



Année Universitaire : 2016-2017



Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Utilisation du SIG et de la méthode PAP/CAR pour l'évaluation de  
l'érosion hydrique au niveau du bassin versant de Ribat Al Khair**

**Présenté par:**

**Khawla MSSYAH  
Ayoub KHENNOUSSI**

**Encadré par:**

**Pr. EL GAROUANI Abdelkader, FST-Fès  
Ing. JAAFARI Younes, GEOACCESS - Fès**

**Soutenu Le 08 Juin 2017, devant le jury composé de:**

**Mme RAIS Naoual  
Mr JABRANE Raouf  
Mr EL GAROUANI Abdelkader**

**Pr. à la FST de Fès  
Pr. à la FST de Fès  
Pr. à la FST de Fès**

**Stage effectué à : GEOACCESS, Fès**





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

**Khawla MSSYAH**

**Ayoub KHENNOUSSI**

**Année Universitaire : 2016/2017**

**Titre : Utilisation du SIG et de la méthode PAP/CAR pour l'évaluation de l'érosion hydrique au niveau du bassin versant de Ribat Al Khair**

## **Résumé**

Le présent travail concerne l'étude de l'érosion hydrique dans le sous bassin de Ribat Al Khair qui appartient au grand bassin versant Allal El Fassi. L'objectif de notre étude est de déterminer l'état érosif de ce sous bassin à l'aide de l'approche PAP/CAR qui porte sur l'intégration des facteurs naturels influençant l'érosion hydrique, qui sont l'érodibilité, la pente, le type de sol et la lithologie. Cette méthode fournit un produit cartographique précis qui reflète la réalité de l'état de dégradation du sol et l'évolution qualitative de l'érosion. Le sous bassin Ribat Al Khair s'étend sur une superficie de 758 Km<sup>2</sup>, situé au Nord-Est du Maroc. Pour déterminer ses différentes caractéristiques, nous avons en premier lieu élaboré les différentes cartes thématiques : administrative, géologique, géographique, hypsométrique, hydrographique et lithologique. La carte des pentes est créée à partir d'un MNT téléchargé d'internet. La carte d'occupation du sol est réalisée par photo-interprétation d'une image Google Earth. Après avoir déterminé et analysé la carte d'érosion issue de la superposition de la carte l'érodibilité et celle d'occupation du sol, il s'est avéré que quelques aménagements ont été mis en place dans l'intérêt d'atténuer l'intensité de cette dernière dans plusieurs zones sensibles, sauf que ces interventions n'ont pas été suffisantes.

**Mots clés :** PAP/CAR, SIG, sous bassin Ribat El Khair, érosion hydrique.

## Sommaire :

<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	2
Remerciements : .....	4
Introduction générale : .....	5
Chapitre I : .....	6
Présentation de la zone d'étude .....	6
<b>I. Situation de la zone d'étude :</b> .....	6
<b>1. Situation géographique :</b> .....	6
<b>2. Situation administrative :</b> .....	7
<b>II. Etude des caractéristiques du sous bassin Ribat Al Khair :</b> .....	7
<b>1. Facteurs socio-économiques :</b> .....	7
<b>2. Facteurs climatiques :</b> .....	8
<b>3. Géologie :</b> .....	9
<b>4. Hypsométrie :</b> .....	11
<b>5. Exposition :</b> .....	13
<b>6. Hydrologie :</b> .....	14
<b>7. Isohyètes :</b> .....	17
Chapitre II : .....	18
Présentation de la méthodologie du travail .....	18
<b>I. Méthodologie adoptée :</b> .....	18
<b>II. Présentation de la méthode PAP /CAR :</b> .....	19
Chapitre III : .....	23
Evaluation de la dégradation potentielle des sols dans le sous bassin Ribat Al Khair .....	23
<b>I. Approche prédictive :</b> .....	23
<b>1. Pentés :</b> .....	23
<b>2. Lithologie :</b> .....	25
3. Erodibilité : .....	26
4. Occupation des sols : .....	28
<b>II. Approche descriptive :</b> .....	29
<b>III. Approche d'intégration :</b> .....	30
1. L'érosion : .....	30
Conclusions et Recommendations .....	32
Annexes : .....	34
Bibliographie : .....	36
<b>Webographie :</b> .....	36

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation du sous bassin Ribat Al Khair. ....	6
Figure 2: Carte administrative du sous bassin Ribat Al Khair. ....	7
Figure 3 : Ribat al khair sur le diagramme d'emberger. ....	9
Figure 4: Carte géologique du sous bassin versant Ribat Al Khair 1/1000000. ....	10
Figure 5: Diagramme de répartition des affleurements stratigraphiques. ....	10
Figure 6 : Carte hypsométrique du sous bassin Ribat Al Khair. ....	11
Figure 7: Diagramme de la répartition des altitudes. ....	12
Figure 8: La courbe hypsométrique. ....	12
Figure 9: Carte d'exposition du bassin Ribat Al Khair. ....	13
Figure 10: Diagramme de la répartition de l'exposition dans le sous bassin Ribat Al Khair. ....	14
Figure 11 : Carte du réseau hydrographique du sous bassin Ribat Al Khair. ....	14
Figure 12: Diagramme de répartition des ordres du sous bassin. ....	15
Figure 13: les formes des bassins par rapport à l'indice de Gravéluis. ....	16
Figure 14: Carte des isohyètes du sous bassin Ribat Al Khair. ....	17
Figure 15 : Diagramme des données de la carte d'isohyète. ....	17
Figure 16: organigramme des étapes de l'évaluation de l'érosion hydrique par les directives PAP/CAR. ....	19
Figure 17: Carte des pentes du sous bassin Ribat Al Khair. ....	23
Figure 18: Répartition des pentes. ....	24
Figure 19: Carte lithologique du sous bassin Ribat Al Kair. ....	25
Figure 20: Diagramme de la répartition de la lithologie du sous bassin Ribat Al Khair. ....	26
Figure 21: Carte d'érodibilité du sous bassin Ribat Al Khair. ....	27
Figure 22: Diagramme de la friabilité des roches du sous bassin. ....	27
Figure 23: Carte d'occupation du sol. ....	28
Figure 24: Diagramme de la répartition des types d'occupation du sol. ....	29
Figure 25: Carte d'érosion du sous bassin Ribat Al Khair. ....	30
Figure 26: Diagramme de la répartition de l'érosion du sous bassin. ....	31

## Liste des tableaux :

Tableau 1 : Les Codes de la matrice des pentes.....	20
Tableau 2: Les Codes de la matrice lithologique.....	20
Tableau 3 : Les Codes de la matrice d'occupation du sol.....	20
Tableau 4 : Les Codes de la matrice d'érodibilité.....	21
Tableau 5 : Les Codes de la matrice de la carte d'érosion.....	22
Tableau 6: Répartition des Cercle au bassin Allal El Fassi.....	34
Tableau 7 : La répartition des âges.....	34
Tableau 8: La répartition des altitudes.....	34
Tableau 8: La répartition des orientations.....	34
Tableau 10: La répartition des ordres.....	34
Tableau11 : La répartition des précipitations.....	34
Tableau 12: La répartition des pentes.....	35
Tableau 13: La répartition de la friabilité.....	35
Tableau 14 : La répartition des sols.....	35
Tableau15 : La répartition des classes d'érodibilité.....	35
Tableau16 : La répartition de l'érosion.....	35

## Remerciements :

*Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce rapport.*

*Tout d'abord, nous adressons nos remerciements à notre Professeur Mr. **EL GAROUANI Abdelkader** de la faculté des Sciences et Techniques de Fès qui nous a beaucoup aidé dans notre recherche, il nous a dirigé, guidé et conseillé tout au long de ce travail. Merci d'avoir accepté d'évaluer notre mémoire, votre présence parmi le jury est un honneur pour nous.*

*Un grand merci à notre maitre de stage, Mr. **JAAFARI YOUNES**, responsable du Bureau d'Etudes : **GéoAccess** (Etudes et Travaux Topographiques), pour son accueil, son attention et son aide qu'il nous a apporté au quotidien.*

*Nous remercions également Mr. **EL MOUSTAKIM Hafid**, Chef de Bureau au SEAP, qui a toujours été disponible pour répondre à toutes nos questions et qui nous a épaulé dans nos démarches.*

*Nous voudrions remercier particulièrement **Mr. JABRANE Raouf** et **Mme RAIS Naoual** et qui trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude pour leur participation au jugement de ce travail ;*

*Enfin, Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont conseillé et supporté lors de la réalisation de ce travail : nos famille et nos amis.*

*Que ce mémoire soit le témoignage et le fruit de vos aides et de nos efforts.*

## Introduction générale :

Au Maroc, la dégradation de la végétation et les processus d'érosion sont d'une importance croissante. Ces phénomènes touchent la plus part des bassins tout en entraînant des pertes considérables du sol, en particulier les pentes moyennes à fortes. D'une part à cause de la nature torrentielle des pluies et la vulnérabilité des terrains et d'autre part à cause de l'impact des activités humaines (El Aroussi, 2014).

L'érosion hydrique est un processus qui emporte et redistribue le sol. Il est défini comme le détachement et le transport de particules de sol de son emplacement d'origine par le facteur d'eau vers un lieu de dépôt. Il se passe en trois étapes : Détachement, Transport et Sédimentation. Les conséquences de ce fléau sont nombreuses et diverses, elles se reflètent dans la dégradation du sol qui affecte le patrimoine pédologique et provoque des graves conséquences de points de vue, économique, humain et écologique.

De nos jours, les nouveaux outils de cartographie comme la télédétection et les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) sont devenus très utiles vis-à-vis du traitement, la gestion et la manipulation des données géographiques, et donc l'étude des phénomènes de surface ainsi que la prise de décisions.

C'est pourquoi, notre travail se focalise sur l'utilisation de ces outils dans le but de cartographier et évaluer qualitativement l'érosion hydrique au niveau de la région qui fait le sujet de notre travail, celle de Ribat Al Khair. Et cela, en élaborant la carte d'occupation du sol à partir d'une image satellitaire, et digitalisant les différentes cartes thématiques, pour que nous puissions enfin mettre en évidence l'état érosif du sous bassin en se basant sur la méthode de PAP/CAR. Elle permet de mettre en évidence les zones où il faudrait intervenir et proposer des aménagements pour lutter contre ce phénomène.

# Chapitre I :

## Présentation de la zone d'étude

### I. Situation de la zone d'étude :

#### 1. Situation géographique :

Le sous bassin Ribat Al Khair que nous étudions fait partie du grand bassin versant Allal El Fassi situé entièrement dans le domaine moyen atlasique au nord du Maroc.

Ce sous bassin s'étend sur une superficie d'environ 758 km<sup>2</sup>, situé géographiquement dans la zone 1 du Maroc (nord Maroc Marchiche) entre les :

Longitudes : 581167,191647 m 621264,353255 m

Les latitudes : 376095,057591 m 333837,731359 m

Ce sous bassin se localise dans la province de Sefrou à 78 km au Sud-Est de la ville de Fès.

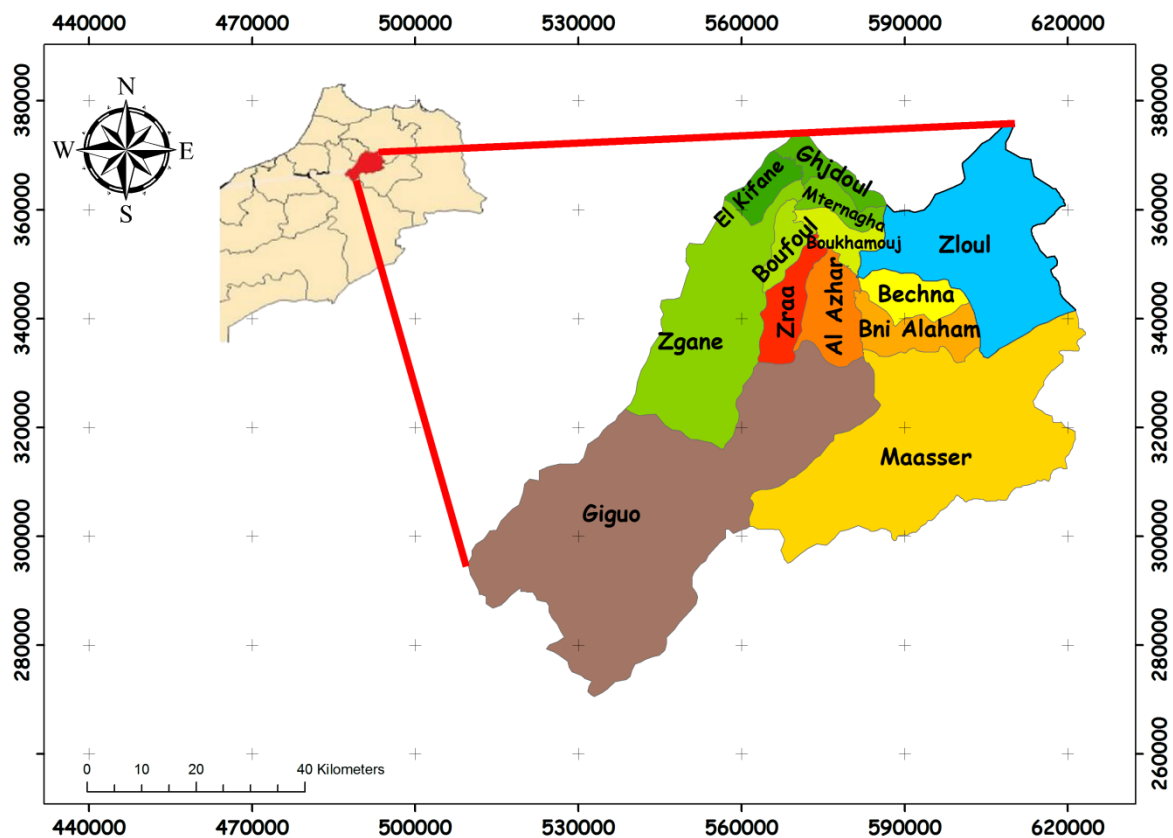


Figure 1: Carte de localisation du sous bassin Ribat Al Khair.



## 2. Situation administrative :

Le sous bassin Ribat Al Khair s'inscrit dans la structure administrative suivante :  
Province de Sefrou, dans le cercle d'El Menzel avec une petite partie de celui de Tahla.

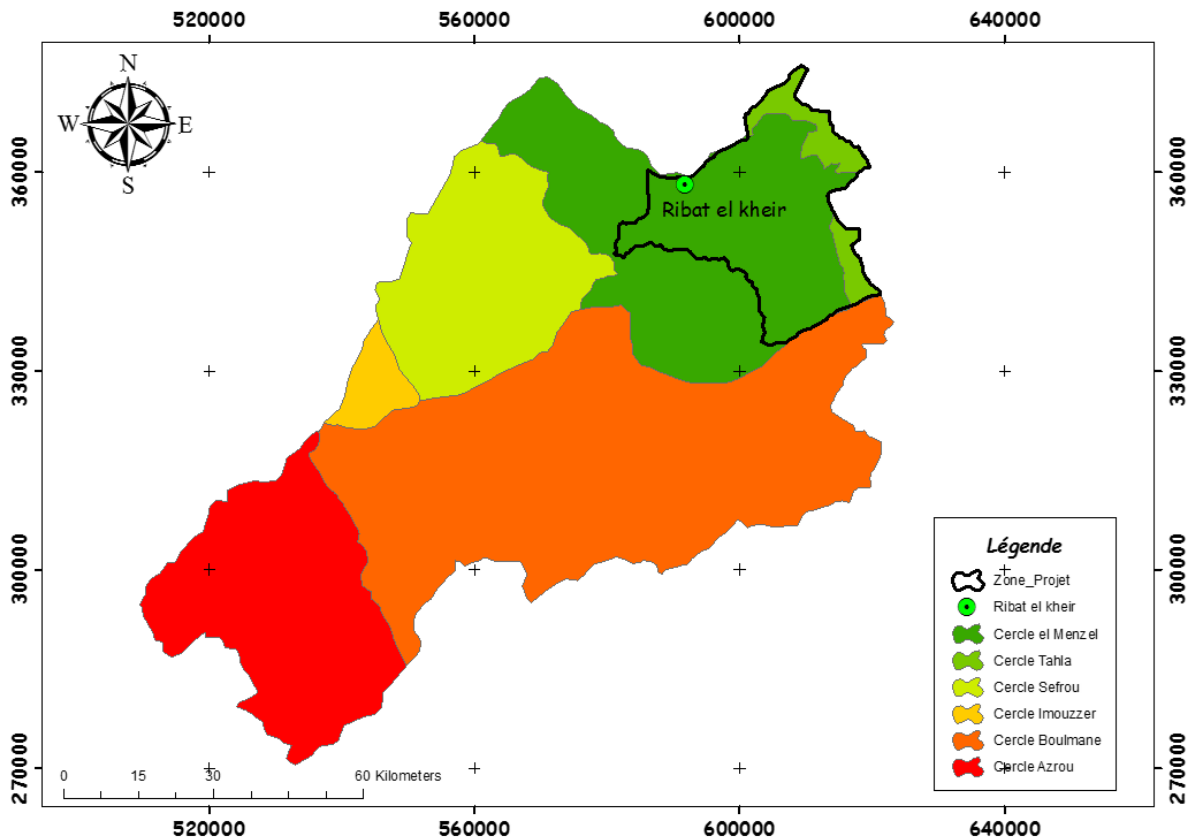


Figure 2: Carte administrative du sous bassin Ribat Al Khair.

## II. Etude des caractéristiques du sous bassin Ribat Al Khair :

### 1. Facteurs socio-économiques :

L'analyse des données socio-économiques et leur interprétation sont des opérations indispensables pour mettre en œuvre des projets d'aménagements d'espaces, dans le but de lutter contre tout phénomènes causants la dégradation et la destruction des ressources naturelles.

Le sous bassin Ribat El Kheir fait partie du grand bassin Allal El Fassi, il appartient à la province de Sefrou, précisément à la commune rurale d'Ighzran.

D'après les statistiques de l'année 1994 de la Haut-Commissariat au plan, la population rurale au niveau de la commune d'Ighzlan était de 12657 habitants dont 1999 foyers repartis sur une superficie de 520 m<sup>2</sup>. L'aménagement de la population diffère d'un Douar à un autre et

diminue progressivement (11908 habitants en 2004 repartis sur 34 Douars), essentiellement à cause de l'exode rural.

Que 48,33% de la population bénéficie de l'éducation alors que les 73,82% sont analphabètes. Chose qui explique que la pluparts des habitants préfèrent s'investir dans l'agriculture axée sur les céréales en alternance avec les légumineuses, et associées à l'arboriculture et l'élevage, ce qui constitue les principaux secteurs de l'économie locale.

## 2. Facteurs climatiques :

Les facteurs climatiques sont les facteurs écologiques liés aux circonstances atmosphériques et météorologiques de la région. Dans notre cas, on dispose des données disponibles des stations météorologiques de Barrage Allal El Fasi, El Adrej, Azzaba, El Mers, Mdaz et celle de Taza des précipitations (1980/2009).

Malheureusement, les stations qui entourent notre zone d'étude s'avèrent mal équipées et ne peuvent fournir que les relevés pluviométriques et non pas ceux relatifs à la température, à l'hygrométrie atmosphérique, au vent ou à l'enneigement.

### *PRECIPITATIONS :*

Les précipitations constituent l'une des principales composantes du cycle hydrogéologique et l'un des facteurs majeurs responsables des phénomènes érosifs. L'étude de la pluviométrie s'avère judicieuse, afin de mieux comprendre le comportement climatique de la zone (El Aroussi 2014).

Généralement les précipitations annuelles ou même mensuelles restent relativement importantes en montagnes par rapport aux altitudes moins importantes.

Afin de déterminer le climat de notre région, nous avons calculé le quotient pluviométrique en passant par le diagramme d'Emberger, ce dernier 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.

- □ Pour la station Ribat Al Khair :

$$Q = (2000 * 592,02) / ((273,15 + 31,75)^2 - (273,15 + 6,5)^2) \\ = 80,22$$

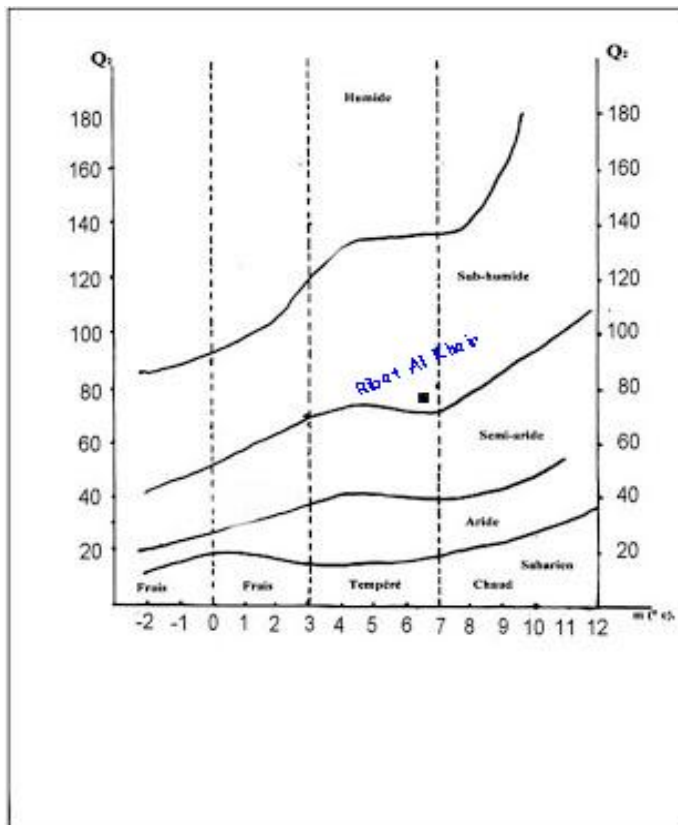


Figure 3 : Ribat al khair sur le diagramme d'emberger

D'après le résultat de Q et le diagramme, nous concluons le climat de la région Ribat Al Khair de tempéré semi-humide.

### La température :

Le facteur de la température est l'un des facteurs fondamentaux qui influencent la répartition et la croissance des plantes. Pour le cas de notre bassin, les deux mois qui connaissent la période la plus chaude pendant l'année sont Juillet et Aout avec une température maximale qui atteint les 44°C, alors que le mois le plus froid est le mois de Décembre avec une température minimale de -1°C.

### 3. Géologie :

La formation du bassin Ribat Al Khair est due à un paléo-champ de contraintes qui regroupe trois épisodes tectoniques avec extension NE-SW orientés NW-SE, par le jeu normal des failles majeures NW-SE.

D'après l'analyse de la carte géologique et le diagramme, nous distinguons que la zone Jurassique couvre 89% de la superficie du bassin. Nous le trouvons sous forme de carbonates, surtout du calcaire corniche.

Le Trias occupe les 6 % et caractérisé par des basaltes non subdivisés. Le secondaire dans ce bassin est présenté encore par le crétacé inférieur sous forme des roches basiques avec un pourcentage de 1%.

La partie quaternaire couvre les 4% restantes de la superficie du bassin, présentée par le Néogène sous forme de molasses dans la région Ouest, de faciès lacustres et de faciès dunaires du Pléistocène.

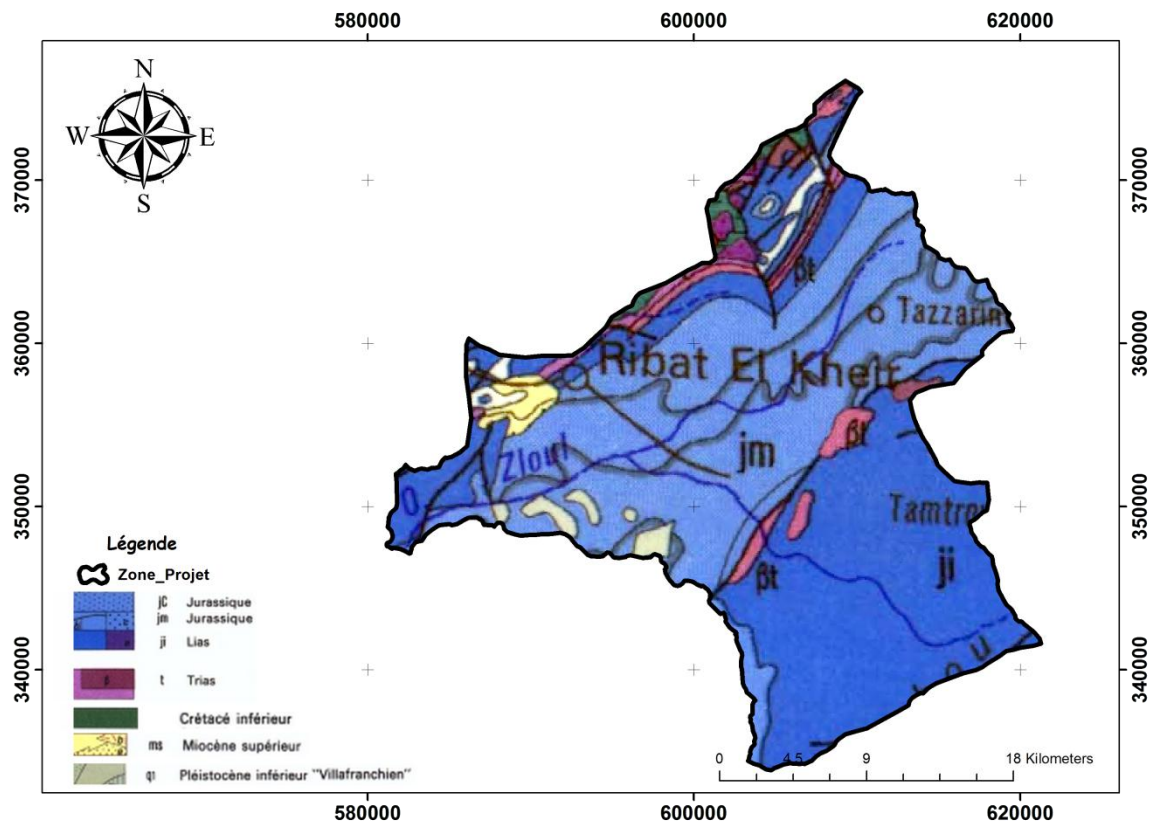


Figure 4: Carte géologique du sous bassin versant Ribat Al Khair 1/1000000.

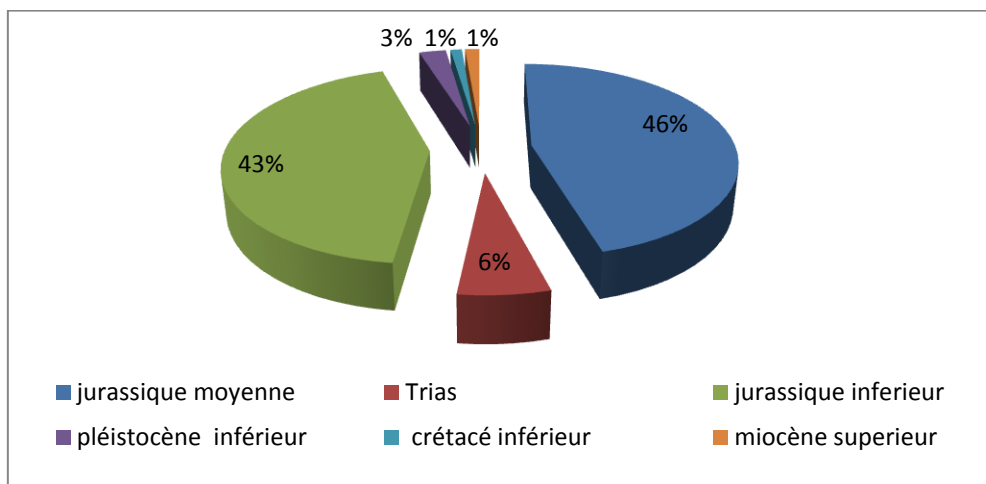
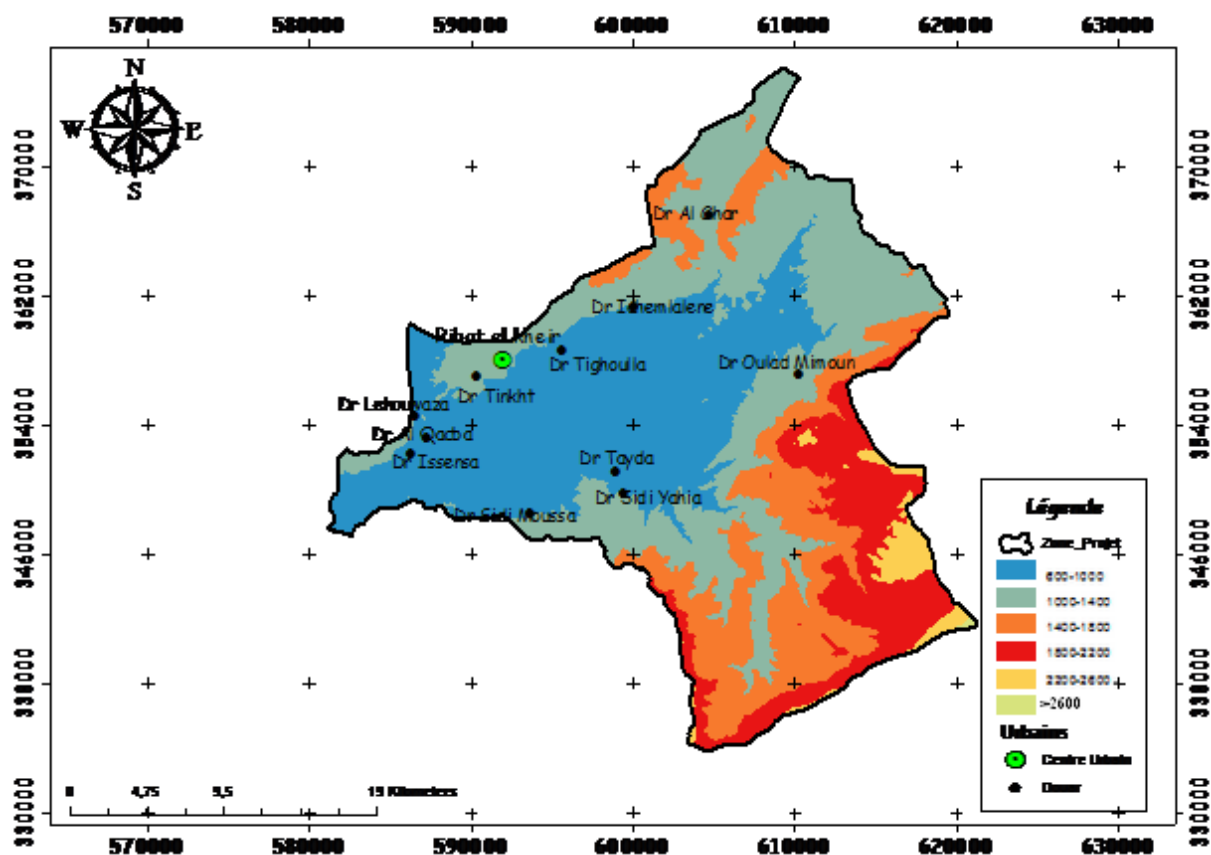


Figure 5: Diagramme de répartition des affleurements stratigraphiques.

#### 4. Hypsométrie :

La carte hypsométrique nous renseigne sur les altitudes des différentes zones de notre bassin, le dénivelé de ce dernier, et l'écart entre les altitudes. L'hypsométrie influence d'une manière directe ou indirecte la répartition de la végétation avec ses différentes espèces dans l'espace.



L'étude hypsométrique de notre bassin reflète une prédominance des altitudes comprises entre 600m et 1400m avec un pourcentage de 66%. Elles se localisent essentiellement à la médiane et à l'Ouest du sous bassin. Les altitudes les plus importantes, celles supérieures à 2600m ne représentent que 1% et se concentrent au Sud-Est.

Nous déterminons l'altitude maximale : 2977m et minimale : 661m.

Après reclassification de la couche hypsométrique, nous précisons 6 classes dont l'équidistance est de 400 m.

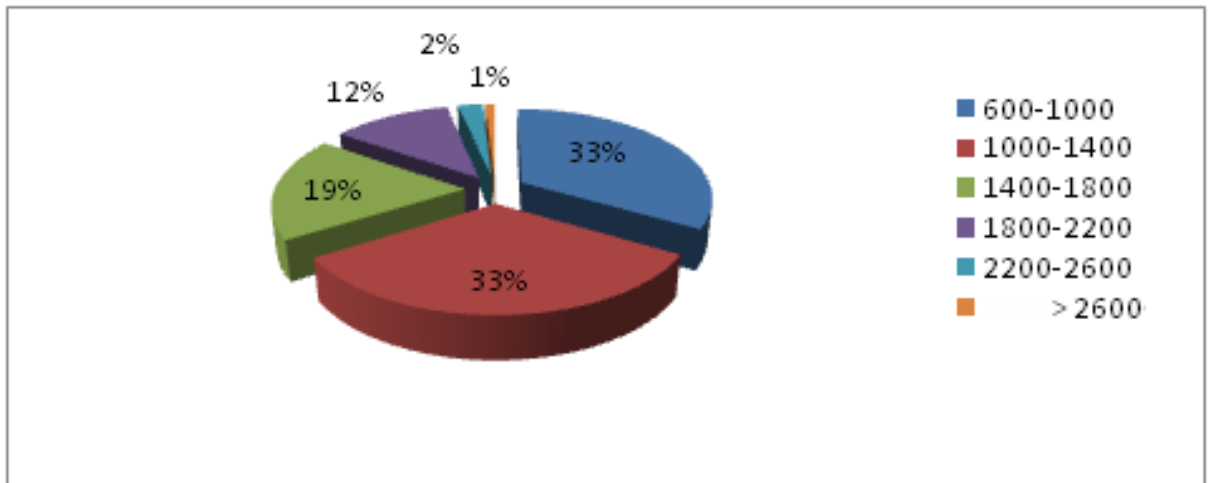


Figure 7: Diagramme de la répartition des altitudes.

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, et donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse les surfaces (ou les pourcentages de surface) du bassin qui se trouvent au-dessus des altitudes représentées en ordonnée.

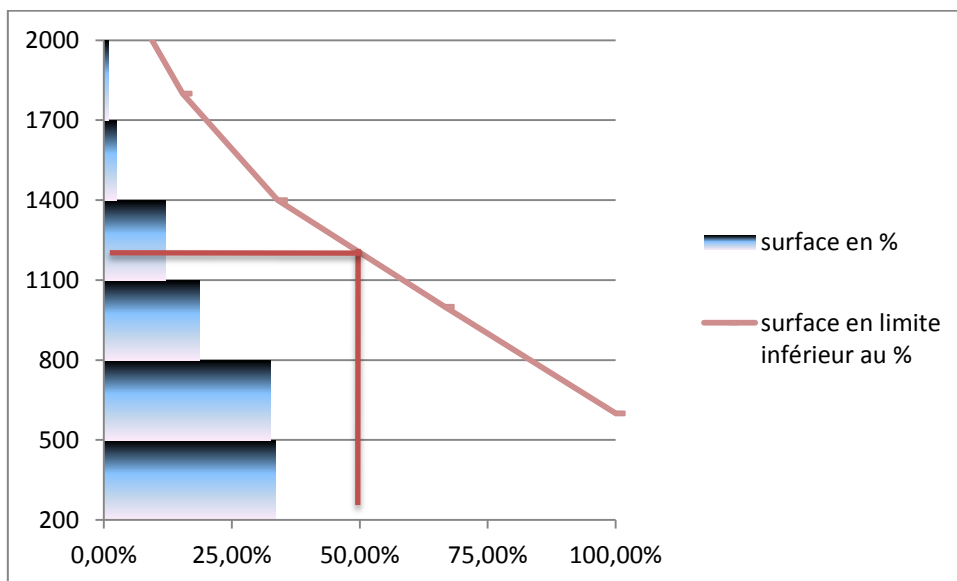


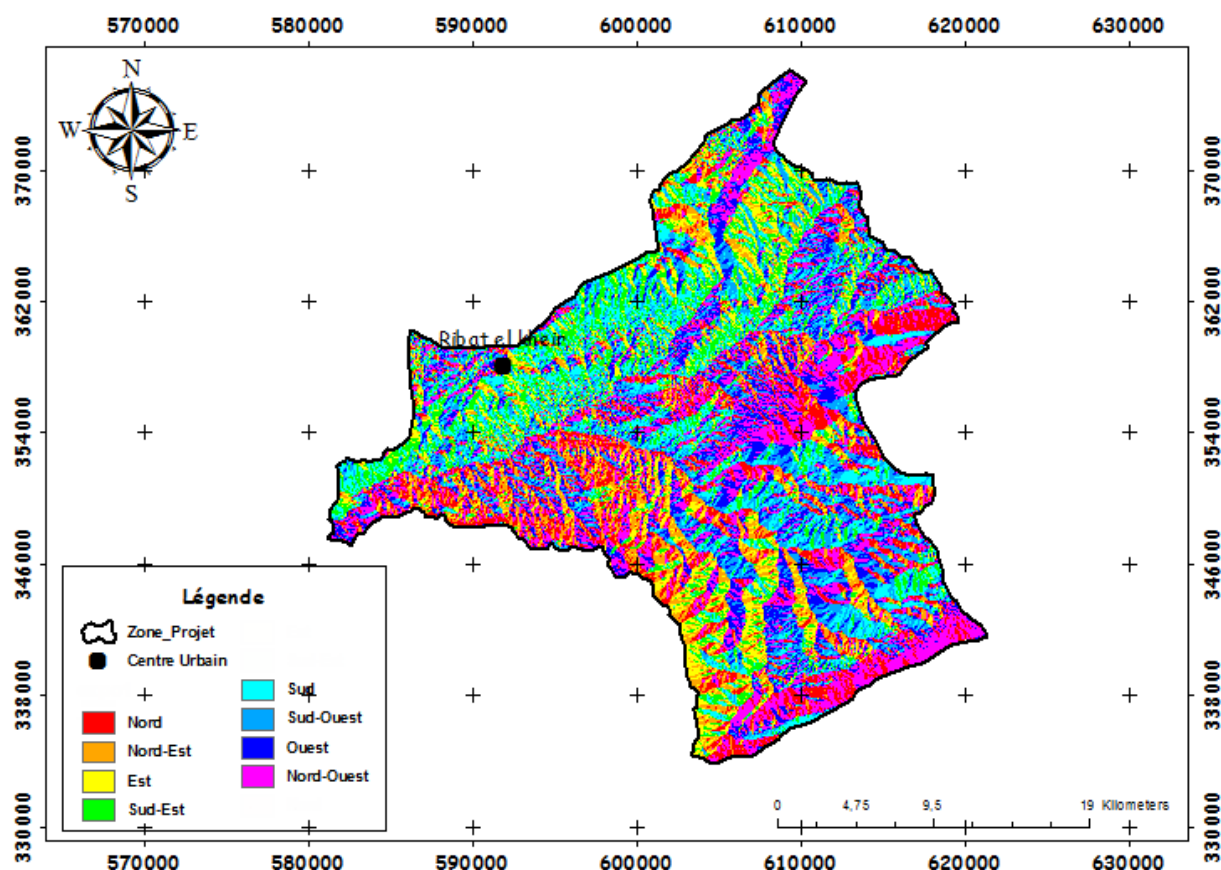
Figure 8: La courbe hypsométrique

L'altitude médiane est celle qui correspond à 50% de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

Pour ce bassin la médiane est égale à 1150m.

## 5. Exposition :

La carte des expositions 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.



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 17%. La partie Nord-Ouest du bassin est presque orientée totalement au Sud-Est, alors que dans les autres parties du terrain, nous n'avons pas une dominance d'orientation.

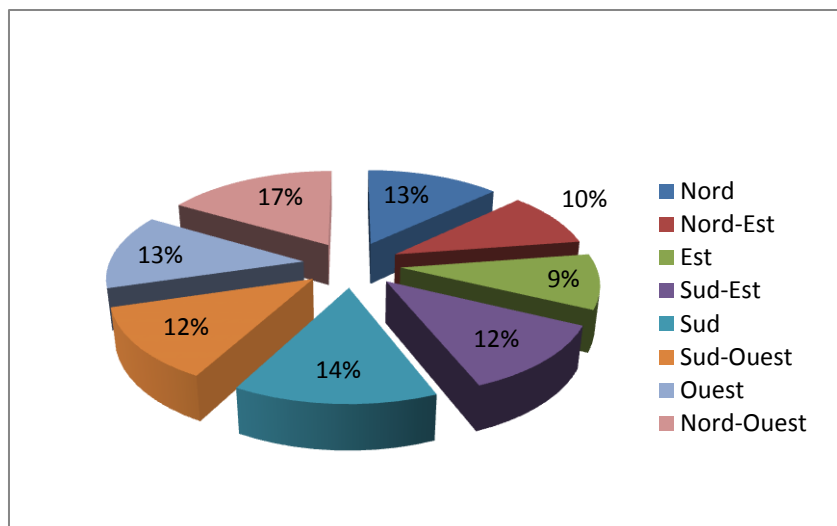


Figure 10: Diagramme de la répartition de l'exposition dans le sous bassin Ribat Al Khair.

## 6. Hydrologie :

La région de Ribat Al Khair possède un réseau hydrographique caractérisé par le fleuve Zloul qui est un des facteurs principaux de l'érosion hydrique au niveau du bassin. Il joue un rôle important dans le transport des sédiments.

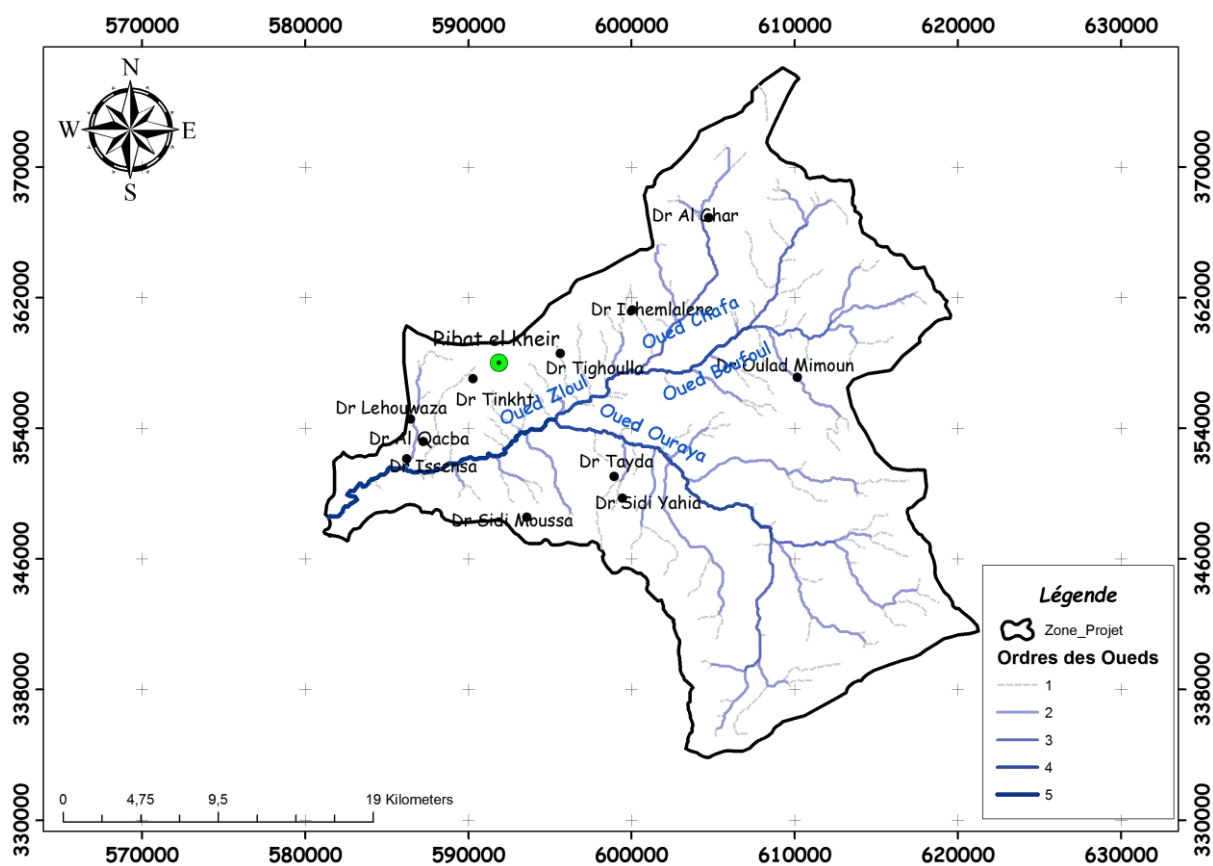


Figure 11 : Carte du réseau hydrographique du sous bassin Ribat Al Khair.



Presque la moitié du bassin est constituée par des cours d'eau d'ordre 1, mais la plus part de ces cours d'eau sont temporaires.

Les cours d'eau secondaires pouvant atteindre les 2000 m d'altitude, ce qui leur confère une dynamique torrentielle avec une assez grande vitesse d'écoulement d'eau.

Les 2 grandes rivières qui nourrissent Zloul sont : Oued Bouflou qui provient du Nord-Est et Oued Ouraya qui provient des zones aux altitudes importants du coté Sud-Est.

La longueur du réseau hydrographique fonctionnel atteint les 95 km.

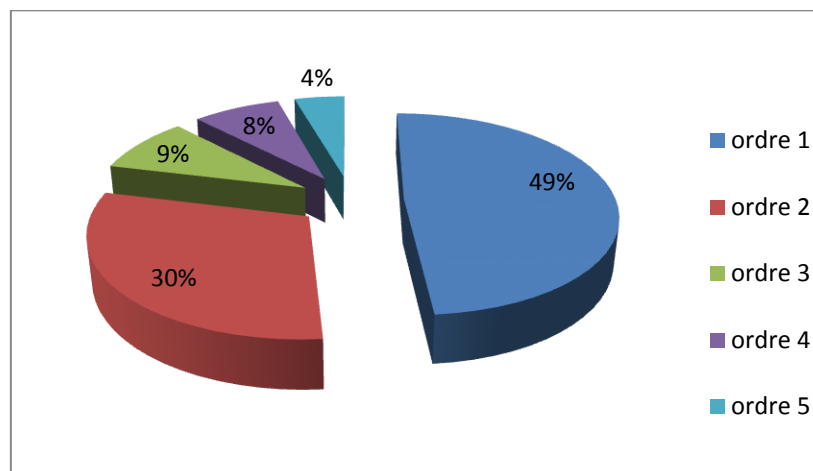


Figure 12: Diagramme de répartition des ordres du sous bassin.

### La forme du bassin :

Pour déterminer la forme du bassin, nous utilisons (pour déterminer la rapidité du rassemblement des eaux du bassin) : l'indice de compacité de Gravelius (1914)  $K_G$ , il est défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

$K_G$  est l'indice de compacité de Gravelius,

$A$  : surface du bassin versant [ $\text{km}^2$ ],

$P$  : périmètre du bassin [km].

Si l'indice est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée, tel qu'illustré par la figure 13.

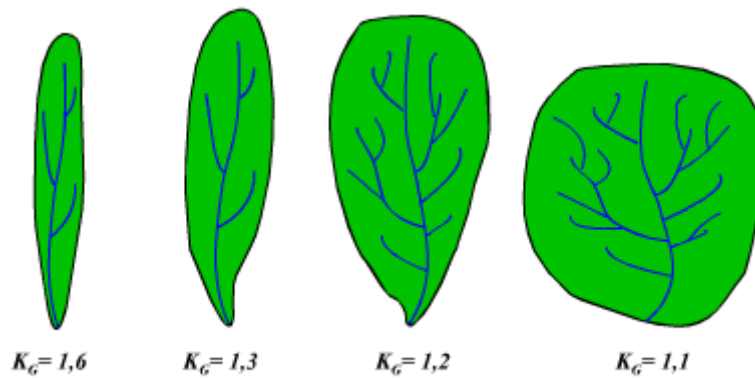


Figure 13: les formes des bassins par rapport à l'indice de Gravélius.

L'indice de Gravélius du bassin ribat Al Khair est égal à 1.59

$$K_g = 0.28 \times P / \sqrt{A}$$

$$P = 158 \text{ km}$$

$$A = 758 \text{ km}^2$$

$K_g = 0.28 \times P / \sqrt{A} = 1.53$  Donc c'est un bassin allongé, cette forme induit de faibles débits de pointe de crue.

Densité de drainage

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec :

$D_d$  : densité de drainage [ $\text{km}/\text{km}^2$ ] ;

$L_i$  : longueur de cours d'eau [ $\text{km}$ ] ;

$A$  : surface du bassin versant [ $\text{km}^2$ ].

$$A = 758 \text{ km}^2, L_i = 44 \text{ km}$$

$$D_d = 0,058 \text{ km}/\text{km}^2$$

□ *La densité hydrographique*

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Où :

$F$  : densité hydrographique [ $\text{km}^{-2}$ ] ;

$N_i$  : nombre de cours d'eau ;

$A$  : superficie du bassin [ $\text{km}^2$ ]

Pour le sous bassin Ribat Al Khair

$$A = 758 \text{ km}^2 ; N_i = 263$$

La densité hydrographique au niveau d'oued Zloul est égale à  $0.34 \text{ km}/\text{km}^2$

## 7. Isohyètes :

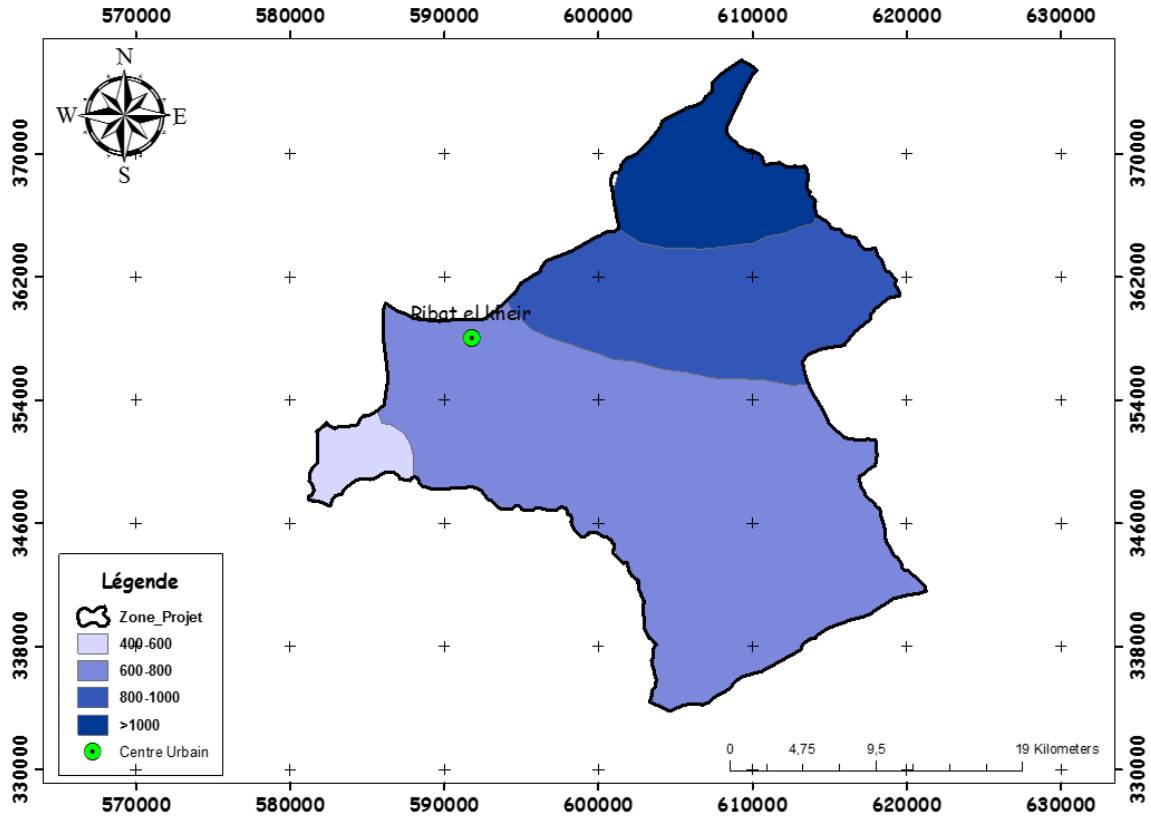


Figure 14: Carte des isohyètes du sous bassin Ribat Al Khair.

La carte des isohyètes de la région de Ribat Al Khair montre que le taux de précipitations augmente du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

Le bassin versant est caractérisé par une prédominance de la tranche pluviométrique (600-800mm) qui occupe 61% de sa superficie.

La tranche (800 - 1000mm) représente 24%, et celle (>1000mm) occupe 12% et se situe entièrement au Nord.

Finalement la tranche pluviométrique (400-600mm) n'occupe que les 3% et se localise qu'à l'Ouest-Sud-Ouest du bassin.

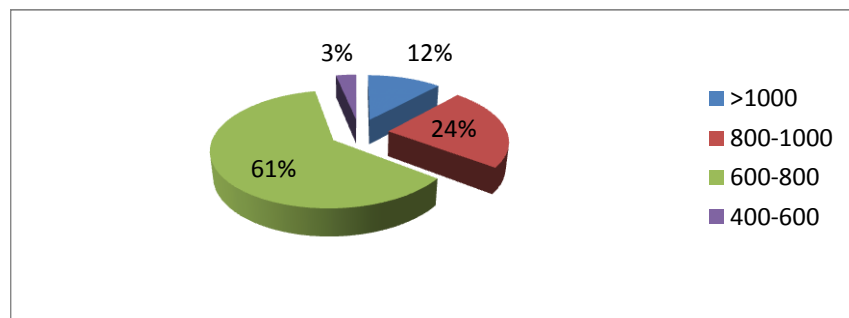


Figure 15 : Diagramme des données de la carte d'isohyète.

## Chapitre II :

### Présentation de la méthodologie du travail

#### I. Méthodologie adoptée :

Afin d'étudier l'état érosif de notre région d'étude, nous avons tout d'abord digitalisé les différentes cartes thématiques du sous bassin afin de localiser et assembler un maximum d'informations sur la région (carte administrative, géologique, géographique, hypsométrique, celle du réseau hydrique et lithologique) à l'aide de l'Arc-Gis qui est un logiciel de modélisation, de géo traitement de l'information géo spatiale mais aussi un support d'aide à la prise de décision.

Pour accomplir notre travail, nous nous sommes basé sur les étapes méthodologiques de la méthode PAP/CAR qui se résument dans les trois étapes suivantes :

- L'approche prédictive qui consiste à élaborer les cartes des facteurs naturels (pente, lithologie, et occupation des sols), afin de déduire la carte d'érodibilité de la région et donc son état érosif.
- L'approche descriptive nous informe sur le degré d'exposition à la dégradation.
- L'approche d'intégration qui est le résultat de la superposition des informations qualitatives issues des phases prédictives et descriptives.

Nous récapitulons les différents points traités dans ce mémoire de fin d'études :

- Aperçu géologique et géographique afin de situer le sous bassin.
- Aperçu socio-économique pour dégager les contraintes sociales, économiques et culturelles de la population.
- Etude du milieu physique et de ses caractéristiques.
- Cartographie de l'occupation du sol.
- Evaluations qualitative de l'érosion hydrique par la méthode de PAP/CAR.
- Aménagements et recommandations proposés.

#### *Présentation des outils de travail :*

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

- ArcGIS 10.2.
- Idrisi Andes.

## II. Présentation de la méthode PAP /CAR :

Le Centre d'activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires (CAR/PAP) est créé en 1977. Elle est une composante clé du Plan d'action pour la Méditerranée (PAM) du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Vingt-et-un pays méditerranéens et l'Union européenne font partie intégrante du PAM, et leur objectif commun est un environnement sain en Méditerranée ([www.pap-thecoastcentre.org/](http://www.pap-thecoastcentre.org/) A propos du PAP).

L'objectif du Centre est de s'attaquer aux problèmes prioritaires en matière de développement et à leurs effets sur l'environnement et ses ressources.

Cette méthode est basée sur trois approches complémentaires et liées entre elles :

- L'approche prédictive ou cartographie prédictive consistant en l'identification, l'évaluation et l'intégration des facteurs physiques de base, tels que la physiographie (pentes), la lithologie, et l'occupation des sols, dans le but d'établir des hypothèses de départ concernant le risque d'érosion (érodibilité – érosion potentielle).
- L'approche descriptive ou cartographie descriptive consistant à décrire et à faire une évaluation qualitative des processus d'érosion actuels et actifs.
- L'approche d'intégration ou phase de consolidation et d'intégration, qui fournit le produit cartographique final identifiant et évaluant aussi bien le potentiel d'érosion (états érosifs) que les processus d'érosion actuels (J.C. Griesbach et al., 1998).

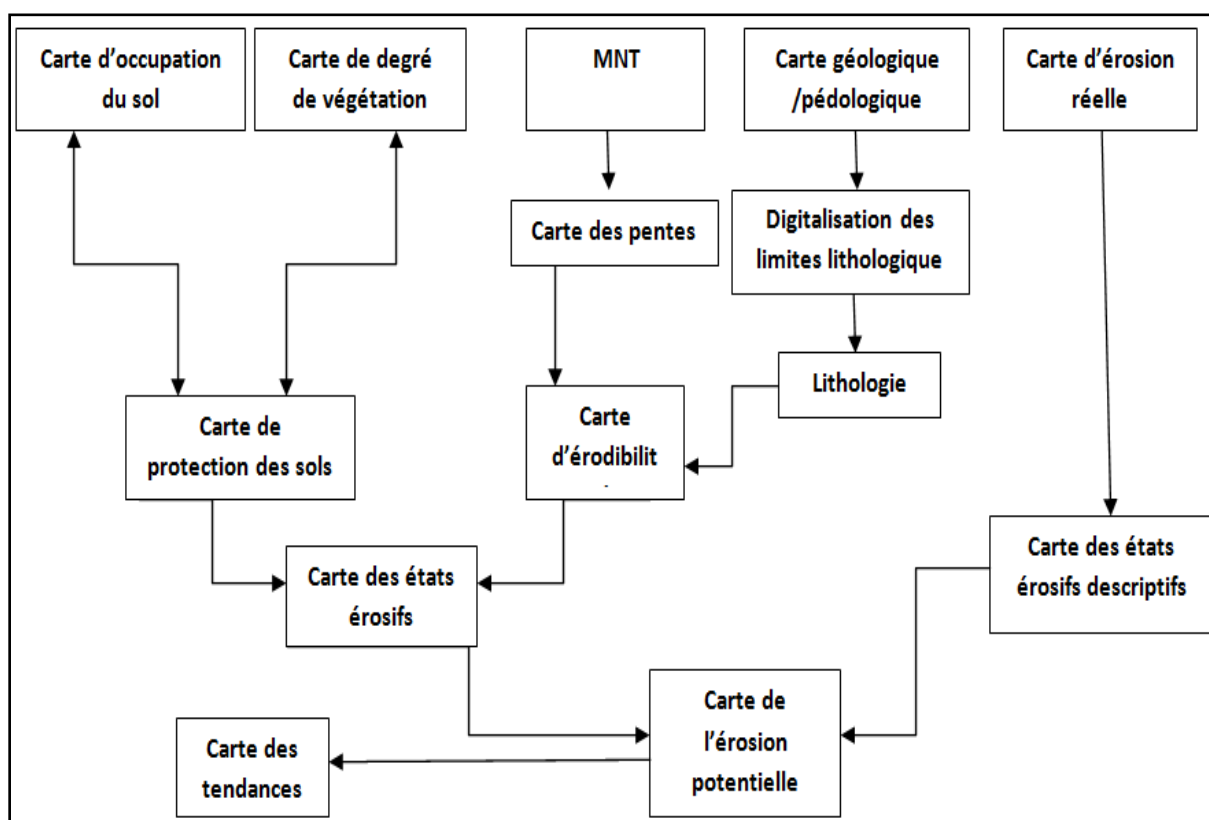


Figure 16: organigramme des étapes de l'évaluation de l'érosion hydrique par les directives PAP/CAR.

Les codes que nous avons donnés (pour les calculs matriciels), sont liés à l'état probable de l'érosion.

Nous attribuons les valeurs faibles aux zones facilement érodables, et les grandes valeurs aux zones difficiles à être éroder.

Les roches dures sont représentées par de faibles valeurs par rapport aux roches tendres (tableau2).

Les pentes jouent un rôle primordial dans l'érosion hydrique par la favorisation de ruissellement. C'est pour cela que nous avons donné les valeurs faibles aux pentes aux degrés faibles, les valeurs moyennes aux pentes moyennes et les grandes valeurs aux pentes extrêmes (tableau1).

L'occupation de sol : les zones à végétation dense sont de valeurs faibles suivies des zones de cultures puis des zones incultes ou des urbains (tableau3).

**Tableau 2: Les Codes de la matrice lithologique**

<b>carte lithologique</b>	
<b>Strate</b>	<b>code_litho</b>
<b>Roche résistante</b>	<b>1</b>
<b>Roche moyennement résistante</b>	<b>2</b>
<b>Roche Tendre</b>	<b>3</b>

**Tableau 1 : Les Codes de la matrice des pentes**

<b>carte des pentes</b>	
<b>strate</b>	<b>code_pentes</b>
<b>0-5</b>	<b>1</b>
<b>5-10</b>	<b>2</b>
<b>10-15</b>	<b>3</b>
<b>15-20</b>	<b>4</b>
<b>20-25</b>	<b>5</b>
<b>&gt;25</b>	<b>6</b>

**Tableau 3 : Les Codes de la matrice d'occupation du sol**

<b>carte d'occupation du sol</b>	
<b>strate</b>	<b>code_occup</b>
<b>Forets dense</b>	<b>1</b>
<b>Forets moyennement dense</b>	<b>2</b>
<b>Forets claire</b>	<b>3</b>
<b>Arboriculture</b>	<b>2</b>
<b>Terrains de culture</b>	<b>4</b>
<b>Terrains inclûtes + parcours</b>	<b>5</b>

#### Elaboration de la carte d'érodibilité :

La carte d'érodibilité est le résultat de la superposition de la carte des pentes et de la carte lithologique.

Les polygones résultant de la superposition des deux cartes de référence sont classés suivant la matrice montrée au (tableau 4).

Tableau 4 : Les Codes de la matrice d'érodibilité

Carte d'érodibilité				
		RR	RMR	RT
		1	2	3
0-5	1	2	3	4
5-10	2	3	4	5
10-15	3	4	5	6
15-20	4	5	6	7
20-25	5	6	7	8
25<	6	7	8	9

Selon les chiffres des résultats de la matrice, nous avons effectué ce classement d'érodibilité suivant :

2<= Erodibilité faible<=3

4<= Erodibilité Moyenne <=5

6<= Erodibilité Forte <=7

8<= Erodibilité Extrême <=9

#### Elaboration de la carte d'érosion :

La carte d'érosion est le résultat de la superposition de la carte d'érodibilité et de la carte d'occupation du sol.

Les polygones résultants de la superposition des deux cartes de référence sont classés suivant la matrice montrée dans le (tableau 5).

Tableau 5 : Les Codes de la matrice de la carte d'érosion

Carte d'érosion		Erodibilité							
		Faible		Moyenne		Forte		Extrême	
<b>L'occupation des sols</b>		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Forets dense</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Forets moyennement dense</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Forets claire</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Arboriculture</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Terrains de culture</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>Terrains inclûtes + parcours</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>

Selon les résultats de la matrice, nous avons effectué ce classement d'érosion suivant :

1<=Erosion faible<=4,

5<= Erosion moyenne <=7,

8<= Erosion forte <=10,

11<= Erosion extrême<=14



## Chapitre III :

# Evaluation de la dégradation potentielle des sols dans le sous bassin Ribat Al Khair

### I. Approche prédictive :

#### 1. Pentes :

La pente représente l'un des facteurs clés favorisant l'érosion et l'arrachement des particules dans les zones de ruissellement et le creusement, choses qui interviennent dans la dégradation de la surface terrestre.

Afin de réaliser cette carte, nous l'avons traité à l'aide de l'ArcGis par l'extension spatial analyste tools / slope pour subdiviser le terrain en polygones de classes différentes.

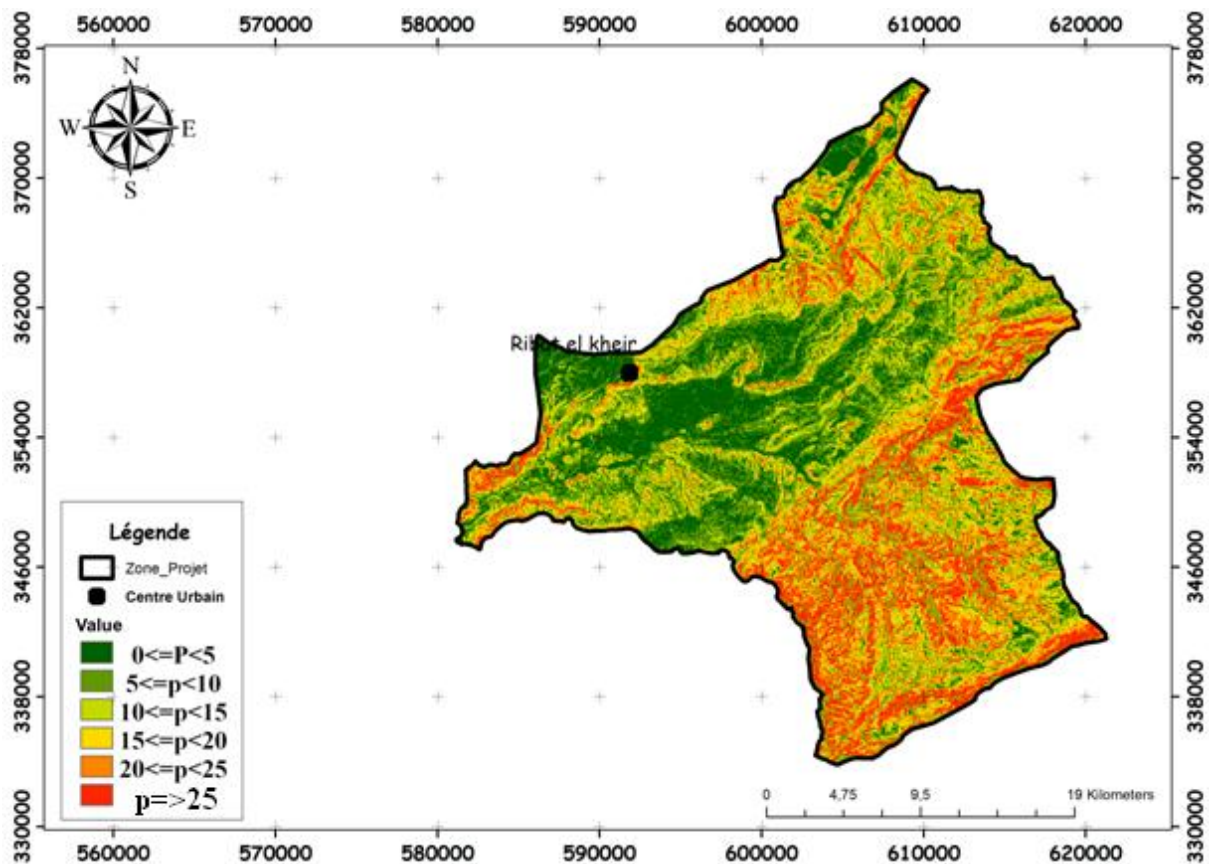


Figure 17: Carte des pentes du sous bassin Ribat Al Khair.

Les valeurs des pentes diffèrent en fonction des différentes structures. Nous trouvons à titre d'exemple les plus grandes valeurs au niveau des crêtes, et les moins fortes en bordure de fonds des principales vallées et au niveau des replats.

A l'aide de l'extension zonal statistique « as table », nous avons pu déterminer les valeurs du max et min des pentes pour le sous bassin Ribat Al Khair.

Max : 61,80°.

Min : 0°.

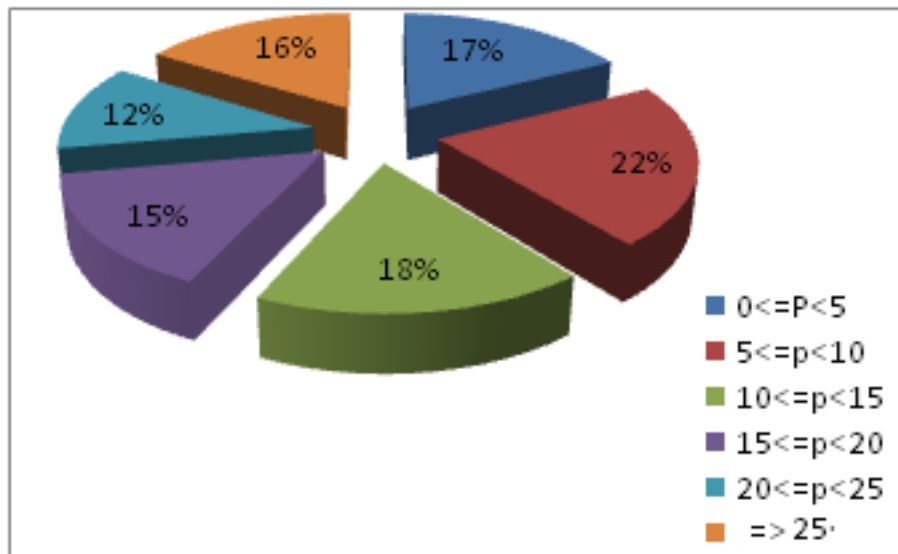


Figure 18: Répartition des pentes.

Les 6 classes que nous avons choisi se représentent comme suivant :

- Les pentes très faibles ( $\leq 5\%$ ) : s'étendent sur environ 17% de la superficie du bassin et occupent surtout son centre.
- Les pentes faibles (5- 10%) : constituent une classe bien répandue à l'échelle de la zone d'étude, soit 22% de la zone d'étude.
- Les pentes moyennes (10- 15%) : occupent une proportion considérable 18% de la surface totale du sous bassin.
- Les pentes fortes (15- 20%) : s'étalent sur les 15% du bassin.
- Les pentes très fortes (20- 25%) : représentent 12% à l'échelle du bassin et occupent les zones avec une grande altitude.
- Les pentes extrêmes (25%<) : s'étalent sur les 16% du bassin et occupent les zones aux altitudes extrêmes.

## 2. Lithologie :

La carte lithologique identifie les différents types de roches en fonction de leur degré de résistance mécanique. Nous distinguons trois types de classes lithologiques dans notre sous bassin: les roches tendres, les moyennement résistantes et les résistantes.

- Les roches tendres sont constituées essentiellement des cinérites et molasses Miocène supérieur. Cette classe occupe une superficie de 244 Km<sup>2</sup>.
- Les roches moyennement résistantes sont constituées de faciès détritiques du Jurassique moyen et toarcien. Elles représentent 84 Km<sup>2</sup> de la superficie du bassin-versant.
- Les roches résistantes sont représentées par un faciès lithologique composé de calcaire du Jurassique inférieur (Lias métamorphique) ainsi que du Trias avec basalte non subdivisé. Elles occupent la plus grande partie du sous bassin avec une superficie de 430 Km<sup>2</sup> représentant un pourcentage de 57% de la surface totale de Ribat Al Khair.

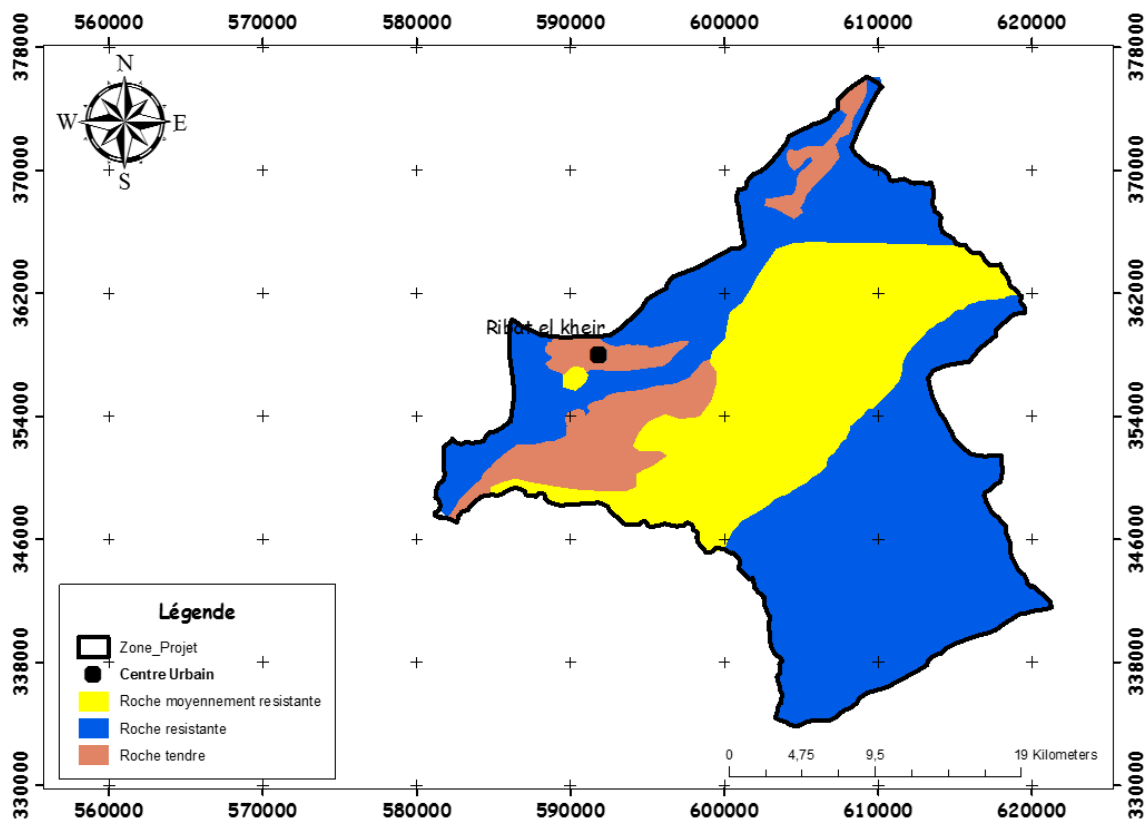


Figure 19: Carte lithologique du sous bassin Ribat Al Kair.

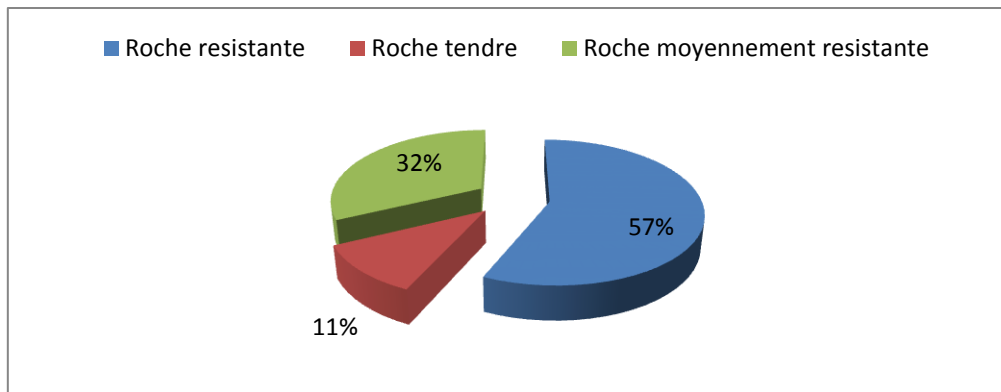


Figure 20: Diagramme de la répartition de la lithologie du sous bassin Ribat Al Khair.

Nous déduisons d'après le diagramme que la plus grande partie du sous bassin est occupée par des roches résistantes localisées surtout au Sud-Est et au Sud, alors qu'une partie beaucoup moins importante est occupée par les roches tendres présentant les 11%, et à la médiane nous retrouvons les roches moyennement résistantes.

**NB :** Les types de roches et leurs structures donnent des indications précieuses sur la capacité d'infiltration des zones occupées par les roches et par les sols, et en conséquence sur la quantité du sol susceptible d'être érodée (El Aroussi 2014).

### 3. Erodibilité :

L'érodibilité en géologie est la capacité d'un sol meuble à être érodible, c'est-à-dire sa sensibilité face à l'érosion en fonction de sa composition et de sa structure (Wiktionnaire).

Nous avons réalisé la carte d'érodibilité à partir de la superposition de la carte des pentes (fig17) et celle lithologie (fig19).

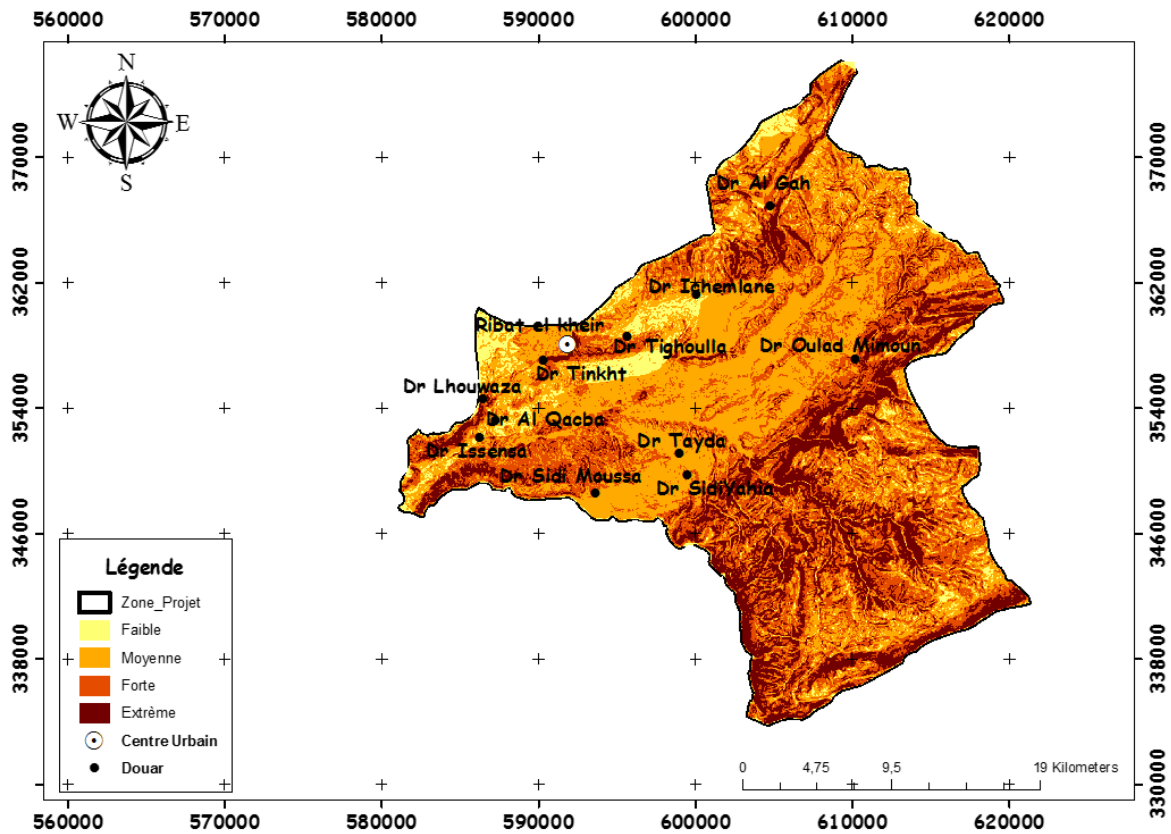


Figure 21: Carte d'érodibilité du sous bassin Ribat Al Khair.

Nous déterminons 4 classes d'érodibilité classées selon la sensibilité des sols à l'érosion.

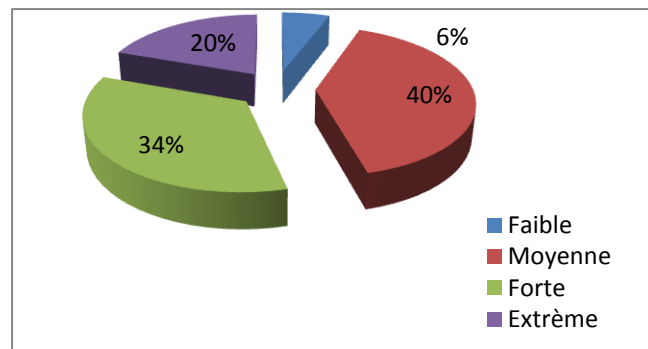


Figure 22: Diagramme de la friabilité des roches du sous bassin.

Nous remarquons d'après la carte et le diagramme une prédominance des sols moyennement érodés avec un pourcentage de 40% localisés surtout à la médiane du sous bassin, et un pourcentage important de 34% des sols érodés qui sont distribués un peu partout dans le bassin.

Le taux de l'érosion extrême représente 20% de la superficie du bassin, essentiellement au Sud-Est et les sols peu érodés ne représentent que 6% que nous trouvons surtout entre le Nord et l'Ouest.

#### 4. Occupation des sols :

La carte d'occupation des sols nous renseigne sur la répartition de toute forme d'utilisation des sols et le type de végétation (forêts, cultures,...) qu'ils occupent afin de déterminer les zones susceptibles d'être aménagées.

Nous identifions 6 classes à partir de notre carte d'occupation du sol qui se présentent comme suivant : forêts denses, forêts moyennement denses, forêts claires, terrains de culture, arboricultures, et finalement terrains incultes et parcours.

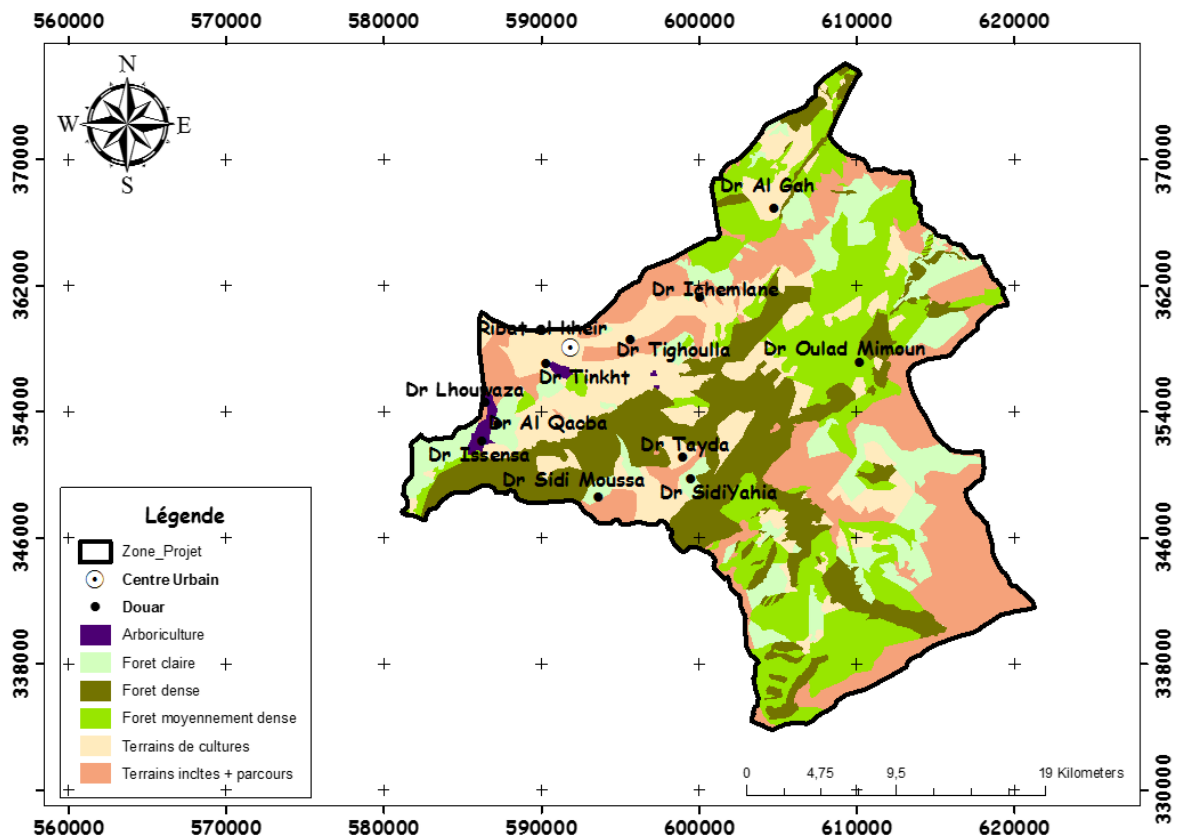


Figure 23: Carte d'occupation du sol.

Nous récapitulons les résultats issus de la carte et du diagramme : les forêts moyennement denses et les terrains incultes (et parcours) occupent les plus grandes superficies du bassin , et  $\text{km}^2$  respectivement. Quant aux forêts denses, elles présentent 22% et nous les trouvons surtout dans le Sud-Est de Ribat Al Khair. Les forêts claires sont dispersées un peu partout et présentent 13% alors que l'arboriculture ne présente que 1% et se situe à l'Ouest-Sud-Ouest du bassin. Finalement, les terrains de cultures se trouvent essentiellement à l'Ouest de Ribat Al Khair et représentent  $139 \text{ km}^2$  de sa superficie.

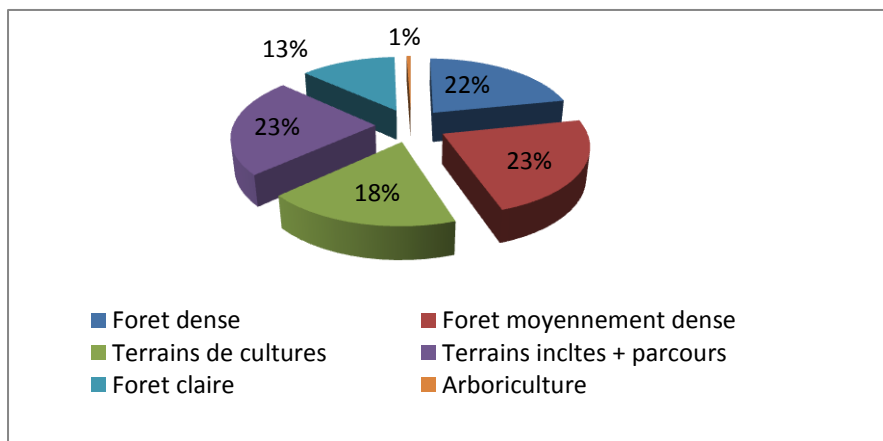


Figure 24: Diagramme de la répartition des types d'occupation du sol.

## II. Approche descriptive :

Cette approche consiste à délimiter les formes d'érosion et les processus érosifs.

La carte des formes d'érosion se réalise normalement à partir des observations sur le terrain et les navigations satellitaires qui permettent la digitalisation in-situ des formes d'érosion.

Les différentes formes d'érosion hydrique qui pourraient bien affecter notre bassin sont :

**1. L'érosion en nappe ou aréolaire ou laminaire:** C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion. Elle entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface, elle est peu visible d'une année à l'autre et le déplacement des particules se fait d'abord par effet "splash" à courte distance et ensuite par le ruissellement en nappe.

**2. 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.).

**3. L'érosion en masse :** c'est tout déplacement de terre selon des formes non définies, comme les mouvements de masse, les coulées de boue et les glissements de terrains.

**4. L'érosion hydrographique :** elle est due à la dissipation de l'énergie de l'eau dans les lits des cours d'eau et les rivières. Ce type d'érosion est étroitement lié au volume et à la vitesse de l'eau, qui dépend de la pente et du débit.

### III. Approche d'intégration :

#### 1. L'érosion :

La carte d'érosion est le résultat de la superposition des cartes : de pente, lithologique, et celle d'occupation des sols. Ou en d'autres termes, c'est la résultante issue de la superposition de la carte d'érodibilité et celle d'occupation des sols.

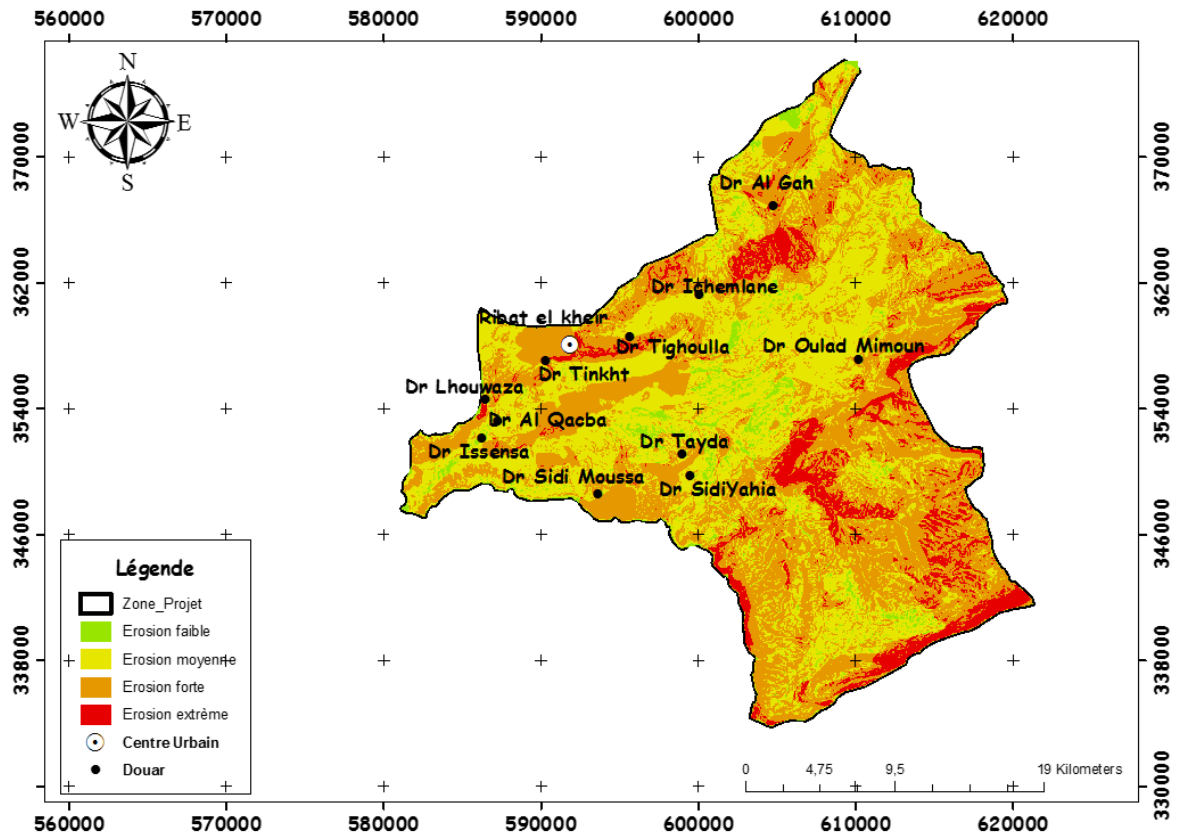


Figure 25: Carte d'érosion du sous bassin Ribat Al Khair.

D'après la carte, nous déterminons quatre zones d'érosion : Une zone à érosion faible, à érosion moyenne, à érosion forte et à érosion extrême.

L'érosion forte se manifeste avec un pourcentage important de 46% tout en se dispersant presque dans tout le bassin à l'exception de sa médiane, en occupant 350 Km<sup>2</sup> de sa superficie et dans des zones à pentes fortes.



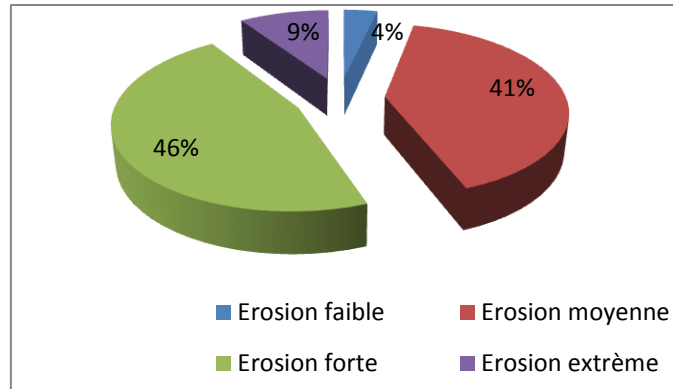


Figure 26: Diagramme de la répartition de l'érosion du sous bassin.

L'érosion moyenne vient après avec un pourcentage de 41% se dispersant à son tour presque dans tout le bassin, mais surtout à la médiane de ce dernier avec une superficie de 309 Km<sup>2</sup>.

L'érosion extrême ne présente que 9% et nous la trouvons essentiellement au Sud-Est du bassin. Le taux de l'érosion faible est de 4%, ce qui fait l'équivalent de 27 Km<sup>2</sup>, et correspond à des zones avec des pentes très faibles.

## Conclusions et Recommandations

Le sous bassin Ribat Al Khair fait partie du bassin Allal El Fassi, avec une situation au Nord du Maroc entièrement dans le moyen Atlas avec une superficie de 758Km<sup>2</sup>, il se caractérise par un climat de type semi humide avec une forte couverture végétale forêt (58%) et des terrains incultes et parcours avec (23%) et une absence de dominance d'une classe des pentes, une exposition presque égale pour toutes les orientations, les altitudes qui varient entre les 600m et 1400m se présentent sur la majorité du bassin avec un pourcentage de (66%), situé au centre, au Nord et même un peu au Sud.

Le réseau hydrographique est très développé et concentré dans le centre et l'ouest du sous bassin, 57% des roches résistantes et caractérisées par des calcaires et des basaltes. La carte d'érodibilité des roches montre que 40% des roches sont moyennement friables.

Les facteurs analysés à l'aide du SIG montrent la sensibilité du sous bassin Ribat Al Khair à l'érosion. La carte d'érosion montre qu'il y a une dominance de l'érosion forte à extrême sur 55% de la surface du bassin. Ce qui est généralement la conséquence des pentes fortes et des terrains moyennement résistants.

Cette dégradation se manifeste par différents processus et formes d'érosion hydrique dans la région. Devant cette menace qui pèse sur les ressources naturelles et sur l'économie en général, il est nécessaire d'intervenir selon des critères bien définis pour mener à bien la lutte contre l'érosion, nous proposons les aménagements suivants.

La collecte des eaux pluviales et l'installation des collecteurs fluviaux pour les réseaux hydrographiques, une intensification des cultures pour les terrains de cultures, la reconstitution des forêts et la plantation des espèces fourragères pour les parcours et les forêts et en parallèle de tous ces aménagements il faut limiter la surexploitation combinée aux mauvais usages des ressources naturelles de cette région.

### Aménagements et recommandations proposés

La carte de l'érosion a illustré à quel point le sous bassin Ribat Al Khair est menacé voir endommagé par l'érosion au niveau de la plus grande partie de sa superficie. Les causes de cet endommagement sont diverses et nombreuses, et se divisent en causes naturelles dont l'érosion hydrique, et en d'autres anthropiques dont l'homme est le seul responsable.

Pour cette étude, nous proposons des actions de conservation dans les différentes zones du bassin : les forêts, les terrains de cultures, le réseau hydrographique et les terrains de parcours.

- Aménagements des réseaux hydrographiques :

La collecte des eaux pluviales.

Installation des collecteurs d'eaux aux sources des Oueds Chafa Boufoul et celui de Ouraya.

- Aménagements des terrains de cultures :

**Pentes faibles** : l'intensification des cultures et la protection des sols et des eaux.

**Pentes moyennes** : améliorer les techniques culturales pour conservation des sols (en courbes de niveaux, bandes alternées..).

**Pentes fortes :** plantations fruitières antiérosives choisies en fonction des conditions lithologiques, climatiques, et topographiques. Elles doivent être de type : murettes, ou cordon, fossé en V, banquettes.

**Aménagements hydro-agricoles :** l'entretien des terrasses irriguées, développement des techniques de collecte des eaux pluviales au profit de l'irrigation, de l'abreuvement et de l'utilisation domestique.

- Aménagements des forêts :

Reconstitution des forêts dégradés par reboisement, ou espèces autochtones (la plantation d'arbres et arbustes).

Rajeunissement d'ancienne plantation et reconstitution des forêts naturelles.

Prévention et lutte contre les incendies des forêts.

- Aménagements des parcours :

L'amélioration des terrains de parcours par la plantation des espèces fourragère et l'épierrage.

L'Ouverture et l'entretiens des pistes.

## Annexes :

**Tableau 9: Répartition des Cercle au bassin allal el fassi**

Les Cercles	Surface en Km <sup>2</sup>	%
Azrou	1018	18%
imouzzer	110	2%
El Menzel	1371	24%
Sefrou	823	14%
Boulmane	2356	41%
Tahla	131	2%
<b>totale</b>	<b>5809</b>	<b>100%</b>

**Tableau 10 : La répartition des âges**

Temps géologique	Superficie en km <sup>2</sup>	%
jurassique moyen et toarcien	348	46%
Trias	46	6%
jurassique inférieur Lias	329	43%
pléistocène inférieur "villafranchien"	19	3%
crétacé inférieur stéphanien	8	1%
miocène sup	10	1%
<b>Totale</b>	<b>758</b>	<b>100%</b>

**Tableau 8: de la répartition des altitudes**

CLASSE L'altitude(m)	Surface en km <sup>2</sup>	%
600-1000	255	33%
1000-1400	249	33%
1400-1800	142	19%
1800-2200	91	12%
2200-2600	19	2%
2600<	7	1%
<b>Totale</b>	<b>758</b>	<b>100%</b>

**Tableau 11: La répartition des orientations**

Orientation	Surface en km <sup>2</sup>	pourcentage
Nord	99	13%
Nord-Est	73	10%
Est	72	9%
Sud-Est	90	12%
Sud	106	14%
Sud-Ouest	95	12%
Ouest	99	13%
Nord-Ouest	126	17%
<b>Totale</b>	<b>758</b>	<b>100%</b>

**Tableau 10: La répartition des ordres**

Ordres	Longueur en km	%
ordre 1	218	49%
ordre 2	135	30%
ordre 3	40	9%
ordre 4	35	8%
ordre 5	20	4%
<b>totale</b>	<b>448</b>	<b>100%</b>

**Tableau11 : La répartition de la précipitation**

Précipitation (mm)	Surface en Km <sup>2</sup>	%
>1000	90	12%
800-1000	178	23%
600-800	466	61%
400-600	25	3%
<b>Totale</b>	<b>758</b>	<b>100%</b>

Tableau 12: La répartition des pentes

Degré des pentes	Superficie en Km <sup>2</sup>	%
0<=P<5	133	18%
5<=p<10	165	22%
10<=p<15	133	18%
15<=p<20	116	15%
20<=p<25	89	12%
P=>25	122	16%
<b>Totale</b>	<b>758</b>	<b>100%</b>

Tableau 13: La répartition de la friabilité

Nature des roches	Superficie en km <sup>2</sup>	%
<b>Roche résistante</b>	<b>430</b>	<b>57%</b>
<b>Roche tendre</b>	<b>84</b>	<b>11%</b>
<b>Roche moyennement résistante</b>	<b>244</b>	<b>32%</b>
<b>Totale</b>	<b>758</b>	<b>100%</b>

Tableau 14 : La répartition de des sols

Type du sol	Superficie en Km <sup>2</sup>	%
<b>Foret dense</b>	<b>165</b>	<b>22%</b>
<b>Foret moyennement dense</b>	<b>175</b>	<b>23%</b>
<b>Terrains de cultures</b>	<b>139</b>	<b>18%</b>
<b>Terrains incltes + parcours</b>	<b>178</b>	<b>23%</b>
<b>Foret claire</b>	<b>97</b>	<b>13%</b>
<b>Arboriculture</b>	<b>4</b>	<b>1%</b>
<b>totale</b>	<b>758</b>	<b>100%</b>

Tableau15 : La répartition des classes d'érodibilité

Classe	Superficie en km <sup>2</sup>	%
<b>Faible</b>	<b>44</b>	<b>6%</b>
<b>Moyenne</b>	<b>304</b>	<b>40%</b>
<b>Forte</b>	<b>261</b>	<b>34%</b>
<b>Extrême</b>	<b>149</b>	<b>20%</b>
<b>Totale</b>	<b>758</b>	<b>100%</b>

Tableau16 : La répartition de l'érosion

Erosion	Superficie en km <sup>2</sup>	%
<b>Erosion faible</b>	<b>27</b>	<b>4%</b>
<b>Erosion moyenne</b>	<b>309</b>	<b>41%</b>
<b>Erosion forte</b>	<b>350</b>	<b>46%</b>
<b>Erosion extrême</b>	<b>72</b>	<b>9%</b>
<b>totale</b>	<b>758</b>	<b>100%</b>

## Bibliographie :

ABHM, 2006, données climatiques et pluviométriques de la région du sous bassin Ribat Al Kheir.

Direction des eaux et des forets Fès (1990), Cartes images du bassin Allal el fassi

EL AROUSSI (2014), Thèse, Etude de l'érosion et de la déposition des soles à l'échelle du bassin versant de l'Oued El Melleh (Fès-Maroc) par l'utilisation conjointe de la télédétection du SIG et des techniques de mesures sur le terrain.

Haut-Commissariat au Plan du Maroc direction du Fès données sociaux économiques (2004), Rapport de Recensement général de la population et de l'habitat, Fès N 820 à 833.

Ministère des travaux publics des communications direction de l'hydraulique division des ressources en eau ; Rapport 2012.

M.Saadi, E.A Hilali, M.Bensaid, A.Boudda, M.Dahmani, 1985 cartes Géologique du maroc 1/1000000 éditions du service géologique du Maroc.

SABAOUI, A. (1998) - Roles des inversions dans l'evolution Meso-cenozoique du Moyen Atlas Septentrional (Maroc). L'exemple de la transversal El Menzel-Ribat Al Khayr-Bou Iblan. These d'Etat -Es-Sciences. Fac. Scie. Fes. p. 432.

PAP/CAR: 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. 1998. pp xii+72.

## Webographie :

<http://www.accuweather.com/fr/ma/ribat-el-kheir/>

<http://www.astergdem.com/>

<http://www.ma.auf.org/erosion/>

[http://www.pap-thecoastcentre.org/about.php?blob\\_id=13&lang=fr](http://www.pap-thecoastcentre.org/about.php?blob_id=13&lang=fr)