



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques – Fès
www.fst-usmba.ac.ma



Année Universitaire : 2013/2014



Licence Sciences et Techniques– Eau et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME DE LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES

THEME : ÉTUDE DE L'ÉROSION POTENTIELLE
PAR L'APPLICATION DU SIG POUR LES
SOUS-BASSINS VERSANTS TAZOTA ET DAR
AL HAMRA

Présenté par :

AL MAMOUNE BRITEL & SAFAE DAFOUF

ENCADRÉ PAR :

M. LAHRACH. A (FST)

M. ZOUGAR. B (DREFLCD)

Soutenu le MERCREDI 11 JUIN 2014 devant le jury composé
de :

M. LAHRACH. A

M. BENAABIDATE. L

M. MIDAOUI. M

Stage Effectué à :

LA DIRECTION RÉGIONALE DES EAUX ET FORETS ET LA LUTTE
CONTRE LA DÉSSERTIFICATION



Remerciements

Il nous est agréable de nous acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes, dont l'intervention au cours de ce projet, a permis son lancement dans des meilleures conditions et favoriser sans aucun doute son aboutissement.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers le professeur Monsieur. LAHRACH Abderrahim, notre encadrant à la faculté de sciences et techniques de Fès, (FST) pour tout le temps qu'il nous a consacré, pour ses conseils précieux et très utiles en pratique surtout, et pour toute son aide et son appui non seulement durant notre stage, mais aussi et surtout durant toutes nos années d'études à la FST de Fès.

Nous adressons aussi nos remerciements à Monsieur Mokhtari Kamal le Chef du Service des Etudes d'Aménagement et de la Planification (SEAP) pour toutes les facilités qu'il a nous accordées tout au long de ce stage.

Nous profitons de cette occasion pour adresser nos sincères remerciements à M. MOUHAMMADINE Mohammed, bureau d'inventaire de cartographie et du SIG et notre encadrant Monsieur BENHAMMAL ZOUGAR, chef du bureau d'Aménagement des bassins Versants des Forêts et des Parcours du SEAP, pour toute l'aide qu'il nous a apportée et les conseils précieux qu'il nous a donnés au fur et à mesure du déroulement de ce stage. Bien plus, nous adressons avec tout le respect et l'estime que cela se doit, nos remerciements au personnel de la DREFLCD qui nous ont été d'une très grande utilité quant à l'élaboration de ce Projet de Fin d'Études.

Que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet, trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus chaleureux.

Sommaire

Remerciements.....	1
Introduction.....	7
Chapitre 1.	8
Présentation de la Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification de Fès-Boulemane : (DREFLCD- FB).....	9
I. Historique de création de la DREFLCD- FB.....	10
II. Organisation administrative :.....	10
III. Missions du SEAP	11
Chapitre2.	13
Phénomène de l'érosion	13
I. Introduction :.....	15
II. Types d'érosion.....	16
1. L'érosion par l'eau.....	16
2. L'érosion par la glace et les glaciers	18
3. L'érosion par le vent	19
4. L'érosion par la gravité.....	19
5. L'érosion et la température.....	20
6. L'érosion et l'action de l'homme.....	20
Chapitre3.	22
Evaluation qualitative de l'érosion.....	23
I. Zone d'étude :	24
1. La situation géographique, administrative et forestière	25
2. Etude du milieu physique :.....	25
2.1. La superficie :.....	25

2.2. La forme.....	26
2.3. La géologie et la lithologie.....	27
2.4. Les sols :.....	27
2.5. La topographie (La pente):.....	28
2.6. Le climat :	28
2.7. Le couvert végétal	32
2.8. Le réseau hydrographique.....	33
3. L'érosion et sa problématique:	35
4. Objectifs de l'étude:.....	36
5. Méthodologie :	36
6. Elaboration des cartes thématiques.....	37
6.1. Carte lithologique.....	38
6.1.1. Le sous bassin Versant de Tazota	40
6.1.2. Le sous bassin versant de dar Hamra	41
6.2. Carte de l'occupation du sol :.....	42
6.2.1. Le sous bassin versant de Tazota.....	43
6.2.2. Le sous bassin versant de Dar Al Hamra	44
6.3. Carte des pentes :	46
6.3.1. Le sous bassin versant de Tazota.....	46
6.3.2. Lesous bassin versant de dar Hamra	48
7. Carte d'érosion potentielle :.....	49
7.1. Classe d'érosion faible ou nulle	51
7.2. Classe d'érosion moyenne	51
7.3. Classe d'érosion forte	51
Conclusion.....	54
Bibliographie et Webographie	544
Table des figures	545
Tables des tableaux	546

Introduction

Dans le cadre du projet de fin d'études à la faculté de sciences et techniques pour l'obtention du diplôme de License en sciences techniques, nous avons effectué ce stage au sein de la direction régionale des eaux et forêts et la lutte contre la désertification au sein du bureau de l'aménagement des forêts et des bassins versants et des parcours en étroite collaboration avec le bureau d'inventaire, de cartographie et SIG.

Nous avons choisi d'effectuer ce stage dans ces locaux afin de pouvoir étancher notre soif de savoir et d'apprentissage et aussi pour enfin pouvoir mettre en pratique les connaissances acquises lors des 3 années d'études à la FST sachant que celles-ci coïncident parfaitement avec les tâches et les attributions du SEAP dans lequel on a effectué ce stage.

L'objectif principal est donc de nous familiariser avec les études d'aménagement des bassins versants à travers l'étude qualitative de deux sous bassins versants (Dar Al-Hamra et Tazota), et ce dans le but de déterminer et de hiérarchiser les zones d'érosion (érosion forte, moyenne ou faible), à partir de la superposition des cartes thématiques par le système d'information géographique (SIG) : ARCGIS.

Par ailleurs nous avons reproduit dans ce rapport une documentation simple et détaillée de tout le travail que nous avons effectué afin qu'elle soit accessible et compréhensible par toutes personnes intéressées par ce genre de travail.

Chapitre 1.

**Présentation de la Direction
Régionale des Eaux et Forêts et de
la Lutte Contre la Désertification
de Fès-Boulemane : (DREFLCD-
FB)**

I. Historique de création de la DREFLCD-FB

La Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification Fès-Boulemane a été créée selon l'arrêté ministériel n° 553.00 du 09 moharrem 1421(14Avril 2000), paru au bulletin officiel n° 4806 en date du 19 Rabie premier (22juin 2000).

Cependant, cette Direction a démarré depuis le 1^{er} Septembre 1999. Cette création vise bien entendu à optimiser au mieux les interventions forestières et à améliorer l'efficacité du secteur à la faveur de la décentralisation de déconcentration de certaines activités.

La zone d'action de cette Direction chevauche en grande partie sur le Moyen Atlas et la plaine du sais vers l'Ouest, avec une partie des premiers contreforts du Pré rif vers le Nord.

II. Organisation administrative :

L'organigramme suivant illustre l'organisation administrative de cette Direction.



Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification de Fès Boulemane - Fès

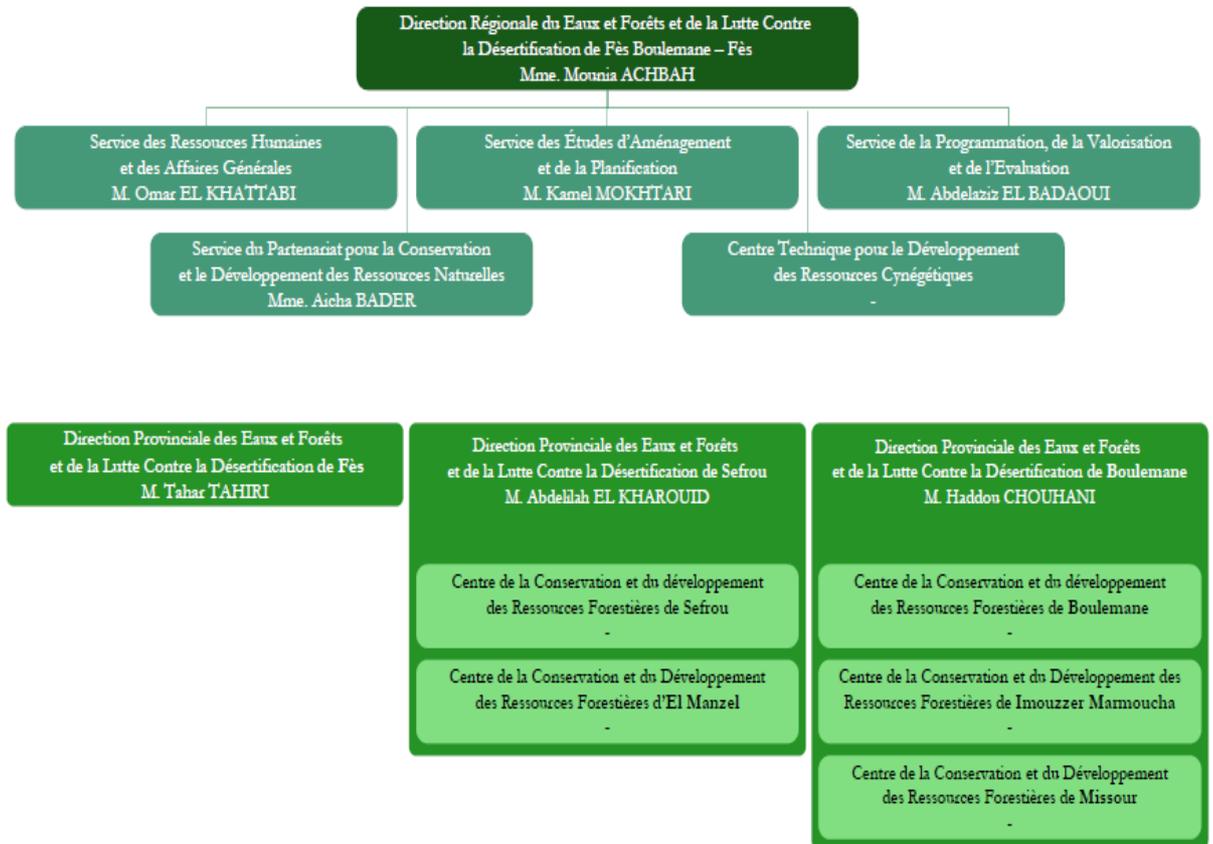


Figure 1 : L'organigramme de la DREFLCD-FB

C'est au sein du Service des Etudes d'Aménagement et de la Planification(SEAP) relevant de cette direction que s'est déroulé notre stage.

III. Missions du SEAP

Le SEAPest composé des bureaux suivants :

- Un bureau d'aménagement des forêts, de parcours et des bassins versants.
- Un bureau de planification.
- Un bureau d'inventaire de cartographie et du SIG.



Figure 2: Organigramme du SEAP

Sa mission s'exerce dans le cadre de politique de développement durable mise en œuvre par la Haut-Commissariat des Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD) et découle des grandes orientations, assignés au secteur d'aménagement des bassins versant et des forêts, il s'agit particulièrement de :

- La protection du barrage contre l'envasement par la lutte contre l'érosion des sols,
- La gestion et l'exploitation durables des ressources naturelles,
- Le développement économique et social des zones montagneuses,
- La protection des infrastructures de base.

Chapitre2.

Phénomène de l'érosion

I. Introduction :

Avant d'entamer l'étude qualitative de l'érosion des sols au niveau des deux sous bassins versants qui nous ont été proposés dans le cadre de ce stage, il semble utile de donner en premier lieu une définition sommaire, de l'érosion avec ses différents types.

Ainsi, l'érosion est défini comme étant un mécanisme d'usure et de transformation des roches et du sol par des agents d'érosion tels que l'eau, le vent, le mouvement des glaciers et de la température.

On parle d'érosion, lorsque les particules des roches ou du sol sont arrachées et déplacées de leur point d'origine vers le bas fond. C'est un processus de dégradation et de transformation du relief qui peut être lent et progressif, ou encore totalement violent. Il faut plusieurs millions d'années pour araser (aplanir, égaliser) une montagne ou creuser des vallées, mais il ne faut que quelques minutes pour qu'une avalanche, un Lahar (coulée boueuse d'origine volcanique) ou un orage violent pour qu'un paysage soit complètement transformé.

L'érosion et la modification du paysage sont causées par de nombreux facteurs nommés agents d'érosion:

- L'érosion par l'eau
- L'érosion par la glace et les glaciers
- L'érosion par le vent
- L'érosion par la gravité
- L'érosion et la température
- L'érosion et l'action de l'homme



Figure 3: Exemple d'effet de l'érosion sur le relief: parc national de Grand Canyon aux États-Unis d'Amérique

II. types d'érosion

1. L'érosion par l'eau

Lorsque les gouttes de pluie frappent le sol, la force de leur impact (Energie cinétique des gouttes de pluie) permet de briser les agrégats et de disperser les particules qui forment le sol. C'est ce qu'on appelle l'effet splash. Ainsi les sables fins, les limons, les argiles et la matière organique sont facilement de ce fait emportés par les gouttes d'eau, vers les bas-fonds car ce sont des particules très fines.

Le ruissellement se produit lorsque l'eau sur une pente ne peut pas s'infiltrer assez vite dans le sol ou être interceptée par des obstacles naturels. Plus les précipitations et le ruissellement sont de forte intensité, plus les particules déplacées sont de grosse taille et en plus grande quantité. L'eau qui coule entraîne donc avec elle des particules de sol et cause de l'érosion. C'est principalement ces eaux de ruissellement qui creusent les vallées.

Les chutes Niagara sont un bel exemple d'érosion. On considère que les chutes du Niagara se trouvent actuellement à 11 kilomètres du lieu où elles se sont formées initialement. Jusqu'au début des années 50, l'érosion des chutes du Niagara était de un mètre par année. Maintenant, grâce aux différentes constructions, ce taux est estimé à 36 cm par année.



Figure 4: La chute du Fer à Cheval, une des trois chutes Niagara

Les vagues et les courants provoquent de l'érosion sur le littoral. Lorsque les vagues frappent le rivage avec un certain angle, il en résulte des courants littoraux, parallèles au rivage, qui déplacent continuellement les sables de la plage. L'ensemble des vagues produites par le sillage des bateaux, appelé batillage, frappe les berges et provoque de l'érosion là aussi.



Figure 5: Érosion du littoral visible à marée basse

L'eau peut aussi s'infiltrer dans les fissures des roches et être absorbée par certains minéraux (la montmorillonite par exemple). Ces minéraux prennent de l'expansion et l'augmentation de leur volume peut faire fragmenter les roches (en particulier les schistes).

C'est ce que l'on appelle l'hydroclastie.

Certaines roches et certains minéraux sont solubles dans l'eau. Les calcaires, les carbonates, le gypse, les sulfates, les chlorures de sodium et de potassium en sont des exemples. L'eau dissout ces roches et ces minéraux et libère les éléments chimiques sous forme d'ions. L'eau peut les transporter par la suite avec elle sur une grande distance. C'est une autre forme d'érosion.

2. L'érosion par la glace et les glaciers

L'eau sous forme de glace peut être aussi très érosive. Par exemple, une moraine est un amas de débris minéraux qui ont été transportés par un glacier ou une nappe de glace. Les cours d'eau et les glaciers façonnent les vallées.



Figure 6: Vallée glaciaire de la région du Ladakh en Inde

3. L'érosion par le vent

Le vent agit comme l'eau. Il enlève des particules de sol et les transporte plus loin. Les débris que le vent souffle causent aussi de l'érosion par frottement. Ils usent et polissent les surfaces. Les sols s'appauvrissent. D'ailleurs, l'érosion éolienne est le principal facteur physique responsable de l'épuisement des terres agricoles.

Le vent assèche les terres et leur degré d'humidité diminue. Évidemment, plus le vent est fort, régulier et rempli de poussières et moins il y a d'obstacles sur son chemin, plus son pouvoir d'érosion est grand. Le vent a un grand pouvoir d'érosion dans les régions sèches où il n'y a pas beaucoup de végétation, comme les déserts.



Figure 7: Sédiments transportés sous l'action du vent (en suspension dans le nuage à droite de l'image)

4. L'érosion par la gravité

La gravité permet à plusieurs processus d'érosion de se produire. Le ruissellement, la reptation (lent mouvement de particules du sol vers le bas des versants), les éboulements, les avalanches, les glissements de terrain et la descente sur un versant de matériaux boueux sont tous des phénomènes d'érosion par la gravité.



Figure 8: Une avalanche de neige attirée par la gravité

5. L'érosion et la température

Dans les endroits où les variations de température sont importantes (climat continental, climat polaire, désert, haute montagne, etc.), on assiste à la thermoclastie (érosion due aux changements de température). Par exemple, l'eau qui s'infiltré dans les fissures des roches poreuses prend plus de volume lorsqu'elle passe de l'état liquide à l'état solide. Cette eau est capable de faire éclater les roches en cas de gel et de dégel. C'est ce qu'on appelle la cryoclastie.



Figure 9 : Une roche fragmentée par la cryoclastie

6. L'érosion et l'action de l'homme

L'être humain, par certaines de ses actions, augmente l'érosion. Par exemple, la déforestation, l'agriculture, l'urbanisation et le transport ont pour effet d'accélérer l'érosion.

- Lorsqu'on défriche une terre, on enlève la couverture végétale et on expose ainsi le sol à l'agressivité du climat (Pluie, Vent,...)
- Lorsqu'on construit des barrages, les cours d'eau sont alors déviés.
- En construisant des routes, on augmente les surfaces de ruissellement.
- Lorsqu'on utilise des bateaux à moteur ou des motos marines, on détruit des habitats, on augmente la turbidité de l'eau et on libère des nutriments qui causent l'augmentation des algues.

Ces activités ont des conséquences sur les plans économiques et environnementaux. Le meilleur moyen de limiter l'érosion consiste à préserver la végétation, car les racines des plantes contribuent à maintenir le sol en place.



Figure 10: Déforestation par le feu (à gauche) et agriculture intensive (à droite)



t

ains facteurs accélèrent le processus d'érosion. Entre autres:

- Il y a des roches plus sensibles que d'autres aux différents types d'érosion. Par exemple, le grès siliceux ne sera pas facilement dissous, mais sera très sensible aux effets du gel. À l'inverse, une roche calcaire massive sera facilement attaquée par l'eau, mais très peu sensible aux effets du gel.
- Plus la pente est longue et raide, plus l'eau érodera le sol. Et plus la vitesse de l'eau est grande, plus elle occasionne un grand lessivage.
- La couverture végétale joue un rôle très important dans la prévention de l'érosion. En effet, plus il y a de résidus et de végétaux au sol, plus ils protègent le sol de l'impact des gouttes de

pluie. Ils ralentissent la vitesse de l'eau de ruissellement et ils favorisent une meilleure infiltration de l'eau dans le sol.

L'érosion ne fait pas que perdre des particules de sol de la couche arable. L'eau de ruissellement peut par exemple, entraîner hors d'un champ les éléments nutritifs du sol, les engrais et les semences. La culture de ce champ ne serait pas aussi productive qu'elle pourrait l'être.

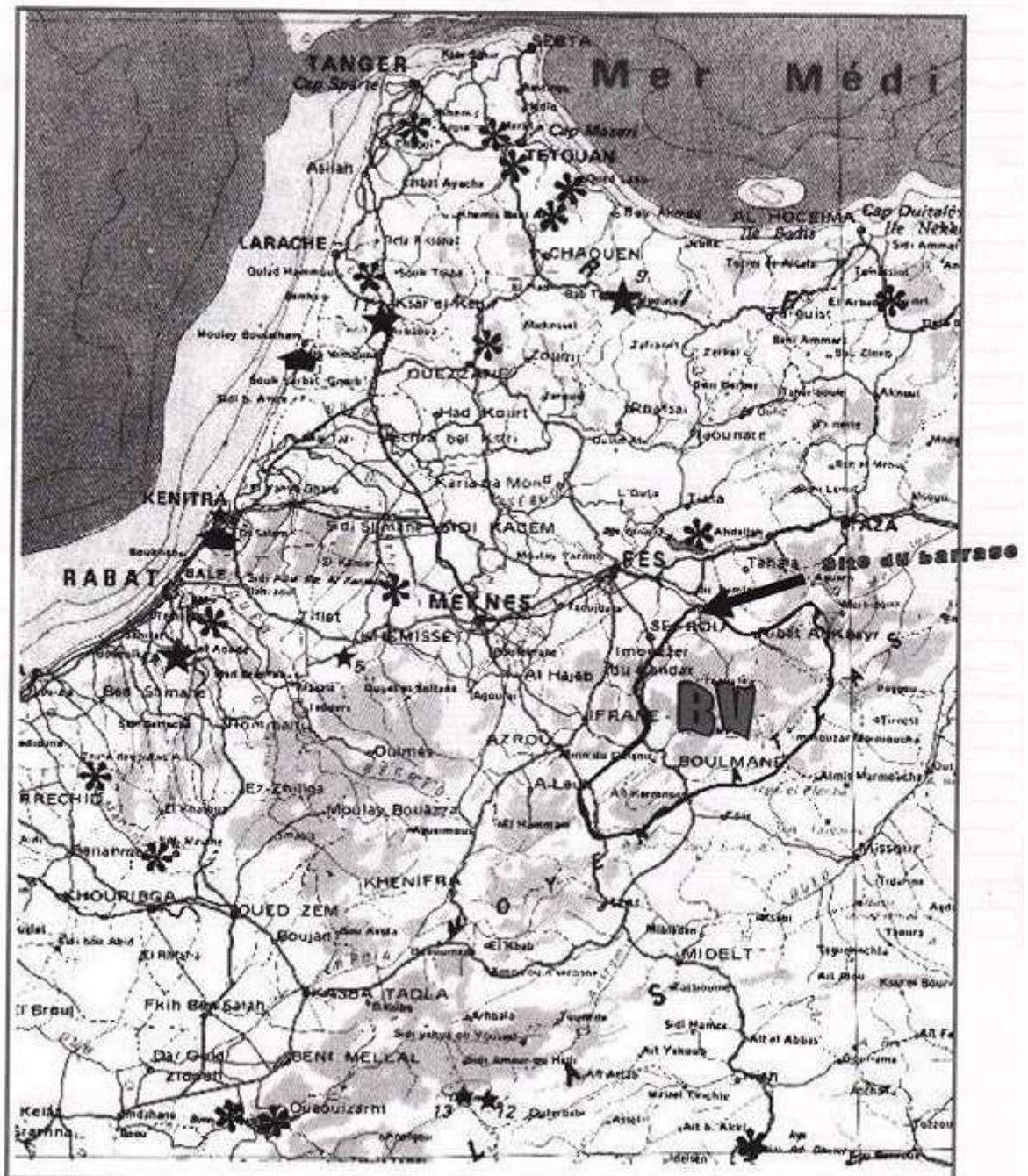
Les sédiments qui sont transportés par l'eau peuvent, par exemple, ensabler des fossés de drainage ou couvrir les zones de fraie. La qualité de l'eau est diminuée, car les pesticides et les engrais transportés avec les particules de sol peuvent contaminer les sources d'eau et les nappes souterraines(Nappesphréatiques).

Chapitre3 :

Evaluation qualitative de l'érosion

I. Zone d'étude :

Le bassin versant à l'amont du barrage Allal El Fassi est situé dans le domaine moyen atlasique. Il est localisé entre les latitudes 33° et 34° Nord et les longitudes 4° :03' et 5° : 20' Ouest.



Extrait de la carte piscicole du Maroc (échelle : 1/2 500 000)

Figure 11: La carte de situation de la zone d'étude

1. La situation géographique, administrative et forestière

C'est l'étape de délimitation de la zone d'étude qui a porté respectivement sur :

- Les limites géographiques : limite naturelle des deux sous bassins versants suivant le réseau hydrographique (thalwegs) et les lignes de partage des eaux.
- Les limites administratives : suivant le découpage actuel, ils ont délimité les communes, les cercles et les provinces.
- Les limites forestières : limites de la DREFLCD, CCDRF, Secteurs forestiers.

Pour les différentes unités délimitées, la superficie exacte a été calculée à l'aide du SIG, et illustrée par la suite par des graphes et des figures.

2. Etude du milieu physique :

L'étude du milieu physique met en relief les caractéristiques écologiques et hydrologiques des deux sous bassin-versants. Ainsi sont explorées en détail, les données de base relatives à la lithologie, la topographie, la pédologie, la climatologie, l'occupation des sols et le couvert végétal. La constitution de cette base de données alphanumérique et cartographique vise à : dégager les contraintes liées au milieu physique, mettre en relief les potentialités du milieu naturel et avoir une base de données suffisante pour approcher qualitativement les phénomènes d'érosion dans les deux sous bassins versants

2.1. Superficie :

La superficie d'un bassin versant joue un rôle primordial dans les études des bassins versants. Leur influence se manifeste dans la nature de la relation entre le débit et le temps de concentration des eaux de ruissellement, et de ce fait un petit bassin versant réagit très vite à une averse.

La superficie est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin. Elle est exprimée ici en Ha.

Ainsi après délimitation, les sous bassins versants de Tazota et de Dar Al-Hamra couvrent respectivement les superficies de 18209 Ha, et 12214 Ha.

2.2. Forme :

Les hydrologues proposent, différents indices de forme pour caractériser la géométrie d'un bassin versant, destinés à comparer les bassins voire même à estimer certaines de leurs caractéristiques hydrologiques. L'indice, auquel il est le plus souvent fait référence, est l'indice de compacité, dit de Gravelius. Il est défini comme le rapport du périmètre du bassin étudié à celui d'un cercle de même surface.

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants ; ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

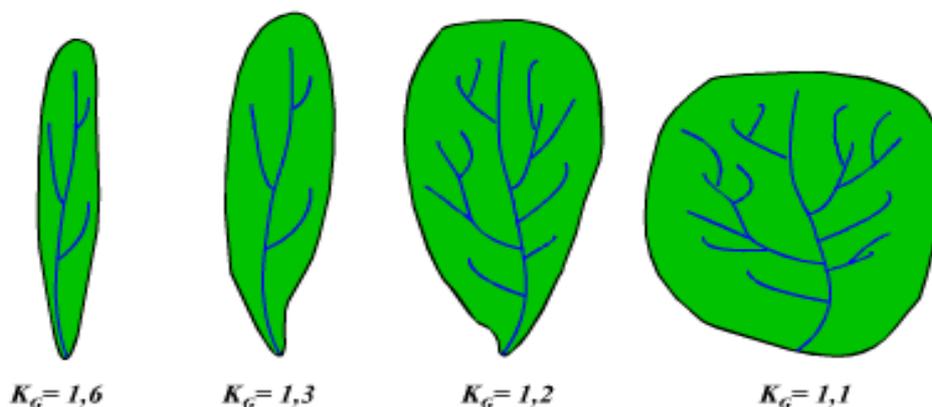


Figure 12: Les différentes formes du bassin versant selon l'indice de compacité

Cet indice tend vers 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire, compact, et considéré comme parfaitement drainé et supérieur à

1 lorsque le bassin est de forme allongée, si A est la surface du bassin en km² et P son périmètre en km, le coefficient Kc est égal à :

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec des indices de compacité équivalents respectivement à 1,35 et à 1,34 pour les sous-bassins Tazouta et dar Al hamra, ils se présentent tous deux sous forme allongée, facilitant la collecte des eaux depuis les deux versants ce qui augmente la charge des sédiments dans l'eau, à destination de leurs exutoires respectifs.

2.3. La géologie et la lithologie

Le bassin versant se situe dans le domaine du moyen Atlas, dont l'individualisation revient au jurassique. Les affleurements géologiques rencontrés dans le bassin ont pour origines : le primaire (schistes), le permotrias (argilites grise ou bleues) et le quaternaire (encroutement et croute). Les calcaires et dolomites du lias sont les plus dominants.

Les différentes couches géologiques constituant le paysage géologique de la zone d'étude ont été identifiées et cartographiées. Les cartes géologiques éditées par la Direction de la géologie du Ministère de l'énergie et des Mines ont permis d'aboutir à cet objectif.

De ce fait, la carte lithologique de l'ensemble du bassin versant a été produite en se basant sur la résistance de la roche. Ainsi trois classes ont été distinguées :

- Roche résistantes
- Roches moyennement résistantes
- Roches tendres

C'est à travers une analyse distincte des couches géologiques superficielles et la nature de formations et les constituants (cartes géologiques et la bibliographie), que ces classes ont été déduites et cartographiées.

2.4. Les sols :

D'après l'étude réalisée par le service d'Aménagement des bassins versants Fès-Boulemane (1997), on distingue sept classes pédologiques dans le bassin versant Allal El Fassi : les sols minéraux bruts, les sols peu évolués, les sols calcimagnésiques, les vertisols, les sols iso humiques, les sols à sesquioxydes de fer et les unités complexes.

2.5. La topographie (La pente):

La pente joue un rôle déterminant dans l'érosion hydrique, elle donne aux eaux de ruissellement l'énergie nécessaire pour l'arrachement des particules, le creusement des rigoles et des ravins, et le sapement des berges et par conséquent la dégradation de la surface de la terre. Pour toutes ces raisons, il est donc primordial de bien connaître, recenser et cartographier les différentes classes de pente au niveau des deux sous bassins versants.

2.6. Le climat :

Les conditions climatiques particulièrement, les précipitations, les ruissellements et les écoulements qui en découlent jouent un rôle primordial dans la dégradation et la perte des sols au niveau des bassins versants. En effet, la pluie par son impact sur les sols arrive à désagréger leurs particules et sous l'effet du ruissellement qui en découle, entraîne un mouvement en masse des sédiments vers le réseau hydrographique.

Du point de vue climatique, la région du moyen atlas se caractérise par une diversité d'ambiances bioclimatiques qui varient de l'aride vers le subhumide. La moyenne pluviométrique annuelle se situe entre 200 à 900 mm selon les endroits.

La neige est souvent fréquente au niveau des hauteurs (Bounaceur 3326 m, Bouiblane 2911 m, Tichouki 2794 m et Jbel Abbat 1768 m).

2.6.1. Les précipitations et température

L'analyse des précipitations et des températures sur de grandes superficies demande la disponibilité de données climatiques sur plusieurs stations de référence bien réparties dans l'espace.

Au minimum une série de plus de 10 ans reste primordiale dans la compréhension de la répartition temporelle au fil des années.

L'hétérogénéité dans la répartition des pluies au niveau du bassin versant, associée à l'agressivité des pluies qui, elle aussi est très variable dans l'espace et dans le temps, interviennent négativement dans les processus d'érosion par la génération des crues et inondations qui occasionnent des dégâts très importants aux terrains de cultures ainsi qu'aux différentes infrastructures situées à la partie aval des sous bassins versants.

- L'impact des gouttes de pluie :

➤ Effet splash

L'action érosive hydrique est la conséquence de l'impact des gouttes de pluies sur qui s'abattent sur la surface du sol, elle est appelée : Effet splash.

Les pluies provoquent les premiers mouvements des particules du sol, brisent les agrégats et dispersent les particules par le rejaillissement des gouttes en les éjectant sur de courtes distances. Ces distances d'éjection dépendent de l'énergie d'impact qui est en fonction de :

- ✓ Hauteur de la chute des gouttes de pluie ;
- ✓ Poids de la goutte de pluie ;
- ✓ Diamètre de la goutte de pluie ;
- ✓ Vitesse et direction du vent ;
- ✓ Erodibilité du sol ;
- ✓ Humidité initiale.

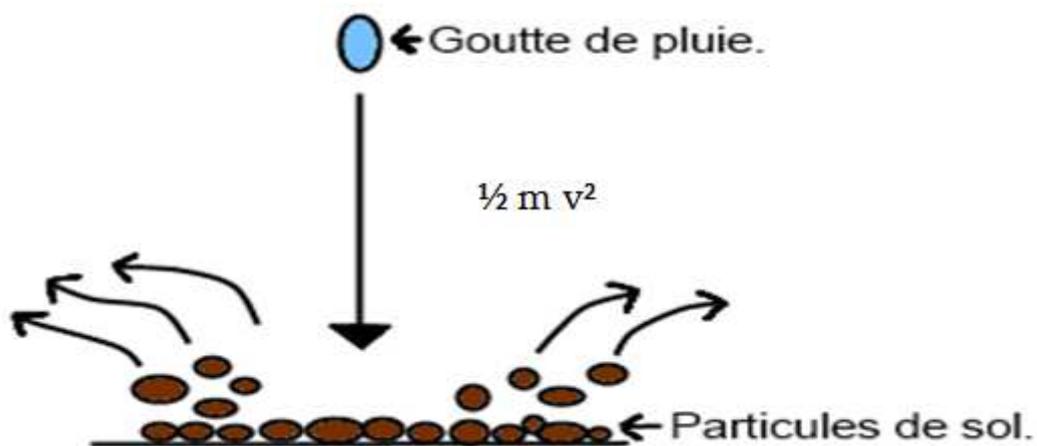


Figure 13: Effet Splash

➤ Formation de la croûte de battance :

Elle désigne l'ensemble des phénomènes affectant la surface d'un sol dénudé soumis à une pluie. Elle débute par l'augmentation de l'humidification du sol qui rend les particules vulnérables à l'éjection sous l'effet Splash. Par la suite, on assiste à une dispersion qui provoque une désorganisation, puis une redistribution qui réorganise les particules fines et grosses, entraînant ainsi le passage progressif d'une surface rugueuse à la formation d'une croûte lisse et régulière appelée croûte de battance.

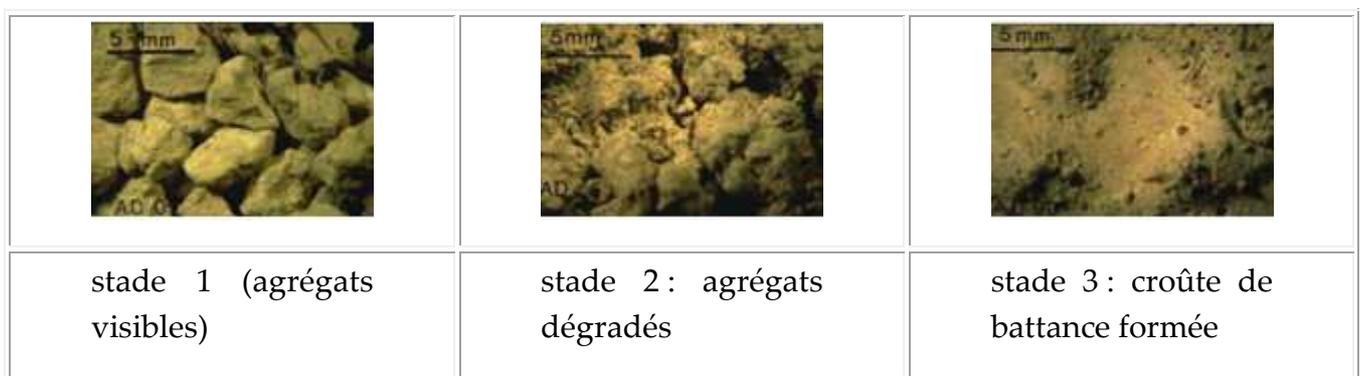


Figure 14 : Formation d'une croûte de battance

2.6.2. Le quotient pluviométrique d'Emberger

La classification bioclimatique selon le quotient pluviométrique d'Emberger, tel que modifié par Sauvage en 1963, repose sur trois critères : la pluviométrie moyenne annuelle (mm), la moyenne des maximas thermiques du mois le plus chaud et la moyenne des minimas thermiques du mois le plus froid. Trois stations situées à proximité de la zone d'étude ont été retenues pour approcher le type de Bioclimat dans la zone.

- $Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$
- Q2: Coefficient d'Emberger
- P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm)
- M : Moyenne des maximas thermiques du mois le plus chaud en degré Kelvin (°K)
- m : Moyenne des minimas thermiques du mois le plus froid en degré Kelvin (°K)
- $T^{\circ}K = 273, 2 + t^{\circ}C$

Le climagramme pluviométrique basé sur les valeurs de Q2 calculés pour ces trois stations, montre que les bioclimats rencontrés dans la zone vont du semi-aride froid au sub humide tempéré comme le montre le tableau suivant, selon l'étude d'aménagement anti érosif du Bassin Versant à l'amont du barrage Allal fassi (1997).

Bioclimats des stations étudiées selon le système d'Emberger- Sauvage

Tableau 1: Types des bioclimats de trois stations suivant le système d'Emberger-Sauvage

Station	Alt.	P (mm)	M (°c)	M (°c)	Q ₂	Type de Bioclimat
El Menzel	840	481.48	31.2	6.8	67.58	Semi-aride tempéré
Sefrou	820	611.73	32.6	3.2	71.53	Subhumide tempéré
Pont M'dez	725	326.07	33.0	-2.0	32.26	Semi-aride froid

2.7.Le couvert végétal

La végétation joue un rôle important dans la protection des sols contre l'érosion, il permet par son type de couverture (Arborée, arbustive, herbacée pérenne ou annuelle), son taux de couverture (dense, claire ...) sa durée de couverture (toute ou période de l'année), d'atténuer les effets des gouttelettes d'eaux de pluies et la stabilité de la structure des sols par sa teneur en matière organique.

Son action comme frein à l'érosion, s'observe à différents niveaux :

- Au niveau des parties aériennes des végétaux et des débris de végétaux qui jonchent la surface du sol ; les feuilles et les branches interceptent les gouttes de pluie et atténuent leur énergie cinétique lorsqu'elles atteignent le sol, cette interception est en fonction de la densité de la surface foliaire et de la structure du couvert végétal et 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. Ce qui a pour effet de diminuer l'effet « Splash » et retarder, voire même désactiver la formation de la croûte de battance.
- Au niveau de la partie souterraine ; les racines fixent le sol, s'opposent au détachement des particules et à leur entraînement par les eaux du ruissellement. Les racines agissent aussisur l'augmentation de la porosité du sol en favorisant l'infiltration au détriment du ruissellement.

La végétation agit aussi en fournissant la matière organique au sol, qui évolue en humus et favorise la structuration et la cohésion des particules et diminue l'érodibilité du sol. En conséquence, quelques soient les valeurs de l'agressivité climatique, de l'érodibilité du sol, du degré de

la pente, leurs effets demeurent insignifiants, si le terrain est préservé par le couvert végétal qui empêche le déclenchement de l'érosion, en freinant le ruissellement au profit de l'infiltration des eaux dans le sol.

- ✓ Le Moyen Atlas, là où se situent les deux sous-bassins est réputé par une diversité floristique très importante due à la diversité des conditions écologiques et édaphiques qui caractérisent son territoire.

En effet les principales essences forestières rencontrées sont :

- ✓ Le chêne vert.
- ✓ Le genévrier rouge auxquelles sont associées d'autres essences d'importance secondaire
- ✓ Le cèdre de l'atlas concentré dans les zones de hautes altitudes, et
- ✓ Le pin d'Alep qui occupe des superficies discontinues marquées par un état de dégradation très avancé.

2.8. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Il est sans doute une des caractéristiques les plus importantes des sous bassins versants. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique au niveau d'un bassin est due à quatre facteurs principaux :

- La géologie : par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique. Le réseau de drainage n'est habituellement pas le même dans une région où prédominent les roches sédimentaires, par comparaison à des roches ignées. La structure de la roche, sa forme, les failles, les plissements, forcent le courant à changer de direction.
- Le climat : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- La pente du terrain, détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

- L'intervention humaine : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé d'origine du réseau hydrographique.

Le réseau hydrographique dans la zone d'étude est composé principalement au niveau de Tazota de deux grands Oueds, qui sont Oued Mdaz au niveau de la partie amont et Oued Guigou au niveau de la médiane et se déversent tous dans le grand Oued Sebou. En ce qui concerne le sous bassin de dar El-hamra il est traversé par Oued Bechna de l'amont jusqu'à l'aval pour enfin se regrouper avec les deux Oueds de Tazota pour se déverser dans l'Oued Sebou comme l'illustre la carte suivante :

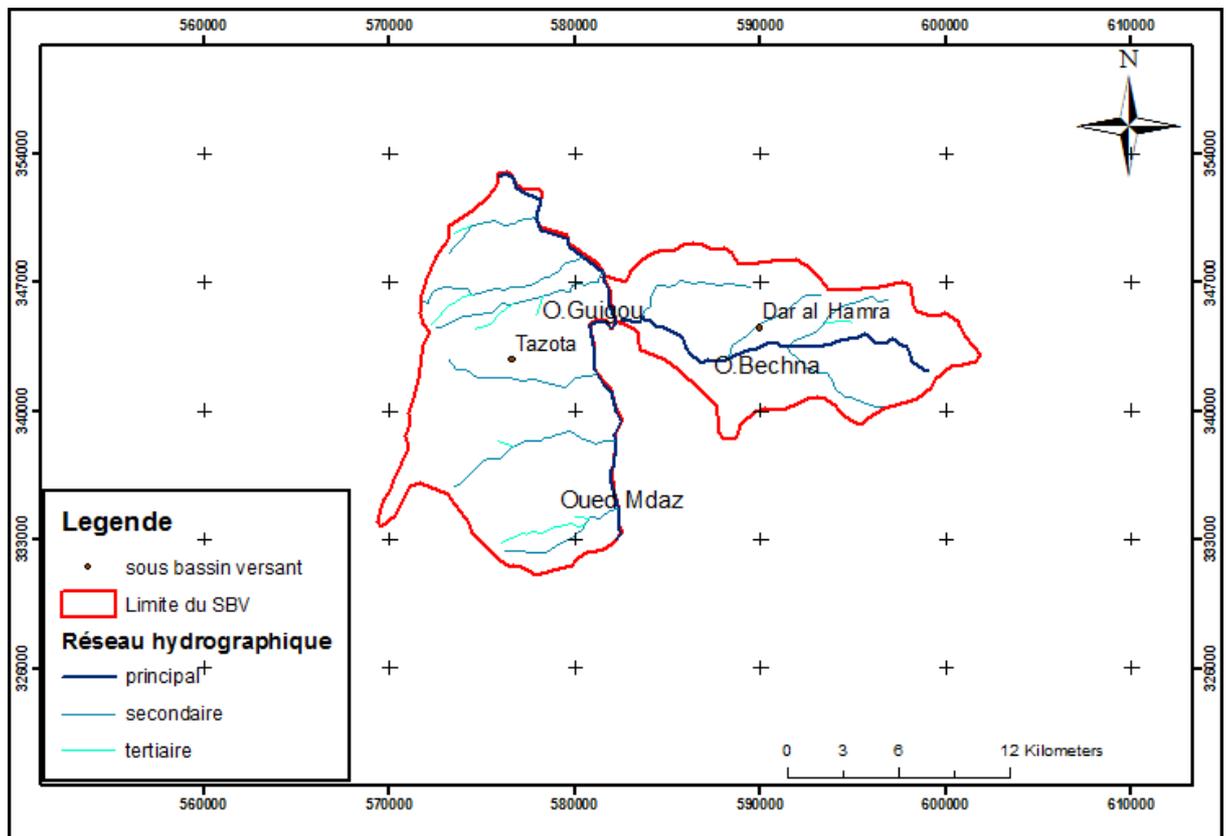


Figure 15: Carte du réseau hydrographique de deux sous bassins (Tazota et Dar Alhamra)

Caractéristiques de la zone d'étude :

Superficie	Tazota 18209ha Dar Al Hamra 12214ha
Forme	Indice de compacité de 1,35 et 1,34
Lithologie	Roche résistante (dolomite)/ roche moyennement résistante (calcaire), roche tendre (schiste)
Les sols	Les sols minéraux bruts, les sols peu évoluée, les sols calcimagnésiques, les vertisols, les sols iso humiques, les sols à sesquioxydes de fer et les unités complexes.
La pente	Faible pente, pente moyenne et forte pente allant d'un degré inférieur ou égal à 5 à un degré supérieur ou égal à 45
Le climat	De l'aride au subhumide
Les précipitations annuelles	Entre 200 et 900mm
Le couvert végétal	Le chêne vert, genévrier rouge, cèdre de l'atlas, pin d'Alep
Réseau hydrographique	Pour Tazota : Oued Mdez et Oued Guigou, Dar Al Hamra : Oued Bechna

3. L'érosion et sa problématique :

Au Maroc, Selon le plan national d'Aménagement des bassins Versants,(PNABV) le phénomène d'érosion est l'un des problèmes qui entrave le développement économique et social en général, et agricole en particulier des zones de montagnes. L'analyse des problèmes de l'érosion hydrique à l'échelle nationale montre que 12,5 millions d'hectares de terres de cultures et de parcours sont réellement menacées par l'érosion.

Les conséquences de l'érosion en aval sont également coûteuses pour l'économie nationale puisque l'envasement des retenues de barrages s'estime à plus de 60 millions de m³ annuellement ce qui correspond à une diminution de 0,5% de la capacité de stockage, ou encore à une perte en irrigation de 60000 Ha/an.

Au cours des dernières décennies, ces espaces ont subis des dégradations importantes liées principalement à la grande pression exercée sur les ressources naturelles par le parcours illicite, la coupe de bois de feu, le

défrichement, les attaques parasitaires, et parfois l'incendie qui ravage des superficies importantes de forêts.

Un grand nombre de facteurs influencent l'érosion naturelle : certains sont d'ordre naturels (topographie, érosion du sol, sécheresse ...) et d'autres sont d'ordre anthropiques (élevage extensif, coupe de bois, défrichement, ...).

4. Objectifs de l'étude:

L'érosion des sols dans les deux sous bassins versants et ses conséquences sont évaluées dans le cadre de ce stage selon l'approche qualitative. Une telle approche est basée sur la détermination des zones sensibles à l'érosion, par la superposition des cartes thématiques établies à savoir:

- ✓ la carte des résistances des roches ;
- ✓ la carte de l'occupation du sol ;
- ✓ la carte topographique des pentes.

Cette approche a permis d'évaluer l'ampleur de l'érosion et de la dégradation des sols au niveau des deux sous bassins versants.

L'approche utilisée vise un objectif immédiat, qui est celui de rendre disponible un outil méthodologique et une source d'information pour la gestion et la conservation des ressources naturelles au niveau des deux SBV.

5. Méthodologie :

L'approche méthodologique portera surtout sur l'intégration des facteurs influençant l'érosion, tels que la pente qui traduit la morphologie et l'inclinaison des terres, le type de sol et le matériel lithologique, le type de couverture végétale qui traduit la répartition dans l'espace des différentes formations végétales.

Pour la réalisation de ces cartes, plusieurs étapes ont été suivies et sont citées comme suit :

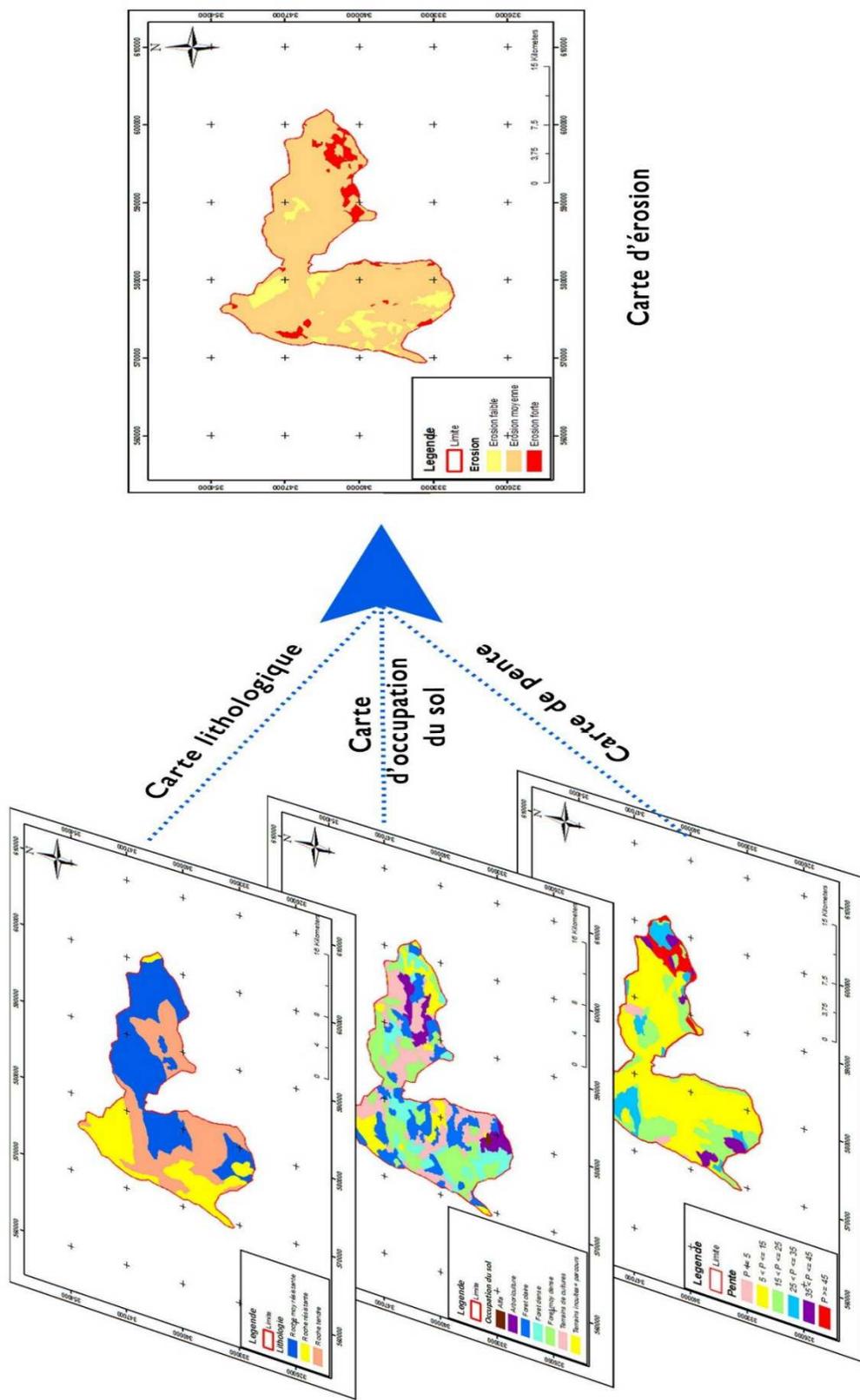
- ✓ la collecte de l'ensemble des données existantes (cartes topographique, cartes lithologiques, ...) nécessaire pour la réalisation de ce travail.

- ✓ L'intégration de données géo référencées dans le Système d'Information Géographique Arcgis, pour établir des cartes thématiques et synthétiques.
- ✓ Numérisation des trois cartes citées précédemment.

Après avoir isolé nos sous bassins au niveau de ces trois cartes tout en attribuant un poids de superposition allant de 1 à 3 pour chaque élément constituant nos cartes par rapport à son degrés d'influence sur l'érosion, et après superposition et sommation des poids en utilisant l'Arcgis, nous obtiendrons une carte qui fournira des informations sur la nature et l'intensité spatiale de l'érosion avec des poids de superposition allant de 3 à 9. Ceci permettra d'identifier les zones les plus affectées par cette dernière.

6. Elaboration des cartes thématiques

Voici une explication schématique de la superposition de nos cartes thématiques :



6.1. Carte des résistances

La carte des résistances a été réalisée à partir des données géologiques et lithologiques, elle identifie les différents types de roches ou de sédiments, classés selon leur degré de cohésion et de résistance mécanique face à l'érosion.

- Poids de superposition 1 pour les roches résistantes ;
- Poids de superposition 2 pour les roches moyennement résistantes ;
- Poids de superposition 3 pour les roches tendres.

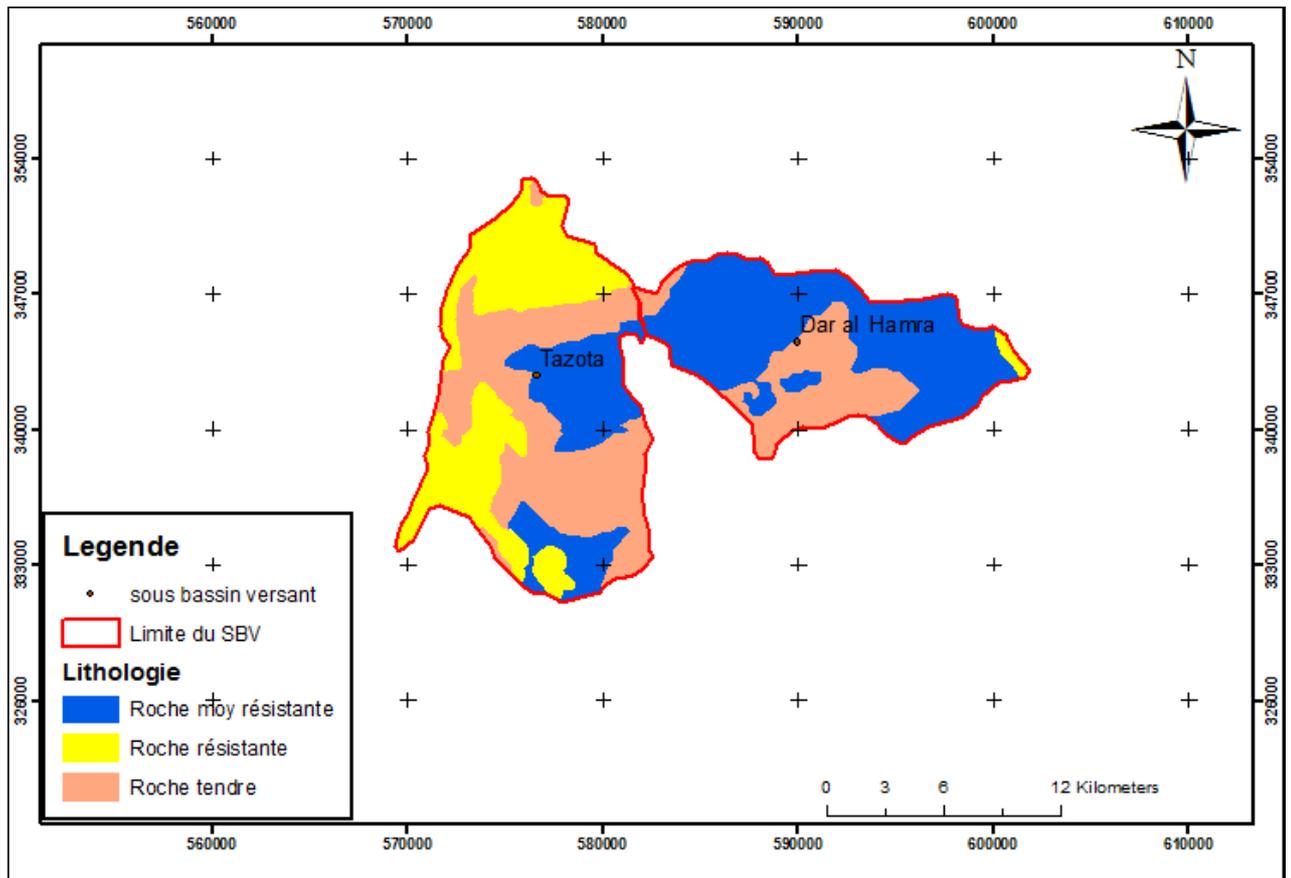


Figure 16: Carte des résistances

6.1.1. Le sous bassin Versant de Tazota

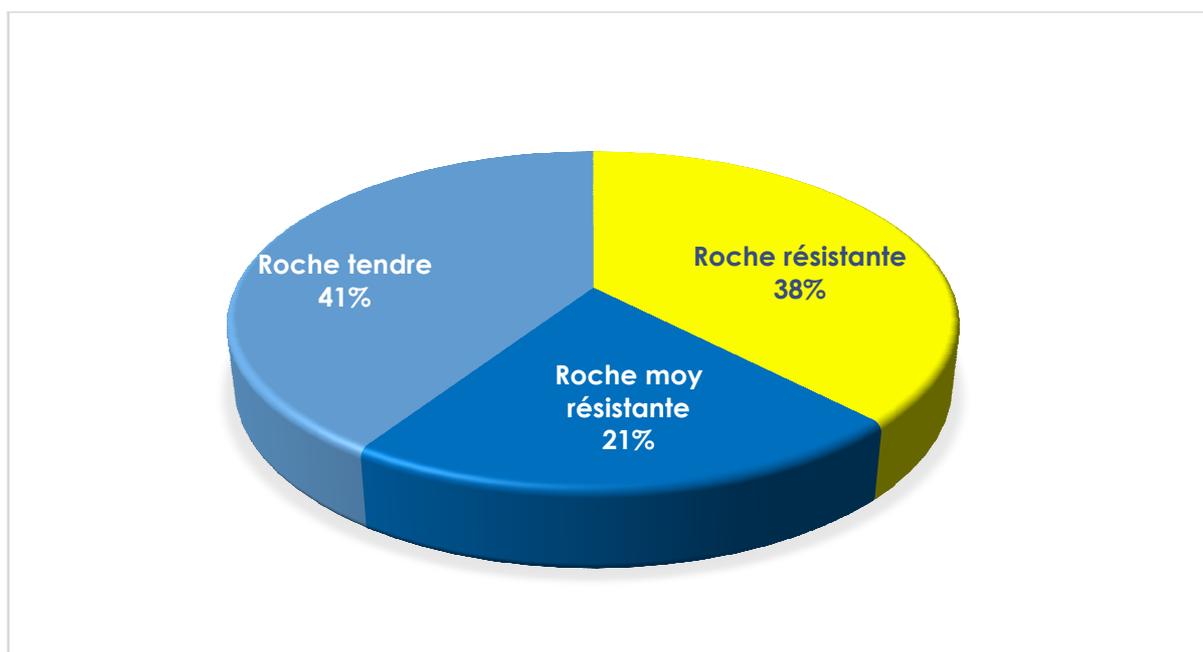


Figure 17: Répartition des résistances en fonction de la surface de Tazota

Tableau 2: classe des types de matériel lithologique en fonction de la superficie dans le sous bassin versant de Tazota en Ha

Poids de superposition	Résistance des roches	Superficie en (ha)	Pourcentage (%)
1	Roche résistante	6887	38
2	Roche moyennementrésistante	3895	21
3	Roche tendre	7427	41
Total		18209	100

D'après ce tableau on constate que les roches résistantes représentent une superficie de 6885 Ha (38%) de la superficie totale de Tazota. Elles se localisent au niveau de la partie avale et amont, au sud-ouest du sous bassin

Les roches moyennement résistantes occupent une superficie de 3895 Ha dans la partie médiane à l'Est et en amont.

Pour les roches tendres d'une superficie de 7427 Ha, elles s'étendent sur la plus grande partie du sous bassin de la partie médiane, jusqu'à l'amont avec une petite partie en aval.

6.1.2. Le sous bassin versant de dar Hamra

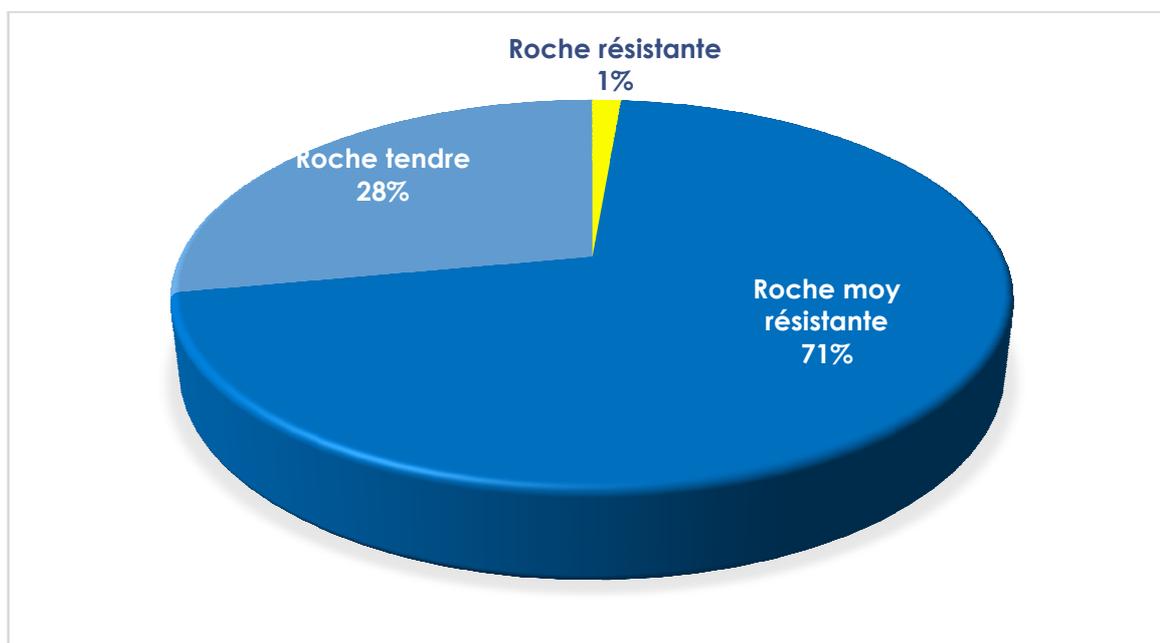


Figure 18 Répartition des résistances en fonction de la surface de Dar Al Hamra:

Tableau 3: classe des types de matériel lithologique en fonction de la superficie de dar al Hamra en Ha

Poids de superposition	Résistance des roches	Superficie en (ha)	Pourcentage (%)
1	Roche résistante	163	1

2	Roche moyennement résistante	8636	71
3	Roche tendre	3415	28
Total		12214	100

D'après le diagramme et le tableau ci-dessus, les roches résistantes recouvrent la plus petite partie du sous bassin versant de Dar al Hamra avec superficie de 163 Ha à l'extrême Est.

Les roches moyennement résistantes sont les matériaux les plus abondants du sous bassin. Elles s'étalent de l'amont jusqu'à l'aval sur une superficie de 8636 Ha soit 71% de la superficie totale de Dar al Hamra.

Pour les roches tendres, elles s'étendent depuis le centre vers le sud avec une petite partie en aval d'une superficie de 3415 Ha.

6.2. Carte de l'occupation du sol :

La carte de l'occupation du sol est répartie selon 3 classes principales vis-à-vis du degré d'occupation, fort, le moyen et le faible, en leur attribuant respectivement des poids de superposition 1, 2 et 3.

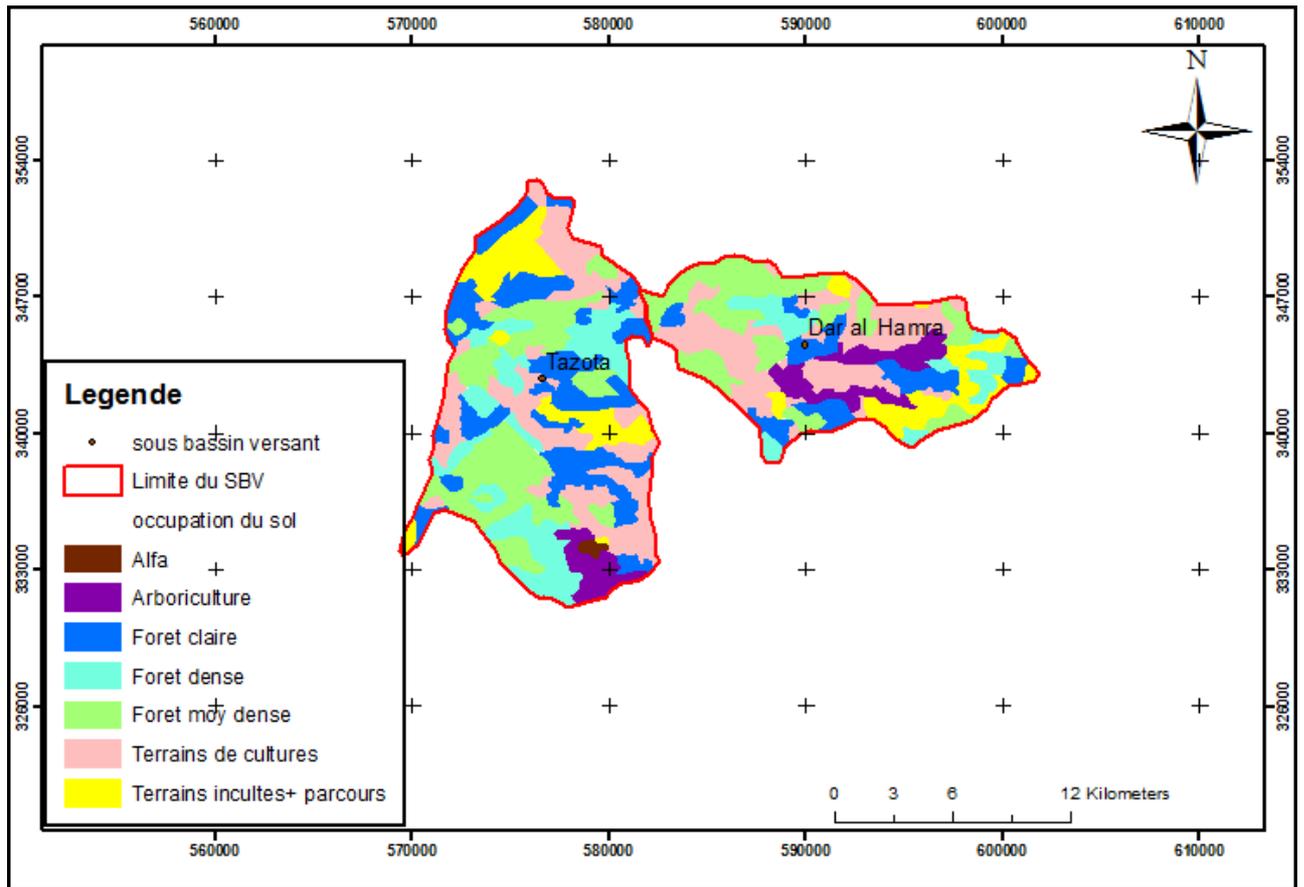


Figure 19 : La carte d'occupation des sols

6.2.1. Le sous bassin versant de Tazota

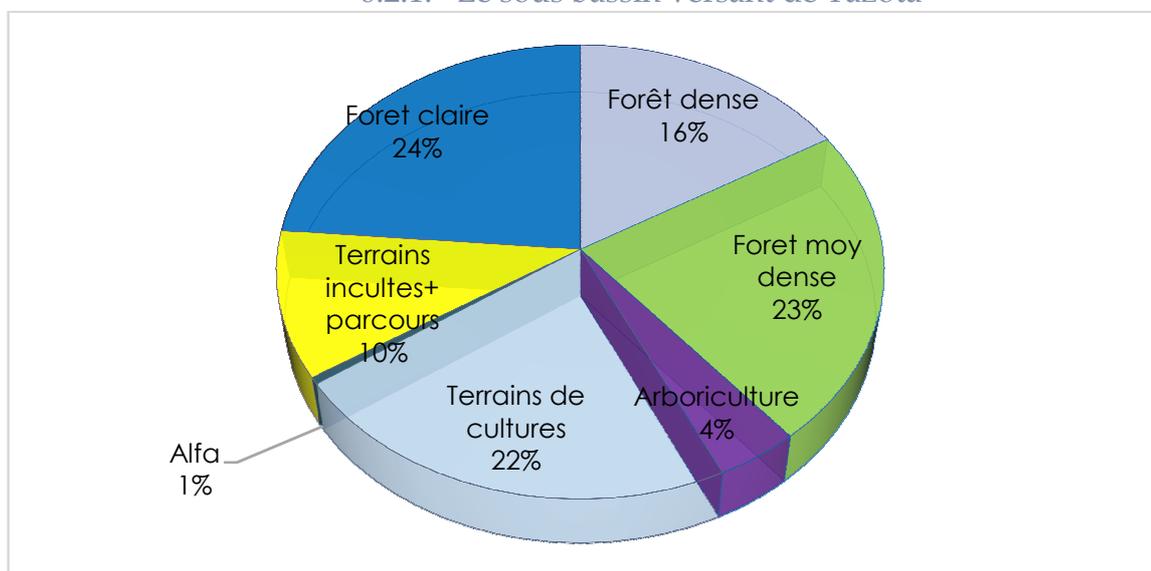


Figure 20: Répartition de l'occupation du sol en fonction de la surface de Tazota

Tableau 4: classe des types d'occupation des sols en fonction des superficies de Tazota en Ha

Poids de superposition	Occupation du sol	Superficie	%
1	Forêt dense	2989	16
2	Forêt moyennement dense	4100	23
2	Arboriculture	734	4
2	Terrains de cultures	4091	22
2	Alfa	89	1
3	Terrains incultes+ parcours	1896	10
3	Foret claire	4310	24
Total		18209	100

D'après le tableau ci -dessus, la forêt dense occupe une superficie de 2989 Ha de la superficie totale du sous bassin de Tazota (16%) et se situe dans la partie amont et la partie médiane à l'Est et à l'Ouest. (Poids 1)

Le poids de superposition 2 englobe plusieurs types d'occupation du sol tels que : les forêts moyennement dense, l'arboriculture, les terrains de cultures ainsi que l'alfa, ils sont repartis un peu partout sur la carte avec une surface cumulée de 9014 Ha (50%).

Les terrains incultes, les terrains de parcours et les forêts claires présentent un degré d'occupation avec une superficie de 6206 Ha recouvrant une bonne partie en aval et au niveau de la médiane Est (Poids 3).

6.2.2. Le sous bassin versant de Dar Al Hamra

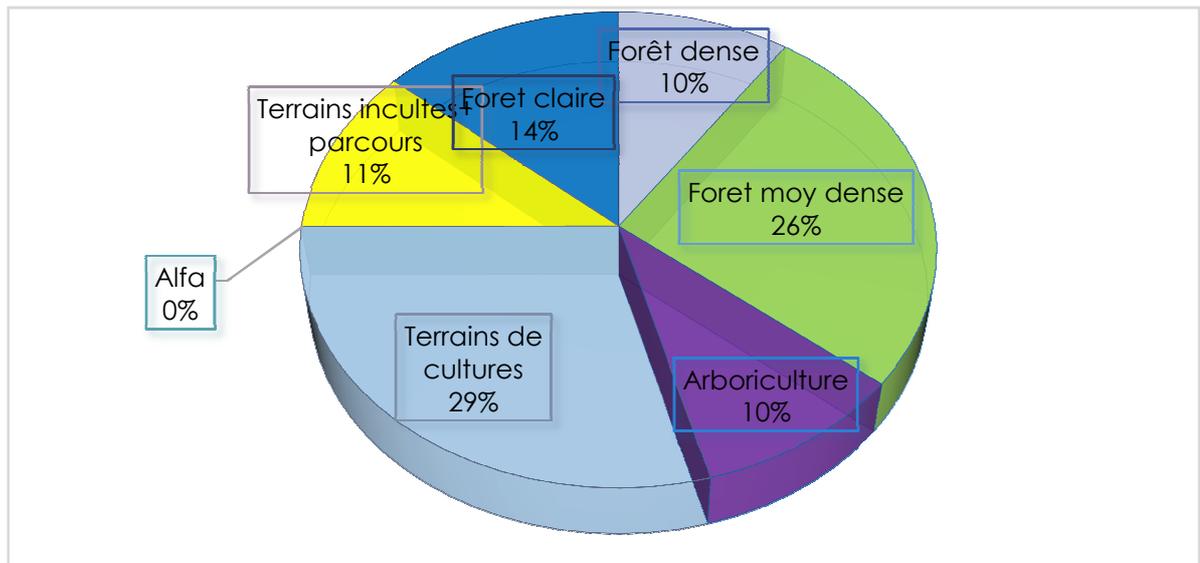


Figure 21: Répartition du sol en fonction de la surface de Dar Al Hamra

Tableau 5: classe des types d'occupation des sols en fonction des superficies de dar Al Hamra en Ha.

Poids de superposition	Occupation du sol	Superficie	Pourcentage %
1	Forêt dense	1178	10
2	Forêt moyennement dense	3196	26
2	Arboriculture	1215	10
2	Terrains de cultures	3570	29
3	Terrains incultes+ parcours	1390	11
3	Forêt claire	1665	14
Total		12214	100

Suivant le tableau ci-dessus, la forêt dense (d'un poids de superposition 1) représente 1178 ha soit 10% de la superficie de Dar al Hamra et se situe dans la partie médiane, au sud et à l'Est au niveau du sous bassin versant.

Le poids de superposition 2 est attribué aux terrains de culture, aux forêts moyennement dense et à l'arboriculture avec une superficie cumulée de 7981 Ha (65%).

Les terrains incultes, parcours et forêts claires occupent 1390 Ha et 1665 Ha soit 25,% de la superficie totale de dar al Hamra se trouvent au centre, à l'amont et une partie au sud. Leurs poids de superposition est 3.

6.3. Carte des pentes :

La carte des pentes aelle aussi été répartie en 3 classes : pente forte, pente moyenne et faible pente.

- Pour la pente forte on attribue le poids de superposition 3 sachant que plus la pente est élevée plus l'érosion est forte. Cette classe regroupe les pentes supérieures à 35%.
- La classe de pente comprise entre 15 et 35% on attribue le poids de superposition 2.
- Pour la faible pente inférieure à 15, on attribue le poids de superposition 3.

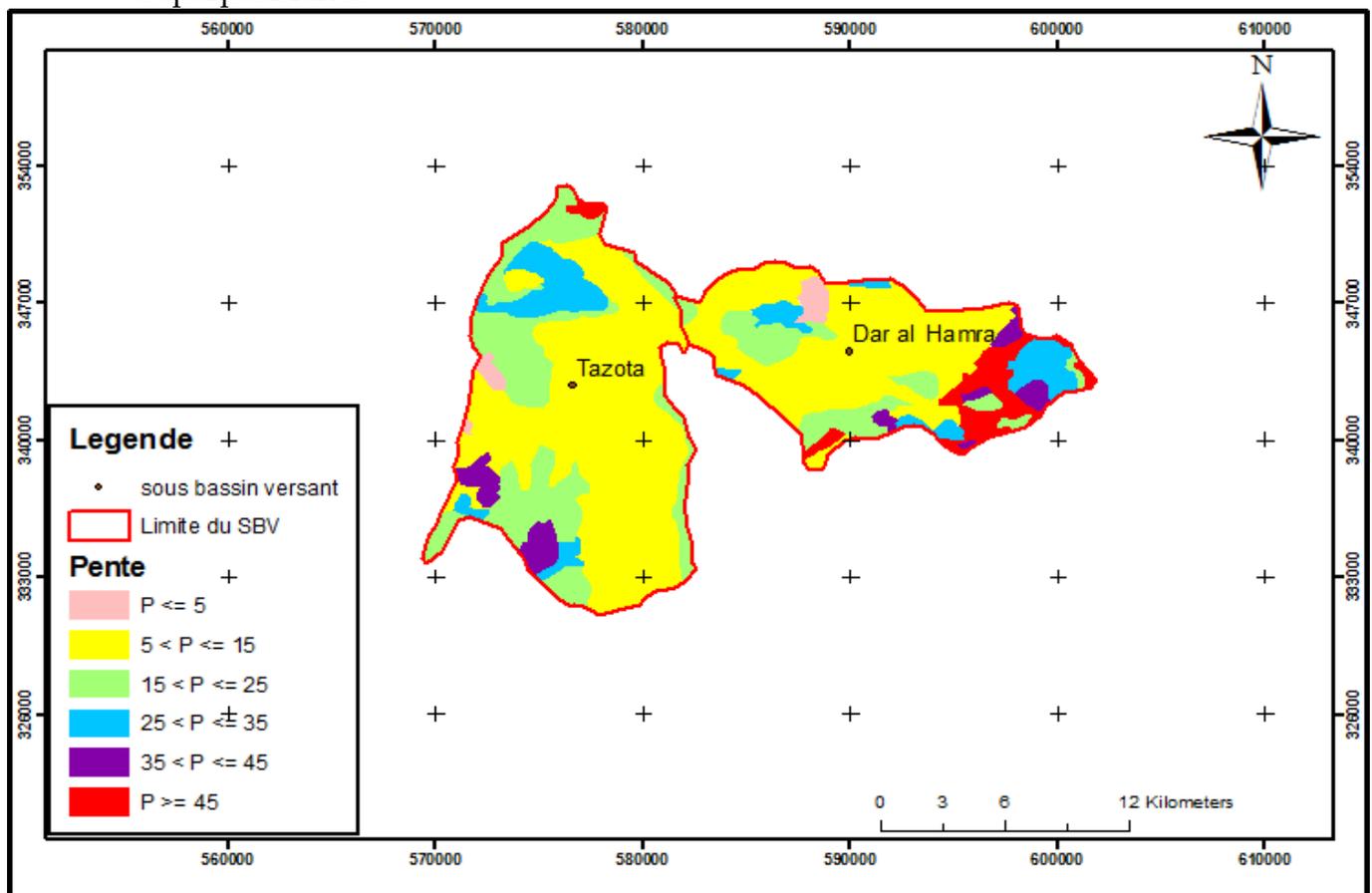


Figure 22: Carte des pentes

6.3.1. le sous bassin versant de Tazota

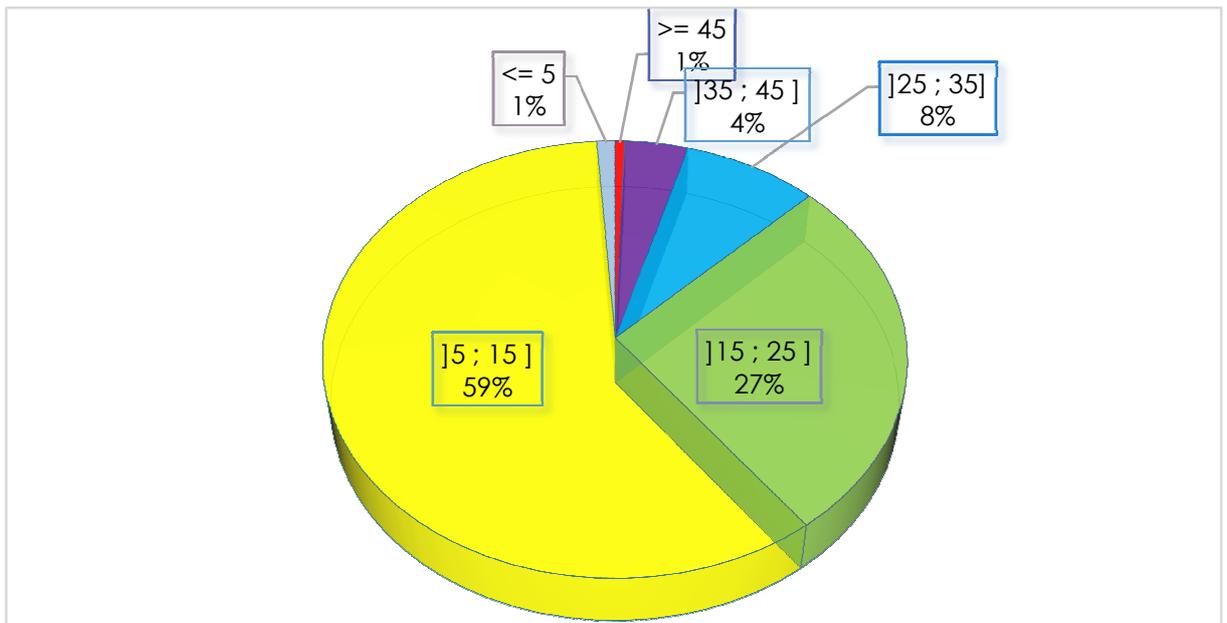


Figure 23: Répartition de la pente en fonction de la surface de Tazota

Tableau 6: Classes des pentes en fonction des superficies de Tazota en Ha

Poids de la superposition	Pente	Superficie	Pourcentage (%)
3	>= 45	107	1
3	] 35 ; 45]	701	4
2	] 25 ; 35]	1494	8
2	] 15 ; 25]	4920	27
1	] 5 ; 15]	10787	59
1	<= 5	200	1
Total		18209	100

On remarque dans le tableau ci-dessus que le sous bassin de Tazota est caractérisé dans sa majeure partie par une faible pente, en particulier la pente comprise entre 5 et 15, soit 60% de la superficie totale.

6.3.2. Sous bassin versant de dar Hamra

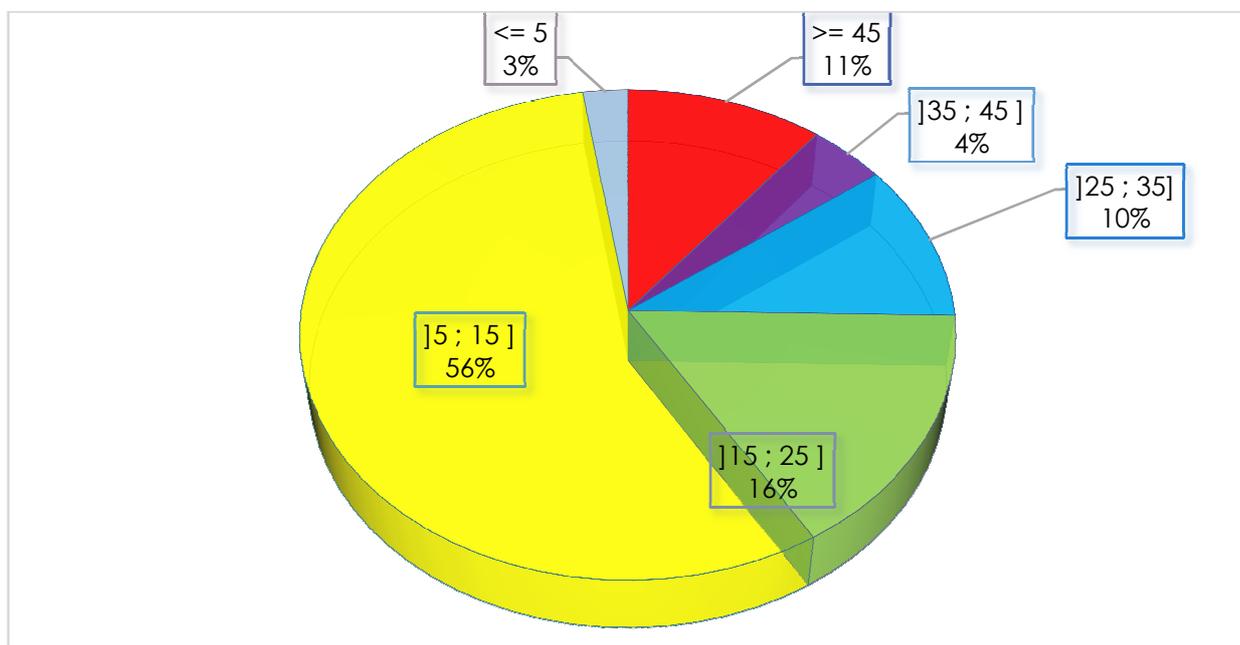


Figure 24: Répartition de la pente en fonction de la surface de Dar Al Hamra

Tableau 7: Classes des pentes en fonction des superficies de Dar Al Hamra en Ha

Poids de superposition	Pente	Superficie	%
3	≥ 45	1308	11
3	[35 ; 45]	512	4
2	[25 ; 35]	1272	10
2	[15 ; 25]	1951	16

1	]5 ; 15]	6875	56
1	<= 5	296	3
Total		12214	100

Selon les chiffres du tableau ci-dessus, on constate que la répartition des pentes au niveau du sous bassin versant de dar Hamra est caractérisée par la prédominance des pentes faibles soit 59 % de la superficie du sous bassin versant.

7. Carte d'érosion potentielle :

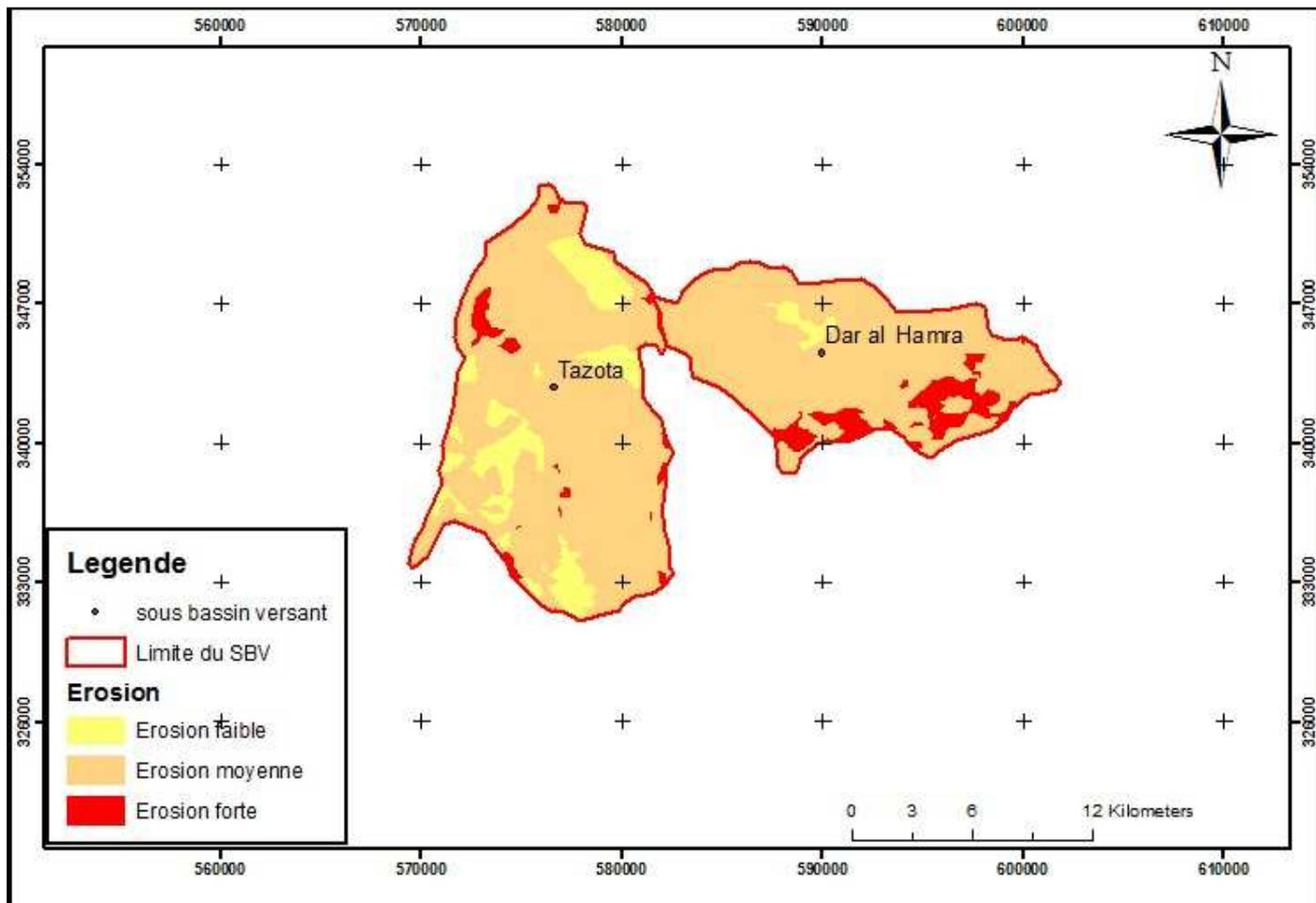
La carte d'érosion suivante (Figure25) est le résultat de la superposition des trois cartes établies précédemment (résistance des roches, pente et occupation du sol) au moyen du système d'information géographique ARCGIS:

La classification de ces états érosifs a été réalisée par la sommation des poids attribués précédemment à chacun des éléments des 3 cartes. Le résultat obtenu varie de 3 à 9. Trois classes sont issues de cette superposition au niveau des deux sous bassins versants (SBV) :

- Classe d'érosion faible ou nulle
- Classe d'érosion moyenne
- Classe d'érosion forte.

Ces classes identifiées reflètent non seulement les formes et le degré d'érosion mais aussi l'importance et la gravité de la dégradation des terres.

Figure 25: La carte d'érosion



7.1. Classe d'érosion faible ou nulle

Il s'agit des zones où la dégradation des terres est moins prononcée due à une protection suffisante du sol par le couvert végétal ou à une topographie douce des terrains. Les manifestations de l'érosion dans ces zones se traduisent par un lent décapage superficiel des sols résultant d'un ruissellement diffus ou d'une érosion en nappe.

Cette classe couvre une superficie de 2935 Ha, soit environ 16% de la superficie totale du sous bassin versant de Tazota (Tableau 8). Pour le sous bassin versant de dar Hamra (Tableau 9), cette classe occupe la superficie de 283 ha soit 2%.

7.2. Classe d'érosion moyenne

Cette classe, correspondant au stade avancé de l'érosion faible, est caractérisée par l'apparition, sur les versants, de rigoles sous forme de sillons peu profonds. En se concentrant dans les rigoles. Les eaux de ruissellement creusent d'avantage en donnant naissance à des ravines puis à des ravins. Ces manifestations s'observent facilement sur des terrains marneux cultivés.

Les superficies concernées par cette classe d'érosion pour les deux SBV s'élèvent à 14774 ha, soit 81% de la superficie totale du SBV de Tazota (Tableau 8) et 10609ha, soit 87% de la superficie totale du SBV de Dar al Hamra (Tableau 9).

7.3. Classe d'érosion forte

Il s'agit d'un stade très évolué de l'érosion qui est caractérisé par une perturbation non seulement de la partie supérieure du sol mais également de la roche mère. Cette classe occupe une superficie de 494 ha, soit 3% de la superficie totale du SBV de Tazota (Tableau 8) et 1322ha, soit 11% de la superficie totale du SBV de Dar al Hamra (Tableau 9).

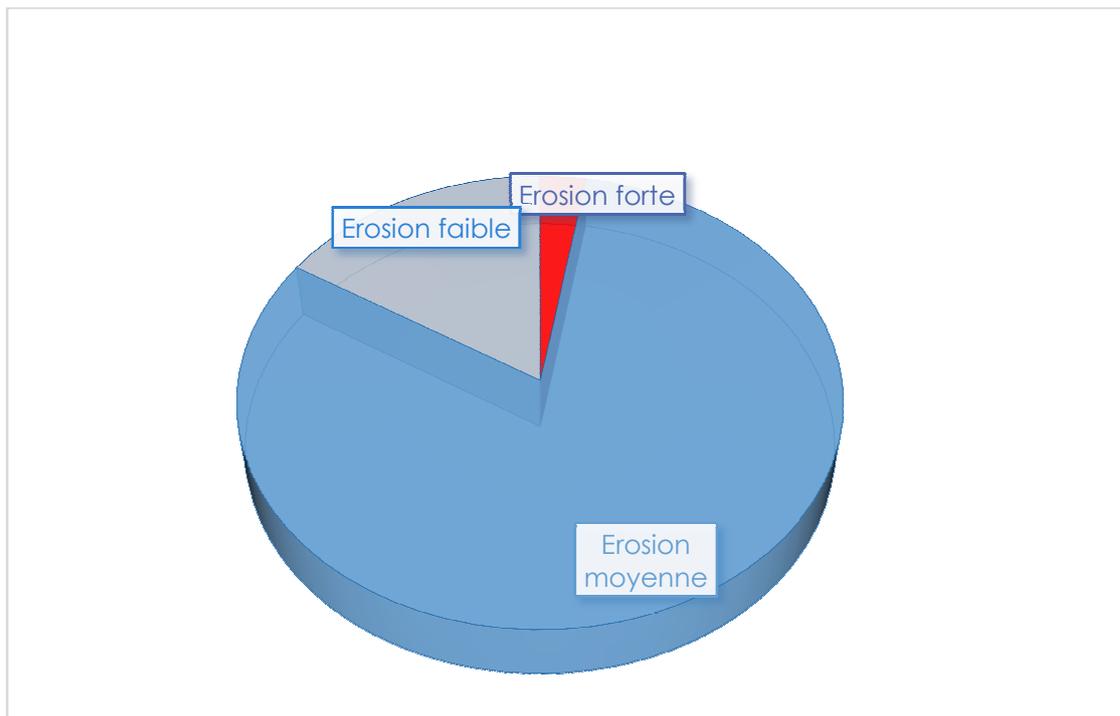


Figure 26: Répartition du sol en fonction de la surface de Tazota

Tableau 8: classe des degrés d'érosion

Poids de superposition	Erosion	Superficie	%
8,9	Erosion forte	495	3
5,6 et 7	Erosion moyenne	14779	81
3,4	Erosion faible	2935	16
Total		18209	100

Ce résultat montre que la SBV de Tazota a plus ou moins subi une érosion moyenne due à la nature de la pente, au couvert et à la lithologie.

Les autres états érosifs se répartissent le reste de sa surface.

- SBV de Dar Hamra

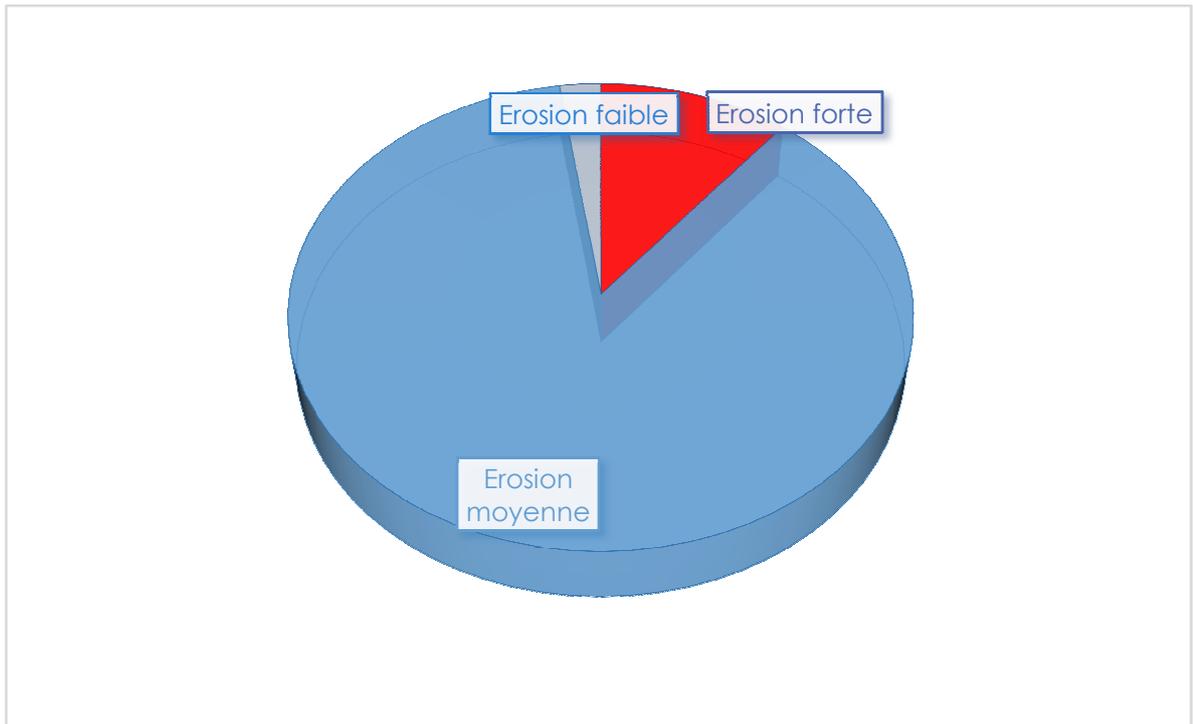


Figure 27: répartition de l'érosion du sol en fonction de surface de Dar al Hamra

Tableau 9: Classe des états érosifs

Poids de superposition	Erosion	Superficie	%
8,9	Erosion forte	1322	11
5, 6 et 7	Erosion moyenne	10609	87
3,4	Erosion Faible	283	2
Total		12214	100

D'après le tableau et le diagramme (Tableau 9 et figure 27) nous remarquons que dans le sous bassin de dar al Hamra l'état érosif moyen prédomine. Ceci montre que ce SBV a plus ou moins subi une érosion moyenne due surtout à la nature de la pente, au couvert et à la lithologie.

Conclusion

La quasi-totalité du terrain des sous-bassins Tazota et dar al-Hamra a subi des perturbations remarquables (dégradation des ressources naturelles et du couvert végétal) dues non seulement à certains effets naturels, mais aussi aux différentes actions anthropiques. La hiérarchisation de l'érosion au niveau des deux sous bassins versants montre l'urgence de procéder dans l'immédiat, à mettre en œuvre un programme global d'aménagement qui intéresse la totalité des deux SBV, et un programme prioritaire d'intervention surtout au niveau de zones à forte érosion, même si leurs superficies cumulées ne représentent que 6%, mais n'oublions pas que 83% des terrains présentent une moyenne de prédisposition à l'érosion, cela aura de graves répercussions à long terme si la qualité de protection est faible.

Le programme d'aménagement vise à :

- ✓ L'atténuation des crues et la lutte contre les effets des inondations au niveau des différentes agglomérations et des infrastructures socio-économique de base situées à l'aval des deux sous bassin versants.
- ✓ La lutte contre l'érosion et la conservation des eaux et des sols en amont pour protéger les équipements et les infrastructures hydrauliques contre les risques d'envasement.
- ✓ La protection de la biodiversité, l'environnement et l'induction d'une gestion durable des ressources naturelles.
- ✓ Le développement socio-économique en milieu rural et l'amélioration du niveau de vie des populations les plus démunies par des mesures d'appui et d'accompagnement et d'auto développement.
- ✓ La conservation de la productivité des sols et l'alimentation des nappes d'eau souterraines.
- ✓ L'amélioration du bilan hydrique, conservation des eaux et des sols et amélioration de leur productivité.

- ✓ L'amélioration des revenus des populations cibles en milieu rural, par la promotion de l'emploi, la création d'activités génératrices de revenus.
- ✓ L'adoption d'une démarche participative qui concilie à la fois les intérêts des populations locales et la conservation des ressources naturelles
- ✓ Le désenclavement des habitations rurales et l'amélioration de l'approvisionnement en eau.

En raison du temps qui nous a été réservé dans le cadre de ce stage nous n'avons pas pu élaborer ce programme car il nécessite des sorties sur le terrain des deux SBV. En vue de :

- ✓ Collecter les informations sur le milieu socio-économique (Population, niveau de vie, agriculture, élevage...) dans le but de mettre en place un programme concerté dans un cadre participatif.
- ✓ La description et la cartographie des différentes formes d'érosion hydrique (Erosion en nappe, en ravine, Ravin, Sapement de berge) pour déterminer les types d'intervention à appliquer (Correction mécanique des ravins à base de gabion, pierre sèche, maçonnerie, reboisement, plantation fruitière, Amélioration sylvo pastorale, Actions de développement.....)
- ✓ La connaissance et la cartographie des statuts juridique des terrains (Terrains domaniaux, Terrains privés, terrains collectifs...)

On souhaiterait faire un tel travail dans le futur dans le cadre d'études plus poussées dans le domaine d'aménagement des bassins versants.

Bibliographie & Webographie

❖ Références bibliographiques

ANDRIEUX J.(1971) – La structure du Rif central. Etude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. Notes et mem. Du serv. Géol. Maroc, 235,155p.

Cerdan 2001 – Analyse et modélisation du transfert de particules solide à l'échelle de petits bassins versants cultivés. Thèse Univ. Orléans.

Mesrar H. (2010) – Etude des formes et processus de l'érosion hydrique par application de la méthode potentielle Fès-Maroc.

Sadiki, A. (2005) – Estimation des taux d'érosion et de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de boussouab, Maroc nord oriental : Application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope ¹³⁷Cs et de la susceptibilité magnétique.

Pujos A. (1958) – Etudes des érosions dans le bassin versant de la Moulouya. SOGETIM, Maroc, administration des eaux et forêts, 5 volumes, 1 carte de couvert végétal.

Roose E. (1994) – Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) Bulletin pédologique de la F.A.O.70.

PAP/CAR (1998) – directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. PAP-8/PP/GL.1. Split, Centre d'activités régionales pour le programme d'actions prioritaires (PAM/PNUE), en collaboration avec la FAO pp xii+72

❖ Webographie :

<http://www.crts.gov.ma/BulletinAgri/bulletin-31-12-2010.pdf>

<http://www.teledetection.net/upload/TELEDETECTION/pdf/20051024140223.pdf>

<http://www.hcp.ma/pubData/Demographie.pd>

<http://www.secheresse.info>

Table des figures

Figure 1 : L'organigramme de la DREFLCD-FB	11
Figure 2: Organigramme du SEAP	12
Figure 3: Exemple d'effet de l'érosion sur le relief: parc national de Grand Canyon aux États-Unis d'Amérique.....	16
Figure 4: La chute du Fer à Cheval, une des trois chutes Niagara.....	17
Figure 5: Érosion du littoral visible à marée basse	17
Figure 6: Vallée glaciaire de la région du Ladakh en Inde.....	18
Figure 7: Sédiments transportés sous l'action du vent (en suspension dans le nuage à droite de l'image).....	19
Figure 8 : : Une avalanche de neige attirée par la gravité	20
Figure 9 : : Une roche fragmentée par la cryoclastie	20
Figure 10: Déforestation par le feu (à gauche) et agriculture intensive (à droite)	21
Figure 11: La carte de situation de la zone d'étude.....	24
Figure 12: Les différentes formes du bassin versant selon l'indice de compacité.....	26
Figure 13: Effet de Splash.....	29
Figure 14 : Formation d'une croute de battance	30
Figure 15: Carte du réseau hydrographique de deux sous bassins (Tazota et Dar Alhamra).....	34
Figure 16: Carte des résistances.....	39
Figure 17: Répartition de la lithologie en fonction de la surface de Tazota	40
Figure 18 Répartition de la lithologie en fonction de la surface de Dar Al Hamra:.....	41
Figure 19 : La carte d'occupation des sols	43
Figure 20: Répartition de l'occupation du sol en fonction de la surface de Tazota	43
Figure 21: Répartition du sol en fonction de la surface de Dar Al Hamra	45
Figure 22: Carte des pentes	46

Figure 23: Répartition de la pente en fonction de la surface de Tazota	47
Figure 24: Répartition de la pente en fonction de la surface de Dar Al Hamra.....	48
Figure 25: La carte d'érosion.....	50
Figure 26: Répartition du sol en fonction de la surface de Tazota.....	52
Figure 27: répartition de l'érosion du sol en fonction de surface de Dar al Hamra.....	53

Tables des tableaux

Tableau 1: Types des bioclimats de trois stations suivant le système d'Emberger-Sauvage.....	32
Tableau 2: classe des types de matériel lithologique en fonction de la superficie dans le sous bassin versant de Tazota en Ha.....	40
Tableau 3: classe des types de matériel lithologique en fonction de la superficie de dar al Hamra en Ha.....	41
Tableau 4: classe des types d'occupation des sols en fonction des superficies de Tazota en Ha.....	43
Tableau 5: classe des types d'occupation des sols en fonction des superficies de dar Al Hamra en Ha.....	45
Tableau 6: Classes des pentes en fonction des superficies de Tazota en Ha.....	47
Tableau 7: Classes des pentes en fonction des superficies de Dar Al Hamra en Ha.....	48
Tableau 8: classe des degrés d'érosion.....	52
Tableau 9: Classe des états érosifs.....	53