



**Faculté des sciences et techniques de
Marrakech**



**Haut Commissariat aux Eaux et Forêts
et à la Lutte Contre la Désertification**

Département des Sciences de la Terre

Licence-es Sciences et Techniques

Eau et Environnement



Étude des aménagements antiérosifs dans la région d'Ait Wiyksane (Bassin versant du Zat)

Réalisé par :

ACHAACH Zineb & AIT RAMI Karima

Encadrant :

DAOUDI Lahcen

Faculté des Sciences et Techniques de
Marrakech

Parrain :

SFAIRI Youssef

Haut Commissariat des Eaux et Forêts
Marrakech

Soutenu le 26 juin 2014 devant le jury composé de :

- Pr Lahcen .DAOUDI : Faculté des sciences et techniques Marrakech
- Pr Brahim .IGMOULLAN : Faculté des sciences et techniques Marrakech
- Dr Youssef .SFAIRI : Haut Commissariat des Eaux et Forêts Marrakech

Remerciements

Au terme de ce stage de fin d'études, il nous est agréable d'exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail, que ce soit au département des sciences de la terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, ou au service du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification.

Nous voudrions, en premier lieu, remercier notre encadrant Mr L. Daoudi pour son encadrement fructueux, pour son orientation et ses instructions pendant toute la période de stage.

Nos remerciements vont également à notre encadrant à le HDEFLCD, Mr. Y. Sfairi, pour sa disponibilité, son aide et son assistance au cours de notre stage.

Un grand merci à Mr. A. Bachnou et à Mr. M.E Saïdi, pour leur disponibilité permanente, leurs aides et aussi pour leurs remarques utiles.

Nos sincères remerciement s`adressent également à Mr. B. Igmoullan qui est bien voulu siéger dans ce jury.

Enfin, nous adressons nos chaleureux remerciements à nos familles pour leur soutien matériel et moral, ainsi qu'à nos amis pour leurs encouragements.

SOMMAIRE

Liste des figures.....	4
Liste des tableaux.....	4
INTRODUCTION.....	5
CHAPITRE 1 : L'ÉROSION LINEAIRE ET AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS	
I. GÉNÉRALITÉS	
I.1. DÉFINITION.....	7
I.2. FACTEURS DE L'ÉROSION.....	8
I.3. FORME DE L'ÉROSION HYDRIQUE.....	13
II. L'ÉROSION LINÉAIRE.....	14
III. AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS	
III.1 LES DIFFERENTS AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS.....	19
III.1.1 Aménagements biologiques.....	20
III.1.2. Aménagements mécaniques.....	23
CHAPITRE 2 : DISCRIPTION DU BASSIN VERSANT ZAT	
I. GÉNÉRALITÉS SUR LE BASSIN VERSANT DU ZAT	
I.1. CADRE GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE.....	27
I.2. CADRE GÉOLOGIQUE ET PÉDOLOGIQUE.....	31
I.3. CADRE GEOMORPHOLOGIQUE.....	34
I.4. CADRE HYDROLOGIQUE.....	40
CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE	
I. CARACTERISTIQUES NATURELLES.....	44
II. ACTIONS HUMAINES ET AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS.....	49
II.1. NATURE DES SEUILS.....	49
II.2. FONDATION DES SEUILS.....	50
II.3. CARACTERISTIQUES DES SEUILS EN GABION.....	52
II.4. AVANTAGES ET INCONVENIENT.....	54
II.5. COÛT D'INSTALLATION.....	55
DISCUSSION ET INTERPREATTION.....	56
CONCLUSION ET PERSPECTIVE.....	60
BIBLIOGRAHPIES.....	61
ANNEXE.....	62

Liste des figures

Figure 1 : Schéma explicatif de la relation entre le battage du sol et l'érosion	10
Figure 2 : Érosion, Transport et Dépôt des particules en fonction de la vitesse du courant et du diamètre des particules	11
Figure 3: Érosion régressive.....	15
Figure 4 : Type de ravine.....	18
Figure 5 : Seuils biologiques	21
Figure 6 : Type de reboisement.....	22
Figure 7 : Seuil en pierre sèche	24
Figure 8 : Seuil en gabion.....	24
Figure 9 : Seuil en maçonnerie.....	25
Figure 10: Situation géographique du bassin versant Zat.....	27
Figure 11: Précipitations moyennes mensuelles au niveau de la station hydrométrique Taferiat de 1990/91 à 2010 /11	28
Figure 12: Évolution annuelle des précipitations moyennes dans le bassin versant Zat durant 20ans	29
Figure 13: Évolution mensuelle des températures dans le bassin versant Zat durant 20ans.....	30
Figure 14: Les formations géologiques du bassin versant Zat	31
Figure 15 : Organigramme des règles de décision pour la détermination des différents types de sols pour le bassin versant Zat.....	32
Figure 16 : Carte synthétique de type de sol du Bassin Versant Zat.....	33
Figure 17 : Carte hypsométrique du bassin versant Zat.....	35
Figure 18 : Carte des pentes du bassin versant Zat.....	36
Figure 19 : Carte d'exposition du bassin versant Zat	39
Figure 20 : Répartition des expositions du bassin versant Zat.....	40
Figure 21 : Réseau hydrographique du bassin versant.....	41
Figure 22 : Couverture neigeuse dans le bassin versant Zat.....	43
Figure 23 : Localisation de la zone d'étude	44
Figure 24 : Localisation de ravines étudiées par rapport au village d'Ait Wiyksane.....	45
Figure 25 : Tranche d'altitude dans la zone d'étude	45
Figure 26 : Classes des pentes dans la zone d'étude.....	46
Figure 27 : Pédologie de la zone d'étude.....	46
Figure 28 : Type de sol de la zone d'étude.....	47
Figure 29 : Expositions des versants de la zone d'étude.....	47
Figure 30 : Photo montrant le détail d'un seuil en gabion.....	50
Figure 31 : Opération de tracé et d'ouverture de la tranchée.....	51
Figure 32 : Représentation graphique de l'espacement calculé et mesuré dans les six ravins.....	58
Figure 33 : Photo des ravins étudiés.....	59
Figure 34 : Organigramme des différentes étapes d'élaboration des données, sous « SIG ».....	62

Liste des tableaux

Tableau 1 : Influence de la nature de la couverture végétale sur le ruissellement.....	9
Tableau 2: Quelques ordres de grandeurs de pertes de sol par type d'érosion.....	14
Tableau 3 Les formes d'incision dues à l'érosion linéaire.....	15
Tableau 4: Forme d'érosion, causes, facteurs de résistance du milieu et conséquences.....	16
Tableau 5: Caractéristiques morphologiques du bassin versant Zat.....	38
Tableau 6: Avantages et Inconvénients des seuils en gabion.....	54
Tableau 7: Coût unitaire pour la réalisation d'un seuil en gabion d'un volume moyen de 10 m ³	55
Tableau 8 : différences caractéristiques des ravins traités.....	57

INTRODUCTION

L'érosion des sols et la dégradation des terres constituent un processus de détérioration continu des ressources qui concerne, avec des intensités diverses, une grande partie du territoire national. Ces fléaux intéressent essentiellement les zones montagneuses pour l'érosion hydrique et les zones arides pour l'érosion éolienne; les zones continentales et littorales souffrent des problèmes particuliers d'ensablement.

Au cours des années 70, la connaissance des mécanismes de l'érosion prend un essor important à travers la politique d'aménagement global des bassins versants sur la base des cartes d'érosion dressées à cet effet.

Au Maroc, pays essentiellement aride, l'érosion des sols constitue par ailleurs un grave problème écologique qui se traduit par des pertes économiques considérables. Tandis que l'érosion hydrique est intense avec des dégradations spécifiques dépassant 2.000 T/Km²/an dans les versants du Rif au Nord du Maroc et entre 1.000 et 2.000 T/Km²/an dans le pré-Rif, elle se situe entre 500 et 1.000 T/km²/an dans les Moyen et Haut Atlas et moins de 500 T/Km²/an dans les autres régions.

Face à cette situation, le Royaume du Maroc a entrepris entre 1990 et 1996, avec la collaboration d'organismes internationaux et la participation de tous les acteurs nationaux concernés, l'élaboration d'un Plan National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV) qui arrête les priorités d'interventions et inscrit les actions dans la durée et le contexte socioéconomique garantissant leur efficacité. A partir de l'analyse de l'expérience, ce Plan préconise un programme d'action de traitement de 75 000 ha/an sur une période de 20 ans au niveau de 22 bassins versants prioritaires.

Dans le cadre de la première phase du PNABV, des projets d'aménagement des bassins versants sont mis en œuvre sur les ressources propres du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD) qui a pour mission :

- Elaborer et mettre en œuvre la politique du gouvernement dans les domaines de la conservation et du développement durable des ressources forestières, alfatières, sylvo-pastorales dans les terrains soumis au régime forestier, ainsi que le développement cynégétique, piscicole continentale et des parcs et réserves naturelles ;

- Coordonner la mise en place des mécanismes institutionnels pour la préparation, l'exécution, le suivi et l'évaluation de la politique du gouvernement en matière de lutte contre la désertification ;
- Participer à l'élaboration et à la mise en œuvre de la politique du gouvernement en matière de développement rural.

Dans le cadre du stage de fin d'étude que nous avons effectué au sein de HCEFLCD, nous avons traité le cas du Bassin versant du Zat situé sur le flanc Nord du Haut Atlas de Marrakech. L'objectif principal est de caractériser des aménagements antiérosifs (seuils mécaniques) réalisés dans la partie orientale du bassin, dans la région d'Ait Wiyksane et d'évaluer leur stabilité.

Notre mémoire de fin d'étude est subdivisé en 3 chapitres :

- L'érosion linéaire et aménagement antiérosifs,
- description du bassin versant du Zat,
- caractéristiques de la zone d'étude.

CHAPITRE 1

L'ÉROSION LINÉAIRE ET AMÉNAGEMENT ANTIÉROSIFS

I. GÉNÉRALITÉS

I.1 DÉFINITION

L'érosion dérive du terme latin « ERODERE » qui signifie ronger (Roose, 1994), Elle représente l'ensemble des phénomènes qui contribuent, sous l'action d'un agent climatique, notamment l'eau, à modifier les formes de relief.

L'érosion du sol est l'une des formes de dégradation du sol les plus graves.

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol sous différentes formes. Elle se définit comme la perte de sol par arrachement et transport de la terre vers un lieu de dépôt.

La disparition de la totalité ou d'une partie de la couche superficielle du sol diminue le potentiel de production d'un sol en réduisant sa fertilité, sa capacité d'accepter et d'emmagasiner l'eau et l'air.

D'après (Melalih, 2011), l'érosion hydrique est un phénomène à l'origine de l'évolution des paysages et de la modification du relief terrestres.

Selon (Melalih, 2011), l'érosion est au départ un défaut d'infiltration lié à une dégradation de la surface des sols sous l'action des pluies.

En fait, l'érosion hydrique est un processus naturel qui n'est donc pas forcément souhaitable de l'arrêter, mais de le réduire à un niveau acceptable et tolérable.

I.2 FACTEURS DE L'ÉROSION

Avant d'adopter l'une ou l'autre des méthodes de lutte antiérosive, il est souhaitable de revenir aux causes de l'érosion et aux facteurs qui en modifient l'expression.

Les paramètres de l'érosion sont les différentes informations qui peuvent permettre de caractériser les facteurs de l'érosion. Par exemple, la pente est un paramètre pouvant caractériser le facteur topographie, de même que la dénivelée, l'altitude moyenne, etc. Ainsi, pour caractériser l'influence du climat, l'énergie cinétique cumulée des pluies serait probablement le paramètre le plus pertinent, mais il n'est pas disponible, et on retiendra donc les hauteurs de pluie cumulée, pondérées par une information sur l'intensité des précipitations.

L'érosion résulte de l'interaction des facteurs suivants :

I.2.1. Activités humaines

L'homme, qui par des pratiques inadaptées sur les versants, est le facteur principal conditionnant l'intensité de l'érosion. Les défrichements qu'il opère sur les forêts et les parcours naturels, le surpâturage, la mise en culture sans précaution des terres susceptibles à l'érosion en pente, les labours mécanisés dans le sens des grandes pentes et la non restitution au sol de ses éléments nutritifs enlevés par les cultures facilitent le ruissellement et par conséquent l'érosion et ses effets indésirables pour l'environnement et pour l'économie.

I.2.2. Régression du couvert végétal

L'absence du couvert végétal expose le sol à l'action directe des gouttes de pluie. Or, ce ne sont pas les cimes qu'il faut regarder pour savoir si les arbres protègent efficacement les sols, c'est plutôt la végétation au sol et la litière.

Les arbres forestiers ou les plantes cultivées protègent le sol contre l'érosion hydrique. En effet, celles-ci protègent le sol de l'action des gouttes de pluie et les racines maintiennent en place les particules emprisonnées dans un réseau racinaire dense qui accroît ainsi la résistance du sol au cisaillement et limite l'incision.

Donc la couverture végétale est un facteur primordial de protection du sol contre l'érosion.

En d'autres termes, l'action protectrice de la couverture végétale contre le ruissellement dépend de type de végétation installé sur le sol. Un exemple de cet effet protecteur est illustré par les données consignées sur le (Tableau 1).

Nature de couvert végétale	Ruissèlement
Forêt	2%
Prairies	5%
Culture de Blé	25%
Culture de Maïs	50%

Tableau 1 : Influence de la nature de la couverture végétale sur le ruissellement.

www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/erosion

I.2.3. Facteurs climatiques

Le Climat constitue la cause et la source d'énergie érosive. Ce sont les gouttes de pluie et les eaux de ruissellement sur les terrains en pente et les vents violents qui détachent et entraînent les particules terreuses.

I.2.3.1. Précipitations

Les paramètres pluie liés à l'érosion sont:

- L'intensité est le facteur principal de l'érosion, en effet plus l'intensité est grande, plus l'effet de battage du sol est prononcé (Figure 1),
- La hauteur des précipitations est peu liée à l'importance de l'érosion.

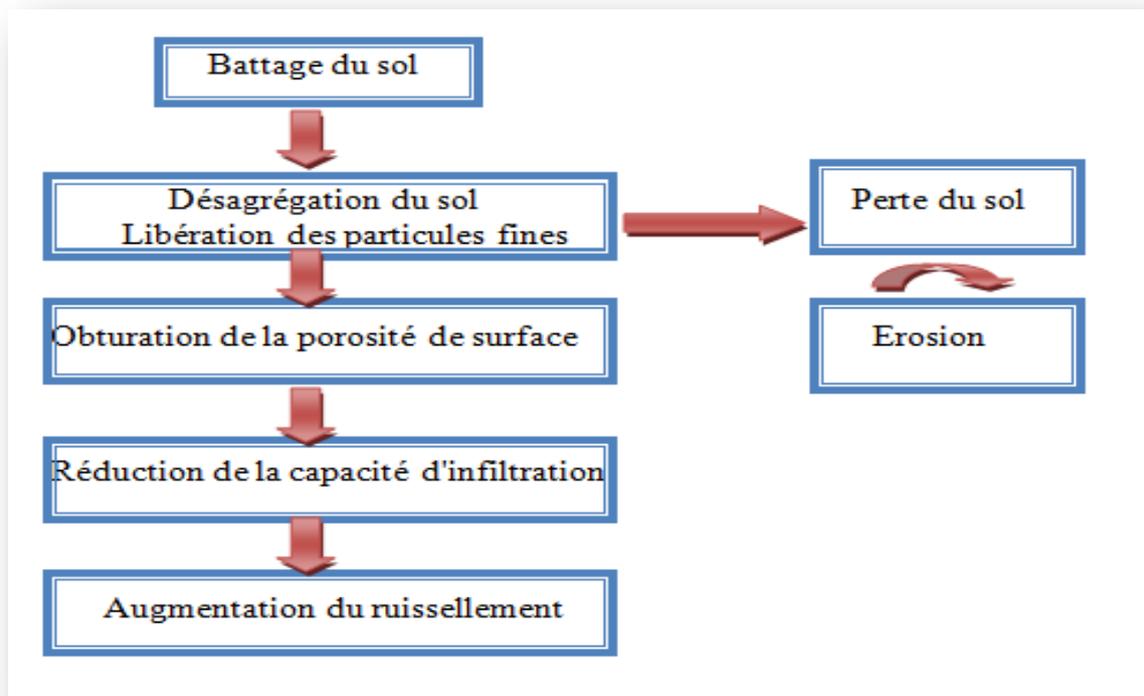


Figure 1 : Schéma explicatif de la relation entre le battage du sol et l'érosion

I.2.3.2. Ruissellement

L'eau ruisselle sur le sol sous forme d'une lame d'eau en filets diffus ou en écoulement concentré. Elle exerce sur le sol une force de cisaillement qui arrache les particules puis les transporte. Les conditions d'arrachement, de transport et finalement de dépôt dépendent de la vitesse du courant et de la taille des particules. Il existe ainsi pour un sol donné une vitesse critique d'arrachement et une vitesse limite au-dessous de laquelle les particules sédimentent (Figure 2).

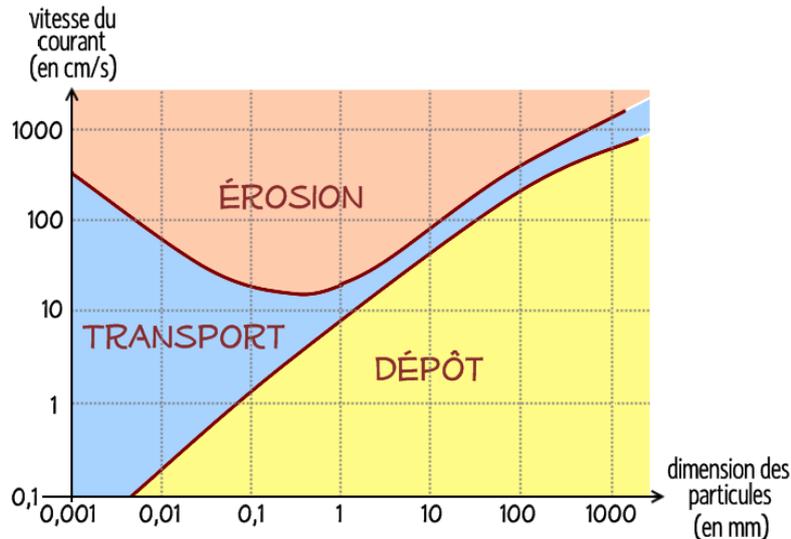


Figure 2 : Érosion, Transport et Dépôt des particules en fonction de la vitesse du courant et du diamètre des particules.

I.2.4. Facteurs géomorphologiques et hydrologiques

- La géomorphologie du terrain : conditionne la gravité de l'érosion. En effet, à petite échelle, on note que la rugosité de la parcelle explique les pertes du sol. Quant à grande échelle, c'est le relief du bassin versant qui conditionne l'importance des dégâts occasionnés par l'érosion hydrique.
- L'érodibilité d'un sol, définie comme étant la vulnérabilité du sol à l'érosion dans des circonstances précises, est fonction de la perméabilité de la surface des sols. En effet, les sols issus de roches tendres (marnes et schistes feuilletés) sont généralement imperméables et très sensibles à l'érosion.

I.2.4.1. Morphologie du terrain

Les paramètres topographiques sont fondamentaux pour expliquer l'importance des phénomènes érosifs.

I.2.4.1.1. Déclivité de la pente

La pente est un facteur important d'érosion. Le ruissellement et l'érosion commencent sur des pentes faibles (1 à 2 %), l'érosion augmente ensuite avec la pente. La déclivité du versant n'augmente pas toujours le ruissellement, lequel peut être très forte sur des pentes faibles. Par contre la charge solide et l'érosion augmentent de façon exponentielle et l'exposant peut varier de 1,2 à plus de 2, si le sol est mal couvert (Roose, 1990).

I.2.4.1.2. Longueur de la pente

En principe, plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule, prend de la vitesse et de l'énergie et plus l'érosion s'intensifie.

Il semble que l'influence de la longueur de pente est d'autant plus importante que le ruissellement a la possibilité de se concentrer. Par contre, l'influence est probablement nulle en absence du ruissellement et le splash est le seul processus actif.

I.2.4.1.3. Forme de la pente

Une pente donnée a tendance à devenir de plus en plus concave parce que les produits arrachés au sommet s'accumulent en bas de la pente. Cette évolution est parfois sensible et se traduit parfois par une diminution de l'érosion au cours du temps. Ainsi, une rupture de pente concave favorise le dépôt, à moins qu'elle ne facilite la concentration, alors qu'une rupture de pente convexe se traduit par un accroissement de la vitesse d'écoulement et de la contrainte de cisaillement exercée sur le sol si l'eau n'est pas dispersée.

I.2.4.2. Sol

En plus des facteurs favorisant le ruissellement, l'entraînement des particules du sol est facilité par les caractères du sol comme : sa texture, sa minéralogie, sa stabilité structurale et la matière organique qu'il contient. Les sols limoneux et limono-sableux sont les plus sensibles à l'érosion et à la battance, alors que les sols argileux plus fins résistent mieux à l'action du cisaillement par l'eau de ruissellement. Le détachement des particules est important pour des tailles de grains compris entre 63 et 250 μm .

I.3. FORMES DE L'ÉROSION HYDRIQUE :

Les formes de l'érosion hydrique dépendent de l'influence respective de la pluie, du ruissellement, de la rugosité et de la pente du terrain.

Les différents types d'érosion des sols sont habituellement répartis en deux catégories: l'érosion en nappes et l'érosion linéaire. Dans ce paragraphe, nous allons donner une grande importance à l'érosion linéaire, qui constitue le processus fondamental de notre région d'étude.

I.3.1. Erosion 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 essentiellement par l'impact des gouttes de pluies (effet splash), autrement dit c'est une forme d'érosion diffuse. De ce fait, elle est peu visible d'une année à l'autre.

L'importance de l'érosion en nappe dépend à la fois :

- de l'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement,
- de l'énergie des pluies qui détachent les particules susceptibles de migrer,
- de la durée des pluies et/ou de l'humidité avant les pluies.

Les conséquences de l'érosion en nappe sont:

- Le nivellement de la surface du sol,
- La squelettisation des horizons superficiel,
- Le décapage entraînant l'apparition de taches claires.

Cette forme d'érosion peut être importante pour certains sols, notamment les sols qui ont une faible résistance à l'érosion et qui sont composés de particules relativement fines et faciles à détacher et transporter, (sols limoneux).

Cependant, la capacité de transport de cette forme d'érosion est limitée.

I.3.2. Erosion linéaire (micro-Channel ou Rill Erosion)

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

L'importance de la perte du sol diffère selon le type d'érosion (Tableau 2):

Type d'érosion	Perte du sol
Erosion en nappe	1 T/ha/an
Erosion en rigole	10 T/ha/an
Erosion ravine	100 T/ha/an
Erosion en badlands	1 000 T/ha/an

Tableau 2 : Quelques ordres de grandeurs de pertes de sol par type d'érosion

www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/erosion

II. L'ÉROSION LINÉAIRE :

L'érosion linéaire est capable d'entailler le sol et d'emporter des particules de plus en plus grosses: non seulement des argiles et des limons comme l'érosion en nappe sélective, mais des graviers ou des cailloux et même des blocs.

Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles.

Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion. Les ravines peuvent atteindre des dimensions considérables.

Cette forme d'érosion peut transformer le paysage en « badlands ».

La ravine est une rigole approfondie où se concentrent les filets d'eau.

La rigole se transforme en ravine lorsque sa profondeur interdit son nivellement par des simples instruments aratoires (Tableau 4).

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

Tableau 3: Les formes d'incision dues à l'érosion linéaire

www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/erosion

Suite à l'érosion linéaire, érosion régressive entre en action pour rétablir l'équilibre rompu elle se fait en remontant à partir d'un niveau de base appelé également point fixe (le niveau de base contrôlant le tout étant le niveau de la mer. (Cours Mr. Igmoullan 2012).

3 caractéristiques liées à l'érosion régressive (Figure3) :

- Commence en aval et remonte vers l'amont
- Commence au point fixe
- Ne peut s'effectuer au dessous d'un niveau de base

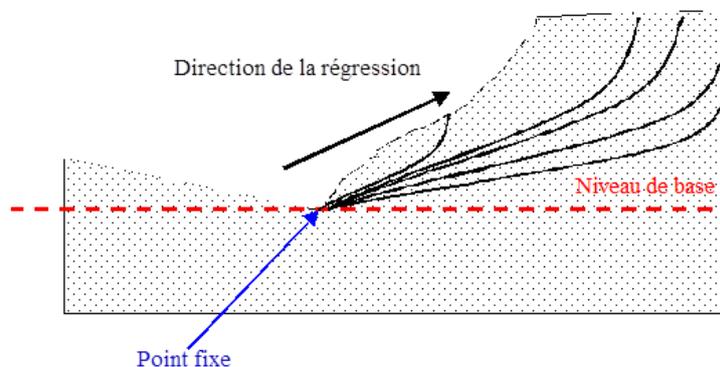


Figure 3 : Schéma de l'érosion régressive

(Cours Mr. Igmoullan 2012)

Tableau 4 récapitule les différents types d'érosion, leurs causes, les facteurs de résistance du milieu et les conséquences :

Les processus de dégradation et d'érosion et leurs formes	Les causes : différentes sources d'énergie	Les facteurs de résistance du milieu	Les conséquences : sélectivité de l'érosion et des dépôts
Erosion en nappe Forme: nappe de sable, pellicule de battance ou de sédimentation, "demoiselle coiffée", micro -falaises	Battance des gouttes de pluie	- le couvert végétal, - la pente, - le sol, - les techniques et structures antiérosives	Sélectivité Erosion: + + Dépôt: + +
Erosion linéaire Formes: griffes, rigoles, ravines	L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse au carré $1/2MV^2 = 1/2MGH$	- la vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité, - le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration, - résistance du profil du sol et des racines	Sélectivité Erosion: 0 Dépôt: + +

Tableau 4: Forme d'érosion, causes, facteurs de résistance du milieu et conséquences (D'après Roose, 1994).

Types des ravines:

Trois processus de ravinement peuvent être distingués:

- Dans la nature, on observe le plus souvent des ravines en forme de V qui sont creusées dans un matériau homogène, plus ou moins meuble, sablo-argileux; argileux, marneux ou schisteux. Les versants de ces ravines évoluent par altération de la roche: en saison froide par alternance de gelées et de soleil, en saison chaude, par alternance de périodes sèches et d'averses.

Au cours des saisons intermédiaires, les matériaux fins accumulés sur les versants par altération des roches, glissent jusqu'au fond de la ravine, d'une part suite à l'impact des gouttes de pluies, et d'autre part par formation de petites rigoles secondaires ou le plus souvent par glissement en masse des particules saturées par l'eau. La pente d'équilibre des versants étant largement dépassée, aucune végétation ne peut s'y installer. La lutte antiérosive va donc s'attacher à stopper le surcreusement du fond de la ravine et à rétablir la pente d'équilibre sur les versants (Figure 4-A).

- Un deuxième type de ravines en U s'observe fréquemment dans la nature sur des matériaux hétérogènes, ou sur un fond constitué de matériaux très résistants:

Lors des crues exceptionnelles le canal va s'élargir latéralement par effondrement. Soit, la couche de résistance se trouve en surface, le ruissellement creuse alors profondément le matériau jusqu'à atteindre une nappe d'eau temporaire ou permanente qui va exercer une poussée latérale sur le bas du versant jusqu'à ce que celui-ci s'effondre (sapement de berges). Ici également il sera nécessaire de fixer le fond de la ravine, de retenir les sédiments jusqu'à obtenir une pente d'équilibre des versants (Figure 4-B).

- Il existe une troisième forme de ravinement encore plus difficile à traiter: l'érosion en tunnel (tunneling). Elle peut se développer sur des pentes faibles, dans un matériau fissuré en surface, soit sur des sols riches en argiles gonflantes (vertisols, sols bruns tropicaux, Etc....) soit sur des marnes riches en gypse ou en d'autres minéraux solubles.

Lors des orages de fin de saison sèche, les eaux pénètrent dans ces sols fissurés jusqu'à la roche altérée, ruissellent dans ces fissures jusqu'en bas de pente où elles peuvent former des ravines régressives.

Les fissures du sol dans lesquelles s'engouffre le ruissellement hypodermique vont se transformer progressivement en tunnels, lesquels s'effondrent et forment des ravines régressives qui peuvent progresser de quelques dizaines de mètres au cours des grosses averses (Figure 4-C).

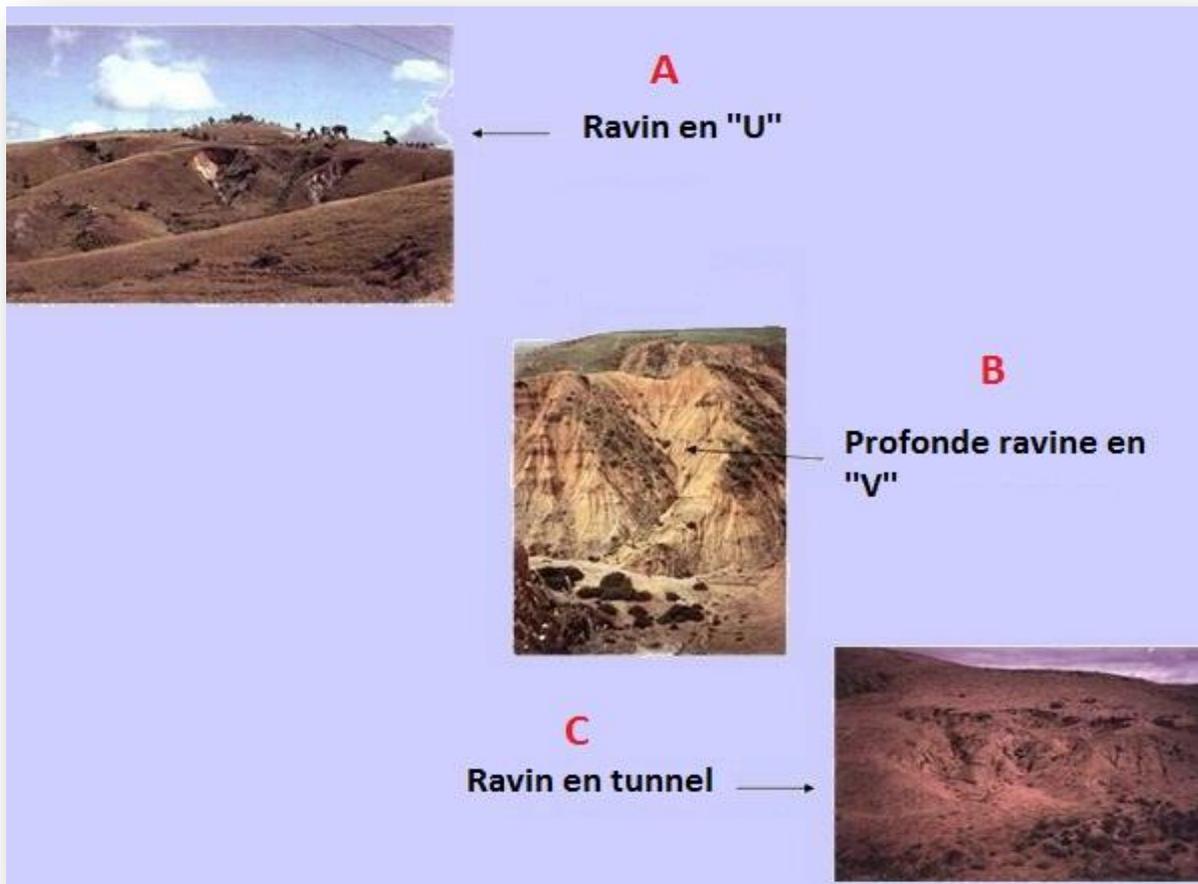


Figure 4 : Type de ravines

www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/erosion

III. AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

III.1 LES DIFFERENTS AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS

L'érosion reste encore mal connue et surtout mal maîtrisée car elle est discontinue dans le temps et dans l'espace. Les processus, les causes et les facteurs déterminant l'érosion étant très variable, il n'y a pas de recette généralisable de lutte antiérosive. Il ne s'agit pas seulement d'un simple problème technique, c'est aussi le signe de dégradation d'une société en mutation, la presse et les politiciens se mobilisent lors des catastrophes, mais négligent le travail de sappe des éléments qui pluie après pluie, préparent les drames (Roose. 1994).

En matière de traitement des zones touchées par l'érosion hydrique, il est recommandé d'appliquer un traitement à 2 volets :

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

Il est essentiel d'appliquer ce traitement dans les 2 volets pour avoir l'effet souhaitable, attendu que l'application du seul volet d'implantation de seuils ne sera conduire à des résultats satisfaisants car les seuils se sédimentent rapidement et perdent leur efficacité. En effet le traitement par l'établissement de la végétation sur les versants assure une permanence des effets positifs.

- La majorité des techniques antiérosives s'intègrent dans l'un des deux objectifs : maîtriser l'érosivité du ruissellement ou réduire l'érodibilité de la surface, or ces principales méthodes sont décrites et organisées en fonction des facteurs sur lesquels agissent les techniques de lutte contre l'érosion.

Les principes qui peuvent être retenus pour limiter efficacement l'érosion sont :

- identifier d'abord les différentes zones suivant les processus dominants, tant du point de vue de la formation du ruissellement que l'érosion elle-même (travail à l'échelle du bassin versant, unité spatiale de base).

- protéger le sol de l'impact de la pluie.
- retarder et réduire la formation d'un écoulement superficiel : augmenter la capacité d'infiltration et la capacité de stockage.
- accroître la protection et la résistance des zones où les conditions morphologiques peuvent favoriser l'incision.
- réduire les capacités de détachements et de transport du ruissellement en limitant sa vitesse et sa concentration.

III.1.1 Aménagements biologiques :

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

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

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

- seuils biologiques : Compte tenu des conditions écologiques et du matériel végétal disponible, l'accent doit être mis sur le traitement biologique des petites ravines. L'outil de base est un seuil placé en travers de la ravine et constitué par un matériel végétal vivant, ainsi La construction d'un seuil fait appel à divers types de matériel végétal, Soit des grandes boutures d'espèces ligneuses, soit des plantes comme le sisal et des graminées «Très faciles à vivre ils existent pour presque chaque type de sol et exposition » (Figure 5), pour mieux freiner l'eau et protéger l'aval de l'ouvrage contre l'affouillement.

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

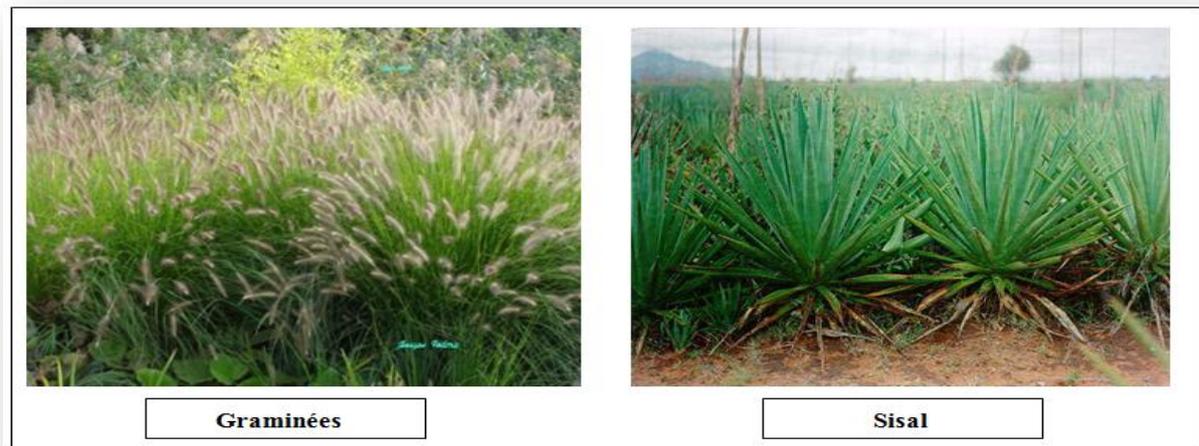


Figure 5: Seuils biologiques

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

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

- Reboisement :

Plantation en parcelles d'une dizaine d'espèces qui constituent la strate arborée, sont à base de : chêne vert (*Quercus rotundifolia*), genévrier rouge (*Juniperus phoenicea*), genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), thuya (*Tetraclinis articulata*), et le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*), (Figure 6).

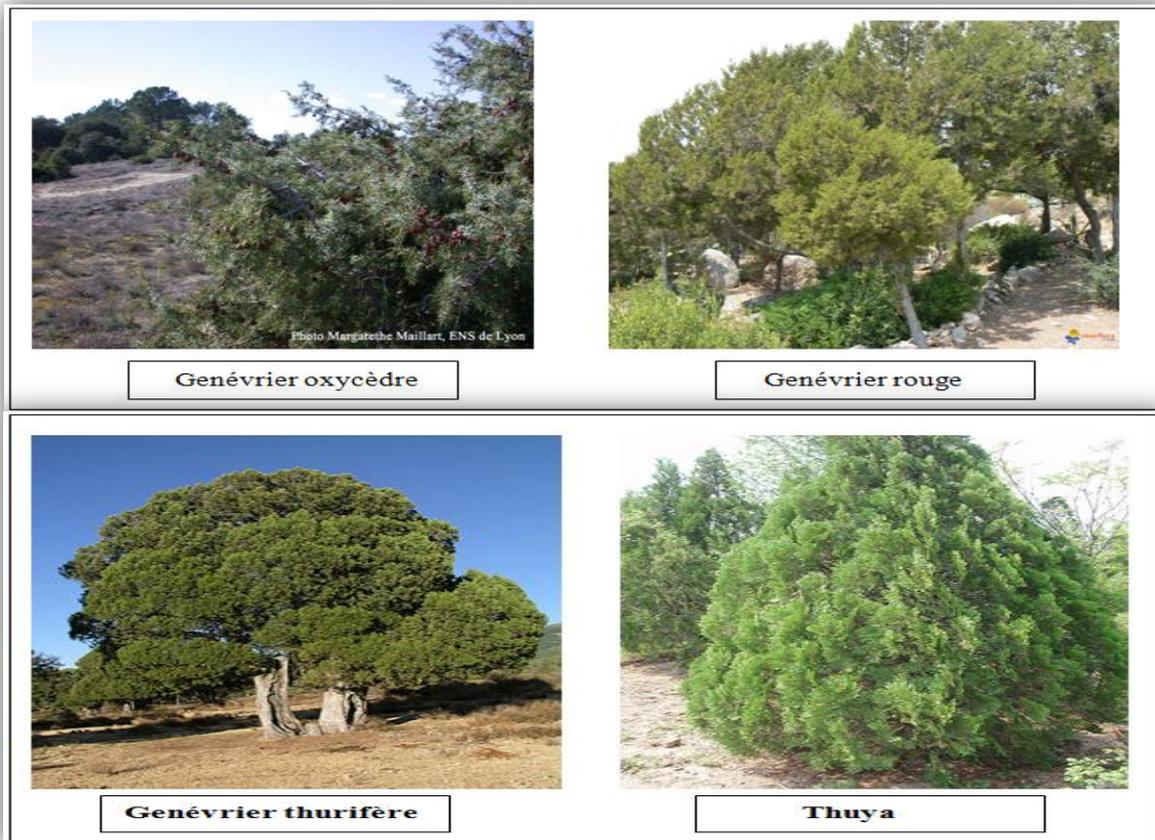


Figure 6: Type de reboisement

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

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

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

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

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

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

III.1.2.Aménagements mécaniques

Un seuil est un ouvrage construit au travers du lit d'un ravin. Il peut être en maçonnerie, en béton, en pierres sèches, en grillage métallique ou en gabion.

Il est placé perpendiculairement à l'axe du lit pour arrêter l'érosion en profondeur et sur les côtés, retenir les matériaux charriés, et stabiliser les éboulis des berges en leur procurant un appui. Son efficacité est fonction de sa durabilité, il faut donc donner au seuil une réelle solidité par l'emploi de matériaux convenables et une construction soignée.

Ces aménagements servent surtout dans les ruisseaux, ravins, et ravines. Ils consistent à réduire la vitesse de ruissellement, retenir les sédiments et protéger les infrastructures socio-économiques en aval.

Il existe plusieurs types de seuils selon les matériaux de construction utilisés :

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

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



Figure 7 : Seuil en Pierre Sèche

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

Les gabions sont destinés à freiner la vitesse d'écoulement des eaux de crues et permettent ainsi de recharger nappe souterraine irriguer les terrasses avoisinantes par épandage d'une partie des eaux de ruissellement réduire le pouvoir érosif des eaux et les risques d'inondation dans les zones en aval. (Boufaroua et Al ,1998), (Figure 8).



Figure 8: Seuil en gabion

- **Seuil en maçonnerie** : Un seuil en maçonnerie est un barrage construit avec de la pierre cimentée ou du béton, souvent sur des terrains rocheux. Ces ouvrages sont réalisés au travers du lit d'un torrent ou d'un gros ravin pour empêcher le lit de se creuser en remettant ainsi en cause la stabilité des berges et des versants. Il s'agit là de travaux de génie civil auxquels on fait appel pour renforcer, sur le même ravin, une série de seuils moyens (en pierre sèche et en gabions) construits à l'amont ou bien lorsque le torrent ou le ravin est assez important et que les matériaux charriés n'ont aucune chance d'être arrêtés par les ouvrages simples. Le lit du torrent peut être transformé dans ce cas en un grand escalier dans lequel se succèdent plusieurs seuils en escalier, car la correction d'un torrent, est une question de profil en long" (Figure 9).



Figure 9: Seuil en maçonnerie

- **Seuil en grillage métallique** : barrage filtrant, très efficace souple sur le terrain, moins cher que les deux premiers mais difficile à manier surtout dans les endroits d'accès difficile. On le suggère dans les régions dépourvues de pierres de qualité.

- **Seuil en sacs plastiques** : se sont des sacs de récupération remplis de terre et protégés par une petite couche de cailloux ou de ciment ou simplement de terre car le plastique résiste mal aux rayons ultra violets, il est très efficace, souple et facile à mettre en place, meilleur marché. Pour améliorer ces performances on compte utiliser du plastique noir plus résistant au soleil que le plastique vert.

Les seuils en gabions sont les plus solide et résistent mieux, puis viennent les pierres sèche avec aussi moins d'accident, puis c'est les grillages métalliques et en dernier lieu c'est le seuil en toile plastique.

- Le problème rencontré lors de la correction torrentielle, s'exprime dans le type de seuils à mettre en place, leur coût et leur efficacité pour stocker les sédiments, mais surtout pour stabiliser le fond de la ravine et rétablir la pente d'équilibre des talus permettant d'installer une végétation naturelle.

- En conclusion, la lutte mécanique est indispensable et efficace temporairement mais exige une fixation biologique rapide des atterrissements, des versants et de l'amont des ravines.

L'aménagement mécanique et biologique d'une ravine peut être réalisé progressivement mais il doit concerner tout le bassin versant dès la première année La fixation biologique d'une ravine vient consolider les versants et le fond de ravine stabilisé par différents types de seuils.

Les travaux de protection de bassin versant vont permettre d'améliorer l'infiltration de l'eau afin d'augmenter la nappe phréatique et en conséquence augmenter la production de la biomasse en couvrant mieux le sol et de rétablir l'équilibre des bilans des matières organiques et minérales du sol.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT DU ZAT

La zone d'étude se situe dans la partie orientale du Bassin versant du Zat. Avant de caractériser notre zone d'étude, on va d'abord présenter les principales caractéristiques du Bassin versant du Zat.

I. GÉNÉRALITÉS SUR LE BASSIN VERSANT DU ZAT

I.4. CADRE GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

I.1.2. Cadre géographique :

Le bassin du Zat est localisé au Sud-Est de Marrakech sur le flanc Nord du Haut Atlas Occidental, avec une latitude comprise entre $31^{\circ}10'$ et $31^{\circ}40'$ Nord et une longitude comprise entre $7^{\circ}10'$ et $7^{\circ}40'$ Ouest. Il est délimité au Nord par la plaine el Haouz, au Sud par la zone axiale du Haut Atlas, à l'Est par le bassin R'dat et à l'Ouest par le bassin versant de l'Ourika (Figure 10).

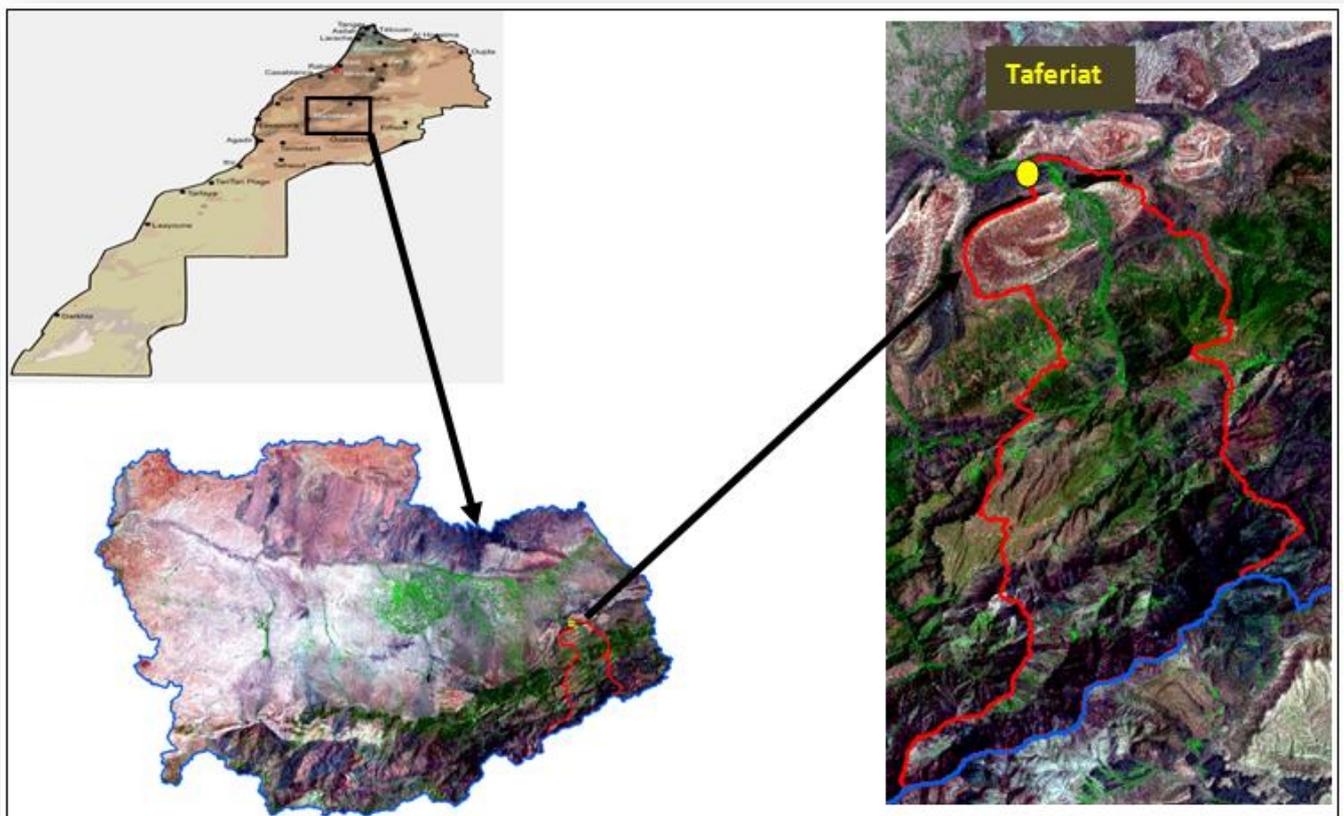


Figure 10 : Situation géographique du bassin versant Zat

I.1.2. Cadre climatique

I.1.2.1. Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles

I.1.2.1.1. Les précipitations moyennes mensuelles :

L'examen de la répartition moyenne des pluies mensuelles montre l'existence de deux saisons nettement différenciées (Figure 11):

- D'Octobre à Avril : une saison humide où interviennent la quasi-totalité des épisodes pluvieux, soit près de 80 à 93 % de la pluviométrie annuelle.
- De Mai à Septembre, une saison sèche avec seulement 7 à 17 % de la pluviométrie annuelle.

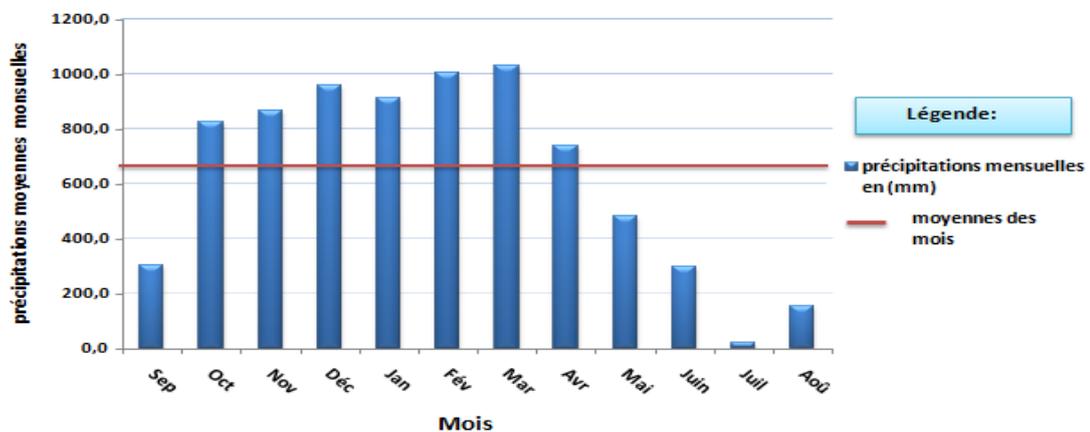


Figure 11 : Précipitations moyennes mensuelles au niveau de la station hydrométrique Taferiat de 1990/91 à 2010 /11

(Période 1928/91. Étude de l'avant projet sommaire de barrage Ait Ziat).

- Le bassin versant Zat, reçoit donc le maximum de chutes de pluies au cours de l'hiver suivit du printemps et de l'automne avec une valeur maximale de 1034,5 (mm) enregistrée en mois de Mars.
- L'été est la saison la plus sèche ; elle n'enregistre que quelques millimètres ou dizaines de millimètres avec un minimum de 21,8 (mm) correspondant au mois de juillet durant 20 ans.

I.1.2.1.2. les précipitations moyennes annuelles :

A partir de l'analyse des données des précipitations, couvrants une période de 21 ans de 1990/91 à 2010/11 (Figure 12), on peut apercevoir que l'exutoire Taferiat du bassin Zat reçoit annuellement en moyenne 362,6 (mm). Ainsi les moyennes pluviométriques sont beaucoup plus importantes sur la totalité du bassin versant Zat, grâce à des altitudes moyennes assez élevées (1882 m).

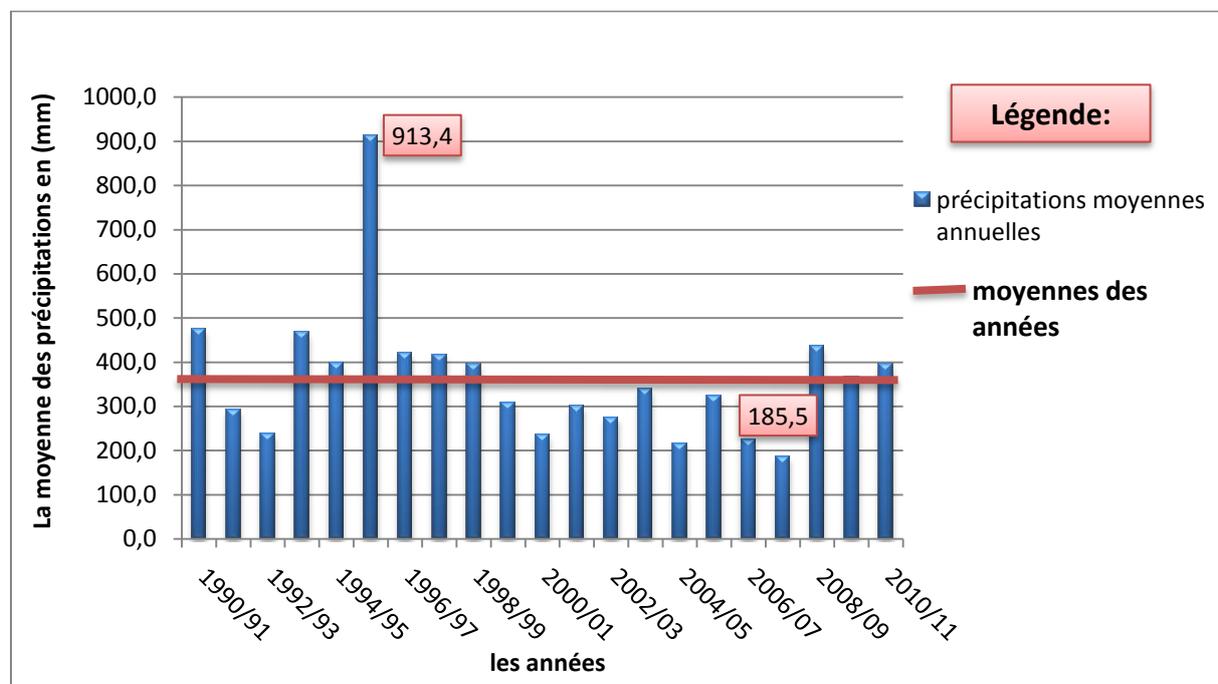


Figure 12 : Évolution annuelle des précipitations moyennes dans le bassin versant Zat durant 20Ans
(Période 1928/91. Étude de l'avant projet sommaire de barrage Ait Ziat)

D'après l'histogramme de l'évolution des précipitations annuelles moyennes (Figure7), nous pouvons constater que la station de Taferiat a enregistré le maximum des précipitations dans l'année 1995/96, qui a été exceptionnellement pluvieuse représentant une moyenne maximal de 913,4 mm (crue). Par contre l'année 2007/08 représente l'année la plus sèche durant la période 1990/91-2010/11 avec une moyenne minimale de 185,5 mm. Les précipitations moyennes dans tout le bassin à l'échelle annuelles sont de l'ordre de 360 (mm).

I.1.2.2. Température

A l'inverse des précipitations, la température est un facteur climatique beaucoup plus régulier à l'échelle temporelle. Les mois les plus chauds sont généralement Juillet et Août, alors que le mois le plus froid est Janvier.

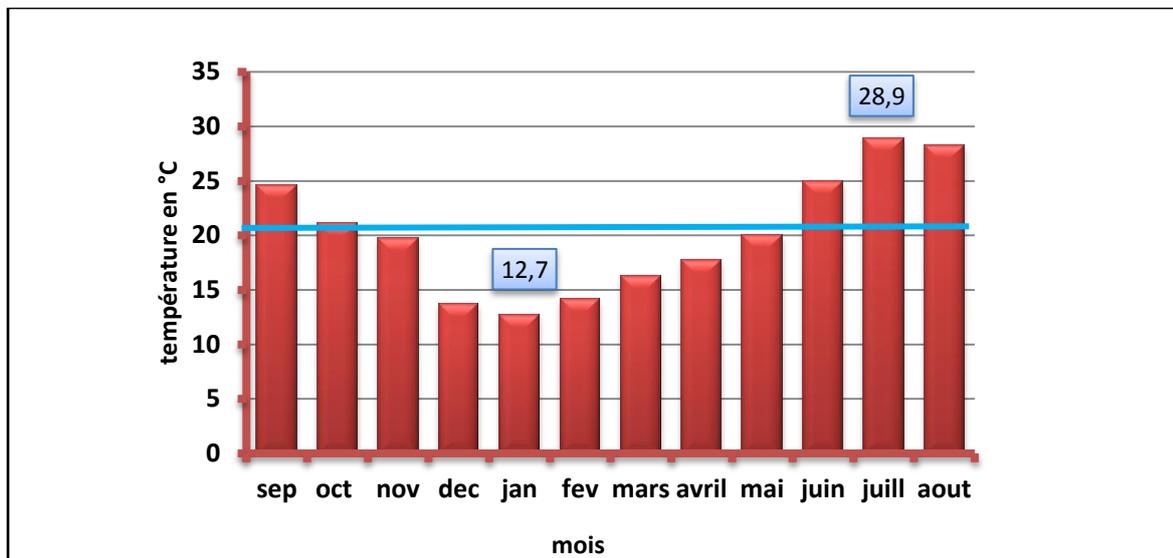


Figure 13 : Évolution mensuelle des températures dans le bassin versant du Zat durant 20 ans (Abidou, Echchabi. 2013)

Selon la (Figure 13), on constate que le climat régnant sur l'ensemble du bassin est de type aride à semi- aride. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 20.2 °C. Elle varie entre un maximum de 30,6 °C enregistré en mois de Juillet 1994, et un minimum de 9,8 °C enregistré en mois de Janvier 2009. Les valeurs moyennes mensuelles varient entre 12,7 °C enregistrée en janvier et 28,9°C enregistrée au mois de juillet.

I.1.2.3. évapotranspiration et humidité :

Concernant les mesures de l'évaporation et de l'humidité, la seule station régionale fonctionnelle est celle de sidi Rahal située à une vingtaine de Km du sous bassin de Zat. L'évapotranspiration enregistrée est importante et le taux d'humidité est faible à moyen.

- La hauteur moyenne évaporée annuellement à Sidi Rahal est de 2348,2 ml
- La moyenne annuelle du taux d'humidité de l'air varie suivant plusieurs critères : selon la zone côtière, la zone de plaine ou encore la zone montagneuse, et varie également suivant le temps, Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité enregistrées a la station de sidi Rahal sont de 64% à 7 heures, 53% à 14 heures, de 55% à 18 heures et de 59% à 21 heures. (Abidou, Echchabi. 2013)

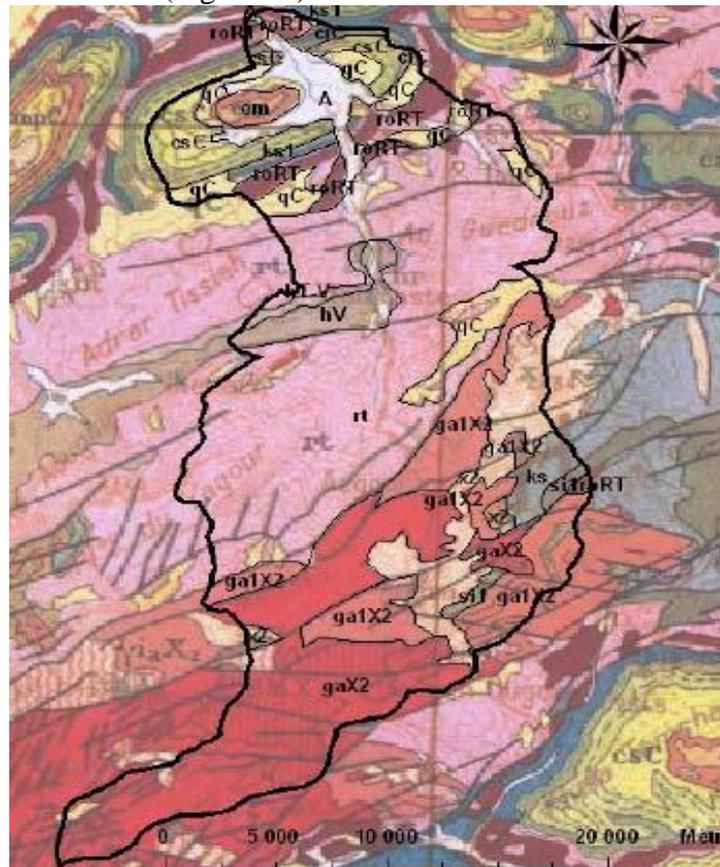
I.2. CADRE GÉOLOGIQUE ET PÉDOLOGIQUE

I.2.1. Cadre géologique :

Le bassin versant du Zat est constitué d'un socle rigide formé de terrains paléozoïque et précambrien au Sud et des terrains de couvertures secondaires et tertiaires qui se développent vers le Nord et le Nord -est.

La chaîne atlasique montre suivant une direction nord-est, sud-ouest deux zones distinctes:

- A l'amont, la zone axiale de la chaîne à hautes altitudes où n'affleure que le socle.
- A l'aval, la zone sub-atlasique septentrionale où la couverture post-hercynienne constitue l'essentiel des affleurements (Figure 14).



Symbole	Echelle stratigraphique	Lithologie
A	Formations modernes et Quaternaire	Formation de plaine
qC	Quaternaire moyen et ancien	Formation de plaine
pVC	Villafranchien et Pliocène continental	Formation de plaine
mpC	Mio-pliocène continental	Formation de plaine
em	Eocène moyen	Formation de plaine
csC	Sénonien faciès continental	Formations lre mamo-calcaire
cT	Turonien	Formations lre mamo-calcaire
ciC	Infracénomien et Cénomien continental	Formations lre mamo-calcaire
roRT	Trias	Basaltes doléritiques
rt	Permo-trias continental	Grès et argiles
dm	Dévonien moyen	Formation lre à dominante calcaire
si1	Ordovicien inférieur	Formation lre à dominante schisteuse
ks	Acadien	Formation lre à dominante schisteuse
ks1	Cambrien moyen	Schistes à Paradoxides
ga1X2	Précambrien II	Granites post-tectoniques
x2	Précambrien II	Schistes, Séricitoschistes

Figure 14: Les formations géologiques du bassin versant Zat

(D'après la carte géologique du Marrakech 1/500 000, Ragueneau. 2007)

L'analyse de la carte géologique du bassin versant Zat permet de constater que le bassin est subdivisé en 3 grandes zones :

- La zone amont : constituée par les formations du socle paléozoïque (rhyolites, andésites et des massifs de granites) et précambrien, peu perméables favorisant un écoulement superficiel soutenu provoquant ainsi une érosion hydrique accentuée. En cas de pluies importantes, cette zone permet des écoulements intenses qui peuvent à l'origine de crues violentes.
- La zone centrale : composée en majorité par des formations pérmo-triasiques argilo-gréseuses, avec des formations de dévonien moyen à dominance calcaire.
- La zone aval : caractérisée par des formations secondaires marno-calcaire, avec des formations de plaine.

I.2.2. Cadre pédologique :

Les facteurs géologiques et géomorphologiques tels que la roche mère, la pente, l'altitude et l'exposition ont une influence déterminante dans le type de sols rencontrés dans le bassin.

La pédogénèse sera par conséquent moins active que dans les régions de front océanique.

L'épaisseur du sol reste cependant peu importante, (Figure 15).

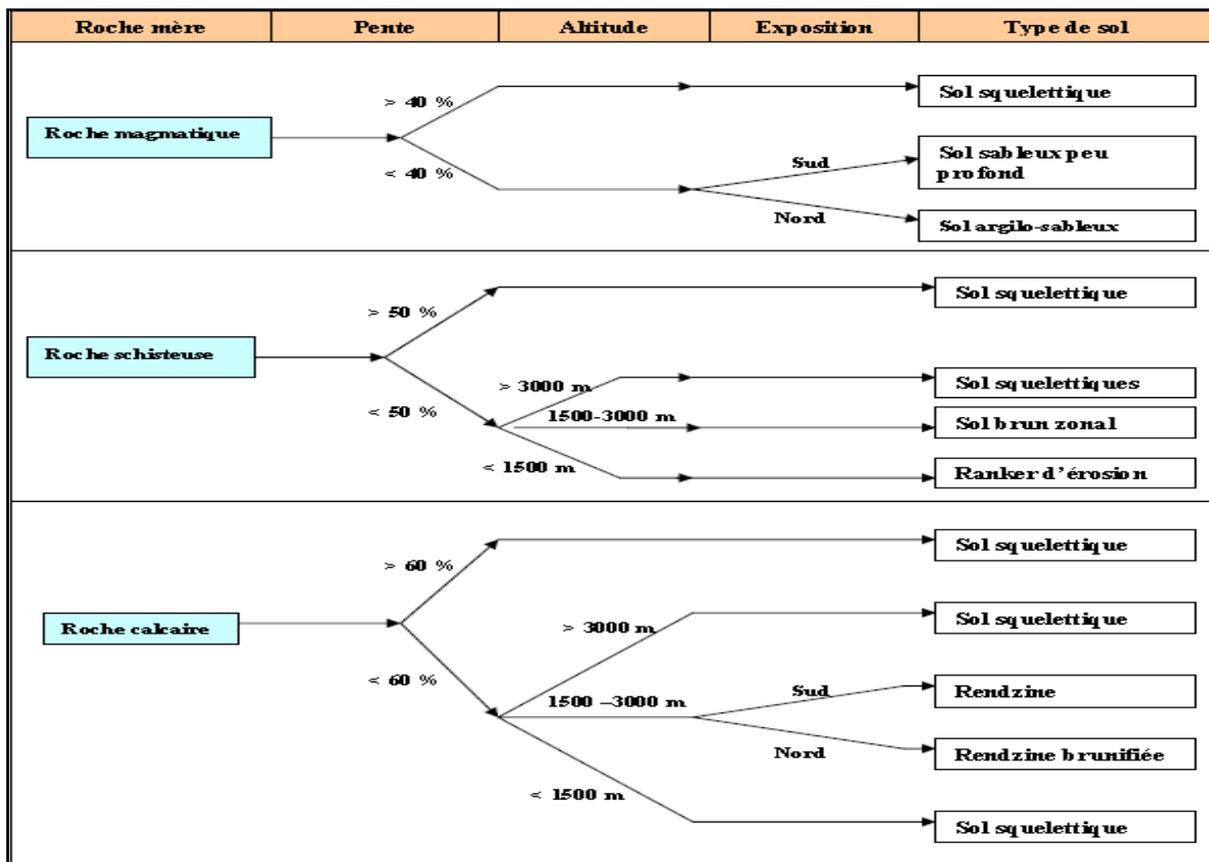


Figure15: Organigramme des règles de décision pour la détermination des différents types de sols pour le bassin versant Zat (Fouad, 2002).

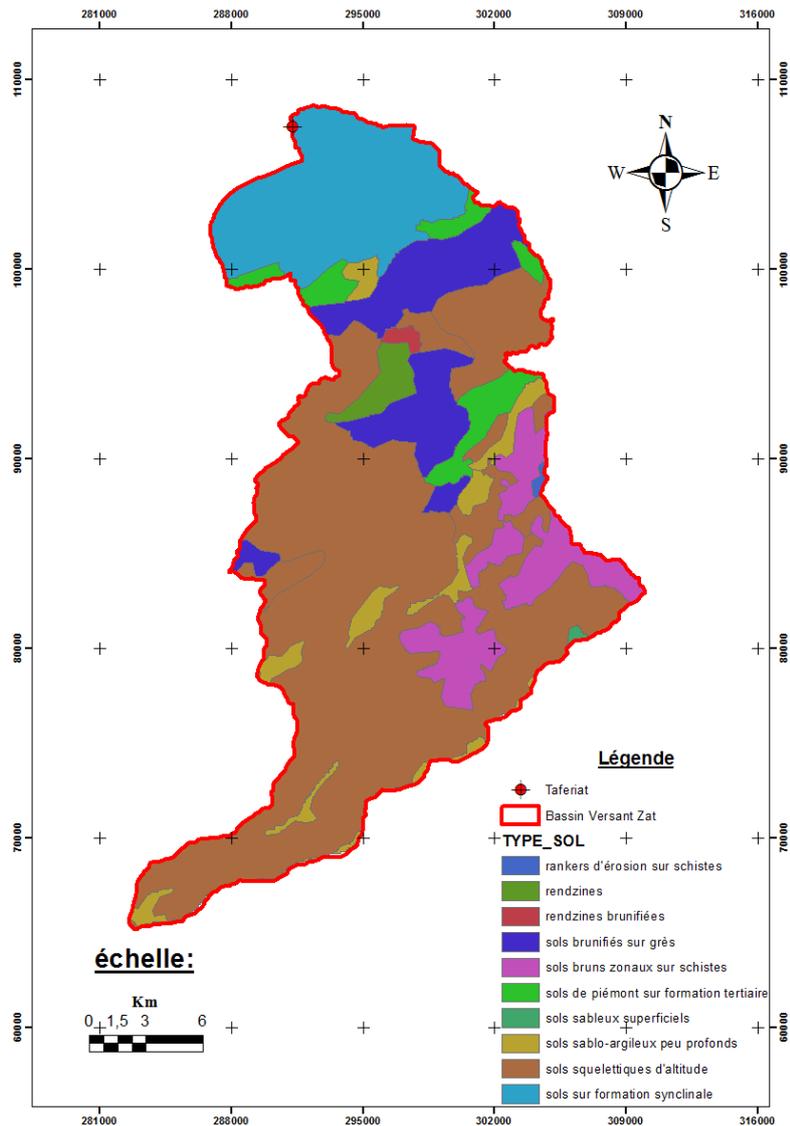


Figure 16 : Carte synthétique de type de sol du Bassin Versant Zat

La carte pédologique (Figure 16) mis permet de mettre en évidence les différents types de sol selon la roche mère qui affleurent dans ce bassin.

- Les sols sur schistes : Les schistes du Haut Atlas sont généralement tendres et donc relativement sensibles à l'altération et produisent des sols de qualité quand ils ne sont pas rajeunis par l'érosion.

Au dessous de 1500 m, l'érosion devient plus importante et le sol, moins riche en matière organique, est plus dégradé. Il s'apparente ainsi aux rankers de pente ou d'érosion. Ce type de sol se rencontre sur toutes les formations schisteuses colonisées par une végétation ouverte.

- Les sols sur roches magmatiques : L'altération des roches magmatiques aboutit le plus souvent à des sols de texture grossière. Les versants sud, sont protégés des influences atlantiques. . La pédogenèse sera par conséquent moins active que dans les régions de front océanique avec des sols squelettiques peu évolués.
- Les sols sur calcaires : On rencontre ce type de substrats sous deux faciès : les schisto-calcaires primaires et les marno-calcaires secondaires.
- Sur les piémonts, entre 900 m et 1200 m on rencontre généralement des rendzines provenant de l'altération des lithosols calcaires.
- Sur les plateaux calcaires situés entre 1200 m et 3000 m, les rendzines constituent le type de sol dominant. En exposition sud, les calcaires contribuent à accentuer l'assèchement du milieu alors que sur les versants nord, plus humides des phénomènes de brunification peuvent conduire à la formation de rendzines brunifiées.

En haute montagne, l'évolution des sols reste liée aux phénomènes périglaciaires.

- Les sols sur grès rouges périmo-triasiques : L'altération de ces roches a conduit généralement à la formation d'un manteau argilo-sableux et de sols rouges fersiallitiques, mais l'érosion l'emporte souvent sur la pédogenèse. Les affleurements rocheux sont donc prédominants lorsque les pentes sont trop importantes.

I.3. CADRE GEOMORPHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT ZAT

I.3.1. Les altitudes :

Ils reflètent la morphologie du bassin versant. L'altitude joue un rôle non négligeable sur l'intensité et sur la nature des précipitations ayant par conséquent un lien indirect avec l'importance de l'érosion hydrique. La carte des altitudes (Figure 17) est réalisée à l'aide d'Arc GIS à partir d'une base de données sous forme d'un MNT (Module Numérique du Terrain).

- On peut constater que les tranches d'altitudes inférieures à 2000 m sont les plus représentées dans le B.V Zat.

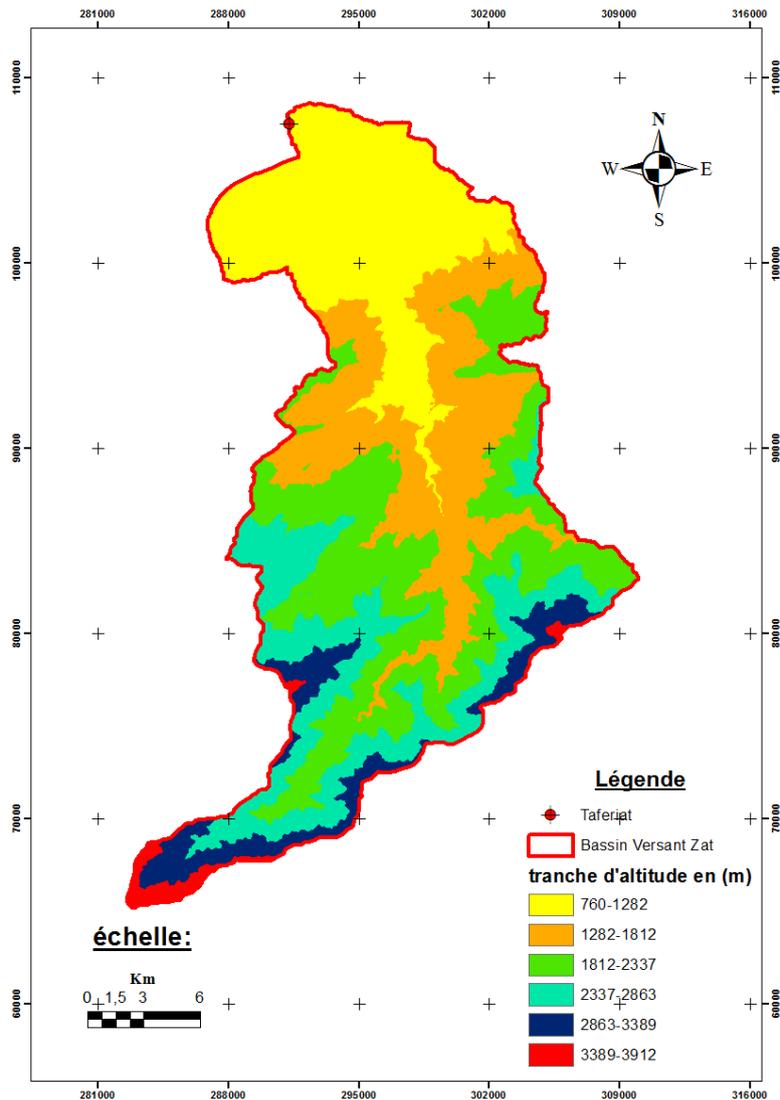


Figure 17: Carte hypsométrique du Bassin Versant Zat

D'après l'analyse de la carte des tranches d'altitude du bassin versant Zat on remarque que la zone amont est caractérisée par des tranches d'altitude supérieure à 2000 (m) alors que dans la zone aval, les altitudes varient entre 760-1282(m).

La variation des altitudes influence sur l'importance des pentes qui contrôlent-elles même le type d'écoulement. En effet, sur des pentes fortes (partie amont), on assiste à des ruissellements de nature torrentielle. Sur des pentes plus faibles (partie aval), l'infiltration de l'eau se produit, ce qui diminue le ruissellement. Cela dépend également de la lithologie du substrat rocheux.

I.3.2. Les pentes :

C'est une caractéristique importante des bassins versants qui renseigne sur la topographie du bassin.

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Elle influence sur l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. En effet, plus la pente est forte, plus la durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents et dans le cours principal est faible. Par conséquent, le bassin réagira d'une façon rapide aux averses. Les pentes fortes à très fortes peuvent produire des écoulements de nature torrentielle qui sont à l'origine des crues dévastatrices.

- Dans le bassin versant Zat, les classes des pentes de moins de 20 degrés sont plus représentées que les autres classes.

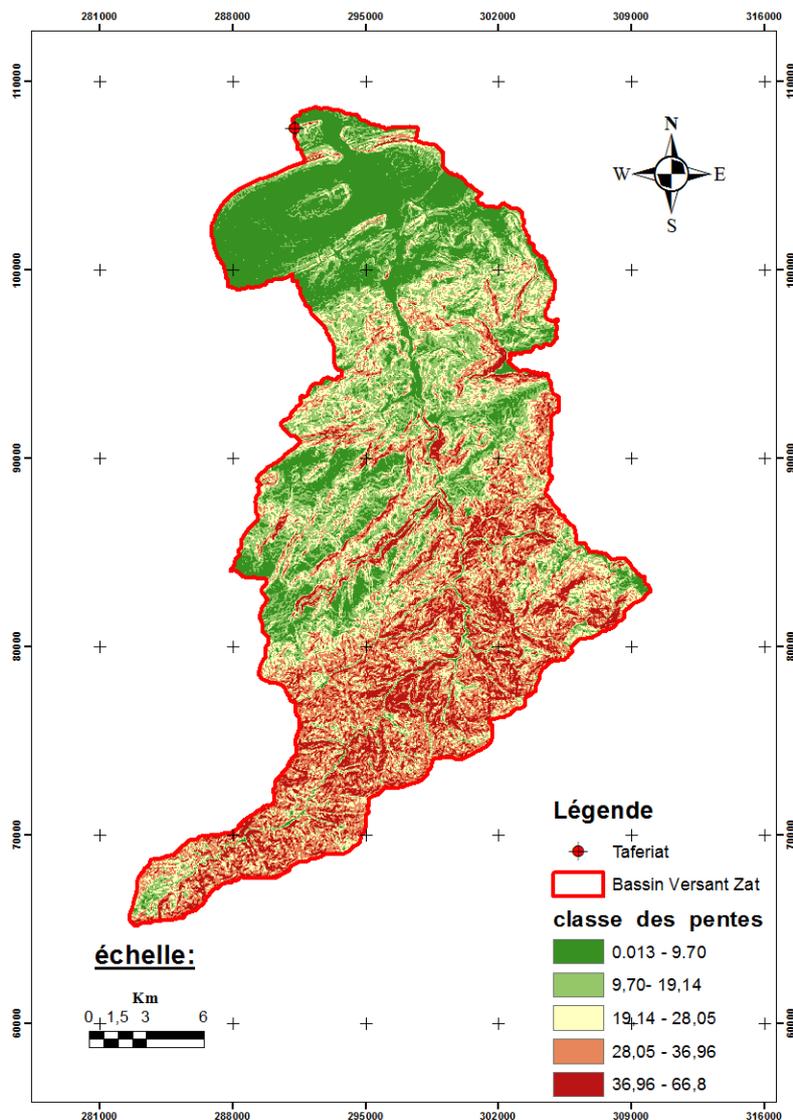


Figure 18 : Carte des pentes du Bassin Versant Zat

L'analyse de la répartition des classes des pentes dans le bassin versant Zat (Figure 18), permet de constater que dans la partie amont, les pentes fortes sont les plus dominantes, celles-ci correspondent à des zones abruptes et de forte contribution à l'érosion.

La partie aval du bassin à une faible contribution à l'érosion due à de faibles pentes.

- On remarque un passage progressive de l'intensité des pentes du l'amont vers l'aval.

I.3.3. L'Indice de compacité de Gravelius :

L'indice de compacité (KG) renseigne sur la forme du bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau. Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il s'exprime par la formule suivante:

$$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

KG : Indice de compacité

P : Périmètre stylisé du bassin versant en km.

A : Superficie du bassin versant en km².

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface ; il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

Dans le bassin du Zat, l'indice de compacité est de l'ordre de 1,66 (km⁻¹). Il confère au bassin une forme allongée qui aura un impact sur les écoulements.

I.3.4. Le Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux cotés du rectangle équivalent.

Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes:

- La longueur L :

$$L = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right)$$

- La largeur l :

$$l = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right) = \frac{A}{L}$$

Avec :

KG : Indice de compacité de Gravelius

A : Superficie du bassin versant en km²

L : Longueur du rectangle équivalent en km

l : Largeur du rectangle équivalent en km.

- Pour le bassin versant du Zat, la longueur de rectangle équivalent est d'environ 54 km et sa largeur est de 9 km.
- les caractéristiques géomorphologiques du B.V Zat sont résumés dans le tableau suivant :

Surfaces (km ²)	516
Périmètres (km)	135
Indices de compacité (km-1)	1.66
Altitudes minimums (m)	794
Altitudes maximums (m)	3847
Altitudes moyennes (m)	1882
Pentes moyennes (%)	15.5
Longueurs du rectangle équivalent (km)	58 .5
Largeurs du rectangle équivalent (km)	9

Tableau 5: caractéristiques morphologiques du bassin versant Zat.

I.3.5. L'Expositions des versants :

La caractérisation de l'orientation des versants permet d'accéder à la durée d'ensoleillement, facteur très important en zone de montagne pour connaître les cycles de gel/dégel et ainsi mieux maîtriser les dynamiques de dégradation des sols et des roches.

Les pluies et les températures sont influencées par l'altitude et l'orientation des versants. Ceci crée des contrastes entre versants N et S en Méditerranée, où les versants N ont tendance à être plus humides grâce à un taux d'évapotranspiration plus faible (moins d'ensoleillement direct) et donc à favoriser la croissance végétale et des sols plus épais dans un milieu connu pour son stress hydrique estival.

Pour la pluie, nous pouvons noter les différences entre les versants W bien arrosés, et les versants E qui sont beaucoup plus secs.

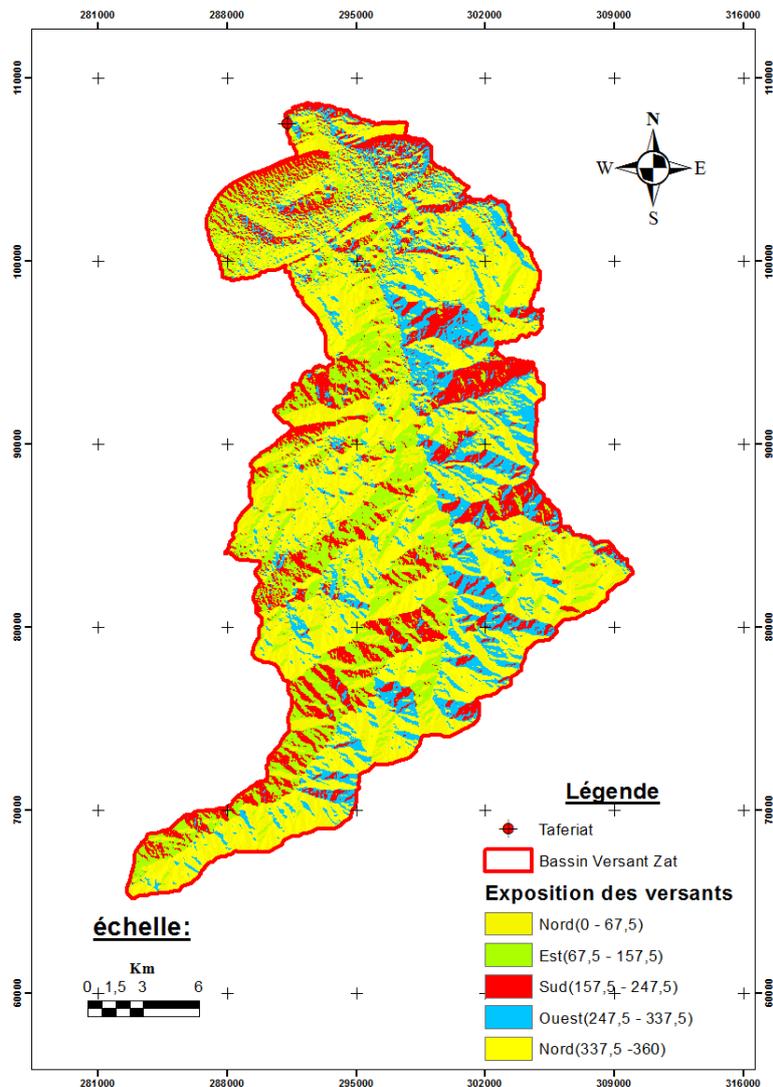


Figure 19 : La carte d'exposition du Bassin Versant du Zat

L'analyse de la carte d'exposition du bassin versant du Zat (Figure 19) permet de constater que les différentes expositions sont uniformément réparties sur toute la superficie du bassin.

Cette répartition des classes d'exposition nous permet de localiser dans l'espace les zones les plus sensibles et vulnérables à l'érosion et qui sont généralement défavorables à l'installation des végétations.

le graphe de la (Figure 20) illustre les pourcentages des orientations Nord, Est, Sud et Ouest pour le B.V du Zat. Ce graphe montre que les versants sont exposés dans la majorité vers le Nord ou le Nord-Ouest avec des valeurs respectives de 37% et 23%. Cependant, les expositions Sud et Est sont moins abondantes. En effet, les versants Sud sont relativement abrités des flux humides du Nord-Ouest et ils font des adrets plus exposés aux rayonnements solaires; il en résulte donc des hauteurs de précipitations beaucoup plus faibles, ce qui accentue d'avantage l'aridité.



Figure 20 : Répartition des expositions du bassin versant du Zat (Boudhar, 2009)

I.4. CADRE HYDROLOGIQUE

I.4.1. Réseau hydrographique :

L'oued Zat est un affluent atlasique rive gauche de l'oued Tensift, il forme avec l'oued Ourika les 2 bras principaux de l'oued Hadjar.

La carte du réseau hydrographique représentée dans la (Figure 21), montre les principaux affluents de l'Oued Zat qui sont :

En rive gauche :

- Oued Ikiys
- Oued Yagoun

En rive droite :

- Oued Zeraoun
- Oued Wansa
- Oueds TIDSI Et AFRA Qui Se Réunissent Pour Former L'oued
- Oued Tighadwine
- Oued Tighazrit

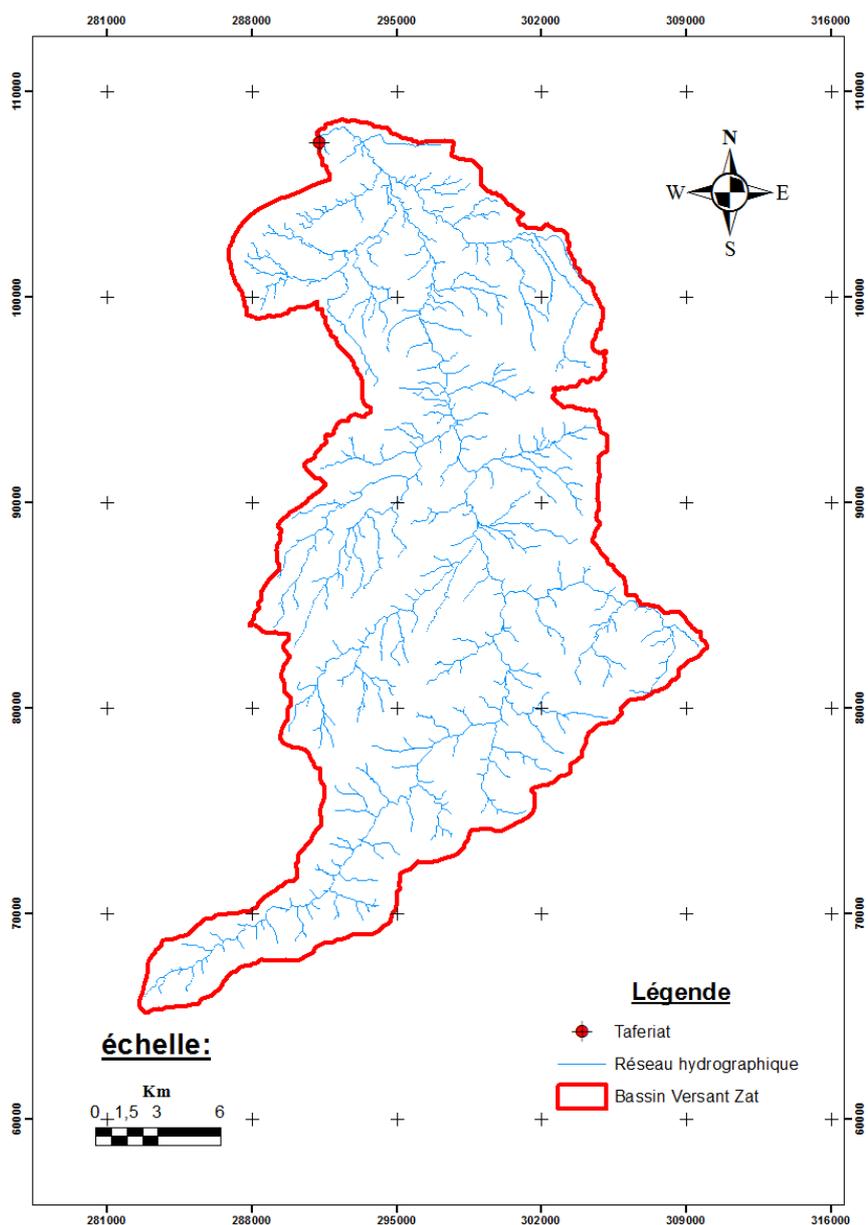


Figure 21 : Réseau hydrographique du Bassin versant Zat

L'Oued Zat draine un bassin versant d'une superficie de 516 km² à la station hydrologique de Taferiat. Celle-ci est située à une altitude de 760 mètres, et fait partie de la zone la plus active, la plus pentue et la plus arrosée du bassin de Tensift.

I.4.2. Perméabilité :

La perméabilité d'un sol est la propriété qu'a le sol de transmettre l'eau et l'air. De nombreux facteurs influent sur la perméabilité du sol comme par exemple la nature du sol, la présence de la végétation et l'intensité des pluies.

La perméabilité d'un sol influence directement sa capacité d'absorption et par conséquent le degré de ruissellement. En effet, pour les sols qui sont complètement imperméables, le ruissellement de la pluie sera total et ne dépendra que de l'intensité de la pluie. Par contre, si les sols sont relativement perméables, la pente aura une influence certaine sur l'infiltration des eaux et donc sur le ruissellement.

Le bassin versant du Zat est constitué en général de 46 % de terrains imperméables, de 40 % de terrains semi perméables et de 14 % de terrains perméables (Pascon 1977).

I.4.3. Densité de drainage :

La densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. La densité de drainage est exprimée en km/km² ou en km⁻¹ par la formule suivante :

$$Dd = \frac{\sum Li}{A}$$

Avec :

Dd : densité de drainage

Li : Longueur totale des cours d'eau en km

A : Superficie du bassin versant en km².

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques. Ainsi, les activités humaines ont parfois un rôle important sur l'évolution hydrologique. Cette influence peut avoir un effet régulateur mais aussi un effet accélérateur du ravinement. Les secteurs situés sur roches perméables ont en général des densités de drainage faibles, alors que les secteurs sur des roches imperméables ont des densités plus élevées.

- Au niveau du bassin Zat la densité de drainage est de l'ordre de 3.08 km⁻¹.

I.4.4. le temps de concentration :

Il représente le temps maximal nécessaire au ruissellement en provenance du point le plus lointain du bassin, pour atteindre l'exutoire. Ce temps de concentration est très important pour l'alerte d'un risque de crue dans un bassin versant.

- Pour le bassin du Zat, ce temps est de l'ordre de 6 h 25 min.

I.4.5. Couverture neigeuse :

L'analyse de la variabilité des surfaces de la neige par bassin versant est très utile. Elle permet d'étudier la contribution de la fonte aux débits des cours d'eau.

Le bassin versant Zat présente des taux moyens d'enneigement qui varient entre 4 et 20%.

Le taux maximal de couverture neigeuse lors des huit saisons varie de 13% (2000-2001) à 62% (1998-1999).

- Le critère d'enneigement est cohérent avec les caractéristiques topographiques, puisque les basses altitudes du bassin versant Zat reflètent un taux d'enneigement qui est relativement faible (Figure 22).



Figure 22 : Couverture neigeuse dans le bassin versant du Zat

CHAPITRE 3

CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

III. CARACTERISTIQUES NATURELLES

III.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Les ravins concernés par la correction mécanique et qui font l'objet de cette étude, se situent dans la partie orientale du bassin versant Zat, et plus précisément dans la commune rurale de Tighadouine. La zone d'étude est délimitée au Nord par Jbel Agouti, au Sud par le village d'Ait Wiyksane, et la vallée d'Oued Tighadwine qui est un affluent sur la rive droite d'Oued Zat

(Figure 23).

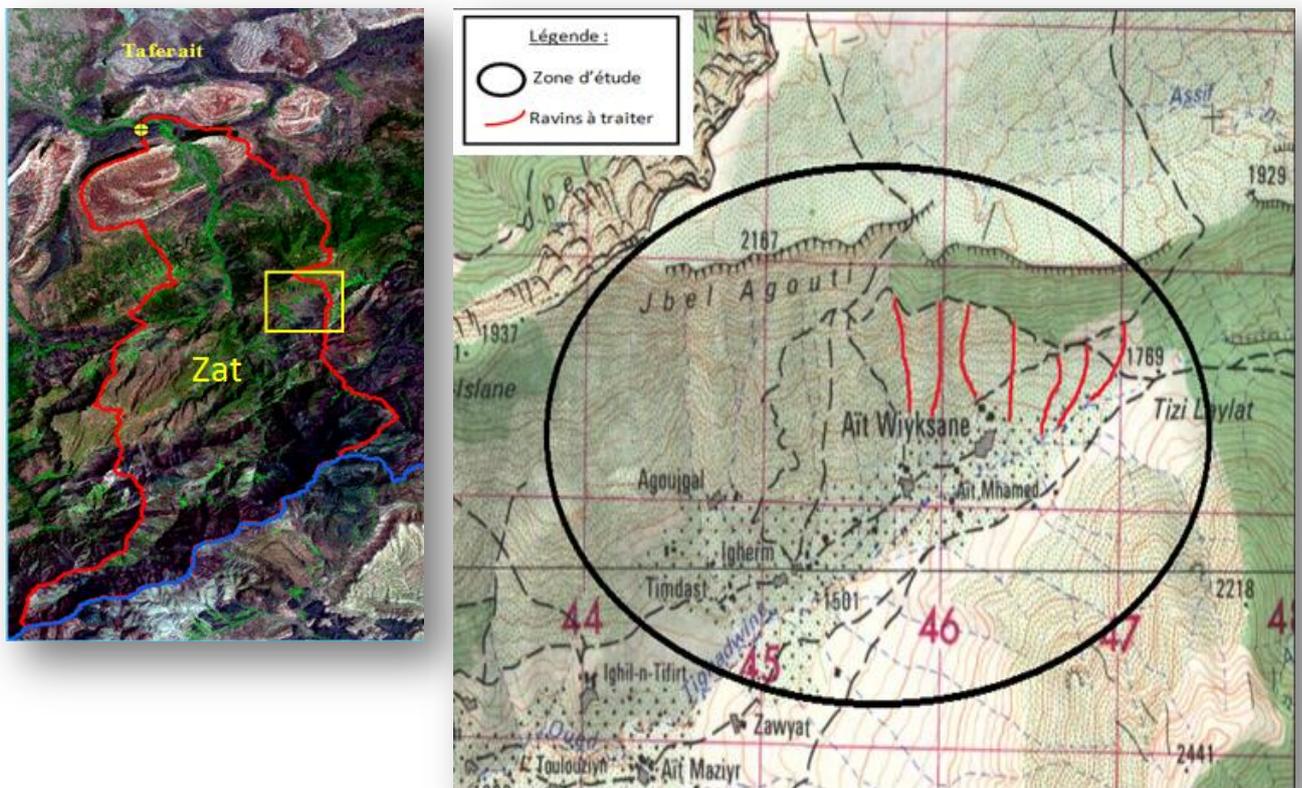


Figure 23 : Localisation de la zone d'étude

(Extrait de la carte topographique de Had Zraktane au 1/50 000)

Comme on peut le constater sur la photo de Google earth, les infrastructures et les activités agricoles d'Ait Wiyksane sont menacées par les apports solides engendrés par les ravins, de ce fait, la mise en place d'un système de correction mécanique est une étape indispensable. (Figure 24)



Figure 24 : Localisation de ravines étudiées par rapport au village d'Ait Wiyksane
(Photo prise par Google earth)

III.2. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

- Altitude :

L'interprétation de la carte des altitudes (Figure25), montre que la plupart des aménagements antiérosifs sont installés sur des altitudes moyennes de l'ordre de 1800 m.

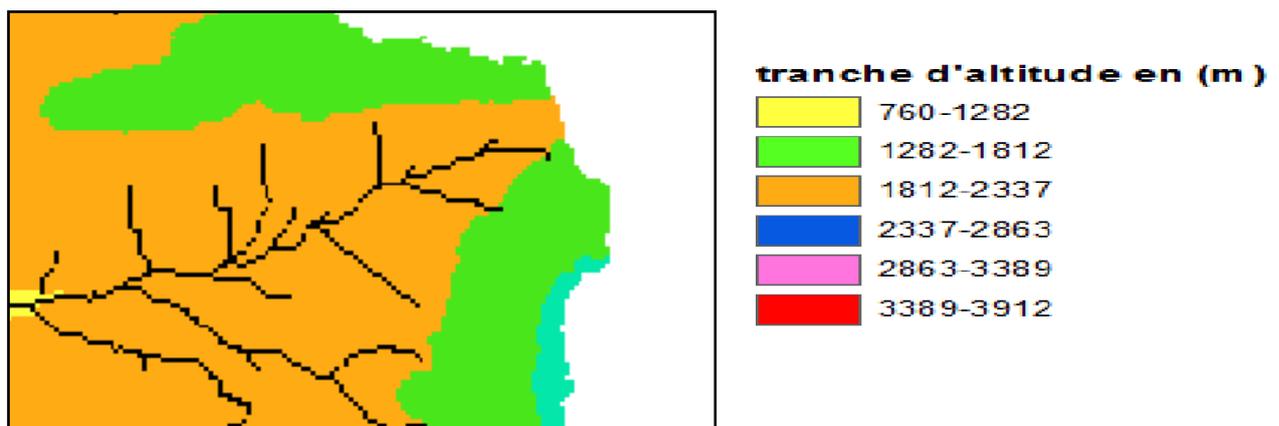


Figure25 : Tranches d'altitudes dans la zone d'étude

- Pente :

Les terrains de cette région se caractérisent par une pente généralement faible à moyenne de l'ordre de 30 %, comme indiqué dans la figure suivante :

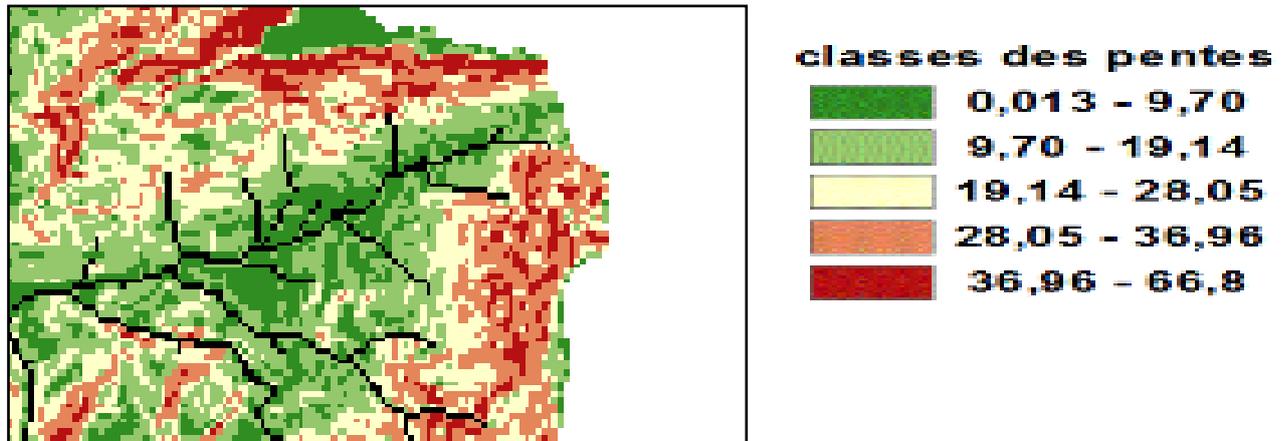


Figure 26 : Classes des pentes dans la zone d'étude

- Pédologie :

Du point de vue lithologique, les ravins étudiés sont incisées sur un versant composé des terrains d'âge triasique constitués de formations rouges détritiques, d'argiles silteuses et de grès. Du point de vue pédologique, le sol, très peu épais de quelques décimètres, est un sol rouge fersiallitiques. Cependant, au niveau des ravines, la majorité du sol est emportée par l'érosion linéaire, on distingue alors l'affleurement des formations triasiques, (Figure 27 et 28).



Figure 27: Pédologie de la zone d'étude



Figure 28 : Type de sol de la zone d'étude

- Exposition des versants :

Les versants de la zone d'étude sont exposés pour la plupart du temps vers le Sud comme indiqués dans la (Figure 29).

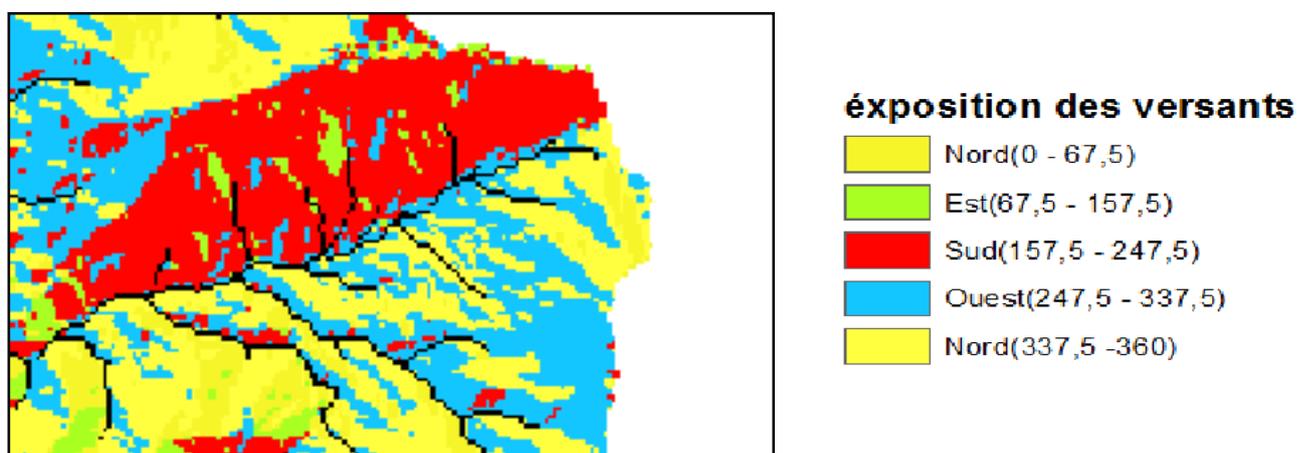


Figure 29 : Expositions des versants de la zone d'étude

- Végétation :

D'après les données de l'année 1999, fournies par l'étude d'aménagement de la forêt de Mesfioua, la végétation installée dans la région est de type :

- chêne vert clair mal répartis dans la parcelle, avec une hauteur de 0.8 m composé de 3 à 4 brins par souche.
- Le genévrier oxycèdre est présent avec une faible répartition dans le terrain.
- Les espèces en coussinet constituent la strate herbacée.
- Peuplement de genévrier rouge très clair avec un recouvrement de 20% sur un sol argileux.

En haut de versant, le chêne vert ainsi que le genévrier oxycèdre disparaîtront entièrement pour céder la place aux xérophytes épineuses et aux espèces en coussinet.

Actuellement, la végétation est très dégradée, le sol fortement dénudé et pauvre en matière organique.

En effet, le canal central des ravins étudiés comporte des blocs rocheux, témoins d'un charriage important et d'une certaine torrentialité. Également On peut constater l'affleurement de la roche-mère à la surface du terrain, avec une faible pellicule du sol contenant encore quelques espèces de végétaux herbacés.

Tout ces critères indiquent qu'on est dans un stade avancé du ravinement, par conséquence il n'est plus question de stabiliser ces ravins uniquement par des méthodes biologiques, mais il sera nécessaire d'utiliser des méthodes plus coûteuses (seuils en gabion par exemple).

II. ACTIONS HUMAINES ET AMENAGEMENTS ANTIEROSIFS :

Les seuils en général sont des ouvrages conçus pour stabiliser les ravins actifs et profonds et aider à la végétalisation des versants à pente forte. Le choix du type d'ouvrage est fonction de l'importance des ravines à équiper, de la nature de l'érosion, et de disponibilité des pierres et de l'accessibilité au site.

Parmi les techniques d'aménagement mises en œuvre dans le bassin versant Zat, il a été décidé par le service du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, d'opter pour la correction des ravins à l'aide des seuils en gabions.

II.1. NATURE DES SEUILS :

Les gabions sont constitués de fil galvanisée n°17 de diamètre de 3mm de maille a double torsion de 100*120mm ou 80*100 mm.

Le gabion, au moment de son utilisation est déplié sur une surface plane et dure de façon à ce que toutes ses faces reposent à plat sur le sol. Les quatre faces latérales sont relevées pour former une cage dont le couvercle ouvert, avec ligature des arrêtes verticale.

Les cages de gabion sont édifiées sur un matelas en béton non armé, formant une assise sur les fouilles de terrain naturel (lit et berges) sur une épaisseur de 20cm, afin d'éviter des affouillements sous le corps et les ailes latérales de l'ouvrage.

Les pierres employées pour le remplissage des cages ne sont pas friable ; la dimension minimale de ses pierres est de deux fois de la dimension de la maille de grillage. En effet les gabions sont remplis de manière à assurer un remplissage homogène et à limiter au maximum la déformation des cages (Figure 30).

Les faces verticales et horizontales des gabions doivent avoir une forme rigide et plane.

Les ailes en semelles de gabions doivent être prolongées au moins de 50 cm de chaque coté du ravin, sauf en cas de terrains rocheux et seront accolées à l'assise béton.

Le gabion modulaire permet de réaliser l'ouvrage rapidement, proprement (pas de déchets à gérer), en toute sécurité et en assurant une réelle pérennité à l'ouvrage.



Figure 30: Photo montrant le détail d'un seuil en gabion

II.2. FONDATION DES SEUILS :

II.2.1. les fouilles :

Une fouille en rigole est un creusement effectué dans le sol ne dépassant pas un mètre de profondeur et deux mètres de large, elle sera exécutée en terrain de toute nature sur toute l'emprise de l'ouvrage .les fond de fouille seront soigneusement dressés horizontalement et verticalement relevés en gradins sur les berges et doivent être bien approfondies jusqu'à la roche dure et purgés de toute trace de racine des arbres susceptibles de pourrir et de provoquer ainsi des tassements sous l'ouvrage (Figure 31).



Figure 31 : Opération de tracé et d'ouverture de la tranchée.

II.2.2. Déversoir :

Le déversoir est la partie supérieure du seuil par où s'écoule l'eau du ravin. Il peut avoir une forme rectangulaire, trapézoïdale ou curviligne.

La forme curviligne est à utiliser dans les berges peu solides. Les deux autres formes qui étalent mieux les eaux conviennent aux berges solides.

La forme trapézoïdale a une largeur inférieure à celle du lit de talweg, de telle manière que sa section correspondra à la section maximale mouillée du ravin.

II.2.3. Tapis para fouille :

en cas de terrain friable, et afin d'éviter les affouillements à l'aval des ouvrages, on doit confectionner un matelas en gabion, de 0.50 m d'hauteur sur un blocage de pierres bien damées sur une épaisseur d'au moins 0,30 m. la longueur maximale du tapis para-fouille ne doit pas dépasser la hauteur de l'ouvrage.

II.2.4. La couronne :

Pour les ouvrages en gabions, une couronne en béton armé dosé à 350 kg/m³ de ciment, avec une armature de fer n°6 dosé à 50 kg/m³, doit être exécuté sur la face supérieure de l'ouvrage afin d'éviter l'altération de ce dernier.

L'épaisseur de cette couronne sera de 20cm.

II.2.5. Matériaux pour gabions :

Les gabions seront constitués par des éléments parallélépipédiques en grillage remplis en pierres. Le grillage constitutif de gabion, est formé principalement d'une maille hexagonale de dimension (80*100) mm ou (100*120) mm, à double torsion et en fille galvanisé n°17, de diamètre 3 mm.

II.2.6. Domaine d'application :

- Seuils implantés dans les lits de ravins ;
- Ouvrages de soutènement dans tous milieux et sur toutes conditions climatiques ;
- Parfaitement recommandés pour les terres argileuses ou marneuses de part leur souplesse aux affouillements et aux mouvements du sol ;
- Fixation de ravins d'ordre 1, berges d'oued, talus de routes ou de versants exposés aux éboulements.

II.3. CARACTERISTIQUES DES SEUILS EN GABION :

II.3.1. Hauteur :

Elle est en fonction des profils en travers et en long des ravins. Plus un ouvrage est grand, plus le risque de renversement accroît, plus le prix de revient est élevé.

La hauteur conçue pour le seuil en gabion est d'environ : $H = 1.5 \text{ m}$

II.3.2. Épaisseur :

L'épaisseur moyenne (**d**) d'un seuil de hauteur **H** est donnée par la formule :

$$\boxed{d = 1/2 H}$$

Dans le cas des seuils en maçonnerie de pierres sèches, ou de moellons l'épaisseur à la base doit être supérieure à celle de la crête. Généralement, le fuit du seuil est de l'ordre de 20 %, l'on recommande que :

- L'épaisseur de la crête soit égale à $0,4 H$ (**H** étant la hauteur du seuil)
- L'épaisseur à la base du seuil soit égale à $0,6 H$.

Les dimensions des seuils doivent être suffisantes pour assurer l'écoulement des plus fortes crues, sans débordement.

II.3.3. Nombre des seuils :

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

$$N=L \times (P-I)/H$$

Avec :

N : nombre de seuils

L : longueur du ravin

P : pente du lit de la ravine

I : pente de compensation

H : hauteur moyenne de l'ouvrage.

Sur les pentes assez forte, le nombre d'ouvrage pourra être réduit pour des raisons économiques généralement de 3 à 5% pour les ravins a traitées d'ordre 4 et plus.

Le nombre de seuils mis en place dans la zone d'étude est de l'ordre de 33 seuils.

II.3.4. Espacement :

L'espacement entre les ouvrages est donné par plusieurs relations :

- la relation liant la longueur du ravin avec le nombre des seuils :

$$E=L/N$$

- l'équation de Ramser permettant de calculer la dénivelée qui nous renseigne sur l'espacement :

$$HS=0.305* (a+ [P\%/ b])$$

Avec :

HS : la dénivelée entre deux structures anti érosives

P : inclinaison de la pente

a : constante égale à 2

b : varie de 2 à 4 si le climat est plus agressif

- Ou bien il sera calculé en prenant en considération la hauteur de l'ouvrage et la pente moyenne de la ravine on utilisant la formule de (HEEDE) :

$$E = HS / K * G * \cos a$$

Avec:

E: Espacements entre seuils

HS : Dénivelée

a : pente du ravin

G : tan a

K=30% Pour **G** < 0.20 ; **K**=50% Pour **G** > 0.20

II.4. AVANTAGES ET INCONVENIENTS :

Avantages	Inconvénients
Sa possibilité de se déformer lui confère la qualité de s'adapter aux mouvements les plus imprévus sans compromettre sa fonction d'ouvrage de soulèvement par excellence.	Très peu d'entreprises au Maroc sont qualifiées dans construction des ouvrages en gabions
L'assemblage et la construction des seuils en gabions sont des opérations simples et économiques. La masse de l'ouvrage est représentée par les matériaux souvent sur place	La mise en place des ouvrages nécessite obligatoirement une main d'œuvre qualifiée
	Le gabion artisanal, moins cher tend à être utilisé même dans les grands chantiers. La réception des cages avant leur utilisation permet de s'assurer de la qualité du matériau utilisé.

Tableau 6 : Avantages et inconvénients des seuils en gabion

(Blali, 2011)

II.4. COÛT D'INSTALLATION

Le coût de réalisation comprend la fourniture du gabion, l'approvisionnement en pierres, la préparation de la fondation et l'édification du seuil. Le coût est donné au m³ de gabion construit.

Le prix de revient d'un seuil d'un volume de 10 m³ y compris la fourniture du gabion est donné comme suit :

Opérations	Rendement NJT/m3	Volume NJT	P.U JT	Coût total
1- Encadrement technique	0,1	1	100,00	100,00
2- Tracé, préparation de la fondation.	0,2	2	80,00	160,00
3- Fourniture de gabion.	-	-	400,00	4000,00
4- Approvisionnement en pierres et remplissage des gabions.	4	40	70,00	2800,00
5- Entretien (un entretien par an pendant les 3 premières années).	0,05	0,5	70	105,00
TOTAL	-	-	-	7 165,00

Tableau 7 : Coût unitaire pour la réalisation d'un seuil en gabion d'un volume moyen de 10 m³ (Blali 2011).

De ce fait Le prix de revient d'un seuil en gabion d'un volume moyen de 10 m³ est de l'ordre de 7200,00 DH, soit environ 720 DH/m³.

DISCUSSION ET INTERPRETATIONS

Avant la mise en place des seuils mécaniques sur les ravins, l'espacement doit être bien calculé ; il dépend surtout de la hauteur valeur de la pente. Plus la pente est élevée, plus l'espacement est réduit et donc plus le nombre de seuils est élevé. Lorsque la pente est faible, l'espacement a tendance à être élevé et le nombre de barrage réduit. Bien sûr, quand cela est nécessaire, le nombre des seuils à construire est rectifié en fonction des données du terrain.

- La formule utilisée pour calculer l'espacement entre les seuils est celle de HEEDE :

$$E = HS / K * G * \cos a$$

Avec:

E: Espacements entre seuils

HS : Dénivelée

a : pente du ravin

G : $\tan a$

K=30% Pour **G** < 0.20 ; **K**=50% Pour **G** > 0.20

Les seuils en gabion ont été préférés dans des sections qui sont potentiellement vulnérables à l'érosion linéaire, et généralement sur des substrats sableux-argileux, tel est le cas du versant étudié.

La partie aval de la région d'Ait Wiyksane, est menacée par des apports solides importants, arrachés au niveau des ravins. La mise en place de ces seuils a donc pour but de protéger les zones agricoles, l'axe routier qui désenclave cette région, et les habitations de cet endroit. Pour cela des seuils en gabions sont installés dans la partie amont d'Ait Wiyksane.

La mesure de l'espacement entre les différents seuils en gabion a été effectuée sur des photos prises par Google earth. D'après l'analyse des différentes caractéristiques des 6 ravins traitées, on constate que les espacements calculés sont généralement inférieurs à ceux mesurés, ce qui signifie que l'équation de l'espacement n'est pas respectée dans l'installation des seuils en gabion.

L'emplacement établi pour l'installation de ces seuils fera qu'ils seront menacés de déchaussement suite à l'érosion régressive, en raison de la distance entre ces aménagements. Ceci conduira par la suite au basculement et détérioration des seuils mis en place dans une durée du temps qui dépendra de degré de cette érosion régressive.

	Seuils	espacement mesuré en (m)	Espacement moyen mesuré (m)	espacement calculé(HEEDE)	dénivelé (m)	pente moyenne %	Longueur du ravin (m)
Ravin 1	seuil 1-2	28,85	26,66	18,1	3,06	20,1	271
	seuil 2-3	20,81					
	seuil 3-4	29,89					
	seuil 4-5	24,17					
	seuil 5-6	24,08					
	seuil 6-7	26,93					
	seuil 7-8	32,57					
	seuil 8-9	25,99					
Ravin 2	seuil 1-2	20,14	28,57	29,39	6,59	49	28,57
	seuil 2-3	31,13					
	seuil 3-4	26,03					
	seuil 4-5	35,59					
	seuil 5-6	29,97					
Ravin 3	seuil 1-2	44,1	48,5	29,17	6,64	49,4	35,59
	seuil 2-3	37,42					
	seuil 3-4	25,23					
Ravin 4	seuil 1-2	16,88	29,6	28,77	5,86	43	29,21
	seuil 2-3	40,81					
	seuil 3-4	28,97					
	seuil 4-5	29,17					
	seuil 5-6	33,76					
	seuil 6-7	29,61					
Ravin 5	seuil 1-2	26,12	29,23	17,24	6,18	45,7	45,7
	seuil 2-3	32,25					
Ravin 6	seuil 1-2	30,74	36	19,01	8,71	66,4	26,22
	seuil 2-3	25,71					
	seuil 3-4	22,21					

Tableau 8 : différences caractéristiques des ravins traitées

Le tableau 8 représente les principales caractéristiques des aménagements dans les différents ravins. D'après ce tableau, on remarque que :

- L'espacement moyen entre les seuils diffère d'un ravin à l'autre
- Généralement les ravins sont caractérisés par une pente concave (qui augmente de l'aval vers l'amont), par conséquent l'espacement recommandé doit être faible (seuils serrés) en amont, et relativement espacé en aval. Or l'espacement utilisé dans les ravins est établi d'une manière aléatoire.

- La formule de HEEDE : « $E=HS/ K. G. \cos a$ », est appliquée seulement pour les ravins n° 2 et n° 4, puisque les valeurs mesurées sont proches de celles calculées (Figure 32). Donc ces seuils résisteront mieux à l'érosion et auront une durée de vie plus longue et la quantité des apports solides piégés sera importante.

Par contre, pour les ravins n° 1, 3, 5 et 6, les valeurs calculées par la formule sont très différentes des valeurs mesurées (Figure 32), par conséquent, les seuils seront menacés par une érosion régressive plus ou moins intense selon la distance entre ces aménagements, or ceci causera par la suite le déchaussement des seuils étudiés présentant une grande menace sur les infrastructures à l'aval.

Em: Espacement mesuré

Ec : Espacement calculé

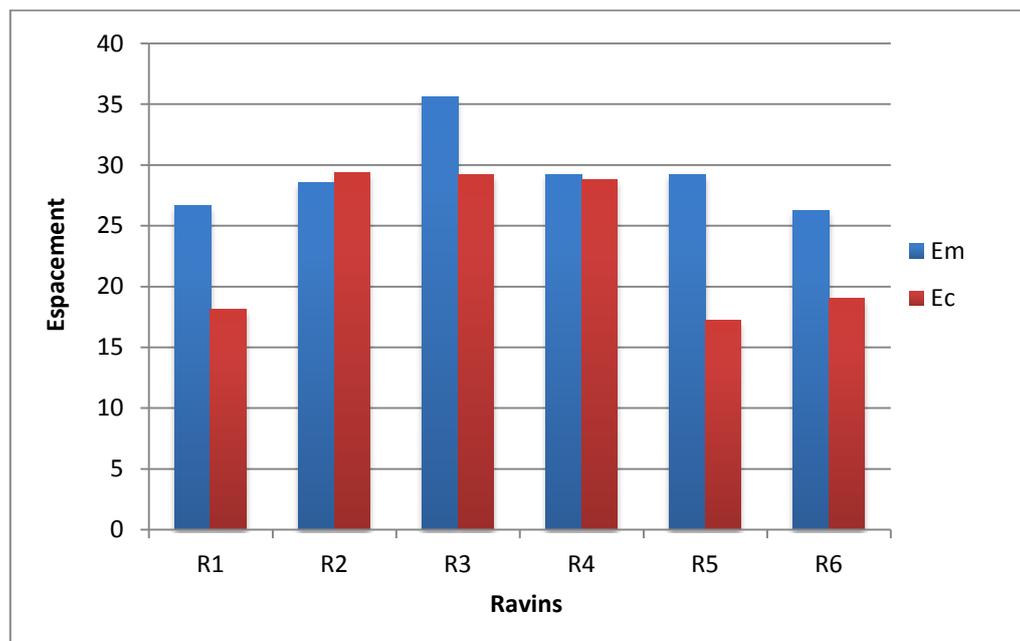


Figure 32 : Représentation graphique de l'espacement calculé et mesuré dans les six ravins

Par ailleurs, la (Figure 33) montre que le ravin n° 1 est le plus profond, le plus vulnérable à l'érosion régressive, donc le plus menaçant, nécessitant une correction mécanique bien adaptée à la géomorphologie du terrain.

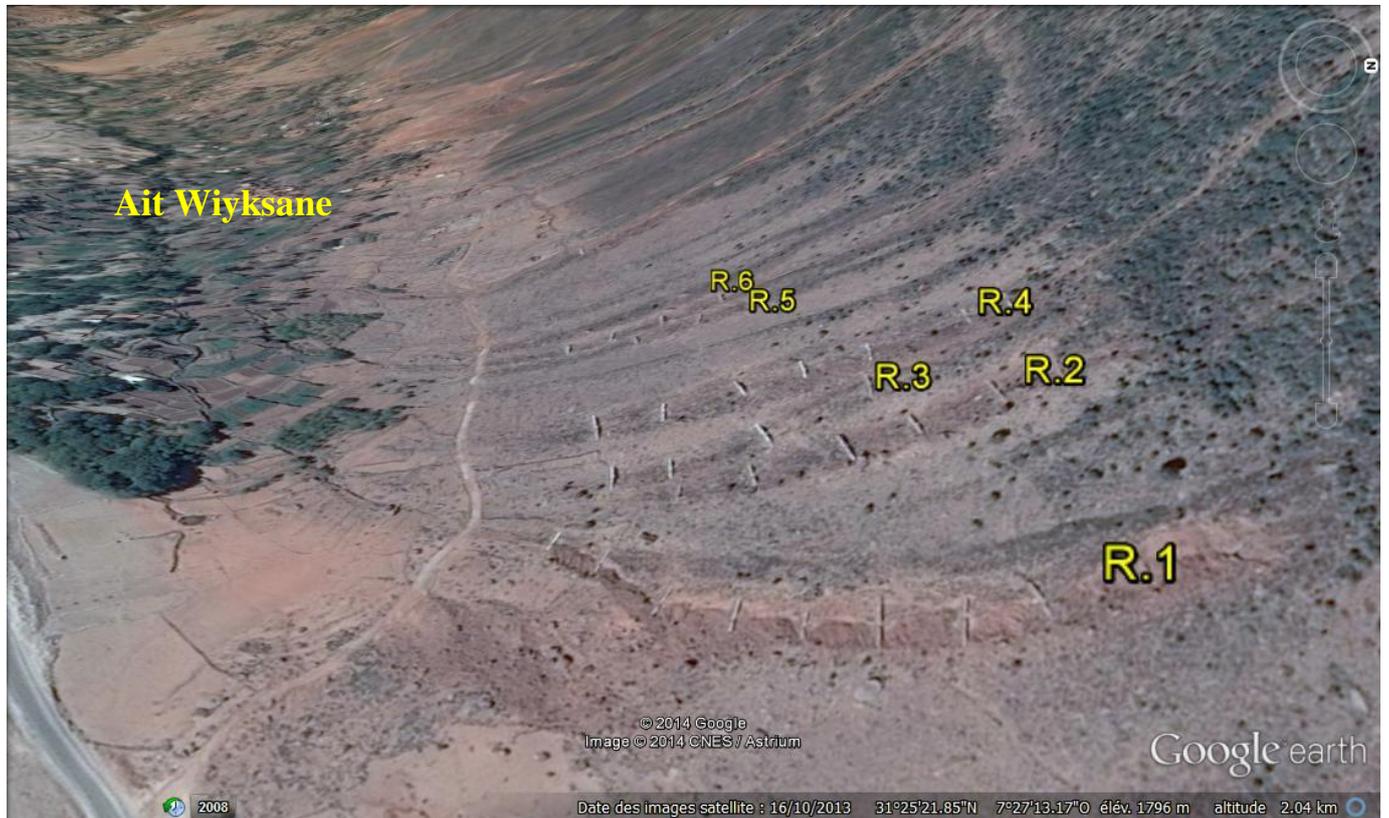


Figure 33 : Photo des six ravins étudiés

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La sévérité des conditions naturelles (faiblesse et agressivité des précipitations.....), l'influence de l'irrégularité de la topographie, et la surexploitation des ressources végétales, constituent les causes primordiales favorisant l'érosion linéaire et la dégradation des sols qui est de plus en plus inquiétante.

Durant notre travail nous avons pu identifier une des principales formes d'érosion dans la région, représentée essentiellement par l'érosion linéaire, les facteurs principaux gérant ce phénomène, les aménagements antiérosives, ainsi que les différentes caractéristiques du bassin versant Zat, et notamment celles des ravins situés dans la partie orientale du ce bassin, cette étude a donnée une vision globale sur la vulnérabilité de ces ravins à l'érosion.

Dans ce cadre, les techniques antiérosives au niveau des ravins à traiter, sont conditionnés par l'état du sol rencontré, d'ailleurs dans la zone d'étude les corrections mécaniques sont matérialisées par des seuils en gabion.

Dans l'objet de garder la stabilité des ravins traités, l'espacement entre les seuils en gabion doit être bien respecté, par conséquent l'installation des seuils nécessite l'étude de la concavité de la pente (espacement faible en amont et important en aval). Ces conditions d'espacement sont conçues pour éviter à la fois, les dégâts produits lors de déchaussement des seuils, ainsi que les pertes budgétaires considérables.

En perspective il serait souhaitable d'utiliser les différentes outils d'aide à la décision, comme la télédétection et les systèmes d'informations géographiques (SIG), afin d'estimer les différentes paramètres de l'érosion linéaire à savoir, l'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols, le facteur topographique, l'indice du couvert végétal et le facteur des pratiques antiérosives, régissant le bassin versant du Zat, ainsi que quantifier les pertes en terre par ruissellement.

En fin pour optimiser l'aménagement des bassins versants, on aura toujours besoin de spatialiser les risques et de modéliser les flux liquides et solides. La télédétection, la simulation de pluies, les systèmes d'information géographique (SIG), et les indicateurs (césium 137 et états de surface) sont des techniques modernes et élégantes, mais elles exigent une validation locale par des mesures de pertes de terre à différentes échelles.

Bibliographies

- Abidou A. et Echchabi S. (2013). Contribution à l'étude des sources de pollution et de minéralisation des eaux surface du Haut Atlas de Marrakech. Exemple du sous bassin de l'oued Zat. Mémoire de fin d'études. Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech.
- Blali A. (2011). Guide de traitement des ravins à l'usage des acteurs communautaires. Direction régionale des eaux et forêts et de la lutte contre la désertification du haut atlas.
- Boudhar A. (2009). Télédétection du manteau neigeux et modélisation de la contribution des eaux de fonte des neiges aux débits des oueds du haut atlas de Marrakech. Doctorat national. Université cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech.
- Fouad Y. (2002) .Caractérisation des sols et de leurs propriétés hydrodynamiques pour la modélisation hydrologique en milieu semi-aride, p.19.
- Haut Commissariat des Eaux et Forêts et Lutte contre la Désertification. (2009).
- Igmoullan B. (2012). Géologie II : L'érosion par l'eau.
- Melalih A. (2012). Analyses des techniques de conservation de l'eau et du sol dans la zone aride cas bassin versant d'Ain Sefra, pp. 6-8.
- Pascon P, (1977) Le Haouz de Marrakech, Revue française de sociologie, Éditions marocaines et internationales, 858 p.
- Ragueneau J. (2007). Modélisation des relations pluie-débit par le modèle GR4J cas du bassin versant du Zat, p. 14.
- Rapport interne. (1928/1991). Étude de l'avant projet sommaire de barrage Ait Ziat.
- Rapport interne. (1999). Étude de l'aménagement de la forêt Mesfioua procès verbal d'aménagement.
- Roose É. (1990). Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens de l'Afrique occidentale. ORSTOM. Fonds Documentaire N° 27.542.ex. Montpellier. France, pp. 55-72.
- Roose É. (1994). Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) Directeur de recherche en pédologie : IRD. Montpellier. France.
- Zaher H. (2010). Conservation des sols et de l'eau. Chapitre 1 : érosion hydrique. Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs. Département Sol Eau Biodiversité, B.P. 511, Tabriquet, Salé, Maroc.

Sites Web

- www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/erosion
- www.fao.org/docrep/t1765f/t1765f0t.htm
- www.unt.unice.fr/uoh/degsol/strategies-techniques.php
- www.eauxetforets.gov.ma

Annexe

Un Système d'information géographique (SIG) est, comme son nom l'indique, un outil informatisé dédié à la gestion de l'information géographique. Ce type de système permet d'apporter à chacun l'information dont il a besoin pour décider et agir au mieux. C'est un outil de représentation d'une réalité, de compréhension des phénomènes et des conditions dans lesquelles ils se réalisent, de simulation d'alternatives et de leurs effets. C'est aussi un outil de dialogue et de communication entre disciplines par un constant aller-retour entre observation, interprétation, hypothèse et validation. L'utilisation de ce genre de système offre un moyen simple, rapide et efficace à l'utilisateur, pour les études d'aménagement et de prise de décision.

L'acquisition des données satellitaires (Landsat TM ou SPOT), est une technique et un outil couramment utilisée aujourd'hui, peut servir à la cartographie des risques érosifs. Si cette approche ne peut en aucun cas remplacer les études du terrain pour établir une compréhension du phénomène, de par son caractère spatial et temporel, elle reste la méthode de régionalisation et de mise à jour la plus rapide et la moins coûteuse.

La méthodologie suivie pour élaborer les cartes utilisées pour déterminer les différentes caractéristiques du bassin versant et notamment ceux de la zone d'étude est représenté dans l'organigramme suivant (Figure 34) à l'aide d'Arc Gis.

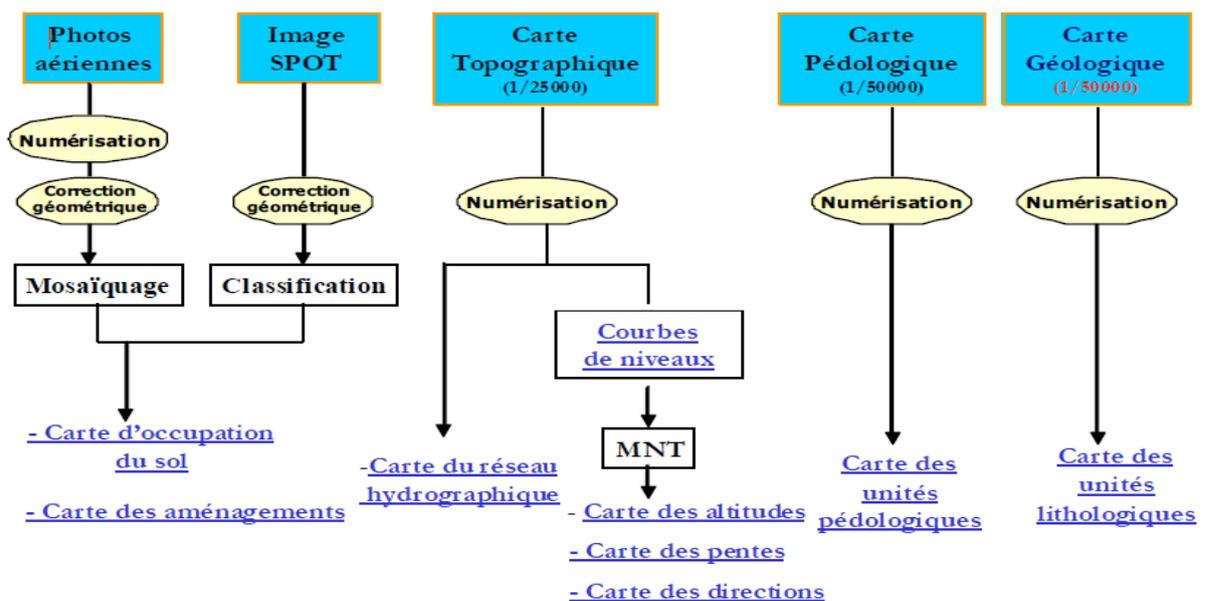


Figure 34 : Organigramme des différentes étapes d'élaboration des données, sous « SIG ».