Delta t$
R	Indice de rugosité	%	$R = (L - L_i / L_i) * 100$ Avec : L_i : longueur initiale de la chaînette (m) L : longueur mesurée (m)

II.1.7 Echantillonnage du sol

En vue de pouvoir mesurer les paramètres physiques en relation avec les réponses hydrologiques du sol, on a prélevé autour de chaque parcelle de simulation de pluie des échantillons de sol.

A l'aide d'un cylindre de 10 cm de hauteur et 4 cm de diamètre, on a prélevé des échantillons de sol à trois profondeurs (0-10cm), (10-20 cm) et (20-30cm) en vue de mesurer la densité apparente et la porosité (**Photo 10**).



Photo 10 : Matériels d'échantillonnage du sol

II.2 Analyse du sol: technique et méthode

II.2.1 Densité apparente, porosité du sol

Les échantillons de sol sont pesés à l'état frais et passés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures (durée suffisante par convention pour l'évaporation de l'eau sans qu'il y ait décomposition des carbonates) et pesés de nouveau à la sortie de l'étuve pour obtenir la masse anhydre (m_0). Cette étape a permis de déterminer :

- **La densité apparente (D_a en g/cm^3)** : la densité de l'échantillon est obtenue par la formule de Blake (1965) :

$$D_a = m_o / V \quad \text{avec : } m_o = \text{masse anhydre du sol (g)}$$

$$V = \text{volume du cylindre (cm}^3\text{)}$$

- **La porosité totale (%)** : une fois la densité apparente connue, on a déduit la porosité totale. La formule de cette dernière se présente comme suit :

$$P\% = 100\% - ((D_a/D_r) * 100) \quad \text{avec } D_r = \text{constante} = 2,65\text{g/cm}^3$$

II.2.2 Détachabilité des sols (D)

La mesure de la détachabilité consiste à la quantification des sédiments transportés par les eaux de ruissellement et conservées dans les jerricanes à la fin de la simulation de pluie. Par parcelle de simulation, on prend 500ml de cette eau après agitation dans un bêcher qu'on dépose pendant 72h afin que les sédiments se redéposent jusqu'à la clarté de l'eau. Pour les séparer, on pipette cette eau dans le levier jusqu'aux sédiments déposés. Par la suite, les bêchers tarés contenant des sédiments sont séchés à l'étuve pendant 24h à 105°C. Après séchage, les bêchers sont repesés pour trouver la masse des sédiments.

La **détachabilité des sols (D)** est obtenue par la formule suivante :

$$D (\text{g} / \text{m}^2 / \text{h}) = \text{Poids des sédiments} / (\text{g}) * [60 / \text{durée de simulation (min)}].$$

II.2.3 Taux de Matière organique : par méthode de Walkley-Black :

La dégradation de la matière organique entraîne la formation de constituants humiques qui se lient aux constituants minéraux dégradés pour constituer le complexe argilo-humique, matière première des agrégats. La matière organique humifiée a donc une influence positive sur la stabilité structurale, elle donne au sol la cohésion et la consistance contre l'impact de l'énergie de la pluie. Toutefois, l'effet de la matière organique sur la stabilité structurale est lié à la fois à la quantité, à la nature et à la localisation de la matière organique. La matière organique non décomposée protège la surface du sol de l'énergie des pluies et du ruissellement mais enfouie, elle ne réduit nettement ni le ruissellement ni l'érosion (**Roose & al., 1998**).

Dosage du carbone organique par la méthode Walkley et Black.

II.2.4 Granulométrie : par méthode de Mériaux :

La texture est un résumé de la composition granulométrique des éléments minéraux solides constitutifs du sol (teneur relative en argiles, limons et sables). La granulométrie est

intéressante à connaître car elle nous apporte des informations sur les propriétés physiques et la structure du sol.

L'analyse densimétrique, mise au point par MERIAUX (1954, 1957), consiste à suivre les variations de la densité d'une suspension en sédimentation en fonction du temps.

III. Outils du travail

III.1 Arc gis 10.1

Le système ArcGIS est la plateforme SIG développée par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute). Il est composé de différentes plate-forme qui permettent aux utilisateurs SIG, qu'ils soient bureautiques, web, ou mobiles, de collaborer et de partager l'information géographique. Plusieurs fonctions seront utilisées dans cette étude.

III.2 Google Earth

C'est un Logiciel de Google qui permet de visualiser la terre à partir d'un mosaiquage de photographies aériennes ou satellitaires.

III.3 Logiciels SPSS

SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) est un logiciel d'analyse statistique fournissant les fonctions de base dont vous avez besoin pour maîtriser le processus analytique de bout en bout. Il est facile d'emploi et inclut un vaste éventail de procédures et de techniques pour vous aider à augmenter les revenus, avoir une longueur d'avance sur vos concurrents, mener des recherches et prendre de meilleures décisions.

En plus de l'analyse statistique, la gestion des données (sélection de cas, reformatage de fichier, création de données dérivées) et la documentation des données (un dictionnaire de métadonnées est sauvegardé avec les données) sont deux autres caractéristiques du logiciel.

IV. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en premier la zone d'étude, puis après, les méthodes et les outils informatiques utilisés pour répondre aux objectifs tracés, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour les analyses du sol réalisés. Ensuite, nous avons présenté toutes les informations concernant les paramètres mesurés ainsi que les formules de calculs. Nous essayerons dans le prochain chapitre, de présenter les résultats obtenus.

CHAPITRE III : Résultat et discussion

I. Résultats

I.1 Effets des occupations des terres sur les caractéristiques des sols :

I.1.1 L'Infiltrabilité :

Les résultats de cette expérimentation sont présentés dans le graphe ci-dessous (**Figure 14**). Ceux-ci montrent la variabilité de l'infiltration en fonction du temps pour chaque type d'occupation. L'occupation qui présente le plus grand taux d'infiltration est la forêt dense (stable à 80 mm/h) et celle qui présente le plus faible taux d'infiltration est le matorral, qui débute de 80 mm/h et diminue en fonction du temps (1 heure) jusqu'à 45 mm/h. alors que pour les autres occupations l'infiltrabilité varie entre 80 mm/h et 58 mm/h.

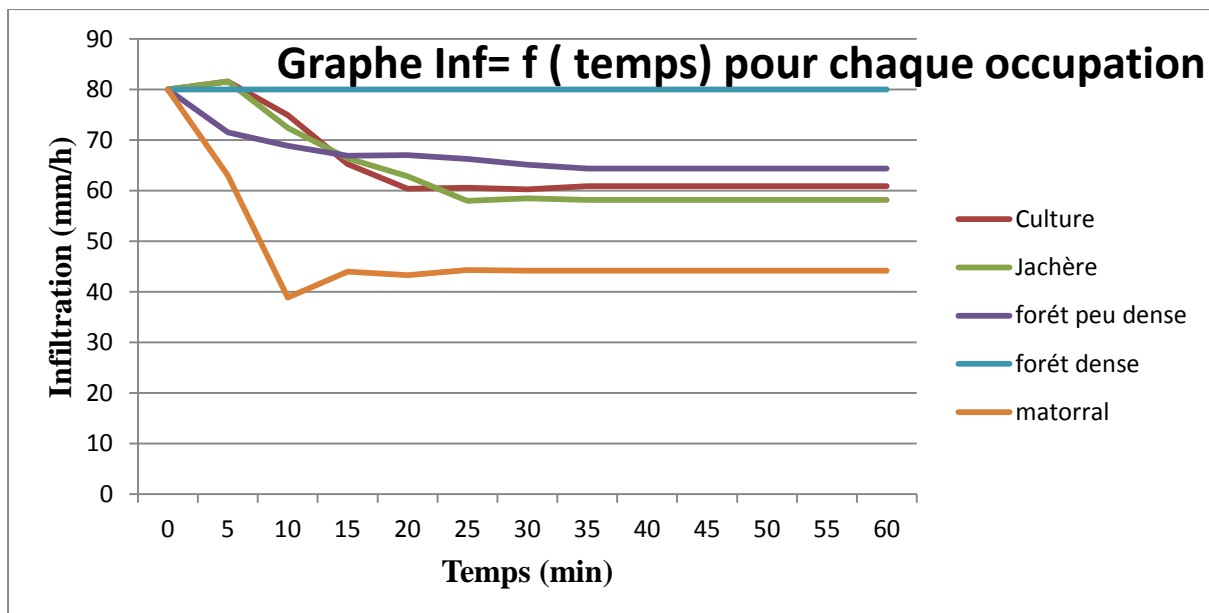


Figure 14 : Graphique de la variation de l'infiltration en fonction du temps des différentes occupations

Le test statistique de corrélations entre le paramètre hydrologique (l'infiltrabilité) et les paramètres physique (PEN, SO, SC, SS, R, Da, P) a montré que:

L'infiltrabilité est en corrélation avec quelques paramètres physiques qui semblent très significatifs. Ces paramètres sont la pénétration (PEN), sol ouvert (SO), sol couvert (SC), cisaillement (SS), porosité (P10) dans les premiers 10 centimètres et la densité apparente (Da 10) dans les premiers 10 centimètres. Le tableau ci-dessous (**Tableau 6**) présente la corrélation entre l'infiltration et la porosité à 10 centimètres (P10), qui est de l'ordre de 90,6% et une signification de $0.003 < 0,05$ (dans le SPSS on a corrélation si Sig est inférieure à 0.05).

Tableau 6 : Corrélations (If, P10)

	If	P10
If	Corrélation de Pearson	,906**
	Sig. (bilatérale)	,000
	N	15
P10	Corrélation de Pearson	,906**
	Sig. (bilatérale)	,000
	N	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Les autres tableaux de corrélation sont présentés dans l'Annexe 3.

I.1.2 Pluie d'imbibition :

Les forêts denses présentent la plus grande valeur d'imbibition vue qu'après 1 heure de simulation de pluie (intensité de 80 mm/h) on a pas observé de ruissellement, par contre le matorral présente la plus faible valeur d'imbibition. Pour les autres types d'occupations, les valeurs varient entre 5 et 10 mm (**Tableau 7**).

Tableau 7: Variation de pluie d'imbibition en fonction des différentes occupations

Occupations	Pi (mm)	
	Moy.	S
Culture	7,71	0,79
Jachère	9,07	0,79
Forêt peu dense	5,20	0,69
Forêt dense	Ind	Ind
Matorral	2,17	0,75

Le test statistique de corrélations entre le paramètre hydrologique (pluie d'imbibition) et les paramètres physique (PEN, SO, SC, SS, R, Da, P) a montré que :

La pluie d'imbibition est en corrélation avec les paramètres physiques suivants : la pénétration (PEN), sol couvert (SC), cisaillement (SS), porosité (P10) dans les premiers 10 centimètres, la densité apparente (Da 10) dans les premiers 10 centimètres, l'humidité (H20 et H30) à 20 et à 30 centimètres de profondeur.

Le tableau ci-dessous (**Tableau 8**) présente la corrélation entre l'infiltration et la pénétration qui est de l'ordre de 77,1% et une signification de $0.001 < 0,05$.

Tableau 8: Corrélations (PI, PEN)

		Pi	PEN
Pi	Corrélation de Pearson	1	-,771**
	Sig. (bilatérale)		,001
	N	15	15
PEN	Corrélation de Pearson	-,771**	1
	Sig. (bilatérale)	,001	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Pour les autres tableaux de corrélation sont présentés dans l'Annexe 3.

I.1.3 Coefficient de ruissellement : Kr

Le matorral qui présente la plus grande valeur de ruissellement est avec une valeur de 41,91 par rapport aux autres types d'occupations, alors que la forêt dense présente la plus faible valeur vue même nulle est. Pour les autres occupations, les valeurs varient entre 8 et 24 (Tableau 9).

Tableau 9: Variation de ruissellement en fonction des différentes occupations

Occupations	Kr (%)	
	Moy.	S
Culture	21,19	0,67
Jachère	23,26	0,66
Forêt peu dense	8,12	0,21
Forêt dense	0,00	0,00
Matorral	41,91	3,47

Le test statistique de corrélations entre le paramètre hydrologique (ruissellement) et les paramètres physique (PEN, SO, SC, SS, R, Da, P) a montré que :

Le ruissellement est en corrélation avec des paramètres physiques qui sont la pénétration (PEN), sol ouvert (SO), cisaillement (SS), la rugosité (R), porosité (P10, 20) dans les premier 10 et 20 centimètres, la densité apparente (Da 10, 20) dans les premiers 10 et centimètres de profondeurs.

Le tableau ci-dessous (Tableau 10) présente la corrélation entre le ruissellement et la rugosité qui est de l'ordre de 64,3% et une signification de $0.01 < 0,05$.

Tableau 10: Corrélations (kr, R)

		Kr	R
Kr	Corrélation de Pearson	1	-,643**
	Sig. (bilatérale)		,010
	N	15	15
R	Corrélation de Pearson	-,643**	1
	Sig. (bilatérale)	,010	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Les autres tableaux de corrélation sont présentés dans l'Annexe 3.

I.1.4 La détachabilité

La détachabilité au niveau la culture présente la plus grande valeur qui est de l'ordre de 47,01, alors que la forêt dense présente la plus faible valeur vu même nulle. Les autres occupations présentent des valeurs qui varient entre 5 et 21 (**Tableau11**).

Tableau 11: Variation de détachabilité en fonction des différentes occupations

Occupations	D (g/m ² /h)	
	Moy.	S
Culture	47,01	4,67
Jachère	20,16	3,66
Forêt peu dense	5,98	1,46
Forêt dense	0,00	0,00
Matorral	15,81	4,58

Le test statistique de corrélations entre le paramètre hydrologique (détachabilité) est les paramètres physique a montré que :

La détachabilité est en corrélation avec des paramètres physiques qui sont le sol couvert (SC), le cisaillement (SS) et la rugosité (R).

Le tableau ci-dessous (**Tableau 12**) présente la corrélation entre la détachabilité et la le sol couvert (SC) qui est de l'ordre de 83,8% et une signification de 0.000<0,05.

Tableau 12: Corrélations (D, SC)

	D	SC
D	Corrélation de Pearson	1
	Sig. (bilatérale)	,000
	N	15
SC	Corrélation de Pearson	-,838**
	Sig. (bilatérale)	,000
	N	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Les autres tableaux de corrélation sont présentés dans l'Annexe 3.

I.1.5 Matière organique et texture

Les analyses du laboratoire ont permis de déterminer le taux de matière organique pour chaque type d'occupation.

On constate d'une manière générale que le mode d'utilisation des terres a un effet net sur la teneur en matière organique du sol

L'occupation qui présente la plus grande teneur en matière organique est la forêt dense avec une valeur de 8,52 % par contre celle qui présente la plus faible valeur est le matorral 3,02%. Pour le reste des occupations, les valeurs varient entre 4% et 6% (**Tableau 13**). Ces résultats de teneurs en matière organique sont en accord avec les résultats obtenu par Sabir & al. (2004) effectué au niveau des montagnes Méditerranéennes du Rif Occidental.

Les résultats de granulométrie par la méthode densimétrique de Mériaux, montre les type de texture pour chaque occupation, ainsi que le pourcentage de chaque élément (sable, argile, limon). On constate qu'il ya une différence significatif de structures entre les différentes occupations (**Tableau 13**).

Tableau 13: Texture et matière organique des différentes occupations

Occupation	%SF	%SG	%LF	%LG	%A	%L	%S	Matière organique %	Texture
Culture	11	37	23	17	12	40	48	5,03	Limoneux
Jachère	10	48	12	17	12	29	59	5,37	Limono-sableux
Forêt peu dense	31	37	12	10	11	21	68	4,70	Limono-sableux
Forêt dense	48	35	2	8	7	10	83	8,52	Sablo-limoneux
Matorral	40	33	11	2	14	13	73	3,02	Limono-sableux

I.1.6 Comparaison du couvert végétal entre les années 1987 et 2015

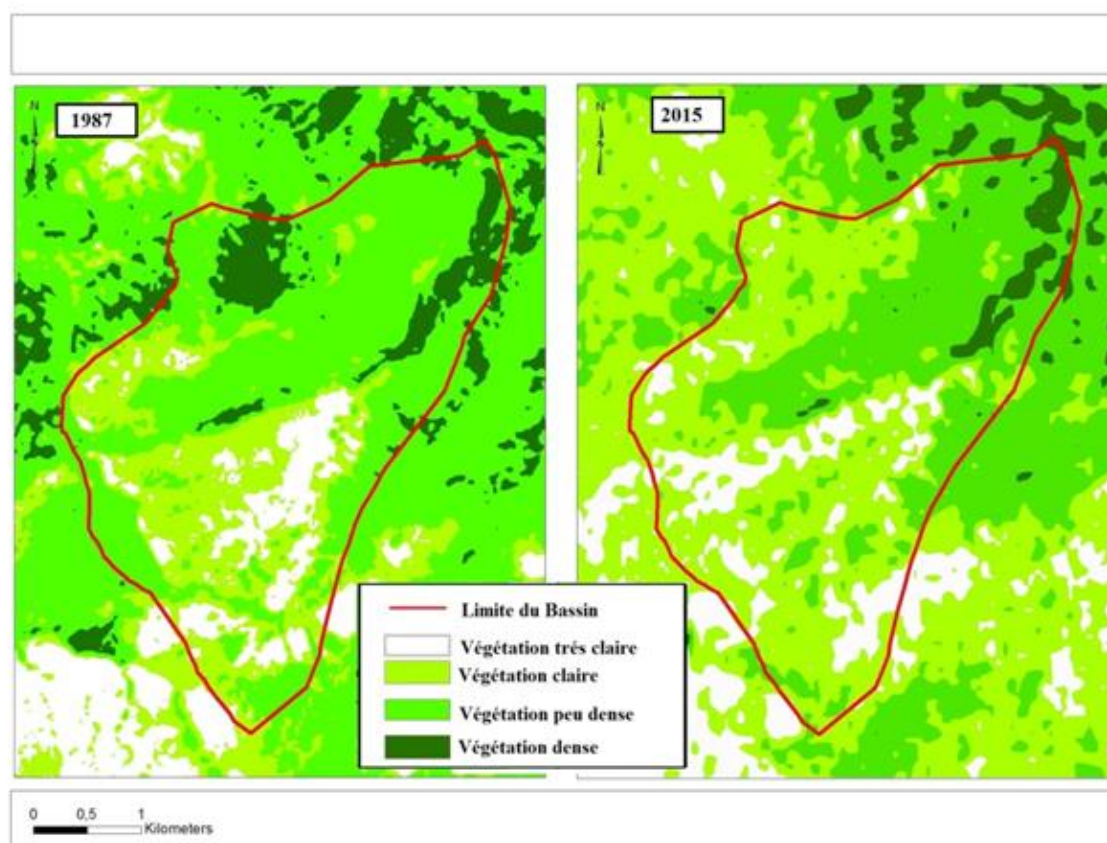


Figure 15 : Carte d'INDVI du Bassin Versant d'Oualmas des années 1987 et 2015

Les deux cartes ci dessus présentent l'indice normal de végétation des années 1987 et 2015. On remarque très bien la régression du couvert végétal, chose qui est très observé au niveau la végétation dense et peu dense ainsi que la disparition de quelque surface végétal claire (sol nu). Cela peut être expliqué par les activités humaines en grande partie l'utilisation du bois

pour le chauffage et pour d'autres activités (bétails : bovin, ovin, caprin), ainsi que d'autre activité telle que l'augmentation des pratique agricole qui donne des terres de plus en plus claire. Cette régression est observée surtout dans les zones proches des agglomérations. Même les changements climatiques en gros influence cette végétation.

I.1.7 Carte du risque à l'érosion

La carte si dessous (**Figure 16**) présente une modélisation du risque d'érosion au niveau du bassin versant d'Oualmas, qui permet de déterminer et localiser les zones qui présentent plus de risque ainsi que d'autre qui présentent moins de risque. Pour la réalisation de cette carte on a combiné entre trois facteurs qui sont le couvert végétal qui reflète la teneur en matière organique ainsi que le taux de recouvrement qui conditionne l'érosion, les pentes (leur inclinaison), et la géologie qui reflète la dureté des roches et leur résistance à l'érosion.

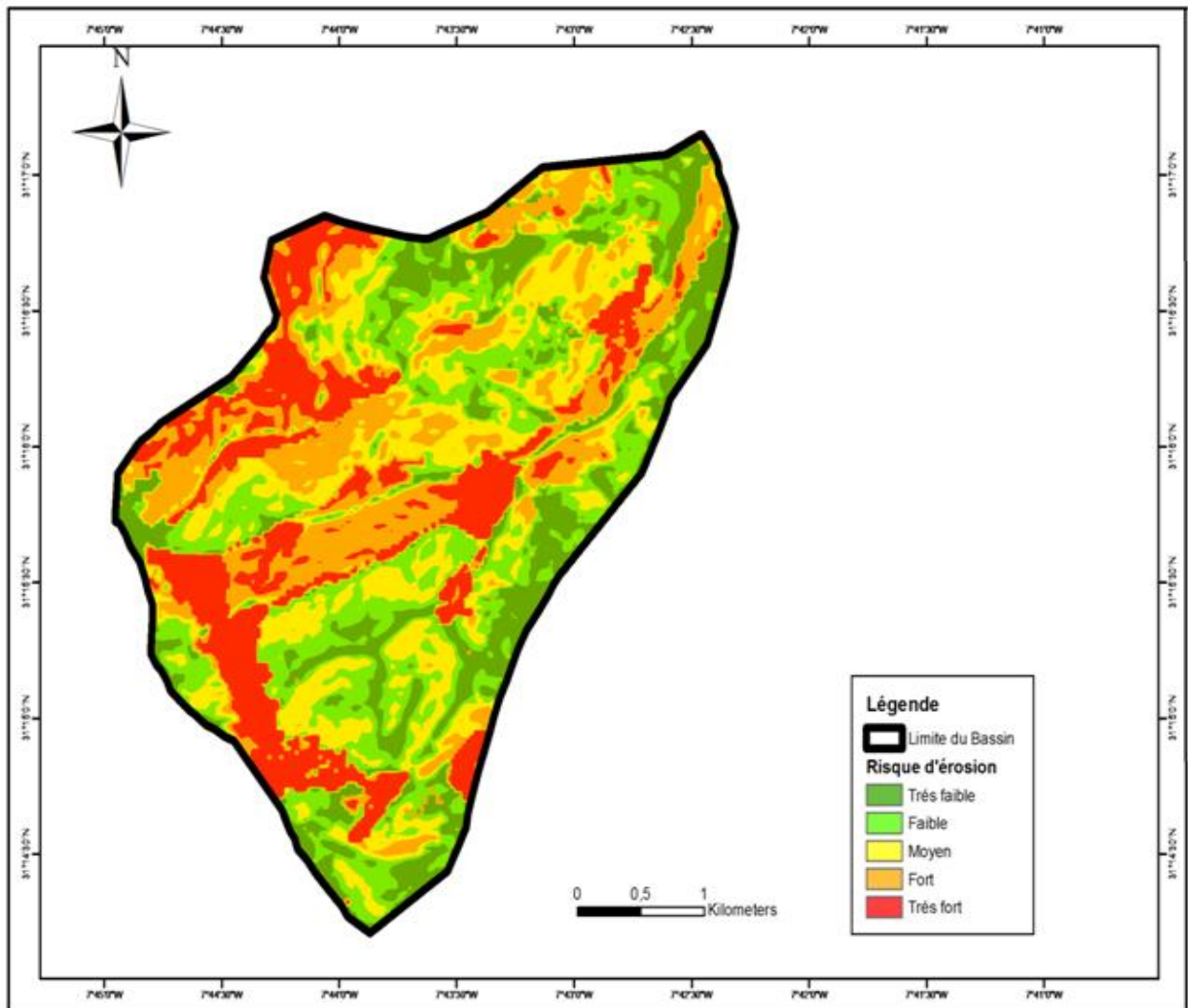


Figure 16 : Carte potentielle du risque d'érosion du Bassin Versant d'Oualmas

Cette carte a été réalisée par la combinaison entre 3 facteurs les plus importants qui sont : la géologie, les pentes et les types d'occupations du sol, tous ces facteurs sont classés en 5 classes, puis après, drapés au niveau de l'arc gis 10.1 pour avoir à la fin une carte potentielle de risque à l'érosion. Normalement on doit se baser sur un modèle de Wischmeier qui prend en considération 6 facteurs pour avoir un modèle de plus en plus significatif, mais ceux-ci n'ont pas pu être réalisés vu qu'on s'est basé seulement sur 3 facteurs.

II. Discussion

Les forêts denses présentent les plus grandes valeurs d'infiltrabilité par rapport aux autres types d'occupations de sol, cela peut être expliqué par la forte teneur en matière organique (rôle d'éponge), et par la texture sablo-limoneuse du sol avec un fort pourcentage de sable ce qui assure une bonne infiltration, Sabir & al. (2004) ont obtenus les mêmes résultats au niveau des montagnes Méditerranéennes du Rif Occidental.

Les cultures présentent des valeurs d'infiltrabilité plus importantes qu'au matorral, ce qui est en désaccord avec les résultats obtenus par Roose & al., (2007) dans les montagnes du rif, cela peut être expliqué par le fait que les terrasses de culture sont travaillées (le labour), chose qui permet d'avoir une bonne porosité et vu que le matorral de la zone concerné est très dégradé. La résistance à la pénétration renseigne sur l'état de surface du sol (compacté ou pas), plus le sol est compacté plus la pénétration de la goutte d'eau est faible, donc l'infiltration est moins importante, ainsi que la densité apparente qui reflète le taux de vide dans le sol, donc plus la densité apparente est faible plus on a du vide, donc plus de porosité, ce qui optimise l'infiltration, Roose & al., (2007) ont trouvés les mêmes résultats.

La pluie d'imbibition présente le point à partir duquel le sol ne peut plus absorber d'avantage d'eau, les plus grandes valeurs sont observées au niveau des forêts denses, les mêmes résultats sont présentés par Sabir & al. (2004), la matière organique et la texture sablo-limoneuse qui renseigne sur la porosité (en relation directe avec la densité apparente, plus la porosité est forte plus le sol a un fort pouvoir d'infiltration, donc imbibé lentement) favorisent l'infiltration de l'eau, et retarde l'imbibition du sol. Ainsi qu'au couvert végétal joue un rôle d'obstacle contre le ruissellement. Le fait d'avoir une valeur indéfinie c'est parce que la durée de simulation est de 60 minutes et au cours de cette durée on n'a pas eu de ruissellement donc on n'a pas pu déterminer la valeur de pluie d'imbibition, mais normalement on devrait avoir le ruissellement au cours de la simulation (plus de 60 minutes).

Les valeurs de pluie d'imbibition au niveau des cultures sont plus importantes qu'au matorral, cela est due au labour (le sol absorbe un volume plus important d'eau) ainsi que le matorral de la zone concerné est très dégradé.

En ce qui concerne l'humidité, elle a une relation remarquable avec la pluie d'imbibition (plus le sol est humide plus il est imbibé rapidement), les déductions obtenus par Roose & Sabir (2004) s'accorde avec celle-ci.

La détachabilité est liée directement au coefficient de ruissellement, car elle est mesurée à partir de l'eau turbide issue du ruissellement.

Le ruissellement et la détachabilité sont nuls dans le cas des forêts denses, cela est due à la forte teneur en matière organique (rôle d'éponge et rôle dans la stabilité des agrégats) et à la texture sablo-limoneuse du sol, et le couvert végétal minimise le ruissellement et le transport des particules (rôle d'obstacle). La valeur nulle de ruissellement et de détachabilité est déjà expliqué au niveau de pluie d'imbibition.

Alors que la valeur de ruissellement observée au niveau des cultures est inférieure à celle du matorral, cela s'explique par le labour et par la réduction des pentes (terrassement) au niveau des cultures. Le matorral est très dégradé c'est pour cette raison qu'on constate une grande valeur de ruissellement, mais la détachabilité est plus importante au niveau des cultures vu que le labour rend les particules plus mobiles ce qui facilite leurs transport.

En plus de ça la matière organique est plus importante dans les cultures par rapport au matorral, et les résultats obtenus par Sabir & al. (2004) confirme celle-ci.

La résistance à la pénétration du sol joue un rôle important en faveur du ruissellement, plus elle est forte plus le déclenchement du ruissellement serait plus rapide.

La rugosité joue un rôle d'obstacle en minimisant le ruissellement et le transport des particules détachées. Ces résultats sont en accord avec les déductions présentées par Rey & Berger (2004).

Le rôle de la porosité et de la densité apparente en faveurs du ruissellement s'explique de la même façon à ce qui précède.

CONCLUSION

Le présent travail est consacré à l'étude de la relation entre les occupations du sol et l'érosion hydrique dans le bassin versant d'Oualmas, il a été focalisé sur le diagnostic des causes principales de la variation du taux d'érosion hydrique, à savoir le changement intervenu dans les occupations du sol de la région.

Notre étude a consisté en la simulation de pluie qui permet d'estimer les risques de ruissellement et d'érosion en fonction de l'infiltrabilité des sols : celle-ci peut être mesurée sur le terrain par un simple irrigateur simulant des pluies de 80 mm/h d'intensité jusqu'à l'observation d'un taux de ruissellement constant.

Les tests de simulations au niveau du bassin versant d'Oualmas nécessitent, au préalable une bonne connaissance du terrain avant d'entreprendre la partie pratique.

Ainsi qu'une carte des occupations du sol a été réalisée à partir des photographies aériennes, datées de 2015. Ce travail a nécessité la maîtrise des outils de cartographie et de traitement des images satellitaires et des photographies aériennes. La carte obtenue a été traitée dans un système d'information géographique, ainsi que deux cartes d'NDVI des années 1987 et 2015 (TM ,1987 et Landsat8, 2015 en Mai) ont montrés que le bassin versant d'Oualmas a été marqué dans les trente dernières années par une régression et un changement remarquables de son paysage sous l'effet bien évidemment de plusieurs facteurs.

A partir des tests de simulations on a pu conclure que les terres forestières infiltrent l'eau mieux que toutes les autres occupations du sol, ainsi que des relations significatives ont été mises en évidence entre les résultats des tests (infiltrabilité, pluie d'imbibition, etc...), et certaines caractéristiques du sol (ouverture, texture, fraction de sol nu, etc...). Ces relations permettent une première analyse des processus dominants de l'érosion et une hiérarchisation des facteurs dans un contexte de montagnes semi-arides dégradées, et pourront être utiles pour l'utilisation et la calibration de modèles physiques de l'érosion. Par ailleurs, les paramètres et les facteurs mis en évidence constituent des informations utiles dans la perspective d'une spatialisation des risques d'érosion au niveau du bassin versant.

Tous ces indicateurs ont permis la réalisation d'une carte de risque à l'érosion, document de référence pour tout plan d'aménagement. Cette carte permet de préciser les zones qui présentent plus de risque et celles qui présentent moins de risque.

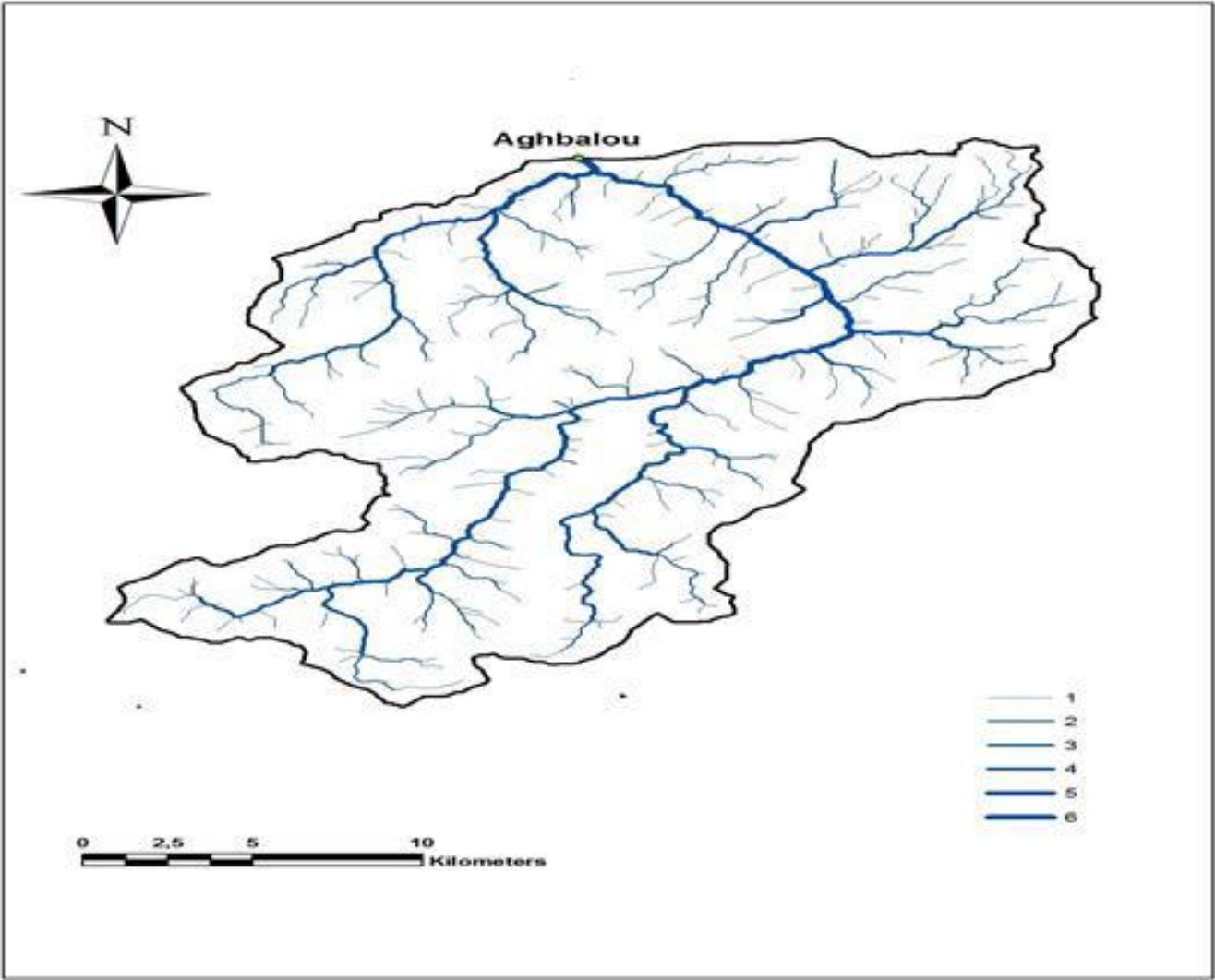
Toutefois, on peut lister un certains nombres de recommandations

- Pour les zones à végétation dégradées et à forte pente, les terrasses agricoles semble être une solution efficace pour contrer le problème de ruissellement (érosion).
- La restauration à base du pin d'Alep n'a pas donnée de bons résultats, n'apporte aucun bien pour la population sauf la rétention du sol.
- L'utilisation de l'arboriculture (l'olivier et autres) semble une solution plus efficace ayant un double intérêt (rétention du sol, un bien pour la population), surtout au niveau des zones qui sont défrichées et peut être les combinés dans les terrasses.
- Les cactus et leurs faibles exigences peuvent être utilisés comme moyens pour la rétention du sol, comme ils peuvent servir à la population (récolte du fruit) ainsi qu'aux bétails. D'ailleurs déjà quelques aménagements au niveau de quelques zones avoisinantes ont été faits à base de cette espèce.

Il serait intéressant de réaliser des analyses de stabilités des agrégats, car ils ont une relation direct avec la matière organique, cela va nous permettre d'appuyé de plus nos résultat.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Carte de classification du réseau hydrographique du bassin versant d'Ourika



(Source Edderkaoui & Chrif, 2014)

ANNEXE 2 : Fiche de simulation

Date			
Station/répétition			
Coordonnées	Latitude :	Longitude:	Altitude:
Pente			
Occupation			
Type de sol			

Etat de surface

Surface	Type	Pourcentage
Nue		
SC	Litière	
	Végétation	
	Cailloux non intégré	
SO	Fissures	
	Galleries	
	Mottes	
SF	Cailloux intégrés	
	Pellicule	

Mesure des résistances à la pénétration et au cisaillement

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PEN (Kg/cm²)										
SS (Kg/cm²)										

Mesure de l'indice de rugosité

L1=	L2=	L3=
-----	-----	-----

Mesure du ruissellement

Intensité initiale =		Intensité finale =	
Temps (min)	Volume ruisselé (ml)	R (mm/h)	I (mm/h)
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
TR=			

TDR parcelle			
TDR à différentes profondeurs	0 - 10 cm :	10 - 20 cm :	20 - 30 cm :

ANNEXE 3 : Tableaux de corrélations

Corrélations

		If	PEN
If	Corrélation de Pearson	1	-,718**
	Sig. (bilatérale)		,003
	N	15	15
PEN	Corrélation de Pearson	-,718**	1
	Sig. (bilatérale)	,003	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		If	SO
If	Corrélation de Pearson	1	,643**
	Sig. (bilatérale)		,010
	N	15	15
SO	Corrélation de Pearson	,643**	1
	Sig. (bilatérale)	,010	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		If	SC
If	Corrélation de Pearson	1	,505
	Sig. (bilatérale)		,055
	N	15	15
SC	Corrélation de Pearson	,505	1
	Sig. (bilatérale)	,055	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		If	P10
If	Corrélation de Pearson	1	,906**
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	15	15
P10	Corrélation de Pearson	,906**	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		If	SS
If	Corrélation de Pearson	1	-,705**
	Sig. (bilatérale)		,003
	N	15	15
SS	Corrélation de Pearson	-,705**	1
	Sig. (bilatérale)	,003	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		If	Da10
If	Corrélation de Pearson	1	-,906**
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	15	15
Da10	Corrélation de Pearson	-,906**	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Pi	SC
Pi	Corrélation de Pearson	1	,738**
	Sig. (bilatérale)		,002
	N	15	15
SC	Corrélation de Pearson	,738**	1
	Sig. (bilatérale)	,002	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Pi	PEN
Pi	Corrélation de Pearson	1	-,771**
	Sig. (bilatérale)		,001
	N	15	15
PEN	Corrélation de Pearson	-,771**	1
	Sig. (bilatérale)	,001	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Pi	SS
Pi	Corrélation de Pearson	1	-,839**
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	15	15
SS	Corrélation de Pearson	-,839**	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Pi	Da10
Pi	Corrélation de Pearson	1	-,839**
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	15	15
Da10	Corrélation de Pearson	-,839**	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Pi	Da10
Pi	Corrélation de Pearson	1	-,839**
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	15	15
Da10	Corrélation de Pearson	-,839**	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Pi	P10
Pi	Corrélation de Pearson	1	,839**
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	15	15
P10	Corrélation de Pearson	,839**	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Pi	H20
Pi	Corrélation de Pearson	1	,701**
	Sig. (bilatérale)		,004
	N	15	15
H20	Corrélation de Pearson	,701**	1
	Sig. (bilatérale)	,004	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Pi	H30
Pi	Corrélation de Pearson	1	,782**
	Sig. (bilatérale)		,001
	N	15	15
H30	Corrélation de Pearson	,782**	1
	Sig. (bilatérale)	,001	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Kr	SO
Kr	Corrélation de Pearson	1	-,558*
	Sig. (bilatérale)		,031
	N	15	15
S O	Corrélation de Pearson	-,558*	1
	Sig. (bilatérale)	,031	
	N	15	15

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Corrélations

		Kr	PEN
Kr	Corrélation de Pearson	1	,541*
	Sig. (bilatérale)		,037
	N	15	15
PEN	Corrélation de Pearson	,541*	1
	Sig. (bilatérale)	,037	
	N	15	15

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Corrélations

		Kr	SS
Kr	Corrélation de Pearson	1	,669**
	Sig. (bilatérale)		,006
	N	15	15
SS	Corrélation de Pearson	,669**	1
	Sig. (bilatérale)	,006	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Kr	R
Kr	Corrélation de Pearson	1	-,643**
	Sig. (bilatérale)		,010
	N	15	15
R	Corrélation de Pearson	-,643**	1
	Sig. (bilatérale)	,010	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 bilatéral

Corrélations

		Kr	Da10
Kr	Corrélation de Pearson	1	,823**
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	15	15
Da10	Corrélation de Pearson	,823**	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Kr	Da20
Kr	Corrélation de Pearson	1	,532*
	Sig. (bilatérale)		,041
	N	15	15
Da20	Corrélation de Pearson	,532*	1
	Sig. (bilatérale)	,041	
	N	15	15

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Corrélations

		Kr	P10
Kr	Corrélation de Pearson	1	-,822**
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	15	15
P10	Corrélation de Pearson	-,822**	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		Kr	P20
Kr	Corrélation de Pearson	1	-,532*
	Sig. (bilatérale)		,041
	N	15	15
P20	Corrélation de Pearson	-,532*	1
	Sig. (bilatérale)	,041	
	N	15	15

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Corrélations

		Kr	SC
Kr	Corrélation de Pearson	1	-,505
	Sig. (bilatérale)		,055
	N	15	15
SC	Corrélation de Pearson	-,505	1
	Sig. (bilatérale)	,055	
	N	15	15

Corrélations

		D	SC
D	Corrélation de Pearson	1	-,838**
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	15	15
SC	Corrélation de Pearson	-,838**	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Corrélations

		D	SS
D	Corrélation de Pearson	1	,572*
	Sig. (bilatérale)		,026
	N	15	15
SS	Corrélation de Pearson	,572*	1
	Sig. (bilatérale)	,026	
	N	15	15

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Corrélations

		D	R
D	Corrélation de Pearson	1	-,587*
	Sig. (bilatérale)		,021
	N	15	15
R	Corrélation de Pearson	-,587*	1
	Sig. (bilatérale)	,021	
	N	15	15

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

ANNEXE 4 : Tableaux de significations

Occupations	If (mm/h)		Pi (mm)		Kr (%)		D (g/m ² /h)	
	Moy.	s	Moy.	S	Moy.	S	Moy.	S
Culture	61,58a	0,83	7,71a	0,79	21,19a	0,67	47,01a	4,67
Jachère	59,40a	0,91	9,07a	0,79	23,26a	0,66	20,16b	3,66
Forêt peu dense	65,01b	0,23	5,20b	0,69	8,12b	0,21	5,98bc	1,46
Forêt dense	80,00bc	0,00	Ind bc	Ind	0,00bc	0,00	0,00bc	0,00
Matorral	44,22bcd	2,54	2,17bcd	0,75	41,91bcd	3,47	15,81b	4,58

Occupations	SC %		SO %		PEN (Kg/cm ²)		SS (Kg/cm ²)		R %	
	Moy.	s	Moy.	s	Moy.	s	Moy.	s	Moy.	S
Culture	43,33a	2,89	16,67a	2,89	0,78a	0,03	1,19ad	0,01	2,50a	0,00
Jachère	48,33a	2,89	7,67b	0,58	1,49b	0,04	1,49ac	0,04	2,22a	0,28
Forêt peu dense	73,33b	2,89	8,67b	1,15	1,97b	0,10	0,93ad	0,05	4,91b	0,70
Forêt dense	96,00bc	1,73	14,00a	1,73	0,30a	0,15	0,30b	0,15	4,17ac	1,39
Matorral	70,00b	5,00	4,00b	1,73	1,90b	0,35	1,11ad	0,21	2,64ac	0,14

Occupations	Da ₁₀ (g/cm ³)		Da ₂₀ (g/cm ³)		Da ₃₀ (g/cm ³)	
	Moy.	S	Moy.	s	Moy.	S
Culture	1,44a	0,15	1,45a	0,07	1,51a	0,11
Jachère	1,46a	0,11	1,52a	0,11	1,61a	0,04
Forêt peu dense	1,50a	0,24	1,55a	0,15	1,58a	0,14
Forêt dense	0,87bc	0,02	1,67a	0,03	1,68a	0,03
Matorral	1,89b	0,10	1,99b	0,06	2,05b	0,01

Occupation	P ₁₀ (%)		P ₂₀ (%)		P ₃₀ (%)	
	Moy.	s	Moy.	S	Moy.	S
Culture	45,66a	5,80	45,16a	2,51	43,02a	3,97
Jachère	44,78a	4,24	42,39a	4,21	39,37a	1,43
Forêt peu dense	43,39a	9,01	43,60a	5,44	40,38a	5,28
Forêt dense	67,17a	4,35	37,11a	0,95	36,60a	1,00
Matorral	28,68b	3,59	24,91b	2,00	22,83b	0,27

Occupation	H₁₀ (%)		H₂₀ (%)		H₃₀ (%)	
	Moy.	S	Moy.	S	Moy.	s
Culture	18,00a	5,00	26,33a	5,51	39,67a	8,74
Jachère	11,33a	5,69	22,33a	6,66	33,00a	2,65
Forêt peu dense	40,67b	6,03	43,33a	7,64	65,33a	14,50
Forêt dense	36,67b	4,16	44,00b	9,64	40,33b	4,73
Matorral	33,33b	4,16	37,33b	9,29	41,33a	9,87

Liste de Référence Bibliographique

ALGAYER B. & DARBOUX F., 2011. L'érosion hydrique des sols. Université de Recherche de science du Sol d'Orléans. 35p.

BUSSIÈRE M., 1996. L'érosion des sols cultivés en France: manifestation, coûts, remèdes. Université Picardie Jules Verne, 136 p.

DENNIS F., 2008. La dégradation des sols dans le monde. Université Nice Sophia Antipolis.

MEMEE, 2001. Rapport de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Département de l'Environnement. Rapport National sur l'Etat de l'Environnement au Maroc

DUPILET D., 2003. Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols en Caps et Marais d'Opale. 43p.

EDDERKAOUI R. & CHRIF S., 2014. La lutte contre l'érosion dans le bassin versant de l'Ourika : Protection mécanique et biologique. 55 p.

EL HADRAOUI Y., 2013. Etude diachronique de l'occupation du sol et de modélisation des processus érosifs du bassin versant du Bouregreg (Maroc) à partir des données de l'Observation de la Terre. 88p.

FAO., 1983. Le rôle des communautés montagnardes dans l'aménagement des bassins versants. Cahiers FAO N ° 8, Rome.

GIORDANO A., 1994. L'érosion et la lutte contre l'érosion en forêt méditerranéenne. P. 12-21.

HADIR S., 2010. Modélisation du ruissellement et de l'érosion par le modèle STREAM dans le bassin versant de l'Oued Saboun. 175p.

HAMMA Y., 2004. Cours de conservation des eaux et des sols.

HAMMOUDA N., 2010. Evolution de l'occupation des sols et de l'érosion dans la Bassin versant Tleta (Rif Occidental, Maroc). 121p.

HCPRPH. Haut Commissariat au Plan Recensement de la Population et de l'Habitat, 2014. Monographie, 2015 de la région de Marrakech-Safi. 58p

HCEFLCD. Haut commissariat des eaux et forêt et à la lutte contre la désertification.

HEUSCH B., 1970. L'érosion hydraulique au Maroc son calcul et son contrôle. P : 40 -64

HORTON R., 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Sci. Soc Amer Proc 5. P: 399-417.

LE BISSONNAIS Y., CERDAN O., Lecomte V., BENKHADRA H., SOUCHERE V. & MARTIN P., 2005. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. Catena 62. P: 111-124

MEMEE, 2001, Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement.

LEGUEDOIS S., 2010. Mécanismes de l'érosion diffuse des sols. Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. 156p.

RAMAROLAFY H. T., LAMRANI M. A. & KHATTABI A. Le Paysage de l'Ourika: Un potentiel pour le développement éco touristique. GIREPSE.

REY F., BALLAIS J., MARRE A. & ROVERA G., 2002. Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. P 992-997.

ROOSE E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de la FAO N° 70. 420 p.

ROOSE E. & LELONG F., 1977. Facteurs de l'érosion hydrique en Afrique tropicale. Études sur petites parcelles expérimentales de sol. P : 365-374.

ROOSE E. & SARRAILH J., 1990. Érodabilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, Paris. P 7-30.

ROOSE E., DE NONI G. & LAMACHERE J.M., 1998. L'érosion à l'ORSTOM: 40 ans de recherches multi disciplinaires. Bulletin Réseau Erosion. P : 54-66.

CHRIF S. & EDDERKAOUI R., 2014. La lutte contre l'érosion dans le bassin versant de l'Ourika : Protection mécanique et biologique.

TRIBAK A. & MOREL A., 2004. L'utilisation des terres et le ravinement dans les moyennes montagnes du Prerif oriental (Maroc). P : 236- 247.

ZAHER H., 2010. Cours de conservation des sols et de l'eau. Ecole Nationale Forestière d'Ingénieur Département Sol Eau Biodiversité d'Ingénieur Département Sol Eau Biodiversité Tabriquet, Salé, Maroc. <http://www.ma.auf.org/erosion/index.html>.

ZOBIRI M., 2013. Analyse et évaluation des aménagements de conservation de l'eau et du sol à l'amont du Barrage El Izdihar ds Sidi Abdelli Telemcen – Algérie. 128 p.