



Année Universitaire : 2015-2016



Licence Sciences et Techniques : Géoressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Utilisation du SIG pour l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique du
bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi**

Présenté par:

**Driss YAAGOUB
Khalid SOUILAH**

Encadré par:

**Pr. BENABDELHADI Mohammed, FST-Fès
Ing. JAAFARI Younes, GEOACCESS – Fès**

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

**Ing. JAAFARI Younes
Pr. JABRANE Raouf
Pr. CHAOUNI Abdel-Ali
Pr. BENABDELHADI Mohammed**

Stage effectué à: GEOACCESS, Fès





REMERCIEMENTS

Au terme de la réalisation de ce travail de fin d'étude, nous tenons à remercier vivement tous ceux qui ont de près ou de loin apporté leurs contributions à la réalisation de ce travail, ils trouvent toute notre reconnaissance. Nous adressons nos remerciements particulièrement à Monsieur BENABDELHDI MOHAMED, professeur à la faculté des Sciences et Techniques Fès, qui a bien voulu assurer l'encadrement de ce projet, il nous a dirigé, guidé et conseillé tout au long de ce travail, et nous a appris la méthodologie de travail. Monsieur JAAFARI YOUNES, au sein du bureau inventaire, GéoAccess études et travaux topographiques, pour toutes les facilités qu'il nous a accordé tout au long de ce stage, ses conseils précieux tout au long la période du stage, nous lui adressons notre profonde gratitude et nos vifs remerciements. Que ce travail soit le témoignage de notre implication ainsi que notre profonde reconnaissance. Que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet, trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus chaleureux.



SOMMAIRE :

✓ Introduction.....	7
✓ Méthodologie du travail.....	7
✓ Chapitre 1 : étude des caractéristiques de la région du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	9
1.1. Situations de la zone d'étude.....	9
1.1.1. Situation géographique.....	9
1.1.2. Situation administrative.....	10
1.1.3. Situation géologique.....	11
1.1.4. Situation topographique.....	12
1.2. Etude du milieu physique et humain	18
1.2.1. Les sols.....	18
1.2.2. La lithologie.....	21
1.2.3. Facteurs climatiques.....	22
1.2.4. Couvert végétal.....	24
1.2.5. Facteurs socio-économiques.....	25
✓ Chapitre 2 : évaluation qualitative de l'érosion.....	27
2.1. L'érosion hydrique	27
2.2. Les principaux facteurs intervenant dans l'érosion hydrique.....	27



2.3. Analyse de la carte d'érosion.....	31
✓ Chapitre 3 : Les aménagements proposés du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	32
3.1. Aménagements en forêt.....	32
3.2. Aménagement des terrains de cultures.....	33
3.3. Aménagements du réseau hydrographique.....	34
✓ Conclusion.....	36
✓ Bibliographie.....	38
✓ Annexes.....	39



LISTE DES FIGURES :

Figure1 : Carte des sous bassins du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	9
Figure2 : Carte administrative du bassin versant en amont du Barrage Allal El Fassi.....	10
Figure3 : Diagramme de la répartition des cercles en fonction de leur surface dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	10
Figure4 : Carte géologique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	12
Figure5 : Carte des pentes du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	13
Figure 6 : Diagramme de la répartition des pentes dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	14
Figure7 : Carte de la longueur de pente du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	15
Figure8 : Diagramme de la répartition de longueur de pente dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	15
Figure9 : Carte hypsométrique du bassin versant en amont du barrage Allal E.....	16
Figure10 : Diagramme de la répartition des altitudes dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	16
Figure11 : Carte du facteur LS du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	17
Figure12 : Diagramme de la répartition du facteur LS dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	18
Figure13 : Carte pédologique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	19



Figure14 : Diagramme de la répartition du sol dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	21
Figure15 : Carte lithologique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	21
Figure16 : Diagramme de la répartition lithologique dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	22
Figure17 : Carte d'érodibilité des sols du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	28
Figure18 : Diagramme de la répartition du facteur K dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	29
Figure19 : Carte d'occupation du sol du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	29
Figure20 : Diagramme de la répartition du type d'occupation du sol dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	30
Figure21 : Carte d'érosion du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	31
Figure22 : Diagramme de la répartition d'intensité d'érosion dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.....	32

LISTE DES ABREVIATIONS :

ABHS : Agence du Bassin Hydraulique de Sebou.

SAFBVMAF : Système d'Aménagement de Forêts et des Bassins Versant du Moyen Atlas-Fès.

SAU : Système Agricole Utile.

SIG : Système d'Information Géographique.



Introduction :

Au Maroc, pays essentiellement aride, les bassins versants en amont des barrages existants, ou prévus dans le futur proche, couvrent une superficie totale de plus de 20 millions d'ha dont plus de 50% présentent des risques importants d'érosion et nécessitent des aménagements. La conséquence la plus néfaste des phénomènes d'érosion réside dans le transport vers l'aval d'alluvions qui, en s'accumulant dans les retenues des barrages, réduisent leur capacité de régularisation. Ainsi, la capacité des barrages perdue chaque année par envasement est estimée à 75 millions de m³, soit 0,4% par an. L'érosion des sols constitue par ailleurs un grave problème écologique au niveau des zones amont et se traduit par des pertes économiques considérables.

Notre travail consiste à étudier le type d'érosion dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi. Pour cela nous allons utiliser le système d'information géographique (SIG) pour élaborer plusieurs cartes thématiques (carte administrative, d'occupation du sol, des pentes, d'hypsométrie, d'érodibilité, de la lithologie, du facteur topographique, de la longueur de pente et la carte pédologique) nous allons étudier aussi la carte d'érosion. L'étude de cette carte va mettre en évidence les zones où il faudrait intervenir pour protéger les sols de l'érosion. Nous terminerons par des propositions d'aménagements pour lutter contre ce fléau.

Méthodologie du travail :

Le SIG peut être défini comme un système informatique de gestion et de manipulation des données géographiques, comprenant aussi bien l'ensemble des données que l'outil logiciel. Les principales composantes du SIG sont: le matériel, les logiciels, les données, les utilisateurs et les méthodes.

Nous avons utilisé pour la réalisation de notre projet le logiciel Arc Gis 10.2, ce logiciel est spécifique pour la conception et l'architecture des bases de données cartographiques, le géo traitement de l'information géo spatiale, la modélisation tel que la superposition et l'intersection des cartes thématiques et l'analyse de l'information cartographique obtenu. Cet outil est considéré par les opérateurs SIG comme un support d'aide à la prise de décision.



Utilisation du SIG pour l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi



Nous avons commencé par la localisation du bassin versant puis la digitalisation des cartes thématiques de la zone d'étude (carte administrative, des pentes, des longueurs des pentes, du facteur topographique, d'érodibilité, d'hypsométrie, de pédologie, d'occupation des sols et de la lithologie) afin de déterminer l'état érosif dans la zone d'étude, nous avons digitalisé aussi la carte d'érosion et son analyse nous a permis de préciser les zones où il faut réaliser des aménagements et les zones où les aménagements réalisés sont efficaces.

Chapitre1 : étude des caractéristiques de la région du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi

1.1. Situations de la zone d'études

1.1.1. Situation géographique

Le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi s'étend sur une superficie d'environ 5770km², situé au nord du Maroc, dans la zone1 (nord Maroc Merchich) entièrement dans le domaine moyen atlasique. Il se localise entre les latitudes 33° et 34° nord et les longitudes 4° :03' et 5° :20' ouest. Il se limite, dans sa partie nord, par le couloir de Fès-Taza, à l'ouest par la plaine de Fès-Meknès et une partie de la Meseta occidentale, le côté sud et est sont limités par le domaine moyen atlasique (fig.1).

Ce bassin versant est subdivisé en 13 sous-bassins qui sont : Zloul, Zraa, Lamaasser, El Kifane, Boufoul, Ghjdoul, Guigo, Azhar, Bechna, Bni Alaham, Zgane, Boukhamouj et Mtarnagha.

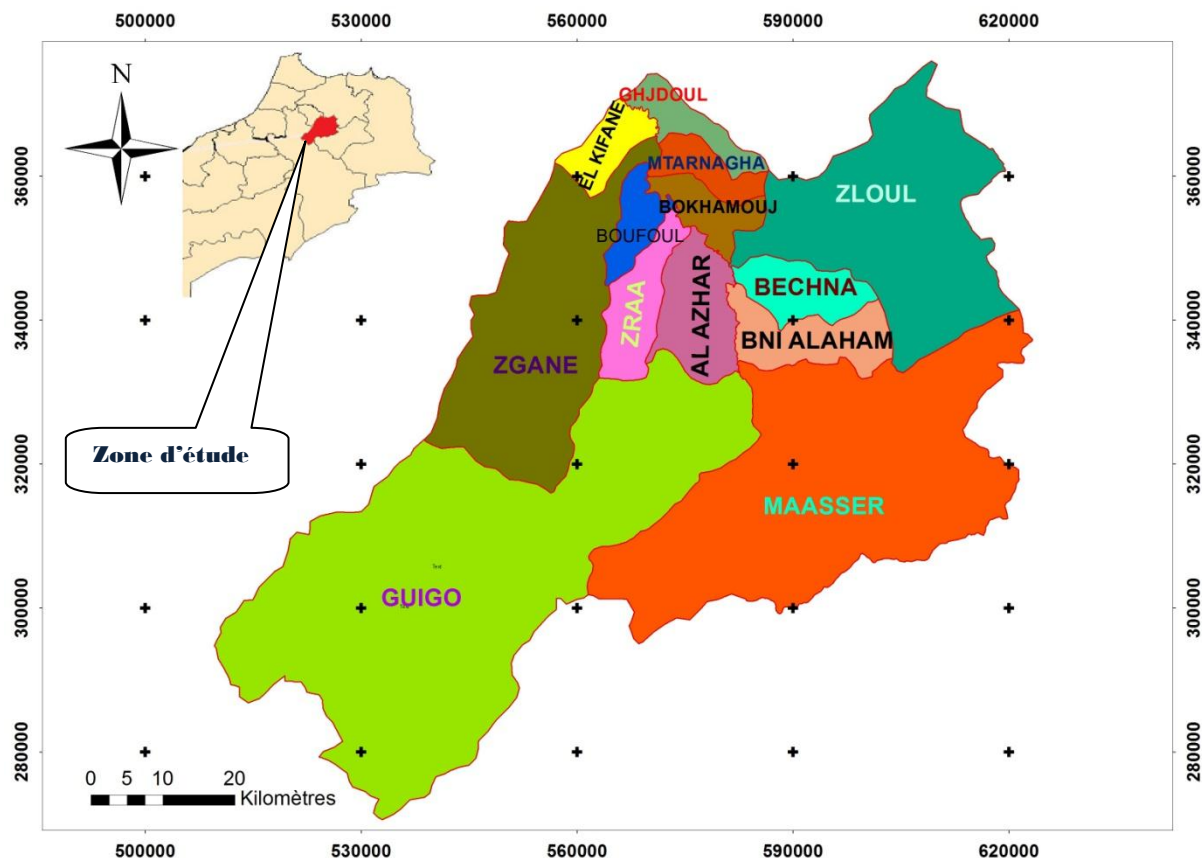


Figure1: Carte des sous bassins du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

1.1.2 Situation administrative

Notre bassin versant s'étale sur les provinces de Boulemane, Sefrou, Taza et Ifrane constituant six cercles (Boulmane, Azrou, Immouzer, Tahla, Sefrou, El Menzel) qui sont subdivisés en 33 communes rurales.

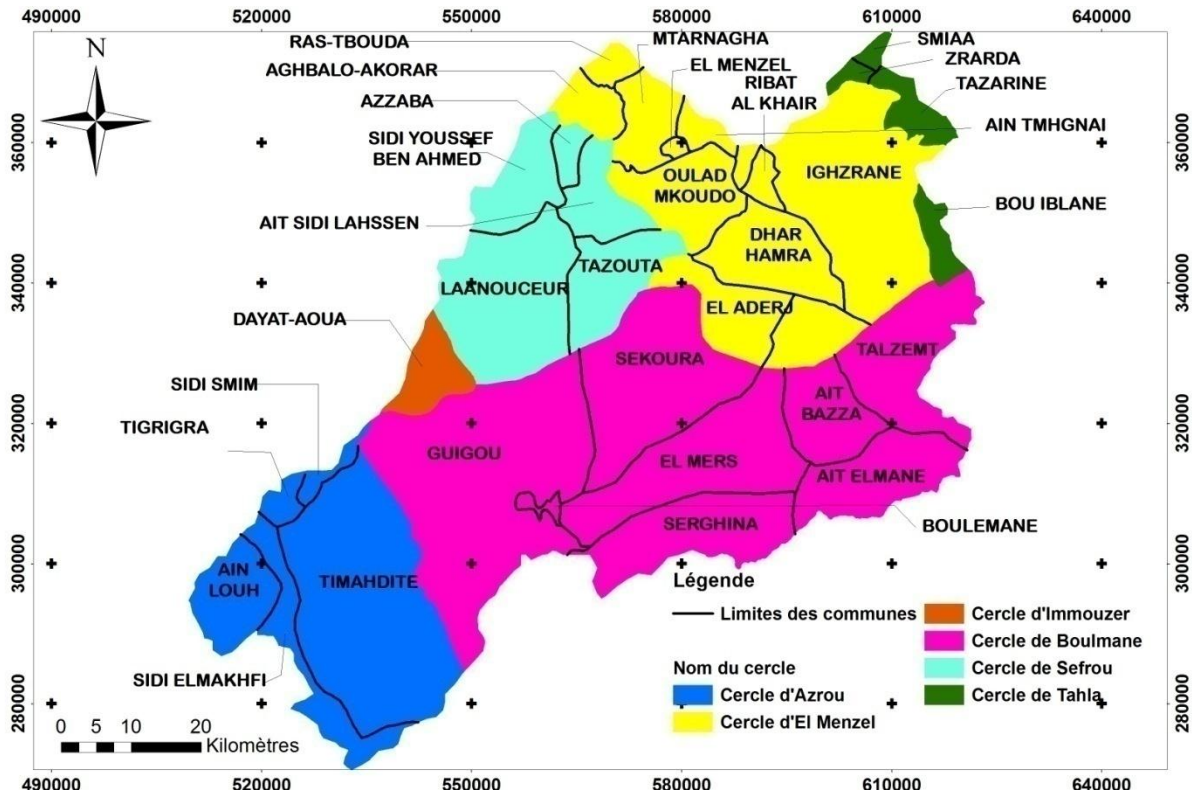


Figure2 : Carte administrative du bassin versant en amont du Barrage Allal El Fassi.

Les cercles occupent des surfaces différentes sur le bassin versant selon le diagramme (fig.3).

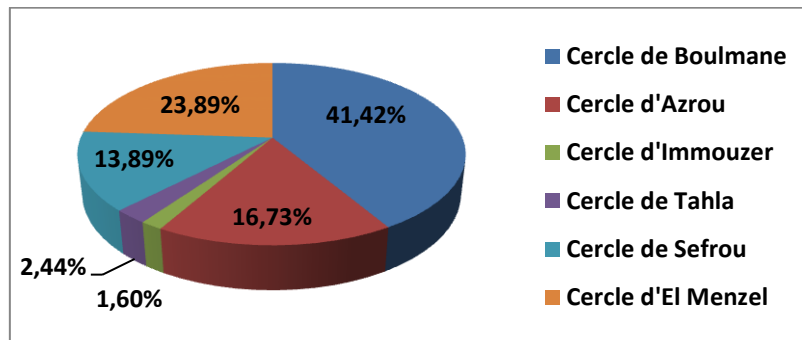


Figure3 : Diagramme de la répartition des cercles en fonction de leur surface dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.



L'analyse du diagramme montre que le cercle de Boulmane s'étend sur une grande partie du bassin (41,42% de la surface totale), alors que le cercle d'Immouzer vient en dernier lieu (n'occupe que 1,60% de la surface du bassin).

1.1.3 Situation géologique

La zone d'étude se situe dans le domaine du Moyen-Atlas (Moyen-Atlas tabulaire et Moyen-Atlas plissé) qui se présente sous forme de rides montagneuses parallèles et successives et dont l'individualisation revient au jurassique. Les affleurements géologiques rencontrés dans la zone appartiennent aux différents Eres du Phanérozoïque ; dans les boutonnières (comme El Menzel), on trouve des terrains du socle Paléozoïque (schistes), le Permo-trias montre des argilites grises ou bleues, il ya aussi présence des argiles rouges et des basaltes du Trias. Les calcaires et les dolomies du Lias occupent une grande partie des terrains du bassin puis on trouve le Jurassique moyen et le Toarcien avec des marnes et des marno-calcaires. Le Plio-quadernaire est représenté par des basales (activité volcanique importante dans le Moyen-Atlas) et des dépôts détritiques. (Colo, 1961 ; Martin, 1966 ; Du Dresnay, 1963).

Le relief du bassin versant est caractérisé par trois types d'unités morpho-structurales : les rides anticlinales, les synclinaux et les plaines.

- Les rides anticlinales : on distingue des rides anticlinales correspondant aux lignes de crêtes les plus élevées du bassin-versant qui sont Tichchoukt (2796m) et Bou Iblane (3192m). Elles sont formées de dolomies et de calcaires du Lias et constituent l'ossature du Moyen-Atlas plissé.

- Les synclinaux: à l'échelle du bassin-versant, les synclinaux d'El Mers, Marmoucha et Skoura sont constitués dans l'ensemble de substrats durs et relativement résistants à l'érosion (grès, calcaires) et affleurent partout sous forme des grandes crêtes appelées relief en «cuesta ».

- Les plaines: au niveau du bassin-versant, on distingue deux plaines principales: la plaine d'Almis Marmoucha caractérisée par des pentes moyennes inférieure à 5% et la plaine de Skoura qui correspond à la partie élargie de l'oued Guigou et M'dez. Ces plaines regroupent les terrains plats ou peu pentus situés en rive gauche de l'oued.

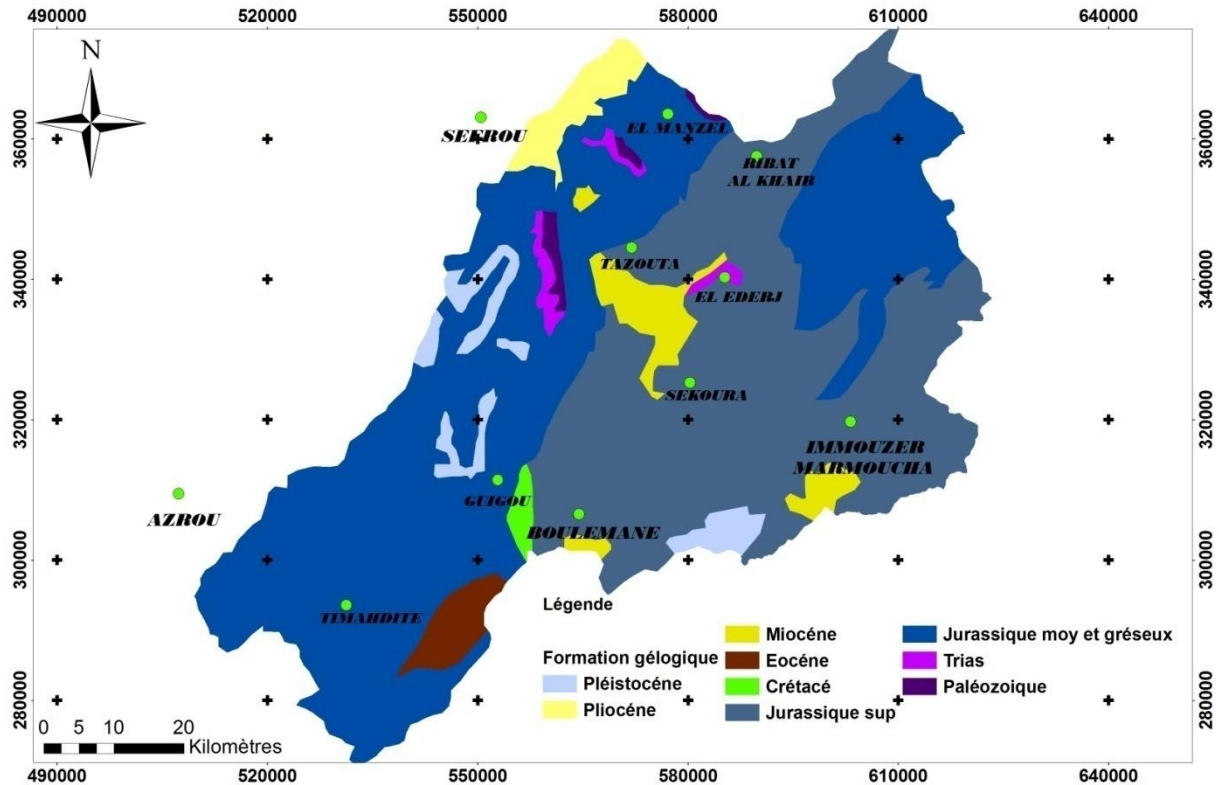


Figure4 : Carte géologique du bassin versant en amont du Barrage Allal El Fassi.

1.1.4 Situation topographique

- **Pente**

La pente est désignée comme un facteur capital qui favorise l'érosion, elle donne aux zones de ruissellement l'énergie nécessaire pour l'arrachement des particules, le creusement des rigoles et des ravins, et le sapement des berges et par conséquent la dégradation de 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.



Utilisation du SIG pour l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi

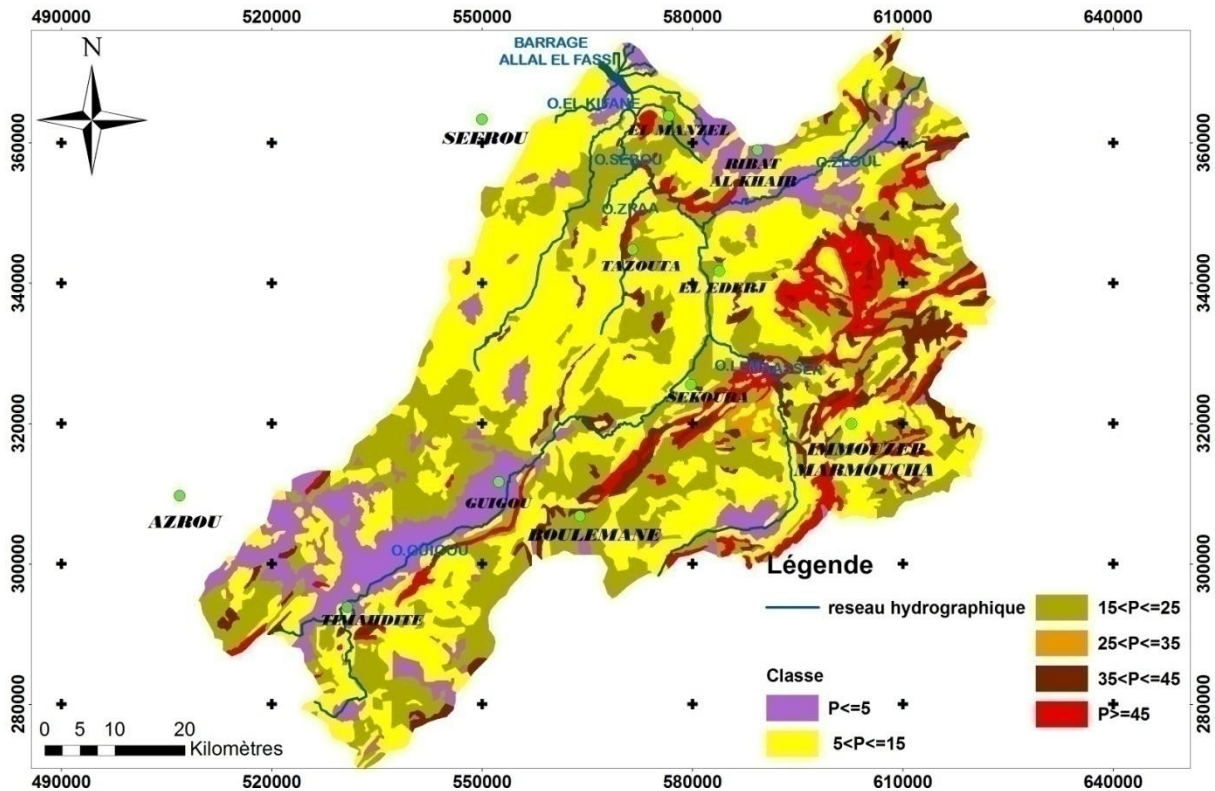


Figure5 : Carte des pentes du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

L'étude de la carte des pentes (fig.4) et du tableau (tab. 1 annexe) identifient que le bassin versant est caractérisé par une prédominance des pentes faibles ($5 < P \leq 15$) qui s'étendent sur environ 35,2% de la superficie du bassin, elles sont localisées essentiellement dans la partie W à NW de la zone d'étude. Par contre les classes des pentes fortes ($p \geq 45$) s'étendent sur environ 7,5% de la superficie. Elles sont localisées dans la partie E du bassin versant, et vient en dernier les classes des pentes moyennement fortes ($35 < P \leq 45$) qui sont les moins représentées avec à peine 0,6%.

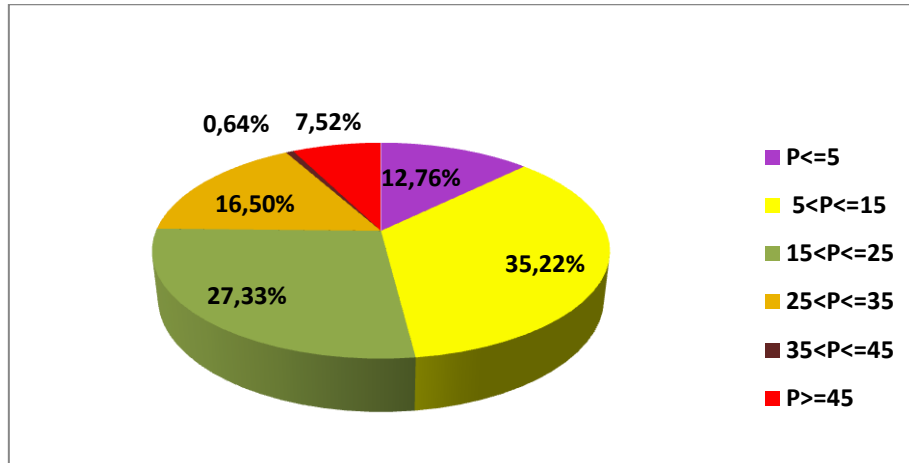


Figure6 : Diagramme de la répartition des pentes dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

- **Longueur de pente**

La longueur de pente est définie par la distance à partir de la ligne des partages des eaux jusqu'à un obstacle correspondant au point où la sédimentation commence ou au point où l'eau de ruissellement se concentre et pénètre dans le réseau de drainage (Wischmeier et Smith, 1978).

Les longueurs des pentes sont déterminées en considérant les pentes des versants comme étant uniformes. Six classes de longueurs de pentes sont retenues (tab. 2 annexe).

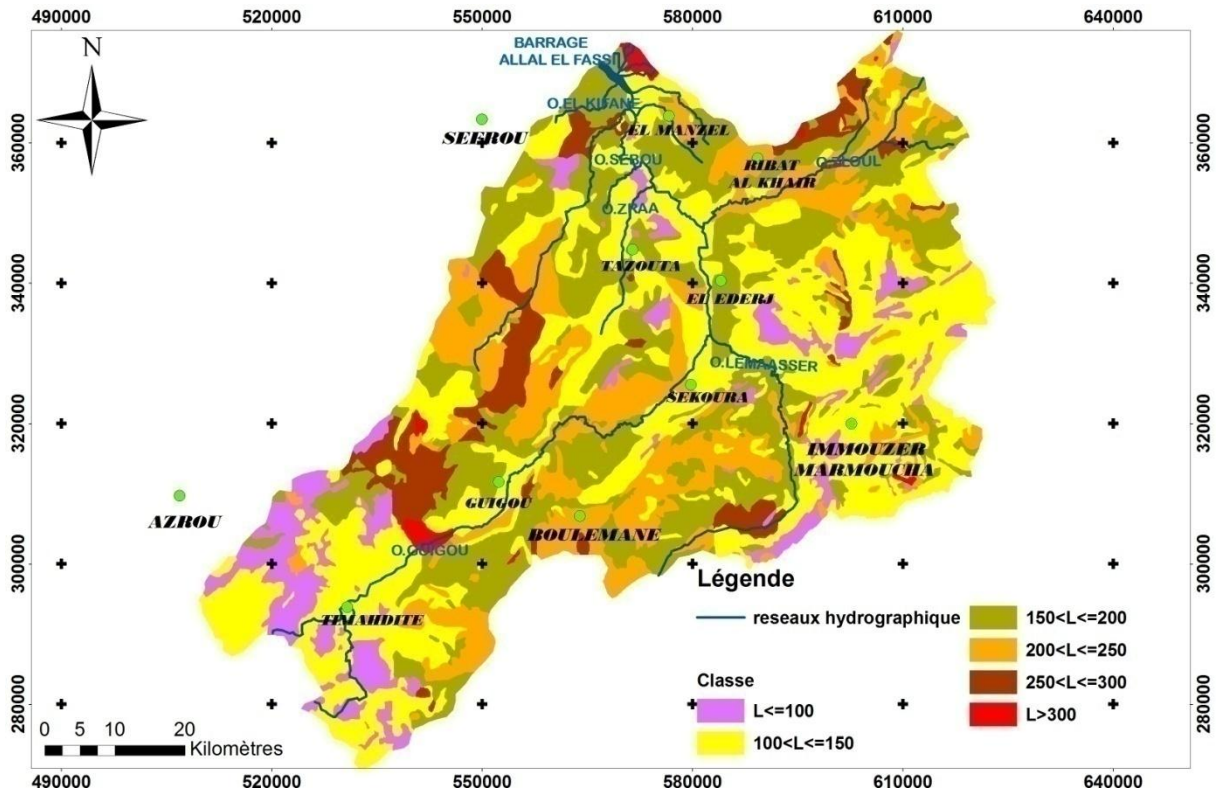


Figure7 : Carte de la longueur de pente du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

L'analyse de la carte de la longueur de pente (fig.6) et du tableau (tab. 2 annexe) nous permettent de distinguer que le bassin versant est caractérisé par une prédominance des pentes à longueur faible ($L \leq 150$) qui s'étendent sur environ 46,2% de sa superficie. Les classes de longueur de pente forte ($L > 200$) occupent 26,1% de la superficie et enfin on trouve que les classes de la longueur de pente moyenne ($150 < L \leq 200$) qui occupent 27,7% de la surface totale du bassin versant.

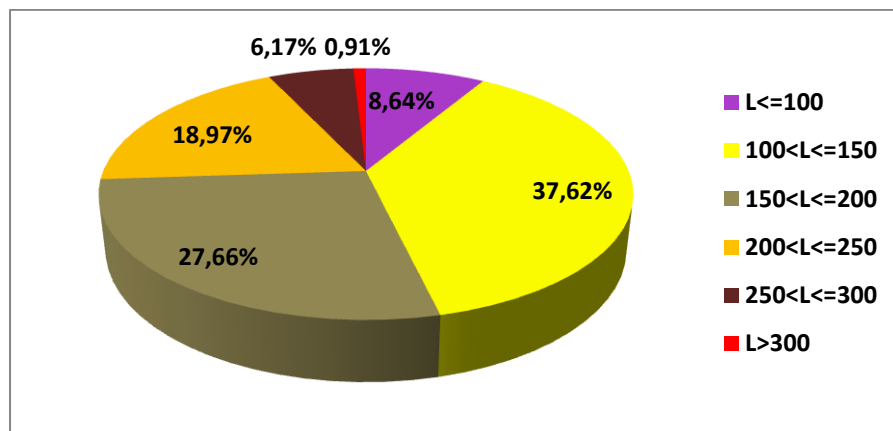


Figure8 : Diagramme de la répartition de longueur de pente dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

• **Hypsométrie**

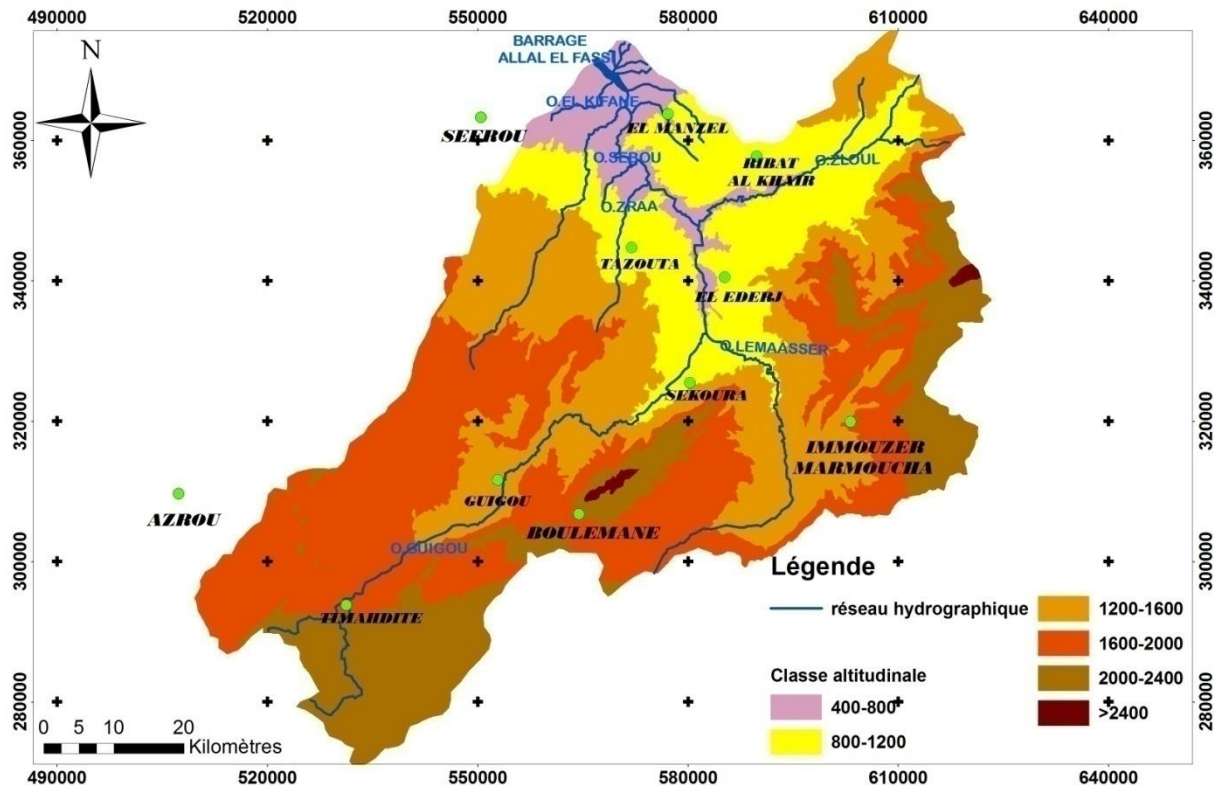


Figure9 : Carte hypsométrique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

D'après l'étude de la carte hypsométrique, on remarque que dans notre région d'étude le dénivelé est de 2000 m et il ya des zones qui témoignent d'un relief avec des sommets dépassant les 2400m. La partie NW se caractérise par des altitudes assez élevées pour avoir un exutoire à 400m plus en aval. La médiane quant à elle avec une pente plus douce, les sommets peuvent atteindre 1600m.

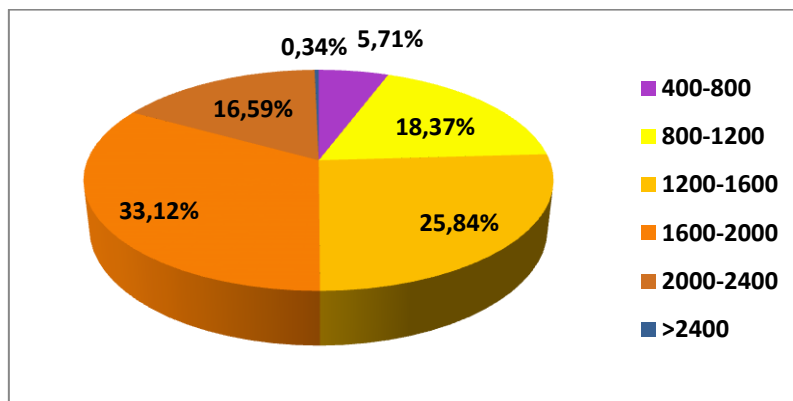


Figure10 : Diagramme de la répartition des altitudes dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.



L'analyse du diagramme nous permet de remarquer la dominance des altitudes variantes de 1600m à 2000m qui occupe 33,12% de la surface du bassin versant. Les sommets dépassant les 2400 n'occupent que 0,34% de la surface totale.

- **Facteur topographique(LS)**

C'est la combinaison entre le facteur de l'inclinaison de la pente et le facteur de la longueur de pente. Il a été calculé par la formule de Wischmeier et Smith (1978) :

$$LS = (L/22,13)^m \cdot (0,065 + 0,045.S + 0,065.S^2)$$

Où L est la longueur de pente en m, S est l'inclinaison de la pente en %, m est un paramètre tel que m = 0,5 si la pente est > 5%, m = 0,4 si la pente est de 3,5 à 4,5 %, m = 0,3 si la pente est de 1 à 3 % et m = 0,2 si la pente est < 1%.

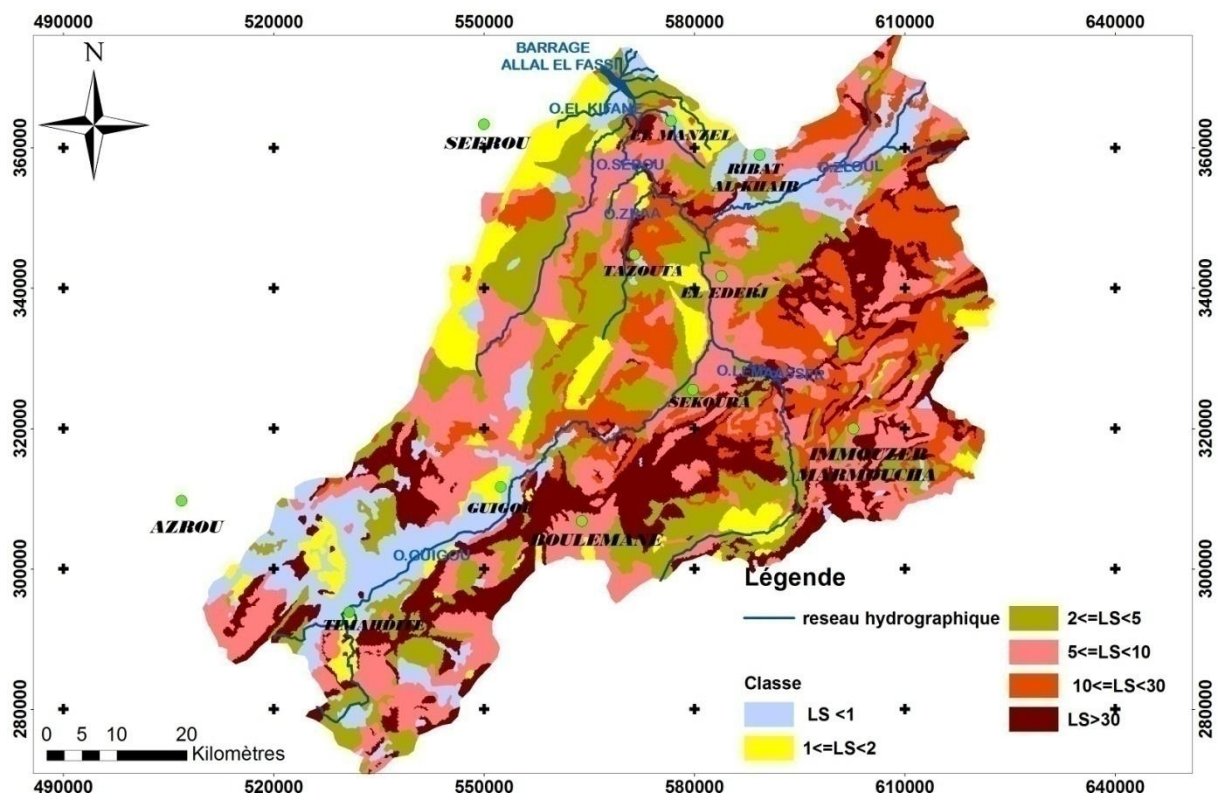


Figure11 : Carte du facteur LS du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

La distribution du facteur topographique (LS) montre que 32,23% de la surface du bassin versant a une valeur de LS inférieure à 10 et que 67,77 % de cette superficie représente une valeur de LS supérieure à 10. Par conséquent, une partie importante dudit bassin est soumise à un grand risque d'érosion car dans ces zones on aura une



penne très importante est plus longue ce qui facilitera le détachement et le transport des particules par les facteurs d'érosion car plus la pente est importante et plus l'énergie de l'agent de transport est important ce qui augmente le degré d'érosion.

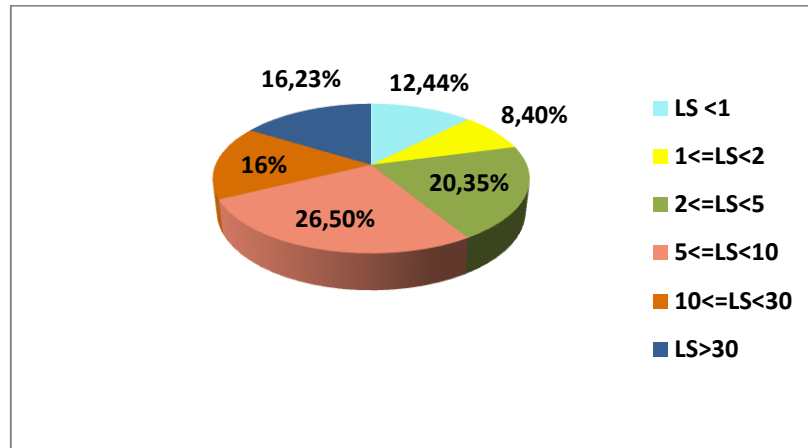


Figure12 : Diagramme de la répartition du facteur LS dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

1.2. Etude du milieu physique et humain du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi

1.2.1 Sols

Le sol désigne la partie supérieure qui constitue la croûte terrestre. Issu de la métamorphose de la roche mère, le sol de la terre sert de trait d'union entre la lithosphère, l'enveloppe terrestre rigide de la surface, et la biosphère, qui correspond au système planétaire rassemblant les organismes vivants et les milieux où ils se développent. Le sol, lui, sert de support au développement d'un écosystème.

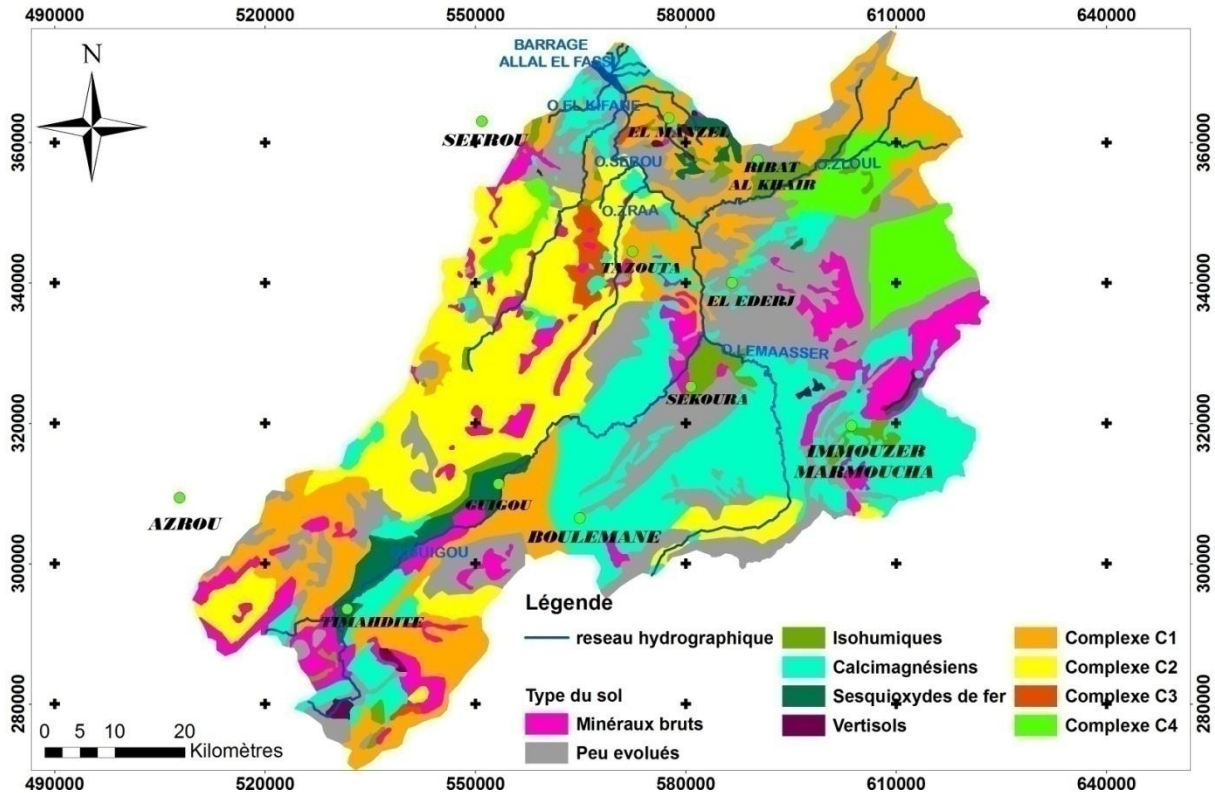


Figure13 : Carte pédologique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

Le bassin versant présente une gamme de sols riches et diversifiés composés d'unités simples et d'unités complexes. Les principaux sols rencontrés sont les minéraux bruts, les peu évolués, les calcimagnésiques, les isohumiques, les sols à sesquioxydes de Fer, les vertisols et les unités complexes qui occupent des surfaces différentes (tab. 3 annexe).

Sols calcimagnésiques:

Ce sont des sols qui occupent une grande superficie (21,52%), ils sont dominés par les ions alcalino-terreux (Ca, Mg) et leur profil est souvent peu épais avec accumulation des carbonates ou de gypse en profondeur (les rendzines).

Sols peu évolués:

Ce sont des sols à pédogenèse externe dominante, peu différenciés (superficiel ou peu structuré). Leur profil AC montre une altération assez nette de la roche mère avec présence par endroit d'un faible horizon humifère. Ces sols sont faiblement décarbonatés (si leur matériel est calcaire) et sont les plus exposés à l'érosion. Ils occupent 21,22% de la surface totale.



Sols des minéraux bruts :

Des sols initiaux à profil de type AC ou AR, ont une texture très calcaire. La roche mère affleure le plus souvent et la matière minérale est à peine désagrégée avec absence ou la rareté de la matière organique. Cette classe de sols se présente sous forme de dalles calcaires massives. En absence de végétation et d'humidité, ces sols ne peuvent pas subir d'évolution pédologique. Ils couvrent 9,92% de la superficie du bassin.

Sols isohumiques:

Ce sont des sols épais, noirs, très riches en matières organiques qui se forment en région tempérée au climat sec (pluviométrie inférieure à 500 mm par an). Ces sols donnent des terres agricoles très fertiles. Ils occupent seulement 3,09% de la superficie totale.

Vertisols:

Ce sont des sols riches en argile du type 2/1 c'est-à-dire contenant une couche d'oxyde d'aluminium enserrée par deux couches de tétraèdres de silice ; Legros J. (2007). Ces types de sols gonflent ou dégonflent généralement en fonction de leur teneur en eau et sont souvent affectés de fentes de retrait à la dessiccation. Ils sont très rares (0,47%).

Sols à sesquioxides de Fer:

Ce sont des sols qui colonisent les zones les plus humides et sur substrat argileux ou marneux argileux. Ainsi, l'altération des minéraux est poussée permettant l'altération du fer (Fe), magnésium (Mg), aluminium (Al) ou silicium et aluminium (Si/Al). Ces sols sont généralement lessivés et forment des cuirasses d'accumulation très dures. Ils occupent 2,47% de la surface totale du bassin versant.

Les unités complexes:

Complexe de sols peu évolués d'érosion de plusieurs types de roches qui se développent sur différents affleurements (argiles rouges salifères du Trias, calcaire dolomitiques du Lias,...).

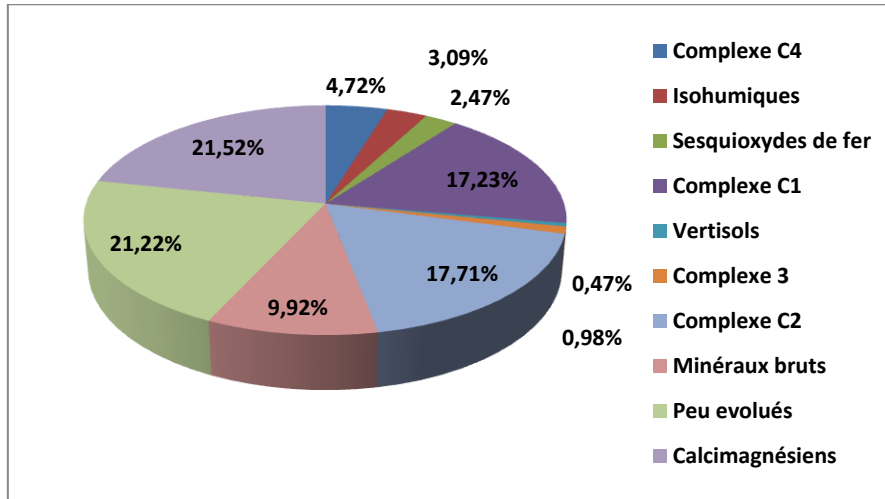


Figure14 : Diagramme de la répartition du sol dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

1.2.2 Lithologie :

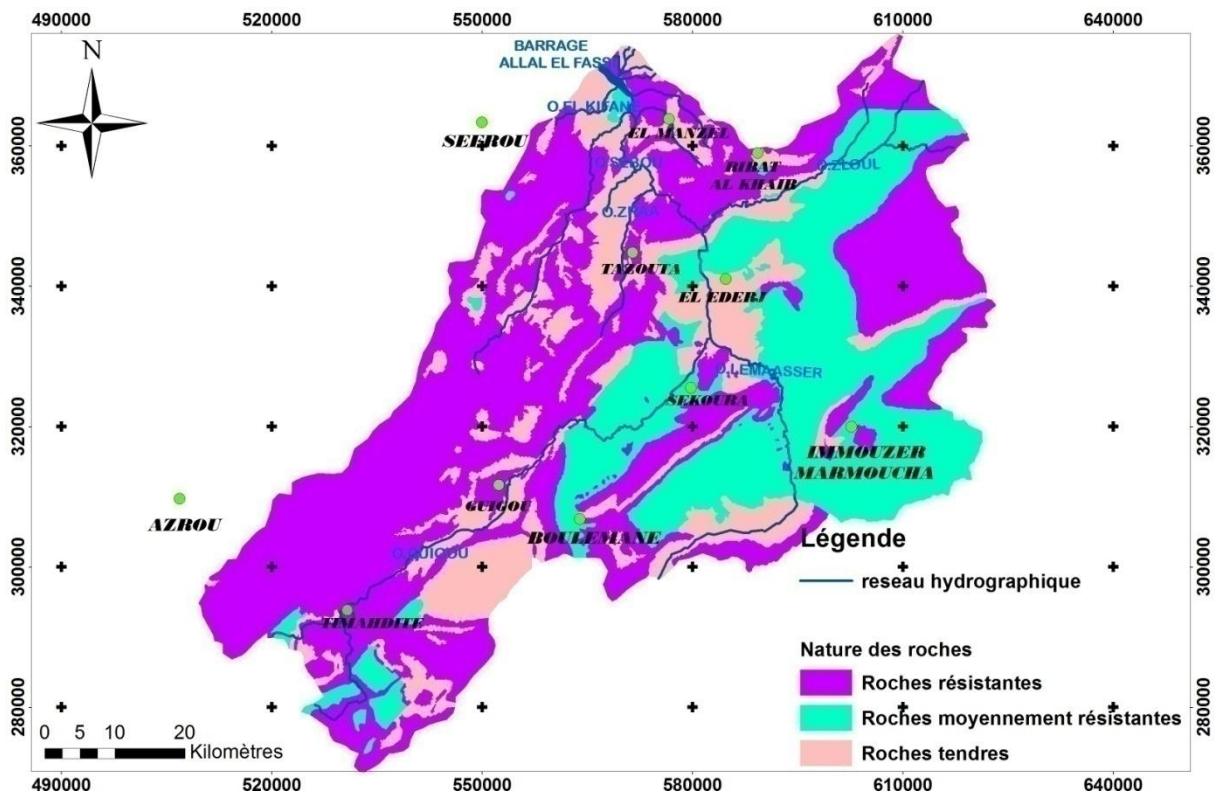


Figure15 : Carte lithologique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

La carte lithologique identifie que le bassin-versant est caractérisé par l'existence de trois classes lithologiques: les roches tendres, les roches moyennement résistantes et les roches résistantes, classées selon leurs degrés de résistance mécanique.



-Les roches tendres sont constituées d'un faciès de schistes primaires, d'argiles et de basaltes doléritiques altérés du Trias, de marnes et de grès du Miocène et d'alluvions du Quaternaire. Cette classe occupe une superficie de 1231,414Km².

-Les roches moyennement résistantes sont constituées par des couches de marnes en alternance avec des bancs de grès. Elles représentent 1606,585 Km² de la superficie du bassin-versant.

-Les roches résistantes sont représentées par un faciès lithologique composé de calcaires et de dolomies du Lias, de calcaires lacustres, des formations fulvio-lacustres et des basaltes du Quaternaires. Elles s'étendent sur 2969,36 Km².

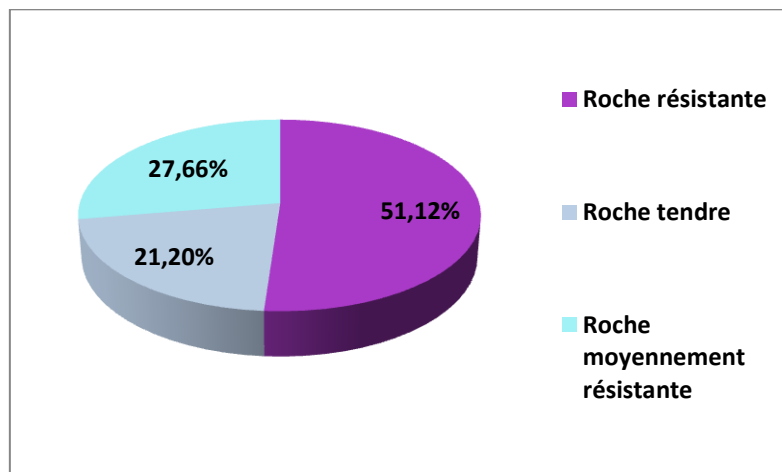


Figure16 : Diagramme de la répartition lithologique dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

L'analyse du diagramme montre que la moitié de la surface du bassin versant est occupée par des roches résistantes, dans l'autre moitié on a présence des roches tendres à moyennement tendres pour cela une grande partie du bassin versant sera sensible à l'érosion à cause de l'existence de ces roches qui ne sont pas capables de supporter et de résister contre les facteurs d'érosion.

1.2.3 Facteurs climatiques

Les facteurs climatiques sont les facteurs écologiques liés aux circonstances atmosphériques et météorologiques dans la région du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi comme un peu partout au Maroc, les informations et la quantification des paramètres climatiques ne sont disponibles qu'au niveau des stations



météo-climatiques bien équipées, ce qui n'est nullement le cas de la totalité de celles existantes au niveau de la zone de l'étude.

Pour analyser cette ambiance climatique, les stations d'Immouzere Mermoucha, Pont Mdez, Ait Kabbache, El Mers, Dar El Hamra, Oulad Ali, ont été retenues à fin d'avoir une idée assez précise du climat sur la région en général et la zone d'étude en particulier (tab. 5 annexe).

Sur le plan altitudinal, la position de ces stations varie entre 725 m à la station du Pont Mdez à 1860 m au niveau de la station de Boulemane.

Les principaux facteurs climatiques sont les suivants: les précipitations, la température et le vent et l'enneigement.

- **Les précipitations**

Les précipitations sont marquées par des irrégularités intra et interannuelle au niveau du bassin-versant et par une grande variation dans l'espace. La moyenne annuelle varie de 326 mm à 1020 mm. La répartition mensuelle des précipitations concernant les stations étudiées est donnée par le tableau (tab. 6 annexe).

L'analyse de ce tableau de précipitations montre que les précipitations sont plutôt importantes pendant le printemps et l'hiver (la station d'Imouzzer Mermoucha) on peut distinguer une différenciation entre une saison sèche et une autre humide par la quantification des pluies accumulées. Généralement les précipitations mensuelles et annuelles restent relativement importantes en montagnes eu égard à la position orographique des stations.

Le bioclimat est approché selon deux méthodes : La méthode de Bagnoul et Gaussen et la méthode d'Emberger. L'analyse des diagrammes ombrothermiques (Bagnoul et Gaussen) fait ressortir que la saison sèche est de 3 à 4 mois et demi dans le bassin-versant. Les résultats de l'application du quotient pluviométrique et du climagramme d'Emberger montrent que les bioclimats rencontrés dans le bassin-versant varient de l'humide froid à semi-aride tempéré.



- **La température**

D'une manière générale, la zone d'étude connaît des moyennes maximales annuelles relativement modérées à cause de l'effet de l'altitude. Le mois le plus chaud de l'année est généralement le mois juillet ou le mois d'août (selon les années), alors que le mois le plus froid est le mois de janvier. L'amplitude thermique des différentes stations météorologiques varie de 9,9° à 14,5°C.

- **Les vents**

Les vents les plus dominants au niveau du bassin-versant sont les vents océaniques et les vents continentaux secs. Les vents océaniques sont du secteur ouest et nord-ouest et ils sont généralement humides et peu violents. Les vents continentaux sont de secteur est et sud-ouest et sont chauds et secs.

- **L'enneigement**

La neige est fréquente au-delà de 1600 m d'altitude. Ce sont les sommets de Jbel Hebri, Michelifène, Bou Iblane et Tichoukt qui connaissent les valeurs les plus élevées.

1.2.4 Couvert végétal

- **Forêts**

Le domaine forestier occupe 40 % de la superficie totale du bassin- versant. Le taux de recouvrement varie, selon les provinces, de 25 à 60% de la superficie totale des provinces concernées.

La forêt représente un recouvrement très hétérogène marqué par des densités variables. Elle est constituée de feuilles et de résineux. Les espèces forestières rencontrées sont : Le chêne vert, le cèdre, le Thuya, le genévrier et d'autres espèces d'importance secondaire.

- **Système de cultures**

Le système de cultures est caractérisé par une rotation dominante de type céréales-légumineuses et/ou céréales-jachère-légumineuses :



-Légumineuses

Les légumineuses sont souvent associées aux céréales en rotation bisannuelles. Les principales espèces cultivées sont : les lentilles, les fèves et les pois chiches. Les rendements sont faibles et ne dépassent guère 10 quintaux par hectare. La faiblesse des rendements est due principalement aux conditions climatiques, aux attaques parasitaires et aux facteurs de production.

-Cultures maraîchères

Les cultures maraîchères de plein champ occupent, selon les provinces, 1% à 5% du Système Agricole Utile. Elles commencent à connaître un développement important dans le bassin-versant et constituent une source importante de financement des exploitations.

Les cultures maraîchères pratiquées sont essentiellement la pomme de terre et la tomate qui coexistent avec d'autres cultures saisonnières (navets, carottes, menthe...).

-Arboriculture fruitière

Les plantations fruitières couvrent, selon les provinces, 1% à 18 % de la SAU. La principale essence fruitière plantée est l'olivier. Il est localisé, principalement, dans la région de Sefrou et d'El Menzel où il occupe une place de choix. Les rosacées (pommiers, poiriers, pêchers...) sont dominantes notamment, dans la zone d'Azrou où les conditions climatiques et édaphiques sont favorables au développement de ces espèces.

1.2.5 Facteurs socio-économiques

L'étude socio-économique est capitale pour mieux connaître et analyser les facteurs qui agissent, d'une manière ou d'une autre, sur la dégradation des ressources naturelles.

La population rurale au niveau du bassin-versant s'élève à 225 760 habitants (1994). La population comprend 35 309 foyers répartis sur 33 communes rurales, 94 fractions et 641 douars.

L'importance et la distribution de la population rurale tant, en nombre d'habitants qu'en nombre de foyer, sont variables d'une commune rurale à une autre et d'une fraction à une autre. Cependant, le taux d'accroissement de cette population est en diminution (recensements nationaux) à cause, notamment, de l'exode rural accentué vers les centres urbains les plus proches.



Utilisation du SIG pour l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi



La densité de la population varie de 17 à 74 habitants par km² selon les provinces (Recensement National 1994). Les communes rurales qui présentent les densités les plus élevées sont situées dans la province de Sefrou.

La population est relativement jeune et caractérisée par un taux d'analphabétisme qui dépasse 50%. La population de l'âge actif est importante et représente 46% à 75% de la population totale des communes rurales.

Le secteur agricole absorbe plus de 50% de la population active. Cependant, le sous-emploi demeure surtout pendant les périodes creuses de l'année. La catégorie sans-emploi représente, selon les communes rurales, 20 à 38 % de la population active. (Saïdi et al, 2002).



Chapitre2 : évaluation qualitative de l'érosion

2.1. L'érosion hydrique

L'érosion représente l'ensemble des phénomènes externes à la surface du sol ou en profondeur qui arrache, tout ou en partie, les terrains modifiant ainsi le relief. L'érosion hydrique des sols consiste en un détachement et un transport des particules du sol sous l'action mécanique en général combinée de la pluie et du ruissellement. Celle-ci se développe lorsque les pluies, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent en surface en emportant les particules de terre.

Ce mécanisme se passe en trois étapes:



L'érosion et la dégradation des sols ont des conséquences majeures sur le milieu naturel et le développement. Les conséquences hydrologiques de cette dégradation sont importantes et parfois catastrophiques. Dans les régions à climat semi-aride ou méditerranéen, la dégradation des sols s'exprime par une diminution de la densité de la végétation, une perte en sol (perte de productivité à long terme), une perte de la matière organique et de la capacité de rétention, une minéralisation accrue du paysage. (Faleh et Maktite, 2014 ; Dumas, 2010).

2.2. Les principaux facteurs intervenant dans l'érosion hydrique

Les principaux facteurs qui agissent sur l'érosion hydrique et qui permettent d'obtenir la carte de celle-ci sont : la lithologie, la pente, l'érodibilité des sols et l'occupation de sol. Dans le premier chapitre on a traité la carte de pente et celle lithologique, dans ce chapitre on va traiter la carte d'érodibilité et la carte d'occupation du sol.

- **L'érodibilité des sols**

C'est la sensibilité du sol à l'érosion hydrique, elle dépend de la structure, de la texture et de la teneur en matière organique (W.H. Wischmeier et al.1971).

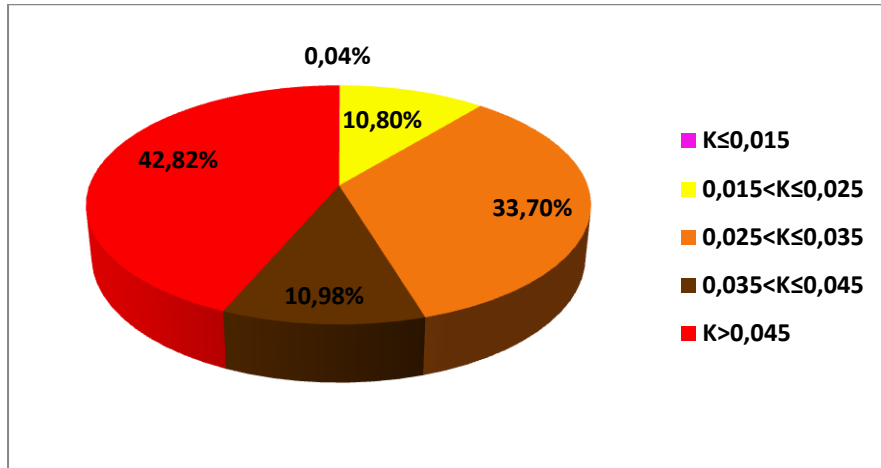


Figure18 : Diagramme de la répartition du facteur K dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

• L'occupation du sol

La carte d'occupation du sol identifie le type de végétation (forêts, cultures,...) qui occupe les sols du bassin versant et leur densité.

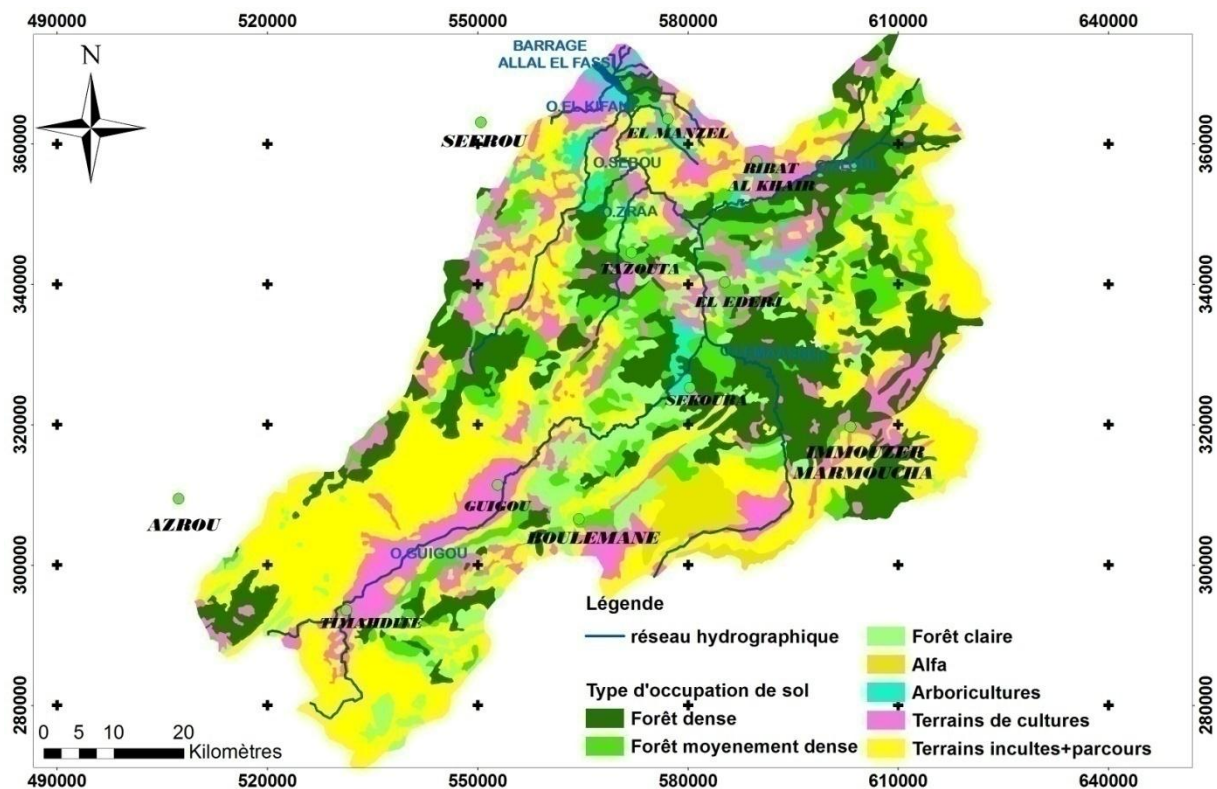


Figure19 : Carte d'occupation du sol du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.



Les données de la carte d'occupation du sol permettent d'identifier 7 classes : 1/forêt dense 2/ forêt moyennement dense 3/forêt claire 4/alfa 5/terrains de culture 6/arboricultures7/terrains incultes et parcours.

En analysant le tableau (tab. 8 annexe), on remarque que presque 40% des terrains du bassin versant sont occupés par des forêts, et que 36,60% des terrains sont incultes ce qui conduira à l'augmentation de l'intensité de l'érosion dans ces terrains.

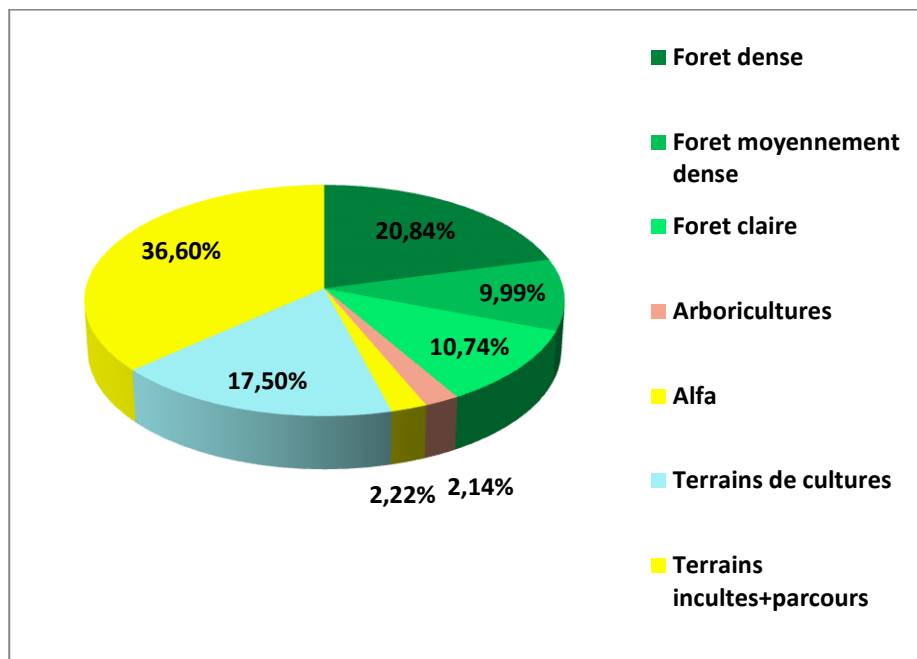


Figure20 : Diagramme de la répartition du type d'occupation du sol dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

2.3. Analyse de la carte d'érosion

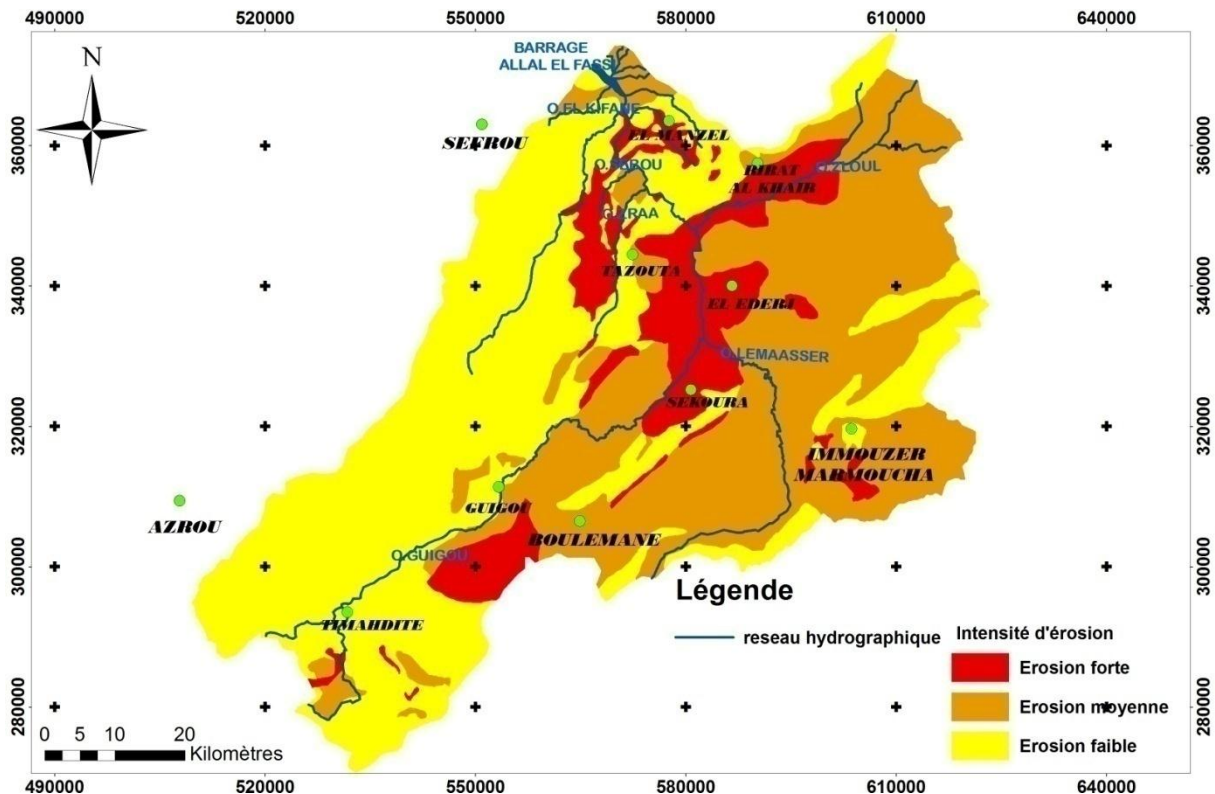


Figure21 : Carte d'érosion du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.

L'étude de la carte d'érosion du bassin versant en Amont du barrage Allal El Fassi qui a été établie par le Service d'Aménagement de Forêts et de Bassins Versants du Moyen Atlas-Fès en faisant appel à plusieurs facteurs qui agissent sur l'intensité de l'érosion (pente, lithologie, occupation du sol, érodibilité des sols,...) montre que la classe d'érosion la plus importante est celle qualifiée de faible. Elle couvre une surface de 47,61 % elle est localisée dans toute la partie nord-ouest du bassin mais aussi la région sud. Ce résultat ne correspond pas à la réalité du terrain qui montre un affleurement de sols à forte érodibilité. Ceci s'explique par l'ensemble des aménagements réalisés par le SAFBVMAF (plantation, épierrage des terrains de cultures,...) ce qui prouve l'efficacité des l'action de lutte contre l'érosion.

L'autre partie du terrain étudié subit une érosion moyenne à forte qui se localise au centre du bassin versant mais aussi dans la partie nord-est, on remarque que l'état érosif fort se localise dans des zones où l'érodibilité des sols est faible à moyenne, les



roches sont résistantes, la pente est faible (région d'Aderj). On peut interpréter ceci par le fait que ces zones contiennent des roches durs mais très fracturées et karstifiées se qui facilite l'action des facteurs d'érosion dans ces zones. Ces sont les calcaires et les dolomies du Lias et les calcaires lacustres.

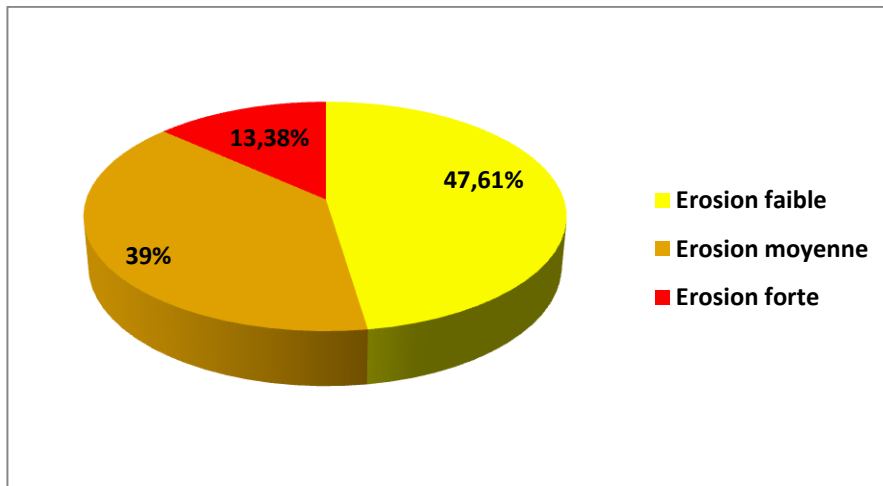


Figure22 : Diagramme de la répartition d'intensité d'érosion dans le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi.



Chapitre3 : Les aménagements proposés du bassin versant

D'après la carte de l'érosion potentielle on constate que le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi présente des superficies importantes touchées par l'érosion dont les causes sont d'ordre naturel et anthropique. Les aménagements que nous proposons doivent tenir compte de tous ces facteurs afin d'aboutir un aménagement concertée et durable, donc ces aménagements sont répartis dans chaque espace utilisé par la population.

Pour cette étude nous proposons des actions de conservation des forêts, des terrains de cultures et du réseau hydrographique. Ces actions visent à atténuer les effets négatifs de l'érosion à l'amont du barrage.

1.3. Aménagements en forêts :

Les forêts situées dans le bassin-versant sont sujettes à une surexploitation résultant des prélèvements excessifs de bois de chauffe et de fourrage. Cette dégradation a conduit à un déséquilibre écologique qui ne cesse de s'accroître. Les interventions prévues dans ce domaine doivent viser le rétablissement de l'équilibre de l'écosystème naturel et la satisfaction des besoins grandissants des populations rurales en bois. Pour cela il faut faire appel à des mesures retenues pour améliorer ou réhabiliter les ressources forestières:

➤ **Reconstitution de la forêt naturelle :** La reconstitution de ces milieux par des espèces autochtones constitue l'action majeure à entreprendre dans les zones présentant un potentiel de régénération. Cette action permet aussi de réduire l'érosion et le processus de dégradation de la forêt. La réussite de cette opération est tributaire d'une mise en défense, d'une bonne préparation des sols et d'un système régulier.

➤ Réhabilitation des écosystèmes forestiers dégradés :

Dans les milieux très dégradés, il est préconisé de procéder à la reconstitution de toutes les strates végétales par des espèces adaptées aux conditions du milieu. La techniques



consiste à la plantation d'arbres et arbustes, à l'ensemencement des graminées associés à des mesures de conservation des eaux et des sols (banquettes, gradins, élément de gradins, cuvettes, cordons, seuils). Les zones traitées doivent faire l'objet d'une mise en défens stricte....

3.2. Aménagement des terrains de cultures :

Pour réduire l'érosion au niveau des terrains de cultures qui occupent 17,5% de la surface totale du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi, l'accent doit être mis sur la vulgarisation des techniques agronomiques de conservation, l'utilisation des sols selon leur vocation et la confection d'un réseau d'ouvrages anti-érosifs associé ou non à des plantations.

Une attention particulière doit être donnée aux limites des exploitations et des bosquets familiaux sur les terrains marginaux avoisinant les agglomérations et les habitations.

Sur les terrains à pentes faibles les interventions préconisées doivent viser l'intensification des cultures avec recours aux techniques agronomiques de conservation, de protection et d'amélioration des sols et des eaux.

Sur les terrains à pentes moyennes présentant un risque d'érosion une attention particulière doit être accordée à la vulgarisation des techniques culturales de conservation : cultures en courbes de niveaux, bandes alternées, banquettes céréalières, et autres ouvrages.

Sur les terrains à pentes fortes (supérieures à 25%), en plus des actions prévues précédemment, ces terrains doivent faire l'objet de plantations fruitières associées à des ouvrages anti-érosifs choisis en fonction des conditions lithologiques et topographiques du terrain. Ces ouvrages peuvent être du type : fossé en V, banquettes, murettes, cordons,...

Les aménagements fonciers consistent à des opérations d'épierrage sur les terrains caillouteux peu accidentés et présentant un potentiel de production élevé. La pierre ramassée sur place servira pour la confection des ouvrages anti-érosifs le long des courbes de niveaux.

Les aménagements hydro-agricoles concernent l'entretien du réseau existant de séguia, la confection et l'entretien des terrasses irriguées et la vulgarisation et le développement des techniques de collecte des eaux pluviales au profit de l'irrigation, de l'abreuvement



et de l'utilisation domestique. Ces interventions visent un double objectif : l'augmentation de la productivité des sols et l'efficience des eaux d'irrigation.

3.3. Aménagements du réseau hydrographique :

Les interventions proposées ont pour objectif essentiel d'atténuer les sapements des berges, l'enfouissement des fonds des ravins et l'érosion régressive. La stabilisation des ravins est assurée par la combinaison des traitements biologiques et mécaniques. Les espèces végétales recommandées sont choisies en fonction de leur adaptation au milieu local, de leur action protectrice, et de leur rapidité de croissance. Quant au choix des ouvrages mécaniques (seuils), il repose essentiellement sur l'adaptation aux conditions lithologiques, et la disponibilité des matériaux de construction sur site. Les ouvrages préconisés consistent essentiellement en des seuils en gabions et des seuils en pierres sèches.



Conclusion :

Le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi se situe au nord du Maroc entièrement dans le Moyen Atlas avec une superficie d'environ 5770Km². Il se caractérise par des unités morpho-structurales de type rides anticlinales, des synclinaux et des plaines, les altitudes varient entre 400m et plus de 2400m, les pentes sont en classes différentes mais la classe la plus dominante est $5 < P \leq 15$, la classe de la longueur de pente la plus fréquente est $150 < L \leq 250$, les sols dominants dans cette région sont de type calcimagnésiques, peu évolués et les sols des unités complexes ainsi qu'une occupation de sol principalement du type forêts, de terrains de culture et de terrains incultes. La lithologie varie selon la résistance mécanique des roches à l'érosion ; on trouve des roches résistantes, des roches tendres et des roches moyennement résistantes mais il ya dominance des roches résistantes, l'érodibilité des sols est distribuée sur plusieurs classes dont la plus importante est $K > 0,45$.

L'estimation de l'érosion hydrique que nous avons réalisé par le SIG nous a permis de mettre en évidence les zones à érosion forte et moyenne qui représentent 52,38% de la superficie de notre bassin. Ces résultats sont en général la conséquence d'une forte pente, un terrain moyennement résistant et un faible couvert végétal, mais il ya des zones où l'état érosif n'est pas intense même s'il ya ces conditions ce qui nous permet conclure que des aménagements ont été effectués pour ces zones. D'autres zones présentent une forte érosion même si la pente est faible et les roches sont dures et cela s'explique par le fait que ces roches sont fissurées et karstifiées.

Cette étude montre que le barrage Allal El Fassi est menacé par un apport très important de sédiments et donc un risque d'envasement et de comblement ce qui va réduire sa durée de vie. Pour remédier à ce problème un programme d'aménagement intégrant des actions de conservation et de protection des ressources naturelles à des actions de développement a été mis au point et vise à atténuer les effets négatifs de l'érosion. La formulation des différentes actions du programme est faite dans un cadre participatif.

L'érosion a des conséquences socio-économiques et environnementales désastreuses. La prise de conscience de la nécessité d'une prise en charge de ce phénomène est ancienne. Par ailleurs, la période actuelle est caractérisée par la mise en œuvre du Plan national d'aménagements des bassins versants (PNABV). Les appuis multiformes apportés à



Utilisation du SIG pour l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi



ceux qui adaptent leurs systèmes de production aux conditions du milieu physique et adoptent une approche participative, constituent autant de facteurs porteurs d'espoir.



Bibliographie :

- **ABHS (2009) : rapport : données climatiques et pluviométriques de la région du bassin versant Allal El Fassi.**
- **Colo G. (1961) : Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen-Atlas septentrional. Notes et M. Serv. géol. Maroc, n° 139, 226 pp., 2810, pp 31-50, 8 fig, 1 carte.**
- **Du Dresnay R. (1963) : Données stratigraphiques complémentaires sur le Jurassique moyen des synclinaux d'EI-Mers et de Skoura (Maroc). B. Soc. géol. Fr., 7ème série, t.5. fasc. 6, pp. 884-900.**
- **Dumas P. (2010) : Méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion appliquée à la région de Dumbéa à Païta - Bouloupari (Nouvelle-Calédonie), Les Cahiers d'Outre-Mer, pp.567-584.**
- **Faleh A et Maktite A. (2014) : Cartographie des zones vulnérables à l'érosion hydrique à l'aide de la méthode par/car et SIG en amont du barrage Allal El Fassi, Moyen Atlas(Maroc),Papeles de Geografia. 59-60; pp. 71-82.**
- **Martin J. (1966) : Recherches morphologiques sur la bordure septentrionale du Causse de Sefrou (Moyen Atlas marocain). Rev. Géogr.Maroc, Rabat, n".**
- **Sadiki A, Bouhlassa S, Auajjar J, Faleh A & Macaire J. (2004) :Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab, Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 2004, n°26, p. 69-79.**
- **Saïdi A,Er-Raji M, Oumghar R, Naha A, Mattiche M, Bouazza H, Sedjari A, Attar K, Mangoud F A, Taleb M, Moustakim H, Abdellaoui L. (2002) : Etude d'aménagement du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi (Rapport de synthèse).**
- **Saidi M, Hilali E.A, Bensaid M, Boudda A, Darhani M. (1985) : carte géologique du Maroc 1/1000000, Edition du Service Géologique du Maroc (Maquette achevée en 1977-révisée en 1982) Notes et Mémoires N ° 260 Carte publiée en 1985.**



ANNEXES:

Tableau1: Données de la carte des pentes.

Classe	Surface(Km ²)	Pourcentage
P≤5	741,567	12,76%
5<P≤15	2045,879	35,22%
15<P≤25	1587,935	27,33%
25<P≤35	958,7427	16,50%
35<P≤45	37,31223	0,64%
P>45	436,8469	7,52%

Tableau2: Données de la carte de longueur de pente.

Classe	Surface(Km ²)	Pourcentage
L≤100	501,883	8,64%
100<L≤150	2185,14	37,62%
150<L≤200	1607,07	27,66%
200<L≤250	1101,88	18,97%
250<L≤300	358,942	6,17%
L>300	53,3594	0,91%



Tableau3: Données de la carte pédologique.

Type du sol	Surface(Km ²)	Pourcentage
Complexe C4	274,517	4,72%
Isohumiques	179,604	3,09%
Sesquioxydes de fer	143,507	2,47%
Complexe C1	1000,89	17,23%
Vertisols	27,6845	0,47%
Complexe C3	57,1146	0,98%
Complexe C2	1028,96	17,71%
Minéraux bruts	576,725	9,92%
Peu évolués	1233,05	21,22%
Calcimagnésiques	1249,96	21,52%

Tableau4: Données de la carte lithologique.

Nature des roches	Surface(Km ²)	Pourcentage
Roches résistantes	2969,36	51,12%
Roches tendres	1231,414	21,20%
Roches moyennement résistantes	1606,585	27,66%

Tableau5 : Caractéristiques des stations climatiques de référence (ABHS)



Utilisation du SIG pour l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi



Station	Cordonnées Lambert (Km)		Altitudes (m)	Périodes d'observation
	X	Y		
Aït Khabbach	565074	314407	1478	1970-2009
El mers	587770	317414	1550	1958-2009
Pt.Mdez	581352	341837	740	1959-2009
Dar el Hamra	595219	344561	1130	1973-2009
Oulad Ali	633033	318586	1450	1960-2004
Immouzzar Marmoucha	602453	319583	1630	1960-2006

Tableau6 : précipitations des stations climatiques (ABHS 2009)

Stations	Précipitations moyenne mensuelles (mm)											
	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout.
Imouzzar Mermoucha	29	37	45	64	48	45	46	53	48	17	9	11
El Mers	40	42	47	38	45	46	46	46	42	16	10	19
Ait Khabbach	35	34	31	26	23	26	30	43	43	29	18	22
Pt .Mdez	19	30	33	32	32	31	36	44	41	18	7	11
Dar El Hamra	12	30	63	68	56	58	52	48	28	7	1	2
Oulad Ali	24	26	33	38	34	30	28	43	35	16	8	10



Tableau7 : Données de la carte d'érodibilité.

Classe	Surface(Km ²)	Pourcentage
K≤0,015	2,37752	0,04%
0,015<K≤0,025	627,594	10,80%
0,025<K≤0,035	1957,68	33,70%
0,035<K≤0,045	638,211	10,98%
K>0,045	2487,58	42,82%

Tableau8 : Données de la carte d'occupation du sol.

Type de végétation	Surface(Km ²)	pourcentage
Forêt dense	1210,25	20,84%
Forêt moyennement dense	580,224	9,99%
Forêt claire	624,007	10,74%
Arboricultures	124,742	2,14
Alfa	128,691	2,22%
Terrains de cultures	1014,610	17,5%
Terrains incultes+parcours	2124,600	36,60%

Tableau9 : Données de la carte d'érosion.

Intensité	Surface(Km ²)	Pourcentage
Erosion faible	2765,42	47,61%
Erosion moyenne	2265,32	39%
Erosion forte	777,543	13,38%



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

**Driss YAAGOUB
Khalid SOUILAH**

Année Universitaire : 2015/2016

Titre: Utilisation du SIG pour l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique du bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi

Résumé

Le bassin versant en amont du barrage Allal El Fassi présente des risques importants d'érosion. La conséquence la plus néfaste des phénomènes d'érosion réside dans le transport vers l'aval d'alluvions qui, en s'accumulant dans les retenues du barrage réduisent sa capacité de régularisation.

Pou évaluer qualitativement l'érosion dans ce bassin, nous avons utilisé le SIG afin d'élaborer des cartes thématiques : Carte administrative, des pentes, de la longueur de pente, du facteur topographique LS, d'hypsométrie, des sols, de la lithologie, d'occupation de sol, d'érodibilité et la carte d'érosion qui, après son analyse, nous a permis de connaître l'intensité d'érosion et sa répartition dans le bassin, elle nous a permis de conclure que des aménagements ont été réalisés pour diminuer l'intensité de l'état érosif dans les zones sensibles à l'érosion (plantation, épierrage des terrains de cultures,...), mais il faut penser à réaliser d'autres aménagements pour lutter contre ce fléau comme les aménagements en forêts, les aménagements du réseau hydrographique et ceux des terrains de culture.

Mots clés : Barrage Allal El Fassi, SIG, érosion hydrique, aménagements.