



Année Universitaire : 2015-2016



Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Apport de la Télédétection et du Système d'Information
Geographique à l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique
du sous bassin Tindite**

Présenté par:

**Chaima FECHTALI
Achraf LACHKAR**

Encadré par:

**BEN ABDELHADI Mohammed, Professeur à la FST-Fès
EL MOUSTAKKIM Hafid, Chef du bureau d'Inventaire, Cartographie et
SIG au SEAP- Fès**

Soutenu Le 10 Juin 2016, devant le jury composé de:

**Pr. BEN ABDELHADI Mohammed
Pr. LAHRACH Abderrahim
Pr. CHAOUNI Abdel-Ali**

Stage effectué à : SEAP, Fès





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Chaima FECHTALI
Achraf LACHKAR

Année Universitaire : 2015/2016

Titre : Apport de la Télédétection et du Système d'Information Géographique à l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique du sous bassin Tindite

Résumé

Le sous bassin versant de Tindite est une unité hydrologique du grand bassin hydrologique de la Moulouya, situé géographiquement dans la zone 1 du Maroc (Nord Maroc Marchiche). Il est caractérisé par un climat aride à semi aride remarqué par des faibles précipitations annuelles et des orages d'été, la végétation présente dans la région sont les romarins et steppes d'alfa, le quart du terrain est presque vide. Grâce à l'outil SIG nous avons établis les cartes thématiques de pente, réseau hydrographique, d'érodibilité, lithologique, hypsométrique, d'exposition, végétation et d'occupation du sol. Les résultats montrent que la topographie du milieu est représentée par de faibles pentes (77%) et un réseau hydrographique très dense. Le sous bassin représente une forme de cuvette à cause de la symétrie de ces deux versants avec des altitudes allant de 800m à 3133m. La plus part des roches sont moyennement résistantes (65,09%) et 66,82% des roches sont moyennement friables. La superposition des cartes thématiques a abouti à la création de la carte d'érosion à l'aide du SIG et montre la sensibilité du sous-bassin de Tindite à l'érosion ce qui nous a permis de mettre en évidence que 68,28 % de la superficie totale du sous-bassin est affectée par l'érosion forte et moyenne (respectivement 50,6% et 17,68%). Tout le bassin est prioritaire mais nous avons établi une hiérarchie de la priorité des microbassins : les microbassins 4 et 6 représentent les zones qui ont besoin d'intervention rapide et immédiate suivi des microbassins 1 et 5. Pour lutter contre l'érosion nous proposons un reboisement essentiellement par la reconstitution des forêts naturelles, l'aménagement pastoral, les corrections mécaniques et biologiques des ravins sans oublier la prévention et la lutte contre les incendies des forêts.

Mots clés : érosion, SIG, sous bassin Tindite



Remerciement

Au terme de ce travail, nous saisissons cette occasion pour exprimer nos vifs remerciements à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Nous souhaitons tout d'abord remercier nos encadrant le professeur BENABDELHADI Mohammed, qui nous ont encadrés avec patience durant la réalisation de ce travail de fin d'études. Ses conseils nous ont été bien utiles, notamment pour la rédaction de ce mémoire. Nous vous remercier vivement d'avoir accepté d'évaluer notre mémoire. Votre participation à nos jury de soutenance a été un grand honneur pour nous et en fin nous souhaitons remercier notre encadrant métier au sein de service d'études, d'aménagement et de planification de l'administration des eaux et Forêts et lutte contre la désertification M. EL MOUSTAKIM Hafid pour l'attention et l'aide qu'il nous apporté au quotidien pendant notre stage

Nous adressons aussi nos remerciements à Monsieur MOUKHTARI Kamal le chef du service des études d'aménagement et de la planification(SEAP) pour toutes les facilités qu'il a nous accordées tout au long de ce stage.

Listes des figures :

Figure 1 : Organigramme de la direction (SEAP)	4
Figure 2: Carte de localisation du sous bassin Tindite dans le bassin de Moulouya.....	9
Figure 3: Carte administrative (SEAP, modifiée)	10
Figure 4: Carte d'occupation du sol.....	11
Figure 5: Carte de végétation	12
Figure 6 : la répartition de la végétation dans le sous bassin	13
Figure 7: Carte des pentes du sous bassin Tindite.....	14
Figure 8: Répartition des pentes	14
Figure 9: Carte hypsométrique du sous bassin de Tindite.....	15
Figure 10 : Diagramme de la répartition des altitudes dans le sous bassin Tindite	16
Figure 11: Carte d'exposition du sous bassin de Tindite.....	17
Figure 12 : Diagramme de la répartition de l'exposition dans le sous bassin Tindite	17
Figure 13: Carte du réseau hydrographique du sous bassin Tindite.....	18
Figure 14 : Diagramme de répartition des ordres de sous bassin Tindite.....	19
Figure 15: Carte géologique à partir de la carte du Maroc 1/1000000.....	19
Figure 16 : Diagramme de répartition des affleurements stratigraphiques dans le sous-bassin Tindite	20
Figure 17: Carte de lithologie du sous bassin Tindite	21
Figure 18 : Diagramme de la répartition de la lithologie du sous bassin Tindite	21
Figure 19: Carte des isohyètes du sous bassin Tindite	24
Figure 20 : Diagramme des données de la carte d'isohyète	24
Figure 21: Carte d'érodibilité de Tindite	25
Figure 22 Diagramme de la friabilité des roches du sous bassin	26
Figure 23: Carte d'érosion du sous bassin Tindite.....	27
Figure 24 : Diagramme représentatif de l'état érosif du sous bassin Tindite	27
Figure 25 : Carte des microbassins prioritaires	31

Liste des tableaux :

Tableau 1: Coordonnées des stations et leurs précipitations annuelles de 1987 à 2007.....	22
Tableau 2 : La répartition de la végétation	35
Tableau 3: La répartition des terrains	35
Tableau 4: La répartition des altitudes.....	35
Tableau 5 : La répartition des pentes.....	35
Tableau 7: La répartition des orientations	35
Tableau 6:La répartition des ordres	36
Tableau 8 : La répartition des âges.....	36
Tableau 9 : La répartition de la friabilité	36
Tableau 11 : La répartition des classes.....	36
Tableau 10 : La répartition de la précipitation	36
Tableau 12 : La répartition de l'érosion	36

Introduction	1
Chapitre 1 : Présentation du service SEAP	2
I. Présentation de la DREFLCD	3
II. Organigramme de la direction.....	4
III. Facteurs socio-économiques.....	4
IV. Méthodologie	5
V. Présentation des outils de travail.....	5
Chapitre 2 : Etude des caractéristiques de la région de Tindite	8
I. Situation géographique	9
II. Situation administrative	9
III. Élaboration des cartes thématiques	10
1. Occupation des sols	10
2. Végétation	11
3. Pente	13
4. Hypsométrie	15
5. Exposition	16
6. Réseau hydrographique	18
7. Géologie	19
8. Lithologie	20
IV. Climatologie	22
1. Facteurs climatiques	22
2. Les précipitations	22
3. La température	23
4. Isohyète	24
V. Superposition des cartes thématique via SIG (Arc-Gis)	25
1. Erodibilité	25
2. L'érosion	26
Chapitre III : Aménagements proposés.....	29
Conclusion	33



Introduction

Le sous bassin de Tindite étudié fait partie du grand bassin de la Moulouya situé dans le domaine oriental du Maroc qui est très connu par l'intense phénomène d'érosions. Dans ces conditions les terroirs agricoles des douars apparaissent vulnérables. Notre étude est consacrée à l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique dans le sous bassin de Tindite et à la localisation des zones sous-mises à cette érosion. Ceci va nous permettre de mettre en évidence les zones prioritaires pour proposer des actions de lutte contre l'érosion.

Dans ces dernières années la télédétection et les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) sont devenues très utilisés pour le traitement, la gestion et la manipulation des données géographiques qui sert à la prévention ainsi qu'à la prise de décision. C'est pour cela et pour mener à bien ce travail nous allons utiliser l'outil SIG pour créer des cartes thématiques afin de déterminer l'état érosif de cette région. Pour cela nous allons superposer les cartes descriptives, d'occupation des sols, de végétation, de pente, du réseau hydrographique, et de lithologie. Nous traiterons également des cartes géologiques, d'érodibilité, d'hypsométrie, et des précipitations pour pouvoir aboutir à la création de la carte finale d'érosion.



Chapitre 1 : Présentation du service SEAP



Dans Le cadre de l'enseignement supérieur et la poursuite d'études dans la licence Sciences et Technique « Géo-ressources et Environnement » à la Faculté des Sciences et Technique Fès, le choix de notre stage a été un élément important pour l'intégration dans la vie active ; pour avoir la possibilité de découvrir le secteur de travail et d'approfondir nos connaissances. Nous avons voulu un stage résolument orienté géomatique afin de nous rapprocher de l'utilisation des logiciels dans un secteur professionnel, en termes d'appui et de soutien dans l'expertise SIG et cartographie.

Dans ce cadre, nous avons effectué ce stage au sein du service d'études, d'aménagements et de planification qui dépend de la direction régionale des eaux et de forêts et de la lutte contre la désertification qui nous a permis de réaliser des missions diversifiées , à forte responsabilité et extrêmement riches en apprentissage.

L'objectif de cette étude est l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique dans le sous bassin Tindite, le contrôle de l'érosion, la réduction du risque d'inondation, et la mise en place les actions de préservation par l'implantation des ouvrages antiérosifs, la restauration des écosystèmes forestiers par des actions biologiques : travaux de régénération, de la consolidation et de reboisement. Des plantations et la reconstitution des ressources naturelles.

I. Présentation de la DREFLCD

Mise en service de la Direction

La Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la désertification Fès-Boulomane a été créée selon l'arrêté ministériel n° 553.00 le 14 Avril 2000, paru au bulletin officiel n° 4806 en date du 19 Rabina premier (22juin 2000).Cependant, cette Direction a commencé à fonctionner depuis le 1er 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.

II. Organigramme de la direction



Figure 1 : Organigramme de la direction (SEAP)

III. Facteurs socio-économiques

L'étude socio-économique est essentielle pour connaître et analyser les facteurs qui agissent, d'une manière ou d'une autre, sur la dégradation des ressources naturelles. La synthèse des résultats est tirée de l'analyse des données de l'enquête socio-économique portant sur un effectif total de 29460 habitants. Ce nombre concerne 26 douars qui se trouvent dans la commune rurale de Fritissa (SEAP, 2014). La zone d'analyse s'étant sur une superficie de 168580,74 Ha, se trouve dans la province de Boulemane.

L'économie de la zone est basée sur l'agriculture, l'arboriculture et l'élevage représentant ainsi les filières les plus significatifs de la région. L'agriculture constitue l'activité économique principale de la zone, sur le total de la surface agricole le Bour représente 41,78% et la surfaces irriguée représente juste 6,46%.

L'importance et la distribution de la population rurale totale en nombre d'habitants qu'en nombre de foyers sont variables d'un Douar à l'autre ; cependant, le taux d'accroissement de cette population est en augmentation faible (24279 à 2004) à cause notamment de l'exode rurale accentuée. La densité de la population varie selon les provinces ; les communes rurales qui présentent les densités les plus élevées sont situées à Boulemane.



IV. Méthodologie

- ✓ Etude du milieu physique en vue de dégager les contraintes et les potentialités naturelles du sous bassin de Tindite.
- ✓ Aperçu socio-économique afin de dégager les contraintes sociales, économique et cultural de la population.
- ✓ Evaluations qualitative de l'érosion.
- ✓ Identifications des micro-bassins prioritaires d'interventions.
- ✓ Aménagement et recommandation proposés.

V. Présentation des outils de travail

Pour réaliser notre travail, nous avons eu recours à deux logiciels SIG :

- Arc Gis 10.0 licence authentique disponible au SEAP.
- Q Gis 1.8.0 logiciel libre.

Les outils de l'**Arc Gis** on a :

- + Cartographie et visualisation : Produire des cartes de haute qualité, sans les tracas associés à des logiciels de conception complexe.
- + Gestion des données : Grace à la prise en charge de plus de 70 formats de données, on peut intégrer une grande variété de types de données pour les afficher et les analyser. Les différents outils de création et d'organisation nous permettent de parcourir et trouver de l'information géographique, créer et gérer des bases de données géographiques, mettre à jour et gérer les métadonnées.
- + Analyse spatiale : Des certaines d'outils pour réaliser de l'analyse spatiales sont inclus dans l'Arc Gis .Ces outils nous permettent de transformer les données en informations pertinentes et d'automatiser la plupart des tâches SIG.
- + Edition avancée : Manipuler des données avec un nombre minimum de clics et automatiser les processus de création avec des outils d'édition puissants. Les outils avancés d'édition simplifient la conception et la modification des données. La prise en charge de l'édition multiutilisateur permet à plusieurs collaborateurs de modifier la géodatabase en même temps, ce qui facilite le partage des données entre les services, les organisations ou les agents de terrain.
- + Géocodage : Il y a une large gamme d'applications pour lesquelles le géocodage peut être utilisé. Avec des adresses géocodées, nous pouvons spatialement afficher leurs



emplacements et ainsi découvrir des tendances dans nos données. Cela peut être fait simplement en visualisant les informations ou en utilisant certains des outils d'analyse d'Arc GIS.

- + L'imagerie avancée : Il y a beaucoup de façons de travailler avec des données raster dans Arc GIS. Nous pouvons les utiliser comme fond de carte pour y superposer d'autres couches de données, modifier différentes propriétés d'un jeu de données raster, ou l'utiliser dans le cadre d'analyses.
- + Personnalisation : Nous pouvons facilement personnaliser l'interface du logiciel en ajoutant et en supprimant des boutons, des menus ou des barres d'outils au sein d'Arc GIS.

L'érosion hydrique

L'érosion est l'ensemble des phénomènes qui concourent à la destruction des roches superficielles et au transport des produits de dégradation qui en résultent. Pour notre sous-bassin Tindite on va s'intéresser à l'étude de l'érosion hydrique car c'est la seule érosion remarquable au niveau de notre zone d'étude et aussi c'est la seule traitée par le service des études, aménagements et planification auquel nous avons effectué notre stage de fin d'étude.

L'érosion hydrique est définie comme étant le détachement des particules du sol, leur transport et leur dépôt. Cette érosion dynamique, accélérée par l'action anthropique a pris de l'importance au moment où elle est devenue critique pour les ressources naturelles, et constitue une menace pour les infrastructures de bases.

L'érosion hydrique se présente sous 4 formes :

- L'érosion en nappe : elle est caractérisée par une eau de ruissellement sans griffes ou rigoles visibles. Sous l'effet de l'impact des gouttes de pluies (effet splash), les particules sont arrachées et transportées. Ce phénomène est observé sur les pentes faibles, où l'eau ne peut pas se concentrer.
- L'érosion linéaire: elle 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'érosion en masse : elle correspond à tout déplacement de terre selon des formes non définies, comme les mouvements de masse, les coulées de boue et les glissements de terrain.



- L'érosion hydrographique : il s'agit d'une forme d'érosion due à la dissipation de l'énergie de l'eau dans les lits des cours d'eau et les rivières. L'énergie de ces dernières est capable, d'emporter une partie des berges. On appelle ce processus le sapement des berges. Ce type d'érosion est étroitement lié au volume et à la vitesse de l'eau, qui dépend de la pente et du débit.



Chapitre 2 : Etude des caractéristiques de la région de Tindite

I. Situation géographique

Le sous bassin versant de Tindite est une unité hydrologique du grand bassin hydrologique de la Moulouya, situé géographiquement dans la zone 1 du Maroc (nord maroc marchic) entre les longitudes : $3^{\circ}05'30''$ ouest et $3^{\circ}05'56''$
les latitudes : $33^{\circ}55'37''$ ouest et $33^{\circ}28'46''$
ce sous bassin se localise dans la province de Bouloumane à 120 km au nord de la ville de Missour.

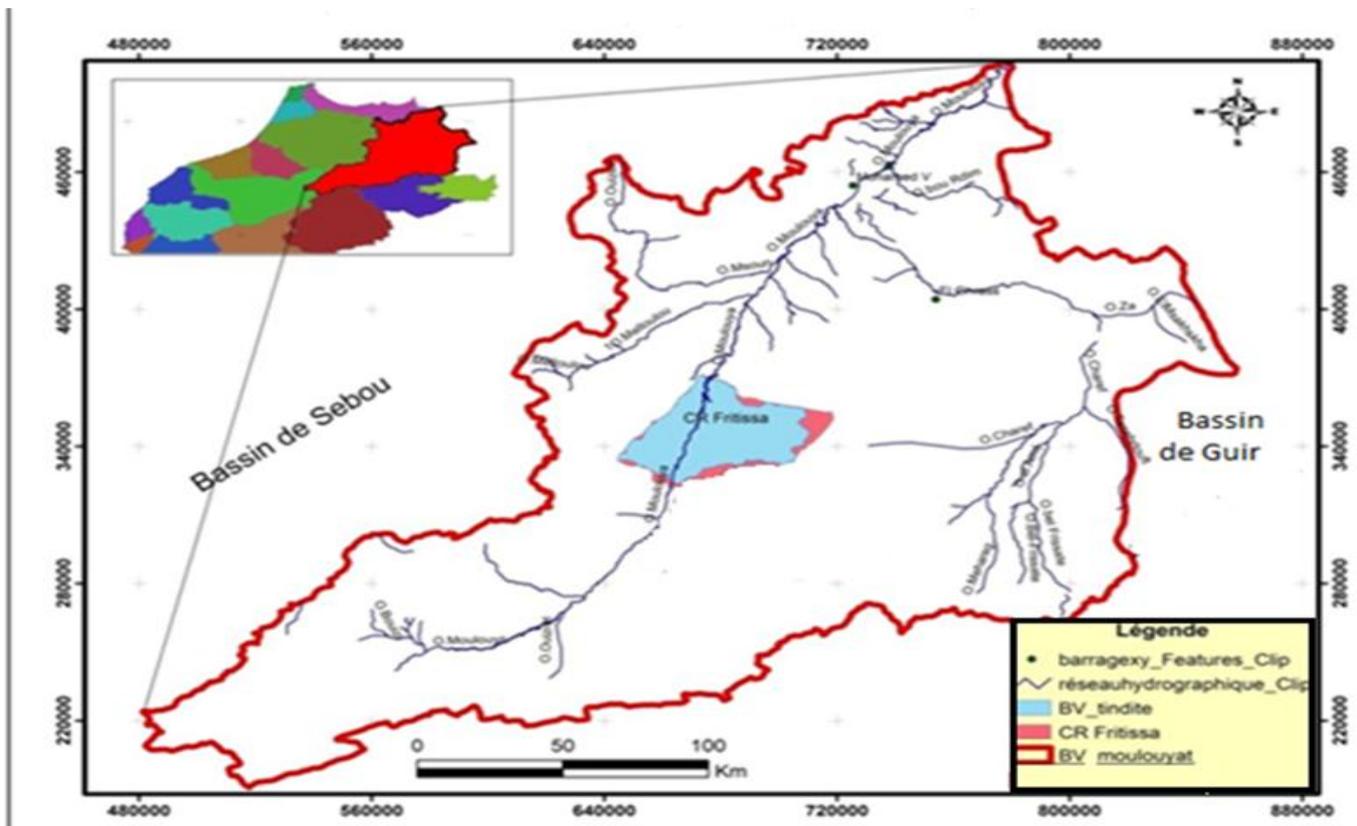


Figure 2: Carte de localisation du sous bassin Tindite dans le bassin de Moulouya

II. Situation administrative

Le sous bassin Tindite s'inscrit dans la structure administrative suivante :

Province de Boulemane dans le cercle d'Outat El Haj exactement au commune rurale de Fritissa

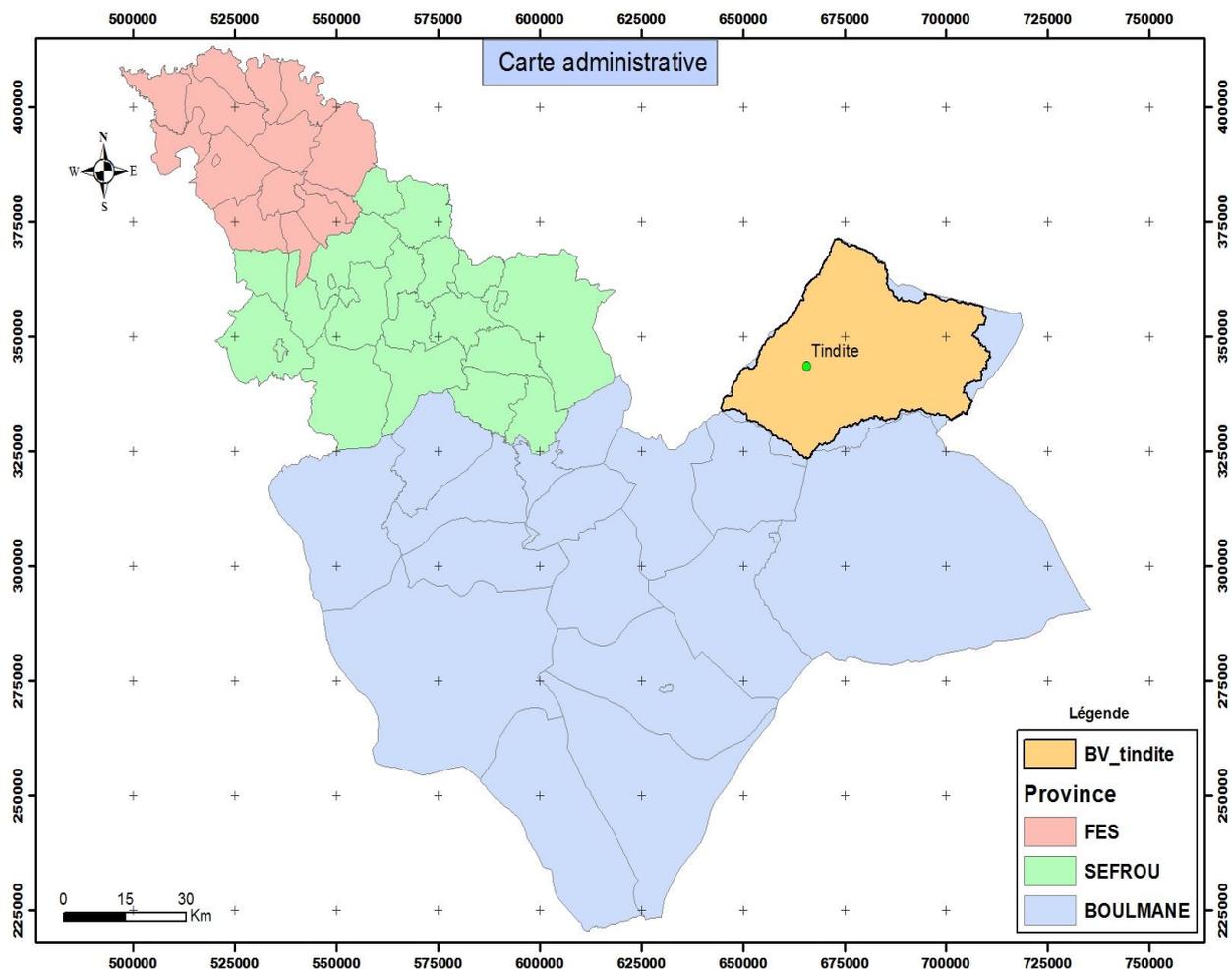


Figure 3: Carte administrative (SEAP, modifiée)

III. Élaboration des cartes thématiques

La production des cartes thématiques nécessite une étude détaillée du milieu physique mettant en relief les caractéristiques écologiques et hydrologiques du bassin-versant; pour explorer et utiliser les données de base relatives à la lithologie pour avoir les types des roches, la topographie pour la mesure des formes du relief, l'hydrologie et l'occupation des sols.

1. Occupation des sols

L'occupation des sols permet de connaître la répartition des terrains de cultures, de parcours, de forêts ainsi que toute forme d'utilisation des sols, afin de mieux cibler les zones susceptibles d'être aménagées. De manière générale, elle distingue plusieurs catégories biophysiques: les zones de végétation, les sols nus et les surfaces dures (roches, surfaces bâties). Dans le cas du traitement d'une image satellitaire, l'occupation des sols pourra être déterminée à partir du signal spectral

correspondant à la nature des sols tandis que la caractérisation de l'utilisation des sols devra faire appel à des informations complémentaires que l'image seule ne peut apporter.

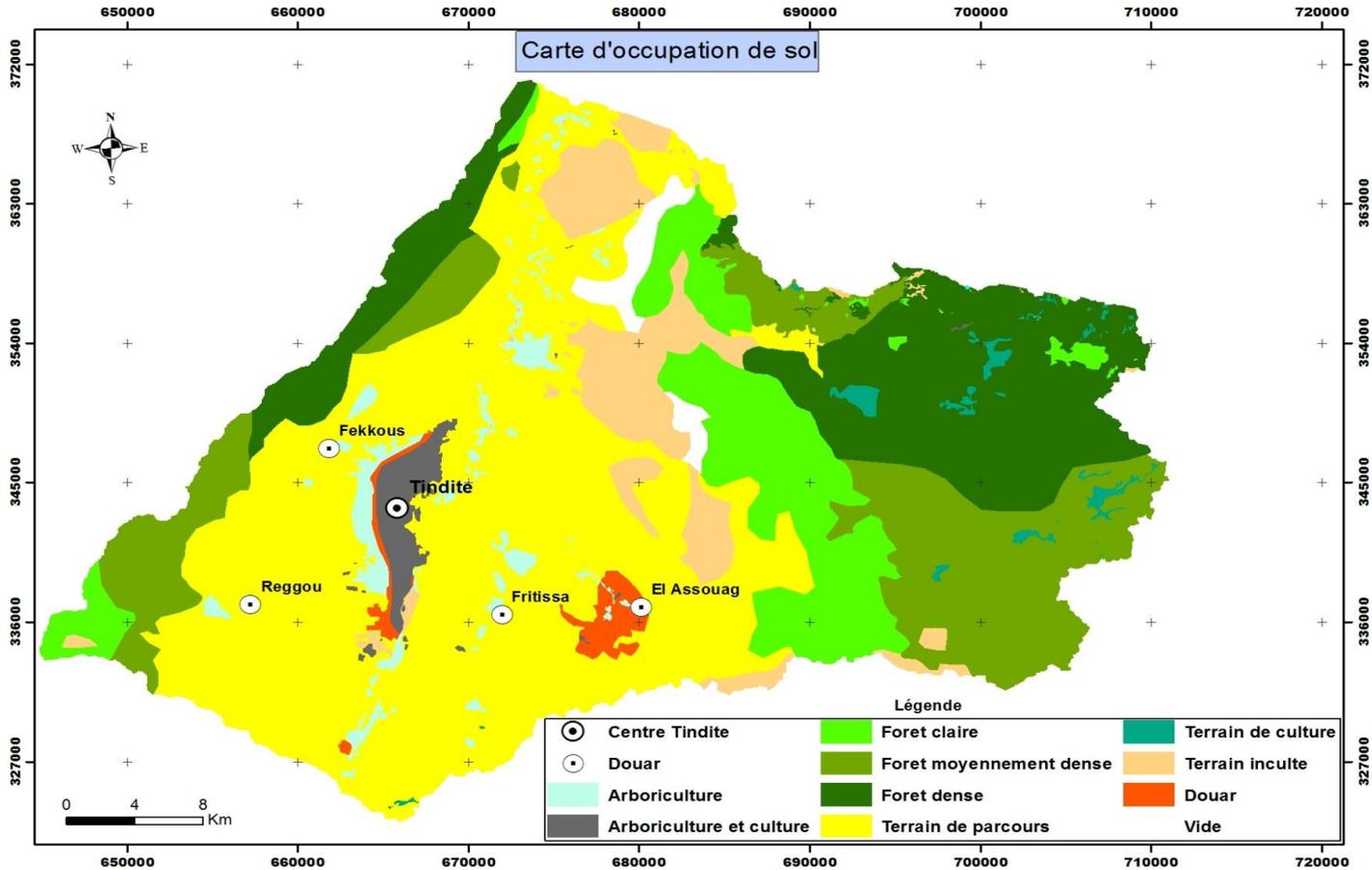
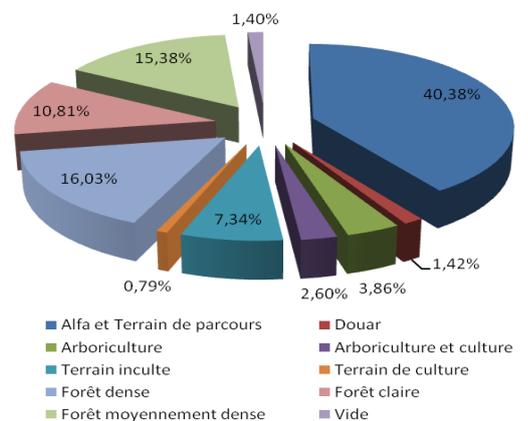


Figure 4: Carte d'occupation du sol

D'après cette carte on constate que la répartition de la forêt dense se concentre surtout dans le nord-est du sous bassin et aussi au nord-nord-ouest, à-propos de la forêt moyennement dense située à la partie nord-est et sud-ouest, pour la forêt claire localisée dans le sud-est et le sud-ouest, finalement on a terrain de parcours occupe une prédominance de la surface et qui se localise à la médiane du sous bassin.





Moulouya comme le périmètre irrigué de Tindite. Les agglomérations sont concentrés au voisinage du périmètre irrigué.

La partie médiane du sous bassin est occupé par des steppes à d'alfa, des terrains non boisés et des terrains de parcours, cette partie est considérée comme un bassin de réception et de sédimentation des eaux de ruissellement et des particules arrachés de l'amont et des crêts du bassin vers l'exutoir.

A l'ouest du sous bassin on a la forêt d'Ahl Reggou qui contient des formations de végétations à base de : chêne vert, de pin d'Alep, de genévrier rouge et de romarin. A l'est du sous bassin on trouve un mélange des espèces forestières comme le romarin et l'alfa leurs densités diminuent du nord-est vers le sud-est.

3. Pente :

La pente joue un rôle déterminant dans l'érosion hydrique, elle favorise le ruissellement et donne l'énergie nécessaire pour l'arrachement et le transport des particules, elle permet la naissance des rigoles, des ravins, le sapement des berges qui entraîne 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 pentes du bassin versant. Cette carte a été générée à partir d'un modèle numérique de terrain MNT téléchargé gratuitement à partir du site www.astergdem.com, le traitement est réalisé sur ArcGis par l'extension spatial analyste tools / slope afin de subdiviser le terrain en polygones de classes différentes (tab. 3). Concernant le calcul des surfaces de chaque classe, nous avons utilisé l'utilitaire de calcul des surfaces après conversion de surface raster vers un fichier de forme polygonale.

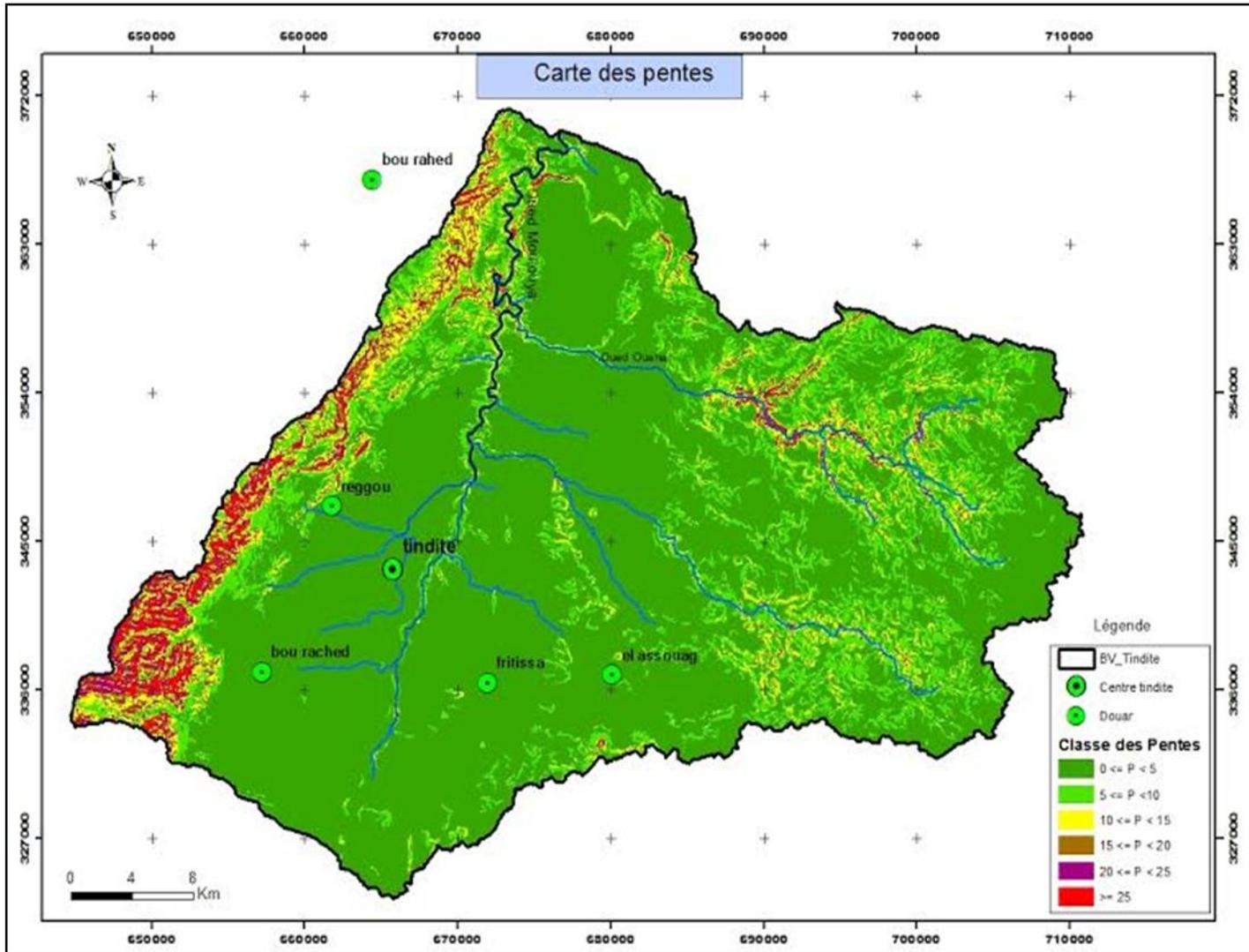


Figure 7: Carte des pentes du sous bassin Tindite

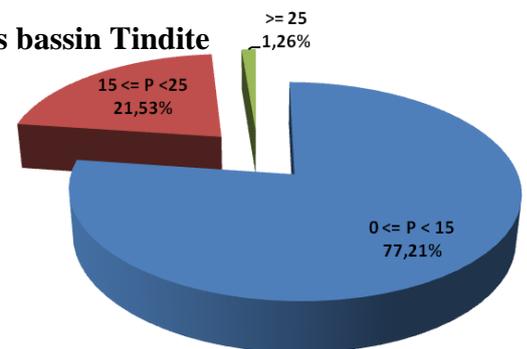


Figure 8: Répartition des pentes

Le bassin versant étudié est caractérisé par une prédominance des pentes faibles ($P < 15$) qui s'étendent sur environ 77% de la superficie globale du bassin (fig. 7, tab. 3), et se sont localisé dans presque tout le sous bassin en particulier dans le milieu et la partie est. Les classes des

pentas moyennes ($15 < P < 25$) qui s'étendent sur environ 21% de la superficie du bassin versant sont concentrées dans la partie ouest du bassin versant et dans l'est de Oued Ouahar.

Les classes à pentas fortes ($p \geq 25$) sont très faiblement représentées (1.26%) et sont localisées à l'ouest du bassin et dans l'est du Oued Ouahar mélangées avec les pentas moyennes et faibles.

Les pentes présentes dans le sous bassin de Tindite sont composées en majorité de pentes faibles donc le sous bassin pourrait être considéré presque comme une plaine se qui rend l'érosion gravitaire moins importante dans tout le sous bassin sauf dans la partie ouest qui caractérisée par la présence des pentes moyennes et fortes se qui la rend vulnérable face à l'érosion gravitaire.

4. Hypsométrie

Cette carte détermine la localisation des tranches altitudinales dans le bassin, elle exprime la dénivelée du bassin, le profil en long et l'écart des altitudes. Elle joue un rôle très important sur la répartition de la végétation dans l'espace. Certaines espèces occupent et exigent les hautes altitude comme le cèdre d'autres préfère les basses altitudes comme les steppes d'alfa.

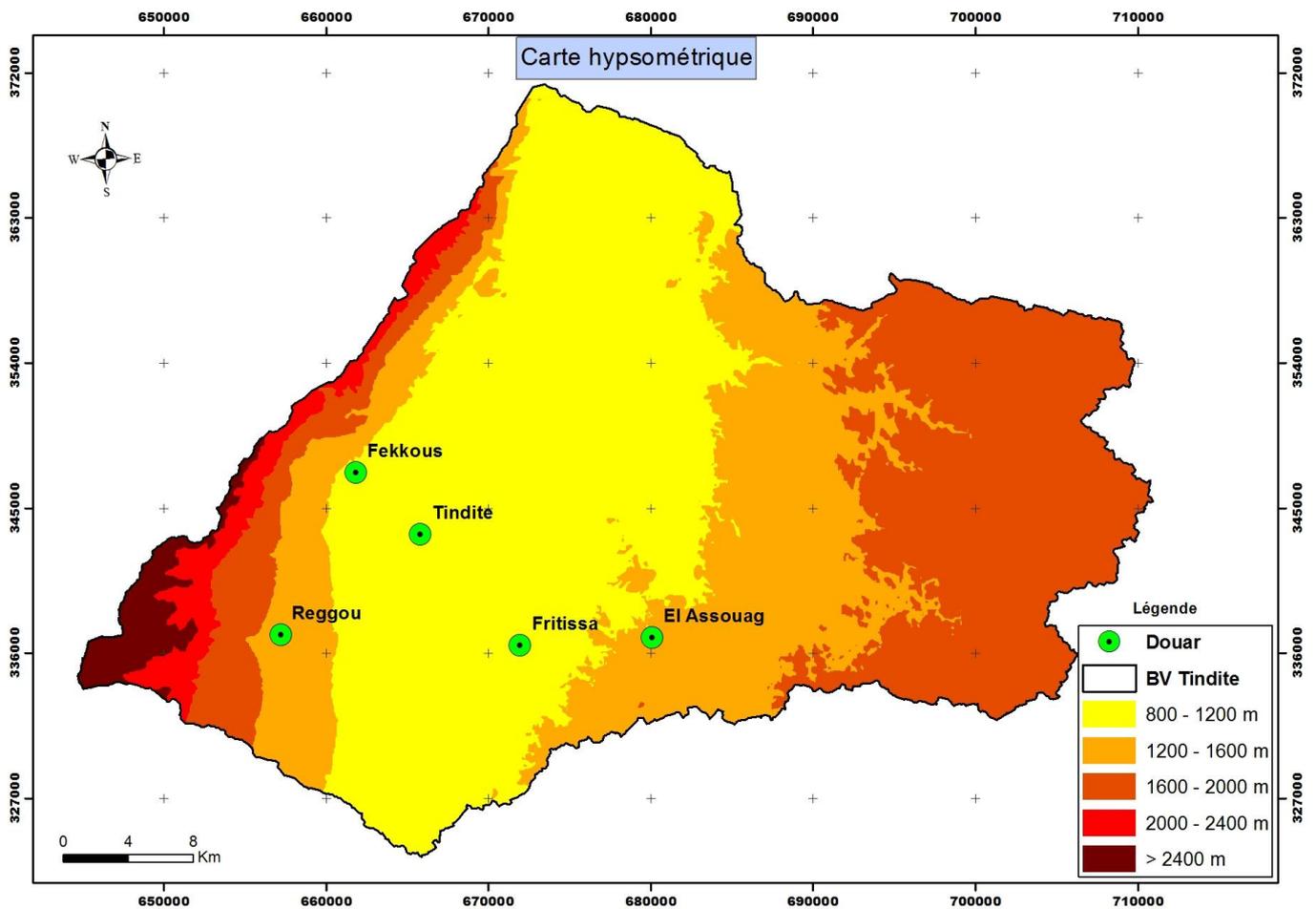


Figure 9: Carte hypsométrique du sous bassin de Tindite

L'étude hypsométrique de la région montre qu'il ya une prédominance des altitudes inférieure à 1200 m qui se localisent à la médiane du sous bassin, mais pour les hautes altitudes supérieures à 2000 m occupent juste 5.11% qui se concentrent à l'ouest du sous bassin. L'étude hypsométrique



de la région d'étude montre que l'altitude maximale est égale à 3133m et que l'altitude minimale est de 800 m.

Après reclassement de la couche hypsométrique générée à partir du modèle numérique du terrain MNT nous avons retenu 6 classes dans l'équidistance est de 400 m .

Le tableau ci-dessous présente les différentes classes avec leur répartition en pourcentage:

Le diagramme montre une dominance des altitudes variant de 800 m à 1200 m qui occupe 43,55% de la surface du sous-bassin de Tindite, localisées à la bordure d'Oued Moulouya suivies par les altitudes allant de 1600 m à 2000m qui occupent la partie Ouest et la partie Est du site

Les altitudes supérieures à 2000 m sont les moins présentes dans le sous-bassin 5,11% localisées dans la partie Ouest.

Avec les pentes fortes et moyennes donc favorisant l'érosion gravitaire, à l'Ouest de Oued Moulouya et ces affluents qui traversent les grandes altitudes de l'Ouest augmentant l'érosion hydraulique, par contre à l'Est du Oued Moulouya les pentes sont faibles à très faibles donc l'érosion sera moins dans cette partie.

5. Exposition

La carte des expositions (fig.11) a été générée à partir du (MNT) couvrant la zone d'étude. Cette carte a été élaborée sur **ArcMap** à l'aide de l'extension spatiale analyste Tools et notamment la fonction aspect à partir d'un DEM.

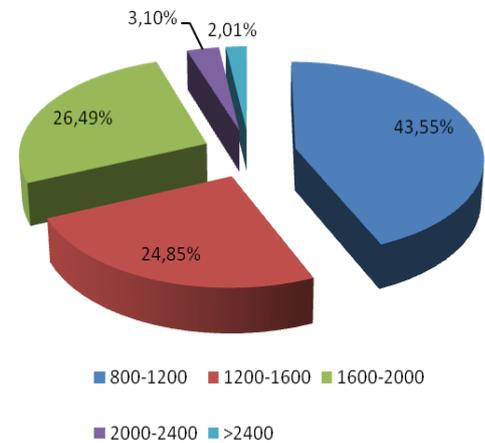


Figure 10 : Diagramme de la répartition des altitudes dans le sous-bassin Tindite

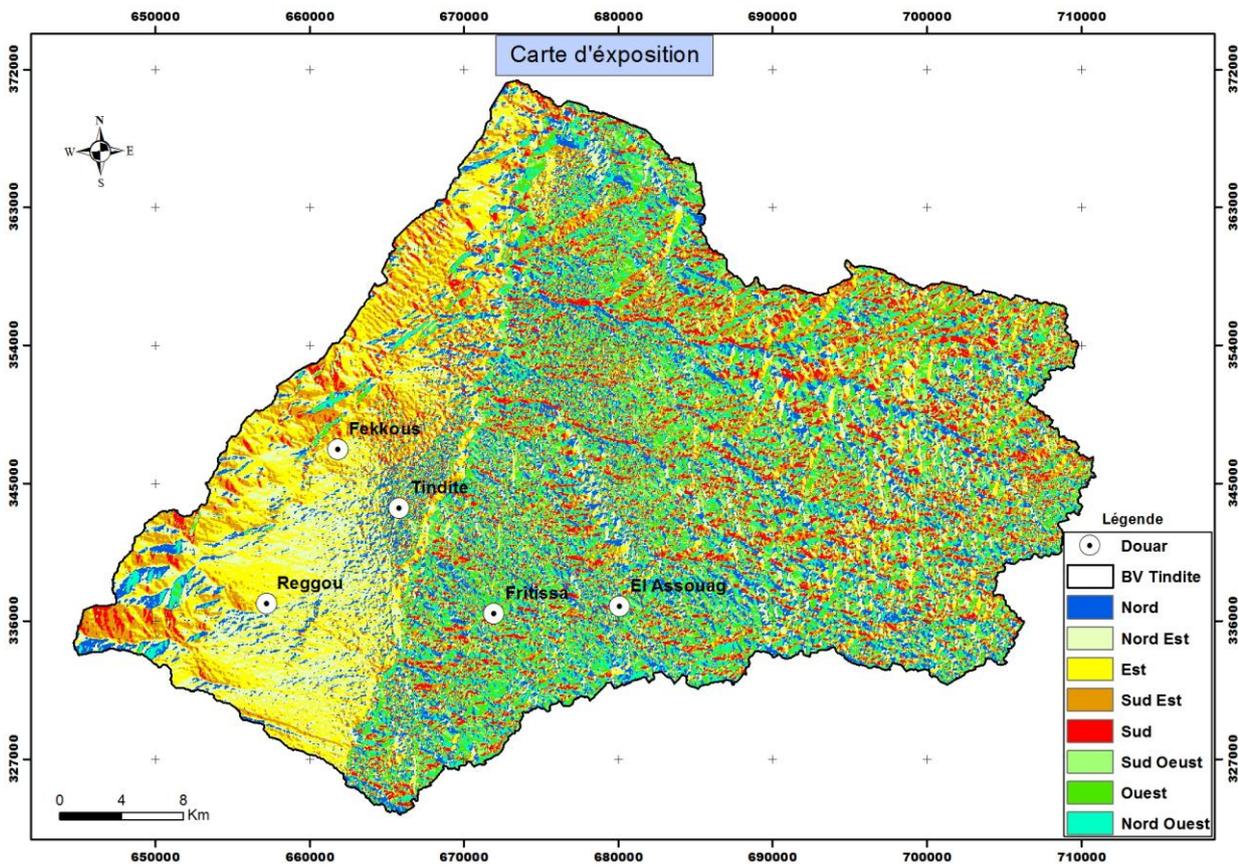


Figure 11: Carte d'exposition du sous bassin de Tindite

Selon les résultats de l'analyse du tableau et du diagramme on remarque que les répartitions des pourcentages des valeurs sont presque égales sur tout le bassin avec des valeurs qui ne dépassent pas les 14,77%. La partie ouest du sous bassin est presque entièrement orientée vers le nord-est et l'est, alors que dans les autres parties du terrain on n'a pas une dominance d'orientation.

L'exposition nord-est et est de la partie ouest du sous bassin représente une menace aux douars qui se situent en approximait de cette partie car toute forme

d'érosion qui l'affectera, va entraîner des dégâts sur les douars. Pour diminuer l'action de l'érosion il faudra rendre le sol plus résistant par la plantation des arbres adaptés au climat, les altitudes et l'exposition de la région comme par exemple le cèdre, chène vert et romarain.

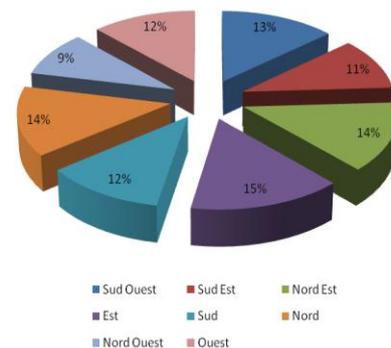


Figure 12 : Diagramme de la répartition de l'exposition dans le sous bassin Tindite

6. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique constitue un important moyen de transport des sédiments issus de l'érosion des paysages ainsi que des eaux de ruissellement vers les exutoires des bassins versants, ce réseau montre aussi le sens de l'écoulement .

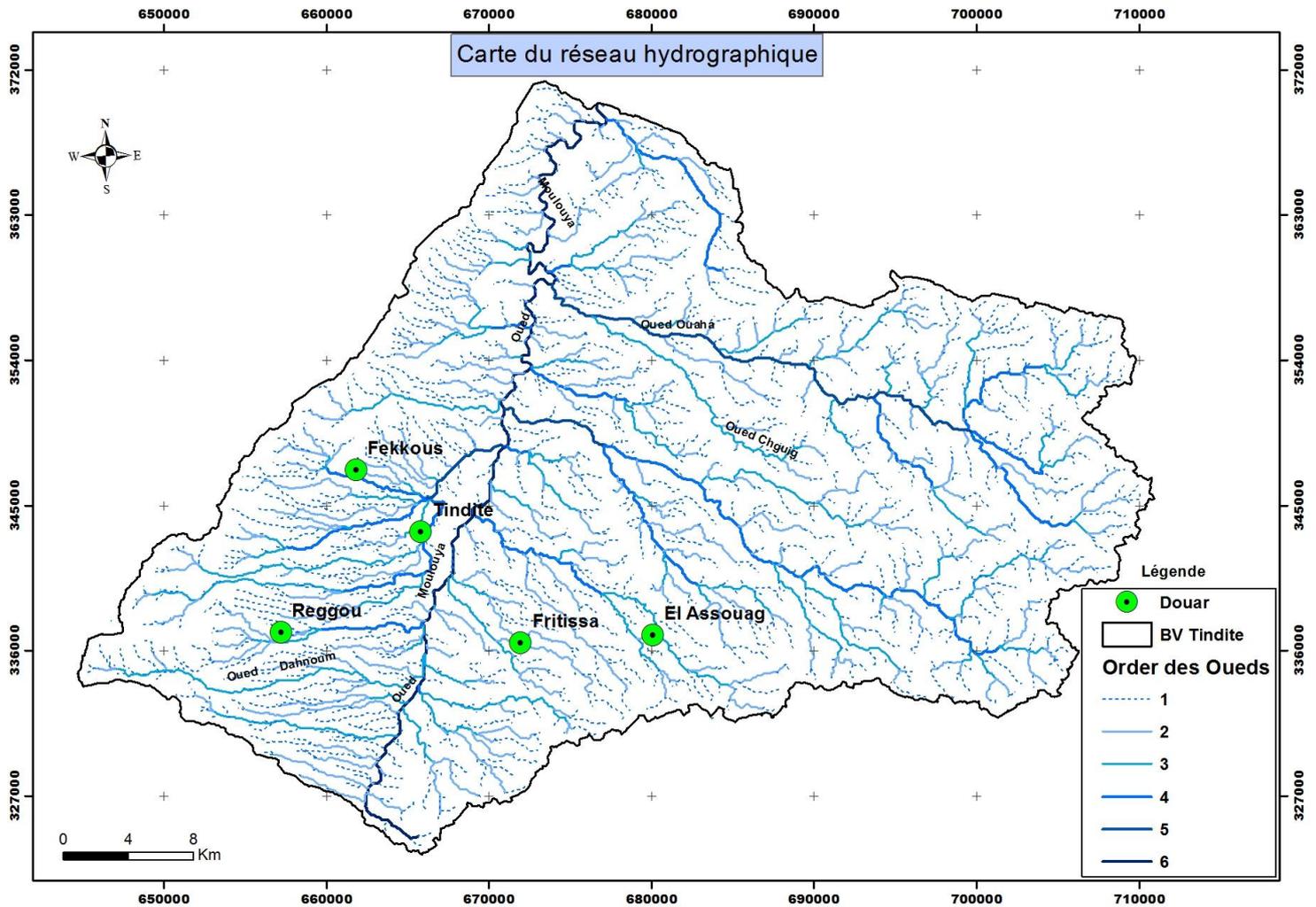


Figure 13: Carte du réseau hydrographique du sous bassin Tindite

Le sous bassin Tindite situé au Maroc oriental, est traversé par une rivière principale le Oued de Moulouya du nord vers le sud il est caractérisé par une longueur de 60.148 Km, et par des affluents de ce dernier comme Oued Chguig , Oued Ouahar , Oued Dahnoum et Oued Ahmet etc.

La carte représente l'ensemble des Oueds permanents et temporaires. La plupart des Oueds d'ordres inférieurs ou égaux à 3 sont temporaires, et donc en réalité le réseau hydrographique est moins développé que dans la carte réalisée à partir de MNT.

Le constat de la partie située à l'ouest du Oued principale montre la présence des terrains non boisés et d'autres occupés par l'alfa. En plus cette partie présente d'une part des classes de pentes moyennes et fortes et d'autre part les plus hautes altitudes de la région ainsi que les expositions nord-est et est. Elle est également traversée par les affluents des Oueds. Tous ces facteurs participent chacun de son côté au développement de l'érosion au niveau de cette partie ce qui la rend plus vulnérable à l'érosion que la partie est.

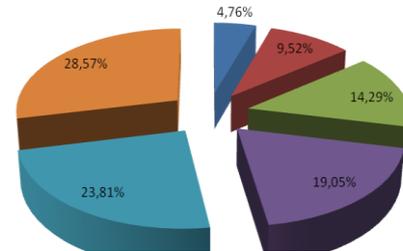
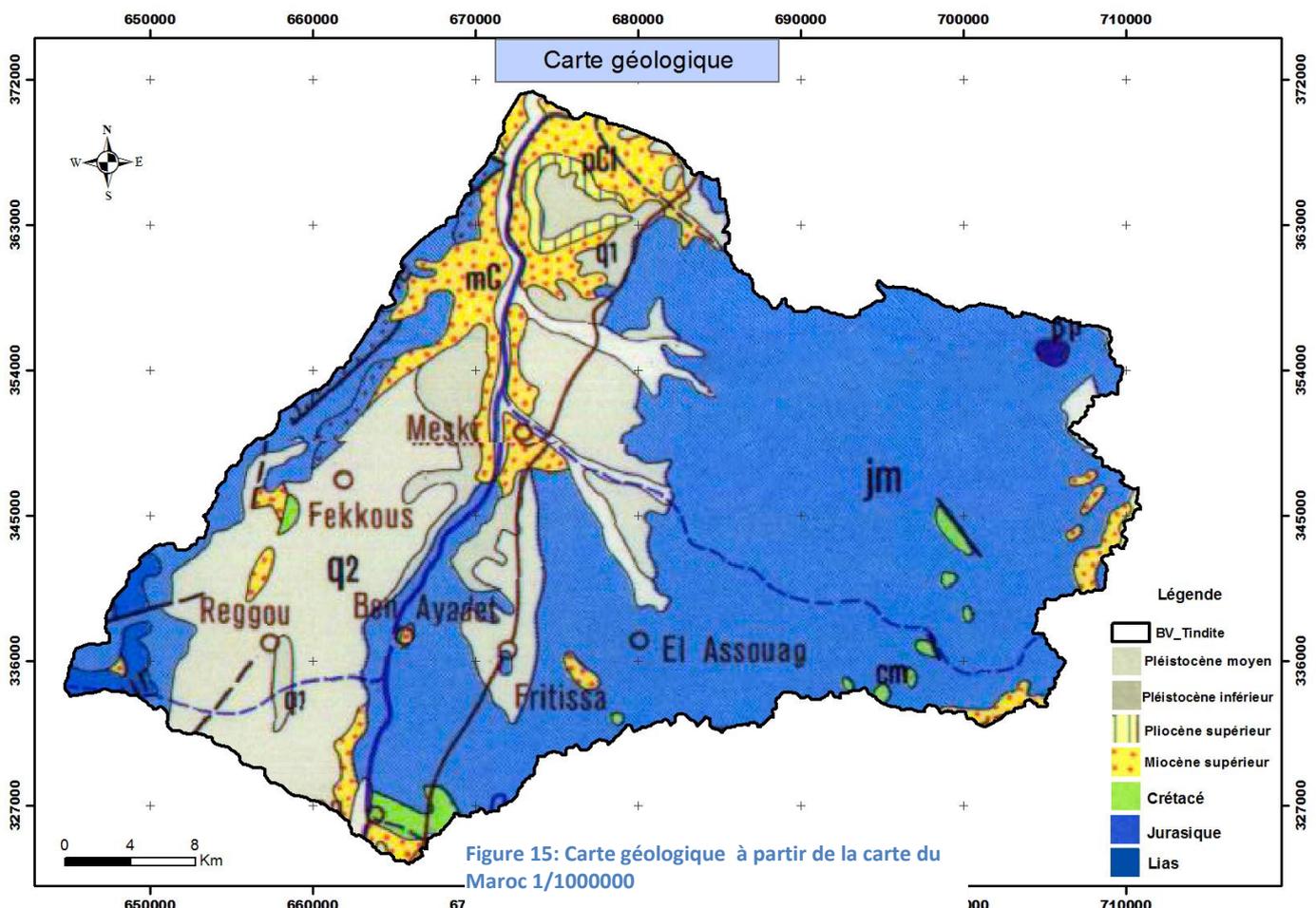


Figure 14 : Diagramme de répartition des ordres de sous bassin Tindite

7. Géologie

La zone d'étude s'étale du Jurassique jusqu'au Quaternaire où les formations jurassiques s'envoient sous un épais recouvrement de Néogène (Choubert, 1952 ; Colo, 1961, Fedan, 1989, Martin, 1981). Le lias n'affleure que dans les anticlinaux sous forme de calcaires dolomitiques (Lias inférieur et Domerien), de calcaires marneux (Lias supérieur) et de marnes de Toarcien. Les calcaires reposent sur des marnes argileuses et la succession de niveaux marneux tendres et de niveaux calcaires durs donne un étagement de pentes. Le Crétacé, formé par une série de marnes et de calcaires, s'étend du Cénomaniens au Danien. Le Tertiaire est représenté par des marnes gypsifères et des conglomérats. (Saadi, 2012)





D'après l'analyse de la carte géologique (fig15 et tab. 8) la zone du Jurassique est la plus dominante, elle occupe 67.87 % de la superficie du sous bassin versant caractérisée par calcaire et marne, suivie par la zone du Pléistocène qui représente 31.93 % et caractérisée par des grès marneux et des calcaires marneux. Le Crétacé et le Néogène formés par des marnes et des calcaires ne sont présent que sous forme de quelques traces (< 1 %).

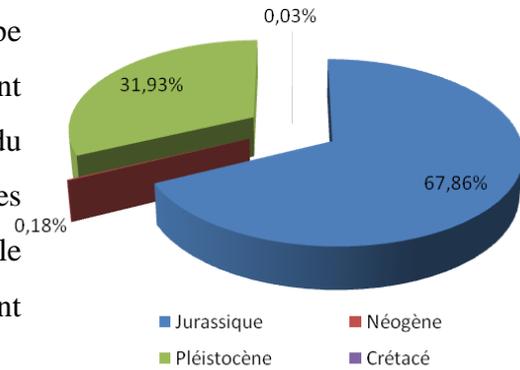


Figure 16 : Diagramme de répartition des affleurements stratigraphiques dans le sous-bassin Tindite

8. Lithologie

La carte de lithologie a été réalisée à partir des données géologiques de la carte géologie du Maroc de 1985 à l'échelle 1/1000000. Elle identifie les différents types de roches en fonction de leur degré de résistance mécanique. Il ya trois types de classes : les tendes, les moyennement résistants et les résistantes.

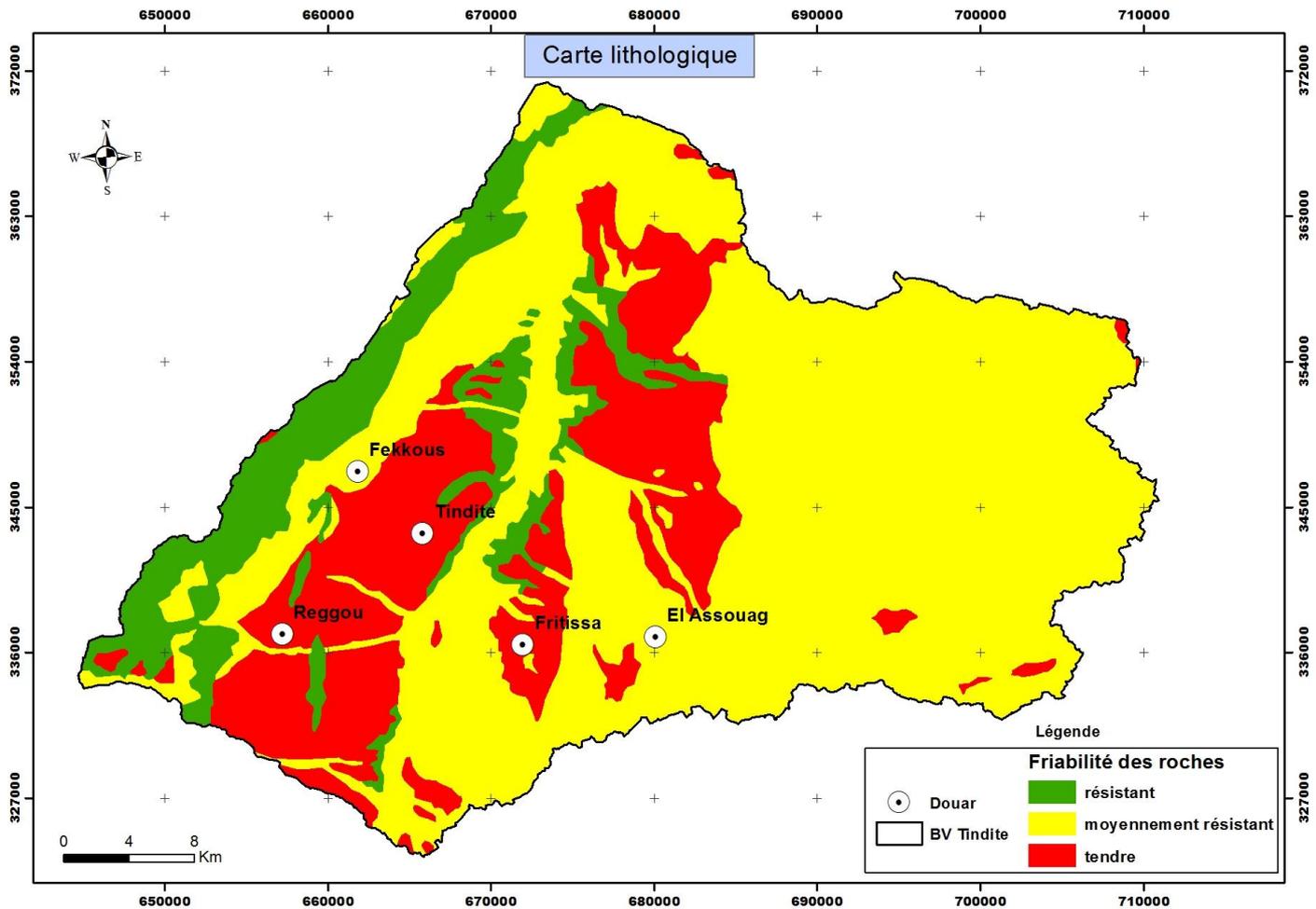


Figure 17: Carte de lithologie du sous bassin Tindite

Les tendres sont les marnes et les formations marneuses : calcaire marneux, grès marneux du quaternaire localisé dans la partie médiane du sous bassin. Les roches moyennement résistantes sont les calcaires lacustres du Pliocène, les calcaires du Bathonienne, les dolomies du Bajocien, les flysch du Crétacé, les dépôts alluviales et les dépôts continentaux du Pliocène. Ces formations sont localisées dans presque tout le sous bassin. Les roches résistantes sont les conglomérats et les cailloutes du Pliocène et les schistes du Bajocien sont localisés dans la forêt d'Ahl Reggou et dans les bordures de l'Oued Moulouya

D'après le diagramme des superficies et le tableau, les roches résistantes se répartissent vers l'Ouest et un peu vers l'Est avec la dominance des roches moyennement résistantes avec une superficie de 101984, 75 Ha que nous retrouvons presque dans la médiane du sous bassin

les roches tendres se retrouvent uniquement dans la partie nord-ouest et quasi-absentes dans le sud du sous bassin.

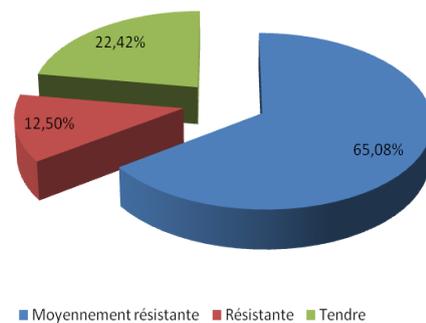


Figure 18 : Diagramme de la répartition de la lithologie du sous bassin Tindite



IV. Climatologie

1. Facteurs climatiques

Pour caractériser l'ambiance climatique dans laquelle se trouve la zone étudiée, l'analyse climatique a porté sur les données des stations de référence retenues pour leur situation par rapport à la zone d'étude et jugées caractéristiques de celle-ci. Les stations retenues sont celles qui sont environnantes de la zone d'étude (Immouzer Marmoucha, Missouri, Outat El Haj et Tendite). Les séries de précipitations relèvent de la période allant de 1987 à l'année 2007 pour toutes les stations. Cependant, l'étude climatique dans cette zone est incomplète car la majorité des stations est dépourvue de relevés relatifs à la température et à l'hygrométrie atmosphérique. Les seules données disponibles se limitent aux relevés pluviométriques.

Tableau 1: Coordonnées des stations et leurs précipitations annuelles de 1987 à 2007.

Station	X (km)	Y (km)	Précipitation (mm)	z (m)
Tindite	667788	341680	107	625
Outat El Haj	657975,372	306407,975	240	747
Immouzer Marmoucha	602475	319663	460	1620
Missour	632000	273000	149,6	875

On trouve quelque station qui sont près de notre sous bassin mais on n'a pas des données sur eux.

2. Les précipitations

La pluviométrie est un facteur qui permet de caractériser un climat, non seulement par la quantité annuelle d'eau recueillie, mais également par le nombre de jours de pluie (pluviosité) et par leur répartition dans l'année (régime pluviométrique). Son influence est fortement corrélée au bilan hydrique du sol et au comportement des végétaux.

❖ Quotient pluviométrique et diagramme d'Emberger :

Le quotient pluviométrique ou indice climatique d'Emberger sert à définir les cinq différents types du climat méditerranéen, depuis le plus aride jusqu'à celui de haute montagne

$$Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$



Où : **P** : précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maxima de températures du mois le plus chaud en °K

m : moyenne des minima de températures du mois le plus froid en °K

Calcul du quotient du diagramme d'Emberger :

- Pour la station d'Immouzer Marmoucha :

$$Q = (2000 * 460) / ((273.15 + 30.9)^2 - (273.15 - 0.7)^2) = 52.71$$

- Station de Missouri :

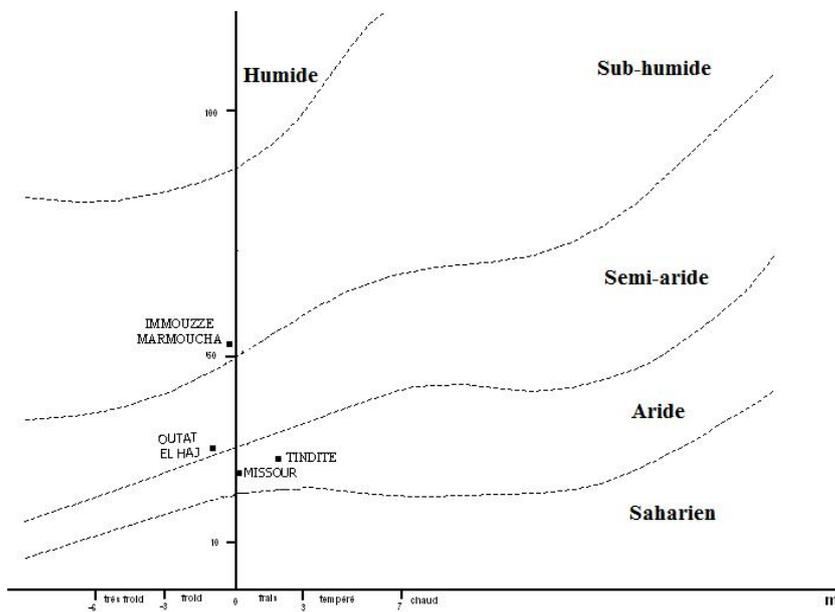
$$Q = (2000 * 149.6) / ((273.15 + 37)^2 - (273.15 + 0.1)^2) = 13.89$$

- Station d'Outat El Haj :

$$Q = (2000 * 240) / ((273.15 + 32.2)^2 - (273.15 - 1)^2) = 25.3$$

- Station de Tindite

$$Q = (2000 * 107) / ((273.15 + 26.2)^2 - (273.15 + 2.2)^2) = 15,51$$



3. La température

Les facteurs thermiques, combinés avec les précipitations jouent un rôle important dans la croissance des plantes. Il s'avère donc indispensable de considérer les différents extrêmes (max. et min.) qui conditionnent les seuils de développement de la végétation.

4. Isohyète

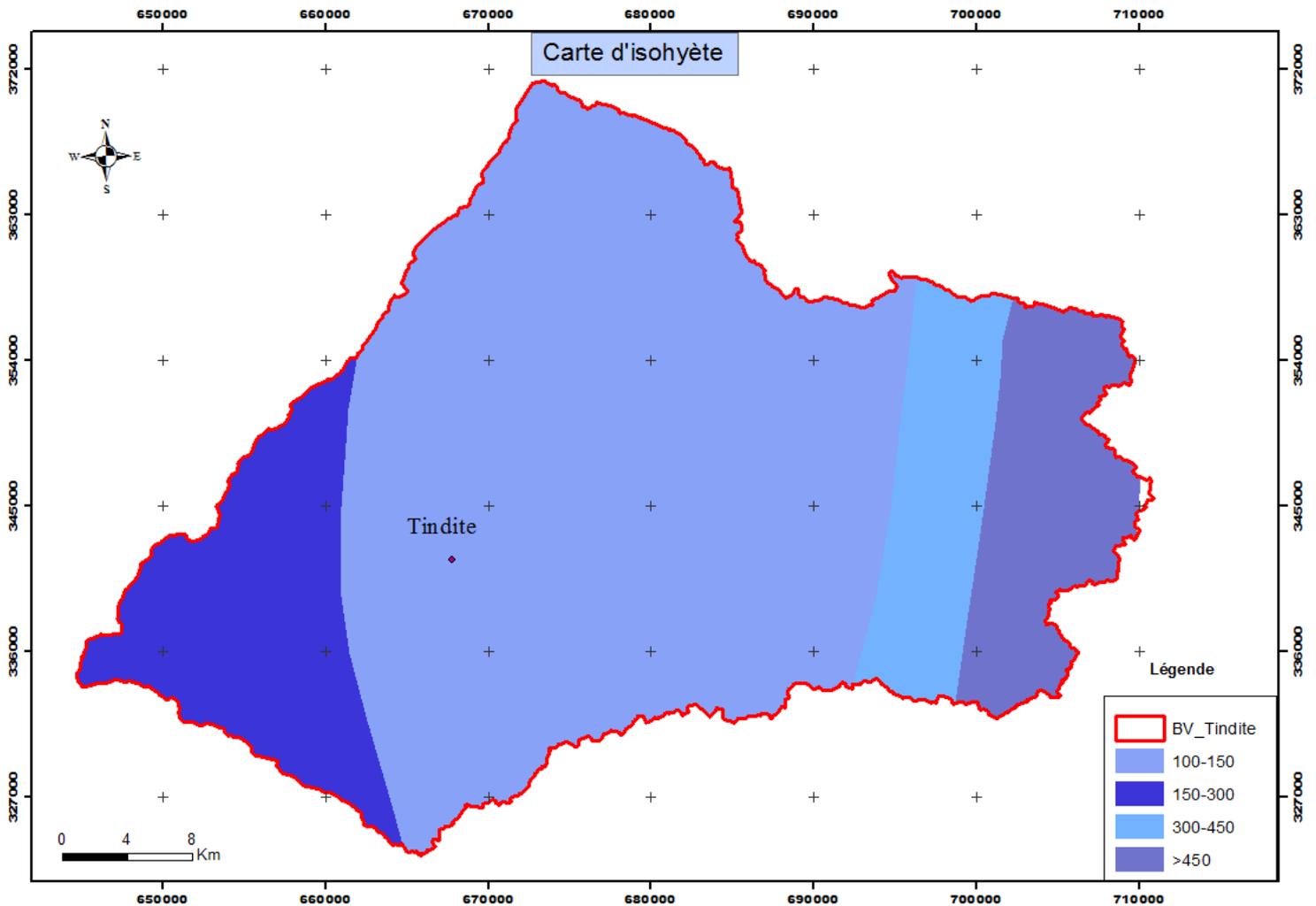


Figure 19: Carte des isohyètes du sous bassin Tindite

D'après la carte des isohyètes (fig19), nous constatons que la région du sous-bassin Tindite se caractérise par des faibles précipitations au niveau du centre du sous bassin, au niveau de la station de Tindite qui est la zone de basse altitude.

Le bassin versant est caractérisé par une dominance de la tranche pluviométrique (100-150mm) sur environ 65.81% de la superficie du sous bassin et se localise au centre du sous bassin Tindite ensuite on a la tranche pluviométrique (150 - 300mm) qui se situe au sud-ouest du sous bassin et finalement pour la tranche pluviométrique (>450mm) qui occupe juste 6.97% située au sud-est

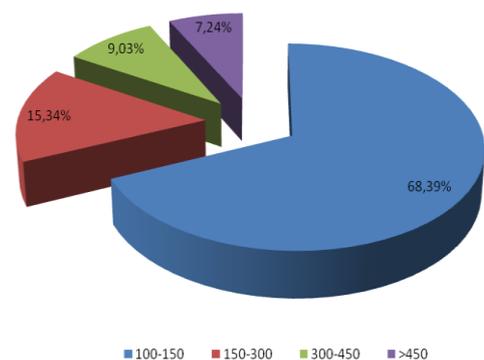


Figure 20 : Diagramme des données de la carte d'isohyète

Le pouvoir érosif dépend de l'intensité de la pluie. Plus l'intensité est forte, plus le risque érosif est élevé.

V. Superposition des cartes thématique via SIG (Arc-Gis)

La carte d'érosion est la résultante issue de la superposition des cartes de pente, lithologiques, occupation des sols. Le principe de cette superposition est basé sur l'attribution des codes ou indices pour chaque strate selon son degré de contribution à l'érosion, cette opération est réalisée en deux étapes : La superposition de la carte des pentes et la carte lithologique aboutit à la carte d'érodibilité alors que la carte d'érosion est le résultat de la superposition de la carte d'érodibilité et la carte d'occupation des sols.

1. Erodibilité

La carte d'érodibilité signifie la sensibilité du sol face à l'érosion en fonction de sa composition et sa structure. Cette carte a été réalisée à partir de la superposition de la carte des pentes (fig7) et la carte de lithologie (fig17).

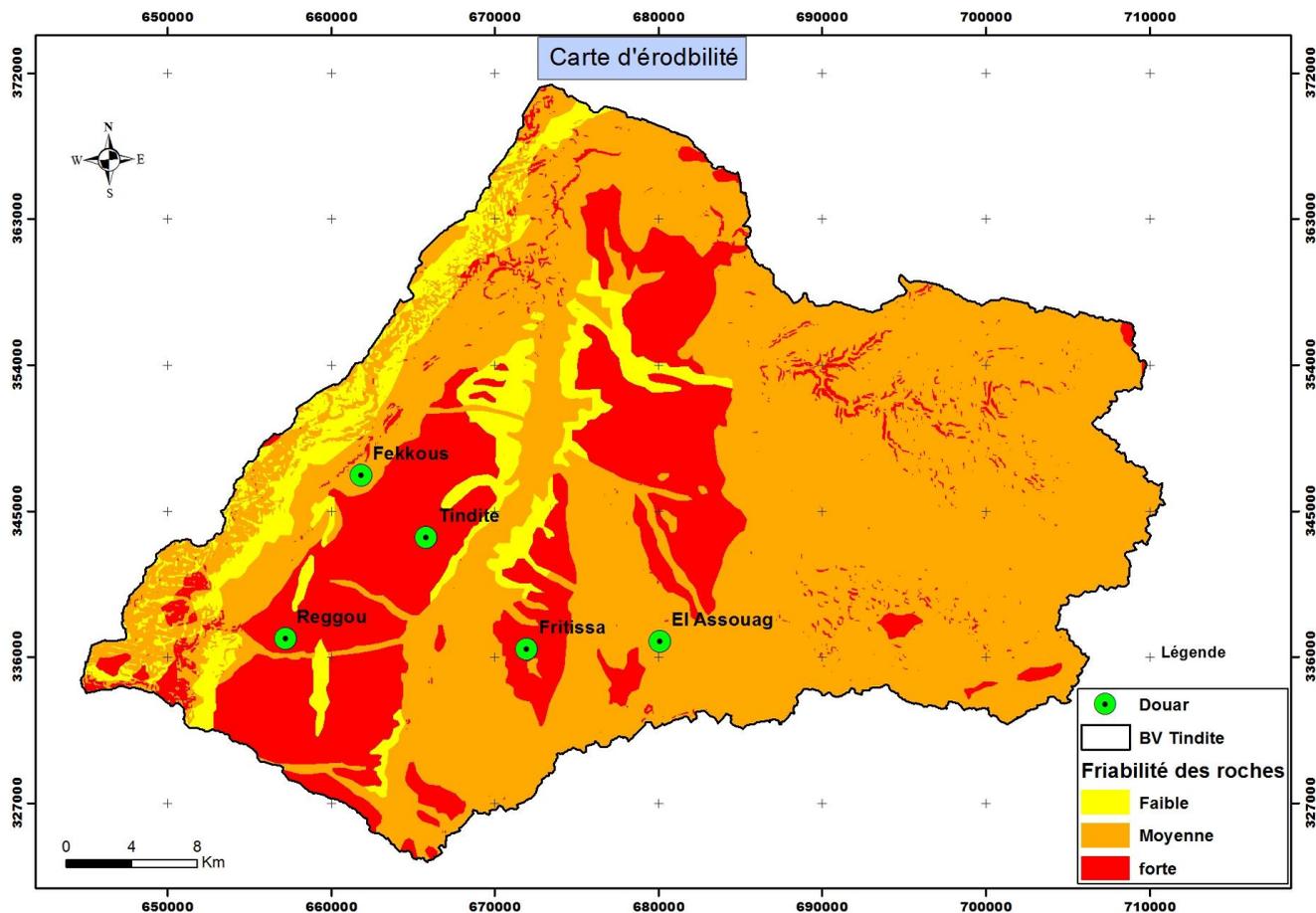


Figure 21: Carte d'érodibilité de Tindite



D'après la carte et le tableau 9, on constate une dominance des sols moyennement érodés qui occupent 66.82% de la superficie totale, suivi des sols érodé avec un pourcentage de 24.30% qui se localise à la médiane du sous bassin et finalement on a des sols un peu érodés qui se localisent surtout au long de la forêt d'Ahl Reggou et aussi un peu au centre.

D'après l'analyse de la carte (fig21) et du tableau (tab9) on remarque que la majorité des roches de la région ont une érodibilité moyenne de 66,82% de la surface totale, elle est localisée dans tout le bassin et surtout dans la partie est. L'érodibilité forte représente 24.30% localisée dans la médiane du sous bassin et à la

bordure d'Oued Moulouya et ces affluents, et finalement on a l'érodibilité faible n'est représentée que par 8.88% située le long d'Ahl Reggou et dans le centre du sous bassin.

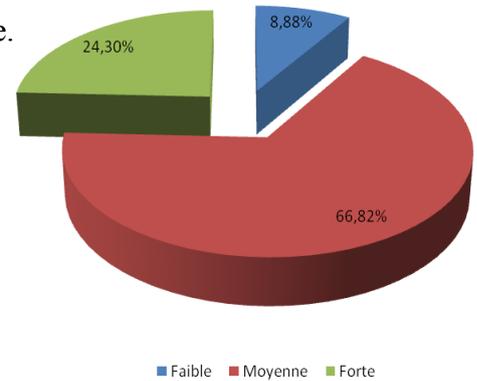


Figure 22 Diagramme de la friabilité des roches du sous bassin

2. L'érosion

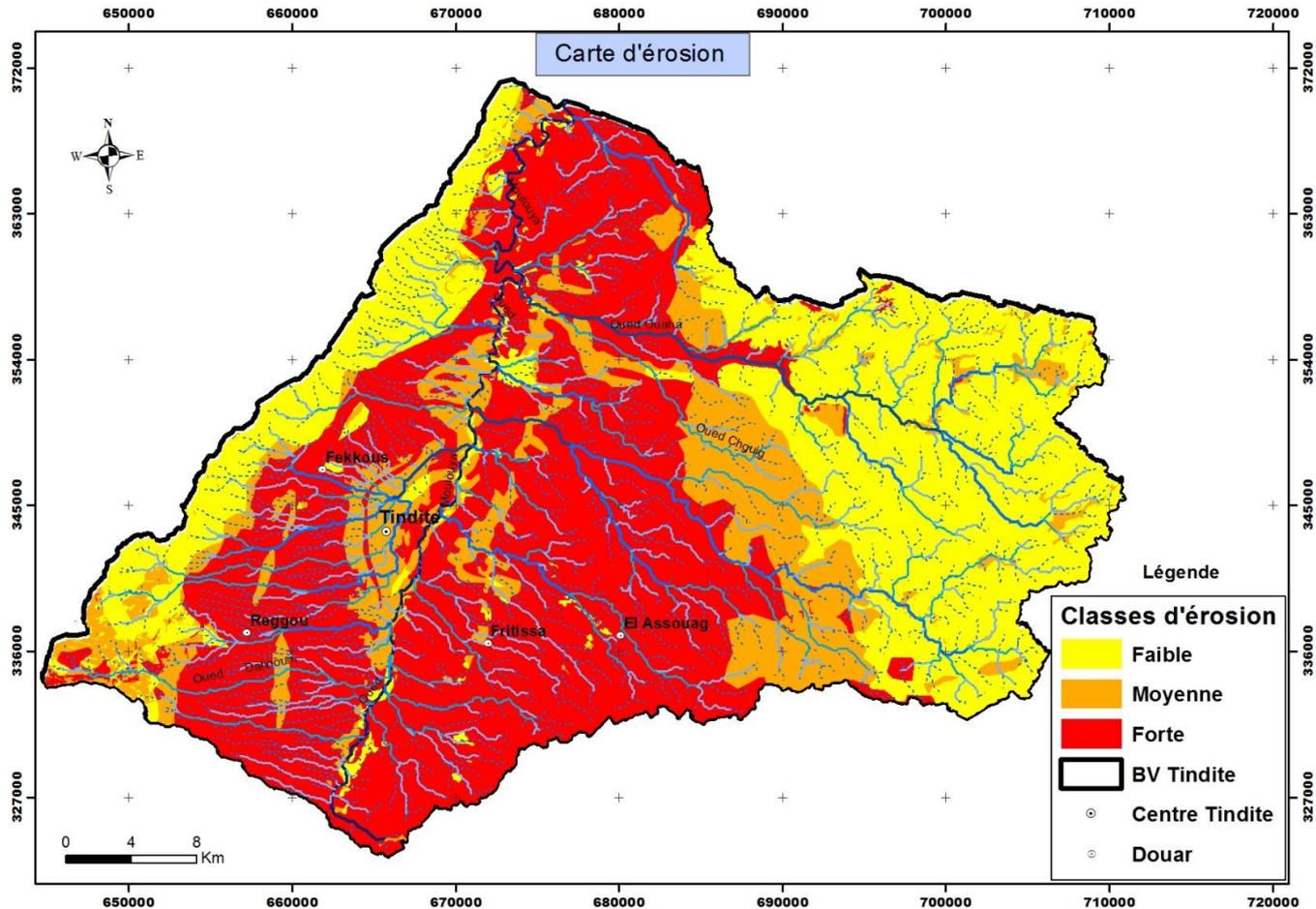


Figure 23: Carte d'érosion du sous bassin Tindite

Après la superposition de tous les facteurs qui réagissent pour avoir comme résultat l'état érosif du sous-bassin Tindite. Nous avons pu distinguer 3 zones : Une zone à érosion faible, à érosion moyenne et une zone à érosion forte.

L'étude des types d'érosion dans notre bassin (fig23 et tab12), on remarque une dominance de l'érosion forte qui occupe 50.60% de la superficie totale du sous bassin, localisée essentiellement dans toute la partie centrale du bassin orientée NE-SW à mi-versant. Cette forte érosion est associée aux faibles pentes ouest qui se trouvent le long du tronçon de l'Oued Moulouya.

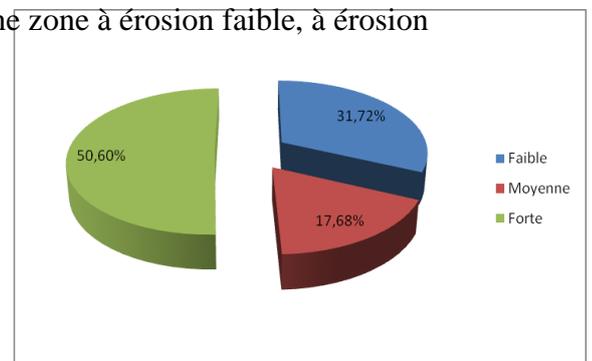


Figure 24 : Diagramme représentatif de l'état érosif du sous bassin Tindite

L'érosion faible occupe une superficie de 53479,17 Ha qui égale à 31.72% localisé au long d'Ahl Reggou caractérisée par des pentes fortes et la présence des schistes et la partie Ouest caractérisée



par des pentes moyennes et par la présence des calcaires. Dernièrement on a l'érosion moyenne qui représente 17.68% localisée dans le sud de la forêt d'Ahl Reggou caractérisée par des pentes fortes et à l'Ouest sépare l'érosion forte et l'érosion moyenne où on a des pentes faibles.



Chapitre 3 : Aménagements proposés



Objectifs principaux :

- Rédactions de l'envasement des retenues des barrages en aval.
- Gestions durable et rationnelles des ressources naturelles et la conservation de la biodiversité.
- Développement socio-économique de la zone.
- Protection des infrastructures de base et agglomérations.

Objectifs spécifiques :

- La réduction de l'intensité de l'érosion hydrique par l'adaptation des techniques appropriées.
- La consolidation et le développement des ressources ligneuses et fourragères pour répondre aux besoins croissants de la population.
- L'amélioration des revenus de la population.
- L'adaptation d'une démarche participative qui concilié à la fois l'intérêt des populations et l'intérêt général.

Actions antiérosives :

- Reboisement.
- Reconstitution des forêts naturelles
- Aménagement pastoral
- Corrections mécanique et biologique des ravins
- Prévention et lutte contre les incendies des forêts

Actions de développement local :

- Plantations fruitiers
- Ouverture et entretiens des pistes
- Aménagement foncier (épierrage)
- Aménagement des points d'eau et des seguias
- Développement de la filière d'apiculture
- Encourager les activités féminines

L'approche d'évaluation qualitative de l'érosion consiste à superposer les cartes thématiques des principaux facteurs physiques de l'érosion selon une matrice de poids : Topographie, lithologie, couvert végétal.

Cette approche doit être complétée par des interprétations de l'imagerie et des prospections sur le terrain.

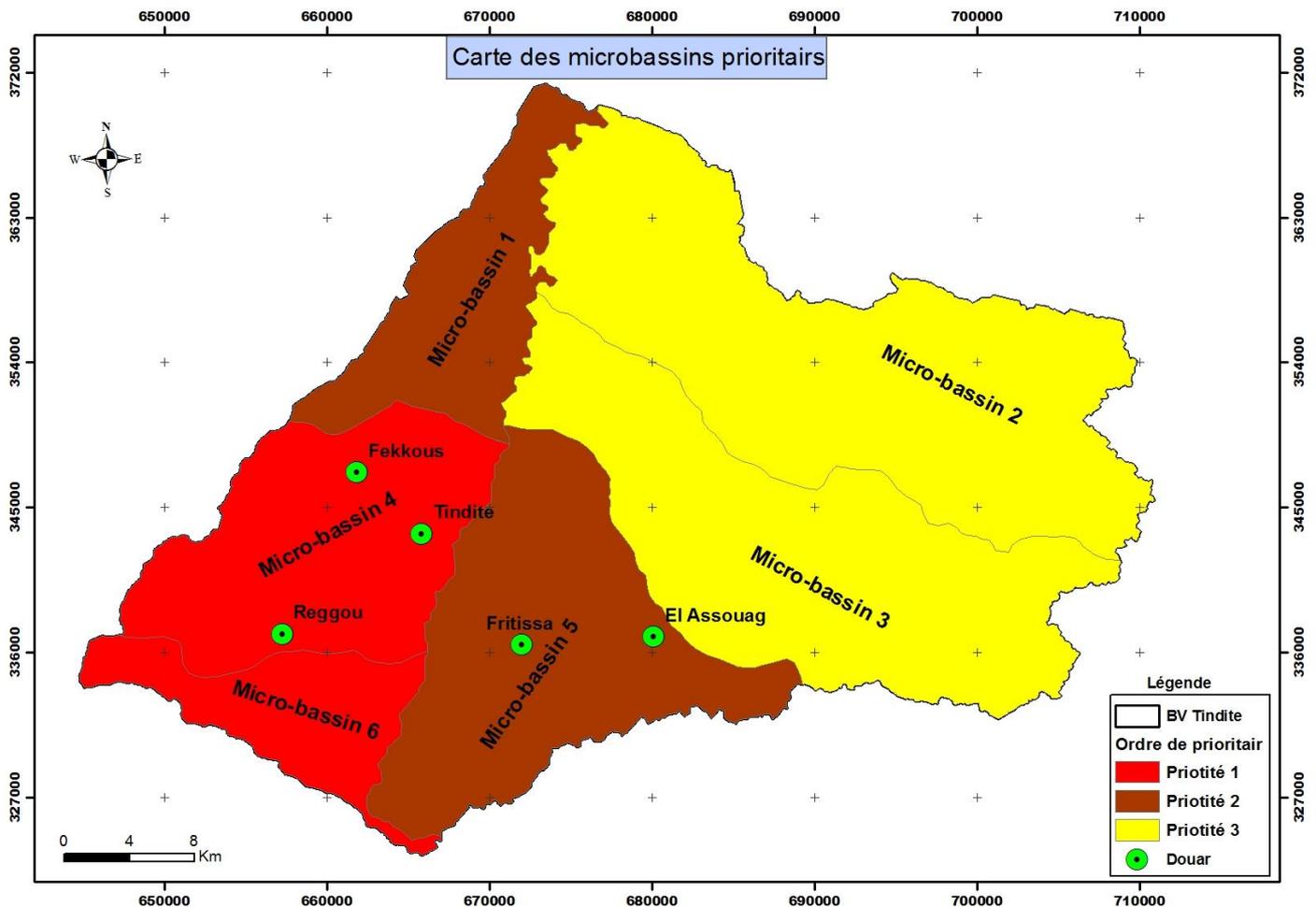


Figure 25 : Carte des microbassins prioritaires

Les critères utilisés pour mettre en évidence l'ordre de priorité des interventions au niveau du sous bassin Tindite, sont le degré d'érosion, la concentration du réseau hydrographique, la concentration de la population. Cette étude a montré que tout le bassin est prioritaire mais nous avons établi un ordre de priorité en fonction de l'intensité des actions à entreprendre et l'urgence de l'intervention. Le résultat de cette hiérarchisation montre que les microbassins 4 et 6 représentent les zones qui ont besoin d'intervention rapide et



immédiate, les microbassins 1 et 5 ont besoins des interventions moins intenses que les microbassins 4 et 6, les microbassins 2 et 3 sont les moins prioritaires. Pour renforcer et maintenir le sol et le rendre plus résistante a l'érosion nous proposons les aménagements suivant dans les microbassins 1, 4, 5 et 6 :

- Le reboisement de la Forêt d'Ahl Reggou et le ravinement de certaines espèces comme le cèdre et le chêne vert et le développement du romarin dans l'est de la forêt
- Le développement de l'agriculture le long des bordures de la Moulouya
- A l'est du sous bassin le reboisement du thuya



Conclusion

Le bassin de Tindit présente un climat de type aride avec une faible couverture végétale forêt (62.22%) et des terrains incultes et de parcours (27%) une dominance des pentes faibles (77%) localisées dans presque tout le sous bassin et d'autres fortes dans l'ouest du sous bassin. Les altitudes dominantes sont au tour de 1200m avec une symétrie qui confère au sous bassin une forme de cuvette. Le réseau hydrographique est très développé et concentré dans l'ouest du sous bassin. 65,09% des roches sont moyennement résistantes et caractérisées par des calcaires lacustres, des dolomies, des flyshes, des dépôts alluviaux et des formations continentales. La carte d'érodibilité des roches montre que 66,82% des roches sont moyennement friables.

Les facteurs analysés à l'aide du SIG montrent effectivement la sensibilité du sous bassin Tindite à l'érosion. La carte d'érosion montre qu'il y a une dominance de l'érosion forte sur une surface de 50.60%. D'où la nécessité de prévoir des mesures d'intervention antiérosives. L'ordre de priorité pour cette intervention au niveau du sous bassin Tindite a été établi selon le degré d'érosion, la concentration du réseau hydrographique et la concentration de la population. Cette étude a montré que tout le bassin est prioritaire mais les microbassins 4 et 6 représentent les zones qui ont besoin d'intervention rapide et immédiate suivi des microbassins 1 et 5. Les microbassins 2 et 3 sont les moins prioritaires. Pour mener à bien la lutte contre l'érosion nous proposons un reboisement essentiellement par la reconstitution des forêts naturelles, l'aménagement pastoral, les corrections mécaniques et biologiques des ravins sans oublier la prévention et la lutte contre les incendies des forêts.



Annexes

Tableau 2 : La répartition de la végétation

Végétation	Surface(Ha)	%
Matorral	101,10	0,06
Steppe d'Alfa	11812,51	7,01
Steppe d'Alfa+Genévrier rouge	166,57	0,10
Genévrier rouge	631,84	0,37
Romarin+Steppe d'Alfa	9031,77	5,36
Romarin	3238,	1,92
Chêne vert	788,87	0,59
Pin d'Alep	201,98	0,12
Terrain non boisé et vide	36246,67	21,50
Alfa +Terrain de parcours	49839,51	29,56
Alfa	11812,51	7,01
Terrain de culture	2502,49	1,48
Steppe à alfa + Romarin	35504,55	21,06
Total	168580,74	100

Tableau 5 : La répartition des pentes

Pente	Surface(Ha)	%
$0 \leq P < 5$	121090,90	69,87
$5 \leq P < 10$	10079,52	5,82
$10 \leq P < 15$	2642,21	1,52
$15 \leq P < 20$	32466,29	18,73
$20 \leq P < 25$	4855,82	2,8
≥ 25	2180,67	1,26
Total	168580,74	100

Tableau 3: La répartition des terrains

strates	Superficie(Ha)	%
Alfa et Terrain de parcours	68071,74	40,38
Douar	2395,82	1,42
Arboriculture	6500,03	3,86
Arboriculture et culture	4384,34	2,60
Terrain inculte	12369,27	7,34
Terrain de culture	1329,92	0,79
Forêt dense	27016,40	16,03
Forêt claire	18225,97	10,81
Forêt moyennement dense	25934,14	15,38
Vide	2353,09	1,40
Totale	168580,74	100

Tableau 4: La répartition des altitudes

Classe d'altitude (m)	Surface (Ha)	%
800-1200	73410,25	43,55
1200-1600	41896,13	24,85
1600-2000	44654,15	26,49
2000-2400	5220,04	3,10
>2400	3391,93	2,01
Total	168580,74	100,00



Tableau 6: La répartition des orientations

Orientation	Sup	%
Sud Ouest	22808,93	13,53
Sud Est	17898,90	10,61
Nord Est	23329,44	13,83
Est	24936,14	14,77
Sud	19726,56	11,70
Nord	23595,44	13,99
Nord Ouest	15652,38	9,28
Ouest	20640,68	12,24
Totale	168580,74	100

Tableau 7: La répartition des ordres

Ordres	Longueur (m)	%
1	1276469,8	51,07
2	607501,35	24,31
3	364815,36	14,6
4	148116,9	5,93
5	64469,01	2,58
6	37947,79	1,52
Totale	2499320,2	100

Tableau 8 : La répartition des âges

Age	Surface (Ha)	%
Jurassique	114415,57	67,87
Néogène	303,44	0,18
Pléistocène	53827,83	31,93
Crétacé	50,57	0,03
Totale	168580,74	100

Tableau 9 : La répartition de la friabilité

Friabilité	Surface (Ha)	%
Moyennement résistante	109725,10	65,09
Résistante	21064,78	12,50
Tendre	37790,86	22,42
Totale	168580,74	100,00

Tableau 10 : La répartition des classes

Classe	Surface(Ha)	%
Faible	112652,12	8,88
Moyenne	14967,01	66,82
Forte	40961,62	24,30
Totale	168580,74	100

Tableau 11 : La répartition de la précipitation

Précipitation (mm)	Superficie(Ha)	%
100-150	110946,81	65,81
150-300	24887,50	14,76
300-450	14652,83	8,69
>450	11757,74	6,97
Totale	168580,74	100

Tableau 12 : La répartition de l'érosion

Erosion	Superficie(Ha)	%
Faible	53479,17	31,72
Moyenne	29806,04	17,68
Forte	85295,53	50,59
Totale	168580,74	100



Bibliographie :

- ABHM , 2006, données climatiques et pluviométriques de la région du sous bassin Tindite
- COLO G. (1961-64) - Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen Atlas septentrional. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. N° 139, (139 Bis), 226p.
- DREFLCD de Fes-Boulemane, 2010, Etude d'aménagement de la Forêt d'Ahl Raggou (procès-verbal d'aménagement Rggou 2010)
- FEDAN (1989)-Evolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochement : le Moyen Atlas (Maroc) durant le Méso-Cénozoïque. Bull. Inst. Sci. Rabat, no 18,142p.
- MARTIN J. (1981)-Le Moyen Atlas Central, étude géomorphologique. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 258 et 256bis, 445p.
- M.ssadi, E.A Hilali, M.Bensaid, A.Boudda, M.Dahmani, 1985 carte géologique du maroc 1/1000000 éditions du service géologique du maroc
- Ministère des travaux publics des communications direction de l'hydraulique division des ressources en eau ; Rapport 2012
- RECENSEMENT GENERAL DE LA POPULATION ET DE L'HABITAT DE 2014
- Zouhra Saadi,2012,thèse de doctorat d'état, LES BASSINS TRIASICO-JURASSIQUES DE LA HAUTE MOULOUIYA ET DE LA BORDURE MERIDIONALE DU MOYEN ATLAS (MAROC). CONTEXTE SEDIMENTAIRE ET MARQUEURS GEODYNAMIQUES, FACULTÉ DES SCIENCES Rabat, UNIVERSITÉ MOHAMMED V – AGDAL.



Webographie :

http://www.eauxetForêts.gov.ma/files/editor_upload//DREFLCD_FB_2015.pdf

<http://www.esrifrance.fr/arcgis.aspx>

<http://www.qgis.org/fr/site/about/index.html>

<http://fr.climate-data.org/location/1078071/>

Matériels utilisés :

Logiciel Arc-Gis 10.0 authentique disponible au SEAP

Q GIS 1.8.0 logiciel libre