

Sommaire

Introduction générale.....	10
I. Contexte et problématique.....	10
II. Objectifs.....	10
III. Plan de l'étude.....	11
PARTIE 1 : PROBLEMATIQUE, CADRE GENERAL DU BASSIN.....	12
VERSANT DE L'OUED SRA.	12
Chapitre1: Problématique.....	12
I.1 Problématique de l'érosion hydrique dans les pays méditerranéens	12
I.2 Problématique de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Sra.....	14
Chapitre 2 : Etude des caractéristiques hydrologiques du bassin versant de l'Oued Sra.....	17
II-1 Situation administrative et géographique.....	17
II-2. Aire et périmètre.....	17
II-3. Formes.....	18
II-4. Réseau hydrographique	19
II-5. Climat	22
a. Précipitation	22
b. Température	25
II-6. Etude géologique et lithologique du terrain	28
a. Généralités sur la géologie de la chaîne du Rif	28
b. Cas du bassin versant :	30
c. Lithologie	29
II-7. Caractéristiques topographiques du bassin versant d'oued Sra	33
a. Le relief	33
b. Profil en long du cours d'eau	38
II-8. Couverture végétale.....	39
II-9. Facteur humain.....	43
Conclusion :.....	45
Partie 2 : Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR	47
I. <i>Chapitre 1 : Méthodologie et présentation du PAP/CAR</i>	47
I-1. Historique	47
I-2. Schéma méthodologique général.....	48
Chapitre 2 : <i>Approche prédictive :</i>	56
II -1. Elaboration de la carte d'érodibilité :.....	56
a. Réalisation de la carte des pentes	57
b. Réalisation de la carte des lithofaciès	62
c. Réalisation de la carte d'érodibilité	66
II -2. Elaboration de la carte de protection des sols	71
a. Réalisation de la carte d'occupation des sols	71
b. Réalisation de la carte de densité de recouvrement :	75
c. Elaboration de la carte de protection des sols	80
II -3. Elaboration de la carte des états érosifs	85
Chapitre 3 : <i>Approche descriptive:</i>	89

III-1. Erosion en nappes	90
III-2. Erosion en rigoles, en ravines et en ravins.....	91
III-3. Les mouvements de masses par La solifluxion.....	93
III-4. Erosion par les cours d'eau	95
III-5. Carte des formes de l'érosion	95
Chapitre IV : Approche intégration.....	99
IV-1. Réalisation de la carte consolidé d'érosion PAP/CAR.....	99
IV-3. Tendances générales de l'érosion et types de maintenances	Erreur ! Signet non défini.
IV-3-1. Tendances de l'érosion.....	Erreur ! Signet non défini.
IV-3-2. Types de maintenance	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion Générale	103

Liste de Figures

Figure 1: Etat de dégradation des pays méditerranéens	14
Figure 2: Localisation du bassin et des sous-bassins versant de l'Ouergha dans le contexte du Royaume.....	16
Figure 3: Exemple d'indice de compacité.....	18
Figure 4: Représentation de la forme du bassin versant d'Oued Sra	19
Figure 5: Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Sra.....	21
Figure 6: Distribution des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Sra.....	24
Figure 7: Variations mensuelle des températures sur le bassin versant de l'Oued Sra.....	26
Figure 8: variations saisonnières de la température sur le bassin versant de l'Oued Sra.....	27
Figure 9: Extrait de la carte géologique du Maroc (publiée en 1980).....	29
Figure 10: Carte géologique et lithologie du bassin versant de l'Oued Sra.....	32
Figure 11: MNT et pourcentage de superficie en fonction des classes	34
Figure 12: Interprétation de la courbe hypsométrique	36
Figure 13: Histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la superficie ...	37
Figure 14: : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Sra.....	37
Figure 15: Profil en long de l'Oued Sra	39
Figure 16: Variation de la couverture végétale en fonction de l'altitude.....	41
Figure 17: Occupation des sols du bassin versant de l'oued Sra	42
Figure 18: intervention de l'homme dans la dégradation des sols	44
Figure 19: les caractéristiques du bassin versant de l'Oued Sra	46
Figure 20: schéma méthodologique PAP/CAR.....	55
Figure 21: Histogramme des superficies des pentes en Km ² du bassin versant de l'Oued Sra	59
Figure 22: Courbe des % cumulés des surfaces des pentes du bassin versant de l'Oued Sra..	59
Figure 23: Carte des pentes selon les classes propres au PAP/CAR.....	61
Figure 24: Histogramme des fréquences des surfaces en fonction des classes lithologiques..	63
Figure 25: courbe des fréquences cumulées.....	64
Figure 26: Carte des lithofaciès.....	65
Figure 27 : schéma de Réalisation de la carte d'érodibilité	66
Figure 28: Histogramme de fréquences des superficies en fonction des classes d'érodibilité	68
Figure 29: Courbe des fréquences cumulées de l'érodibilité du bassin versant de l'Oued Sra	69
Figure 30: Carte d'érodibilité.....	70
Figure 31: histogramme des classes d'occupation en fonction des superficies en Km ²	72
Figure 32: Carte d'occupation des sols	74
Figure 33: représentation de différents densités.....	76
Figure 34: Classe superficie et pourcentage de superficie du degré de densité du couvert végétal	76
Figure 35: histogramme des classes de degré de couvert en fonction des superficies.....	77
Figure 36: Courbe de fréquence des superficies cumulée du degré de couverture	78
Figure 37: Carte de densité de recouvrement.....	79
Figure 38: Schéma d'élaboration de la carte de protection des sols	80
Figure 39: Table de données relatives au degré de protection	82
Figure 40: Courbe de fréquence des superficies cumulée du degré de protection.....	82
Figure 41: Carte de protection des sols	84
Figure 42: schéma de réalisation de la carte des états érosifs	85
Figure 43: Histogramme des classes de degré d'érosion en fonction des superficies.....	87
Figure 44: courbe des fréquences cumulées des degrés d'érosion.....	88
Figure 45: Carte des états érosifs	89

Figure 46: localisation de l'érosion en nappe au niveau du khlalfa	91
Figure 47: Rigoles au niveau de khlalfa	92
Figure 48: Rigoles et ravines au niveau de khlalfa	93
Figure 49: Glissement au niveau de la route de khlalfa	94
Figure 50: Erosion par le cours d'eau au niveau de khlalfa	95
Figure 51: Histogramme de fréquence des formes d'érosion en fonction des superficies relatives	96
Figure 52: Carte des formes de l'érosion	99
Figure 53: réalisation de la carte consolidée PAP/CAR	100
Figure 54: carte consolidée PAP/CAR du bassin versant de l'Oued Sra	102

Liste des Tableaux

Tableau 1: Donnés climatiques disponibles dans les stations du bassin versant ou qui lui sont voisines.....	22
Tableau 2: Donnés des températures disponibles dans les stations du bassin versant ou qui lui sont voisines.....	25
Tableau 3: Types de lithologie en fonction des surfaces et les % des superficies.....	29
Tableau 4: Carte lithologie du bassin versant de l'Oued Sra.....	32
Tableau 5: Tableau de fréquences et des pourcentages cumulés au dessus de la limite inférieure.....	35
Tableau 6: Classes de pentes.....	58
Tableau 7: Superficies, fréquences et fréquences cumulées en fonction des classes des pentes.....	58
Tableau 8: Classes des lithofaciès.....	62
Tableau 9: Classe de lithofaciès en fonction des superficies des pourcentages et des pourcentages cumulés.....	63
Tableau 10: Classes d'érodibilité.....	67
Tableau 11: Degrés d'érodibilité.....	67
Tableau 12: Classe de lithofaciès en fonction des superficies des pourcentages et des pourcentages cumulés.....	67
Tableau 13: Classes d'occupation du sol.....	71
Tableau 14: Table des classes de superficie et de des pourcentages des superficies des différentes occupations des sols.....	72
Tableau 15: Classes d'occupation du sol.....	75
Tableau 16: Légende de degrés de protection.....	81
Tableau 17: Matrice: Occupation du sol vs. Couvert végétal.....	81
Tableau 18: Table de données relatives au degré de protection.....	81
Tableau 19: Degré de protection des sols et Degré d'érodibilité.....	86
Tableau 20: codification des états érosifs.....	86
Tableau 21: superficies relatives des formes d'érodion.....	96

Introduction générale

I. Contexte et problématique

Dans la chaîne du Rif ainsi que dans de nombreuses zones cultivées du Maroc, des problèmes économiques et environnementaux graves dus à l'érosion des sols sont de plus en plus fréquents. Le taux d'érosion dans les zones rifaines fragiles est en moyenne de 17 t/ha/an (Moukhchane et al. 1998)

L'érosion hydrique qui affecte les sols marocains est fonction de multiples facteurs naturels (le climat, la végétation, la lithologie, la topographie, l'érodibilité des sols...) et anthropiques (cultures sur des pentes fortes, défrichement, construction de route et d'ouvrage d'art...) qui semblent être les mêmes partout dans le monde.

L'érosion et la dégradation des sols ont des effets majeurs sur l'environnement et l'économie. 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, l'apparition d'entailles d'érosion actives et une salinisation progressive des terres irriguées. A l'échelle locale, les conséquences de la dégradation des sols pour les populations vont de la baisse de fertilité à l'évacuation de régions entières.

II. Objectifs

L'approche PAP/CAR vise un objectif immédiat, qui est celui de rendre disponible un outil méthodologique et une source d'information pour la mise en œuvre des projets et programmes de gestion du contrôle de l'érosion, et des objectifs à long terme qui contribuent à atténuer et mieux contrôler les processus d'érosion pour améliorer l'utilisation des terres, rationaliser l'exploitation des ressources en terres, enfin améliorer les conditions de vie et la sécurité alimentaire des populations.

L'approche utilisée portait surtout sur l'intégration des facteurs influençant l'érosion hydrique, tels que la pente topographique qui traduit la morphologie et l'inclinaison des terres, le type de sol et le matériel lithologique, le type de couverture végétale qui traduit les systèmes d'exploitation agricole, la densité de recouvrement et enfin sur les mesures et structures antiérosives existantes. Ainsi, une évaluation de l'érosion qualitative a été établie grâce à divers croisements des cartes thématiques entre elles. Ces informations ont permis d'établir un bilan et diagnostic de la dégradation physique des milieux pour le cas du bassin versant.

La cartographie systématique des caractéristiques qualitatives et dynamiques des formes d'érosion permet l'identification de deux grandes catégories de milieux géographiques: les milieux morphologiquement stables, non encore affectés par l'érosion, et les milieux instables actuellement altérés par un quelconque phénomène d'érosion ou de dégradation physique

Une carte globale de la gravité de l'érosion a permis une identification des milieux stables et instables.

III. Plan de l'étude

En dehors du premier chapitre qui fait la présente introduction, le mémoire compte deux parties :

La première partie contient deux chapitres qui portent sur la problématique et la présentation du terrain d'étude.

Le premier chapitre détaille les problèmes causés par l'érosion dans les pays méditerranéenne, vu que le PAP/CAR est propre à ces pays, puis dans le bassin de l'Ourgha dont l'Oued Sra est l'un des principaux affluents.

Le second chapitre concerne la présentation du cadre général du bassin versant de l'Oued Sra (situation, morphologie, climat, géologie et couvert végétal).

La deuxième partie quand à elle est consacré à l'application des directives PAP/CAR net aux résultats

Le premier chapitre est consacré à la méthodologie adoptée.

Le deuxième chapitre concerne l'approche prédictive par la cartographie thématique

Le troisième chapitre porte sur l'approche descriptive ou sont décrits toutes les formes et tous les processus d'érosion rencontrés dans le bassin versant.

Le quatrième chapitre consiste en l'intégration des deux approches pour élaborer la carte consolidée de l'érosion et d'évoquer les résultats de la composante de mesure qui a été réalisé en 1994 par la DREFT. On présentera enfin les tendances générales de l'érosion et quelques types d'intervention et de maintenance

PARTIE 1 : PROBLEMATIQUE, CADRE GENERAL DU BASSIN VERSANT DE L'OUED SRA.

Chapitre 1: Problématique

La Méditerranée est une mer caractérisée par ses zones côtières en milieu plus ou moins fragile. Cette fragilité est accentuée par la raréfaction de la végétation pérenne, la sensibilité des sols à l'érosion et l'agressivité du climat qui se distingue par des averses brutales sur des sols parfois à forte pente et à faible couverture végétale. Ces facteurs morpho-climatiques voient leurs effets dégradants s'accroître par le comportement de l'homme.

L'érosion hydrique des sols est un drainage de surface inadéquat réduisant grandement la productivité des champs agricoles et peuvent causer des problèmes de qualité de l'eau en aval des champs touchés

La méthode PAP/CAR (Programme d'Activité Prioritaire) est une méthode d'étude qualitative de l'érosion hydrique qui permet de hiérarchiser la surface d'un bassin versant en une unité distincte. Cette dernière est fonction de la vulnérabilité de l'érosion et permet de déterminer les zones les plus fragiles potentiellement pourvoyeuses de sédiments. C'est plus précisément un plan d'action pour la Méditerranée élaboré par le CAR (Centre d'Activités Régionales) relevant des programmes PAM/PNUE de l'organisation Mondiale de l'Alimentation (FAO).

Les directives PAP/CAR concernant plus particulièrement les zones méditerranéennes, nous allons mettre en relief le phénomène de l'érosion hydrique dans le contexte de la méditerranée avant de détailler la problématique dans les bassins versants de l'Ouergha et particulièrement de l'oued Sra en incluant les critères de choix de la zone étudiée.

1.1 Problématique de l'érosion hydrique dans les pays méditerranéens

Les sols de la région méditerranéenne tels qu'ils se présentent aujourd'hui, sont les fruits d'interaction, qui durent depuis des millénaires, entre les processus naturels de la pédogenèse et les activités des sociétés humaines qui se sont développées dans cette région.

Les études récentes sur la vulnérabilité aux changements climatiques dans la région méditerranéenne indiquent une tendance à un accroissement de l'aridité qui accélère l'érosion hydrique (De Ploey et al. 1998 ; Joftic et al. 1992 ; Shaban et Khwlie, 1998).

L'érosion des sols par la pluie et le ruissellement est un phénomène largement répandu dans les différents pays de la méditerranée. Ce phénomène continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes notamment par la nature torrentielle des pluies, de la forte vulnérabilité des terrains (roches tendres, sols fragiles, pentes raides et des couverts végétaux souvent dégradés), du surpâturage et de l'impact défavorable des activités humaines (déforestation, incendies, mauvaise conduite des travaux agricoles).

L'érosion des sols est accentuée dans le bassin méditerranéen, et plus particulièrement sur les sections importantes des côtes. Selon l'adage de Giorano in (Giordano et al, 1992), les pays méditerranéens de l'Union européenne ayant une superficie de 202.000 km² présente un risque élevé d'érosion.

Par exemple, en Turquie, 22,3% des terres sont gravement érodées (Topraksu Koyisler, 1981). En Tunisie 120000 Km² sur 164000 Km² sont directement menacés au vu de l'irrégularité des précipitations et du relief montagneux. En Albanie, le fleuve Drini a la charge de sédiments en suspension la plus élevée pour l'ensemble du bassin méditerranéen 1,082 t/ha/an. En Syrie, Liban et Palestine, l'érosion éolienne se combine avec l'érosion hydrique qui excède parfois 50 t/ha/an (FAO/PNUE/UNESCO, 1980). En Egypte l'érosion pluviale est nulle à négligeable mais dans certaines zones désertiques (erg); sur une bande étroite bordant le delta du Nil et sur la côte égyptienne occidentale, elle peut mobiliser plus de 200 t/ha/an. En Libye l'érosion pluviale est modérée dans la bordure de la mer (Jbel Akkdhar et Jbel Nefhusa), alors que d'autres parties sont sujettes à une érosion éolienne généralisée.

Au Maroc, le phénomène d'érosion est l'un des problèmes qui entrave le développement économique et social des zones de montagnes et plus particulièrement le développement agricole. L'analyse des problèmes de l'érosion hydrique à l'échelle nationale montre que 12,5 millions d'hectares de terres de culture et de parcours sont réellement menacés par l'érosion. Les conséquences de l'érosion en aval sont également coûteuses pour l'économie nationale puisque l'envasement des retenues de barrages s'estime à plus de 60 millions de m³ annuellement. Cette superficie correspond à une diminution de 0,5 % de la capacité de stockage ou à une perte en irrigation de 60 000 ha/an

L'érosion hydrique est plus accentuée sur la chaîne du Rif par rapport au reste du Maroc. Ces zones sont caractérisées par la prédominance de formations géologiques friables (marnes, marno-calcaire...). L'enlèvement de leurs couvertures végétales protectrices les a rendues plus vulnérables à l'érosion hydrique. L'ampleur du phénomène est plus importante dans les collines du Prérif qui ne couvrent que 6 % du territoire national mais qui produisent 60 % de sédiments selon Heush (1970). Dans la chaîne du Rif, la quantité de sol perdue atteint une moyenne de 20 t/ha/an alors qu'elle n'est que de 5 à 10 t/ha/an dans le Moyen et le Haut Atlas (A. E. F. C. S. 1999 in Sadiki 2005).



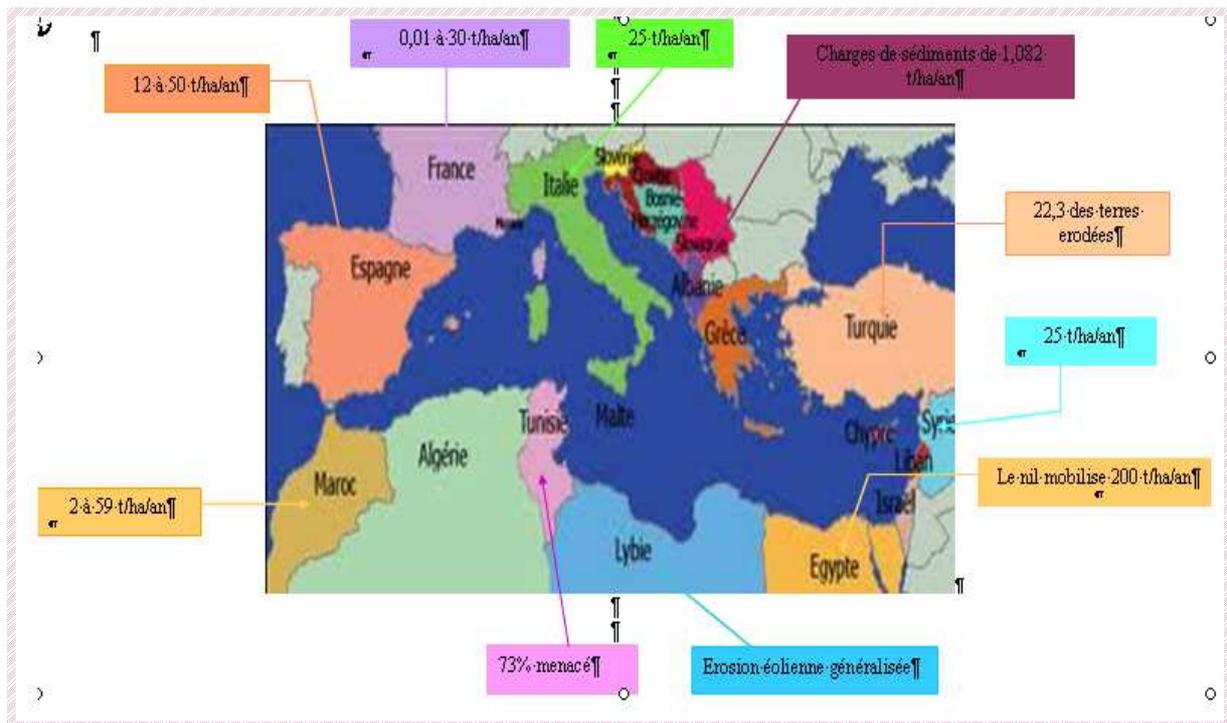


Figure 1: Etat de dégradation des pays méditerranéens

1.2 Problématique de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Sra

Le bassin versant de l'oued Ouergha couvre une superficie de 6140 km² en Amont du Barrage al Wahda, au cœur du Rif marocain. Il est situé sur le versant sud et atlantique de l'Arc rifain, chaîne de montagne de l'orogénie alpine qui borde au Nord du Maroc la Méditerranée en continuation des massifs sud hispaniques. Il couvre au Nord une partie du Rif aux pentes abruptes, avec de forte précipitations et encore une grande partie de maquis et forêts, et au Sud une partie du pré-Rif, région de collines marneuses très cultivées.

L'Ouergha possède une très forte densité d'affluents rive droite qui drainent le versant méridional du Rif. Il regroupe 16 sous-bassins, recouvrant les affluents de la rive droite et les bassins intermédiaires du cours principale du bassin.

C'est une zone de montagnes méditerranéennes aux fortes pentes, se présentant en un ensemble de collines de différentes dimensions et d'altitudes, sous la forme d'une bande relativement large à l'Ouest, en bordure de la plaine du Gharb, mais qui se rétrécit progressivement vers l'est, formées essentiellement d'argiles et de marnes gonflantes, qui supportent parfois des massifs isolés plus résistants (grés et calcaires), les collines pré-rifaines sont couvertes de sols extrêmement érodés. Très durs et entaillés par des crevasses en été, ils se transforment en boue, en hiver.

Le climat de l'Ouergha est un type de [climat tempéré](#) qui se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, marqué par une grande irrégularité annuelle et interannuelle ainsi que par une grande variabilité spatiale qui varient de 600mm aux extrémités Est et Sud à 1500mm dans la zone montagneuse centrale, L'irrégularité des précipitations et l'absence de réservoir souterrain perméable entraînent une irrégularité extrême de ces oueds, qui sont énormes pendant les crues d'hiver et pratiquement à sec en été.

Le bassin versant de l'oued Ouergha est caractérisé des formations lithologiques friables telles que les marnes, les argiles, la dorsale calcaire (lias, Jurassique), et les schistes (flysch).

La très forte densité de population (100 hab/km²) entraîne une surexploitation de ce milieu, originellement et jusqu'à il y a peu de temps essentiellement forestier, avec un très fort développement des cultures (près de 70 % de la surface totale) sur des pentes très élevées (jusqu'à 60 % de pente).

La pression sur le couvert végétal pérenne se fait :

- ❖ par défrichement notamment dans la zone de culture du cannabis,
- ❖ par la récolte de feuillage pour les animaux,
- ❖ par la récolte de bois de feu. -

Les cultures sur pentes fortes sont de faible productivité et l'érosion contraint souvent au bout de quelques années à l'abandon de ces parcelles.

Toutes ces conditions conduisent à une érosion très élevée qui se traduit par de faibles épaisseurs de sol et par un transport solide important à l'exutoire du bassin versant au niveau du barrage El Wahda.

Le choix du bassin versant de l'oued Sra a été dicté par sa richesse en formations lithologiques friables, d'où une importante contribution à l'envasement du barrage Bouhouda, il se présente en un ensemble de collines de différentes dimensions et d'altitude, façonnées dans des terrains marneux et gréseux, par un réseau hydrographique plus ou moins dense et profond.

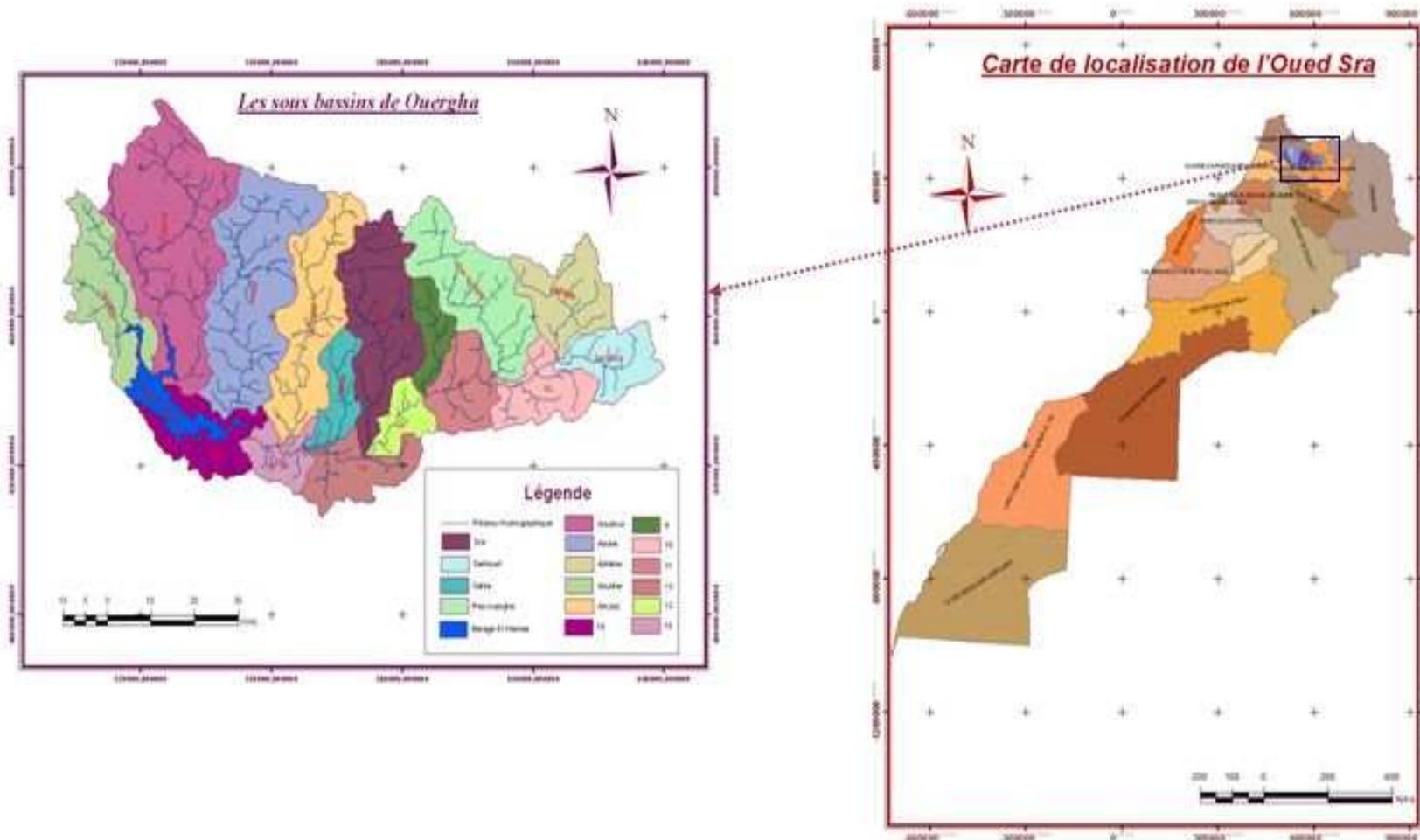


Figure 2: Localisation du bassin et des sous-bassins versant de l'Ouergha dans le contexte du Royaume

Chapitre 2 : Etude des caractéristiques hydrologiques du bassin versant de l'Oued Sra

Le bassin versant de l'oued Sra fait partie du grand bassin versant de l'oued Ouergha. Il occupe une position centrale dans ce dernier et compte parmi les principaux affluents de l'Ouergha qui drainent la face méridionale de Rif central fortement arrosée. Ce bassin versant représente 9% de la superficie totale du bassin versant de l'Ouergha

Un bassin versant est caractérisé par son modelé, sa forme, son relief et par l'organisation géométrique de son réseau de drainage (TARDI, 1986). Ces différents caractères morphologiques de ce bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique et notamment le régime des écoulements en période de crue et d'étéage, et l'érosion hydrique. Le temps de concentration, qui se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et son exutoire, est influencé par ces diverses caractéristiques.

II-1 Situation administrative et géographique

La zone qui couvre le bassin versant de Sra est située sur le versant Atlantique du Rif ; elle s'intercale entre les parallèles 34°28' et 34°56' de latitude Nord et les méridiens 4°27' et 4°42' de longitude Ouest, elle dispose d'une altitude moyenne qui oscille entre 260 mètres au niveau de barrage Bouhouda et 2400 mètres à Jbel Tighighine, limité au NE par le bassin versant de l'Oued Ras Ouergha, au SW par le bassin versant de l'Oued Sahela, à NW par le bassin versant de l'Oued Amzaz.

Administrativement le bassin versant de l'Oued Sra se trouve sur trois provinces : Taounate, Ktama, et Thar Souk. C'est un affluent rive droite de l'Oued Ouergha, localisé à environ 18 km au nord de la ville de Taounate, il s'étale sur les communes de Bouhouda, Khlalfa, Bni Bouchibet, Taghzout, Abdighaya Souahel, Issaguen, et Tlata Ktama

II-2. Aire et périmètre

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface, un petit bassin versant réagit très vite à une averse.

L'aire est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin généralement exprimée en km^2 .

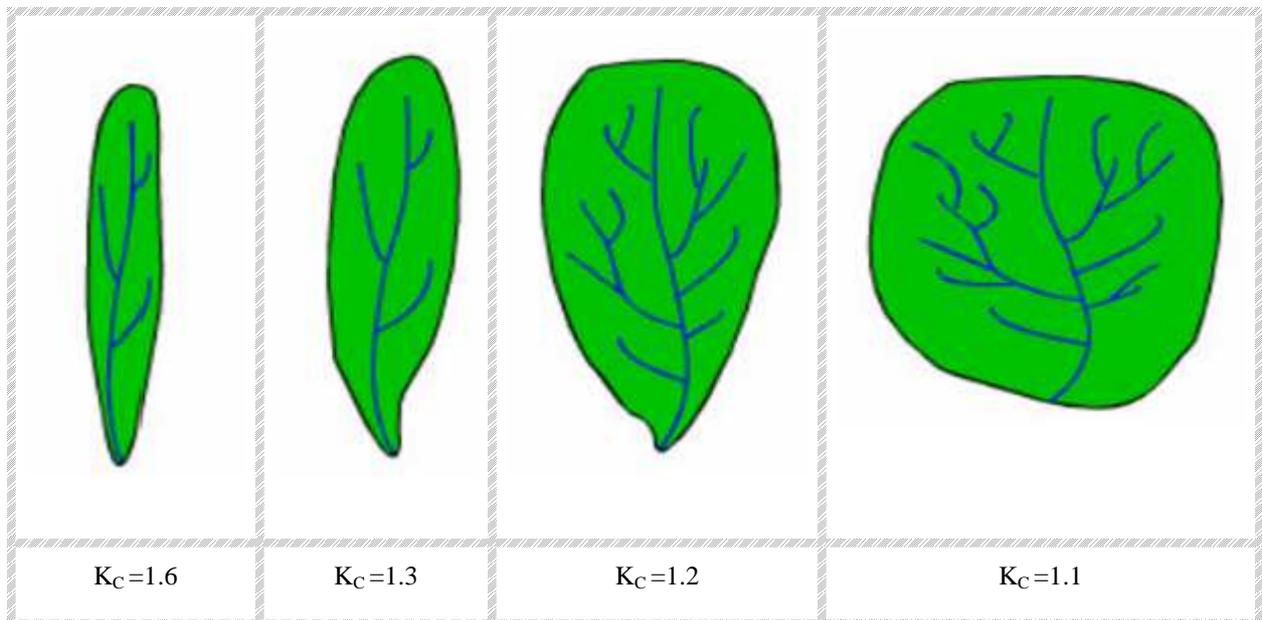
Le périmètre est la longueur de la ligne de contour du bassin, généralement exprimée en km.

Le bassin versant d'oued Sra couvre une superficie de 554 Km^2 et un périmètre de 139,4 Km, il compte parmi les grandes sous bassins de Ouergha .

II-3. Formes

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

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



3Exemple d'indice de compacité

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

Si A est la surface du bassin en km^2 et P son périmètre en km, le coefficient K_c est égal à:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0.28 \frac{139.4}{\sqrt{554}} = 1.66$$

Le cas du bassin versant de Oued Sra présente un indice de compacité égale a 1.66, sa forme est allongée dans la direction N-S s'étire du nord au sud sur 50 kilomètres environ et d'ouest en est sur 17 kilomètres, cela renseigne sur un faible débit de pointe de crue et un ralentissement de rassemblement des eaux et un faible drainage ce qui va diminuer les charges transportées par l'eau et minimiser les cours d'eaux dangereux. Mais cela peut aussi être en

faveur de l'érosion car cette forme montre une faible largeur donc le temps d'arrivée des sédiments arrachés des sous bassins versants plus courts.

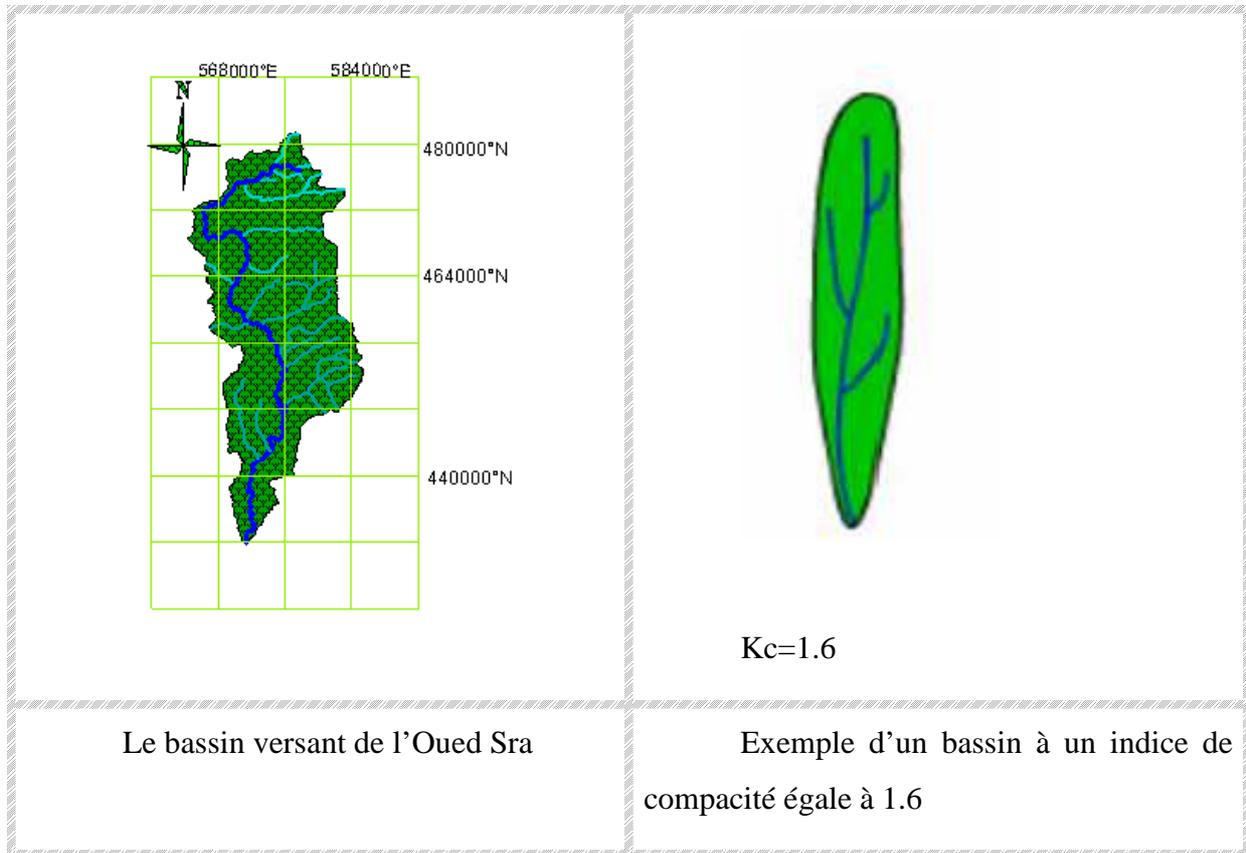


Figure 4: Représentation de la forme du bassin versant d'Oued Sra

II-4. Réseau hydrographique

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

- La géologie : par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique. Le réseau de drainage n'est habituellement pas le même dans une région où prédominent les roches sédimentaires, par comparaison à des roches ignées. La structure de la roche, sa forme, les failles, les plissements, forcent le courant à changer de direction.
- Le climat : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.

- La pente du terrain, détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.
- La présence humaine : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Depuis l'amant du bassin jusqu'à l'entrée de la retenue, l'oued principal du bassin versant Sra s'écoule sur une longueur mesure environ 84 km et présente un ordre hydrologique de 8, ce dernier compte parmi les principaux affluents de l'Oued Oeurgha, ces affluents se concentrent à la rive droite.

La densité du réseau hydrographique au niveau du bassin versant de l'Oued Sra a été approchée après digitalisation du réseau hydrographique a partir des cartes topographiques de Taounat, Thar Souk, et Ktama

Le bassin versant de l'Oued Sra est caractérisé par un réseau hydrographique assez dense et complexe qui adopte une structure ramifiée ce qui explique une dynamique importante du ruissellement et de l'infiltration de l'eau. Ce réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des canaux de drainage naturels, permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent les eaux provenant du ruissellement et celles restituées par les nappes souterraines sous forme de sources ou de restitutions le long des lits des cours d'eaux.

Il reçoit comme principaux affluents : Oued Sgara, Oued ktama, Oued daa, Oued hadada, Oued dar dmana et Oued Azila, il se jette ensuite dans l'Oued Ouergha dont il constitue un sous bassin versant.

Si la carte du réseau hydrographique reflète l'organisation hydrologique du bassin et apporte quelques informations d'ordre hydrologique et géographique, il reste encore à préciser sa signification temporelle, sa validité dans le temps face au rythme saisonnière de la vidange des nappes et des réservoirs. Le réseau fonctionne donc saisonnièrement ; il est déserté au cours des étés relativement secs et coulant dans des hivers humides.

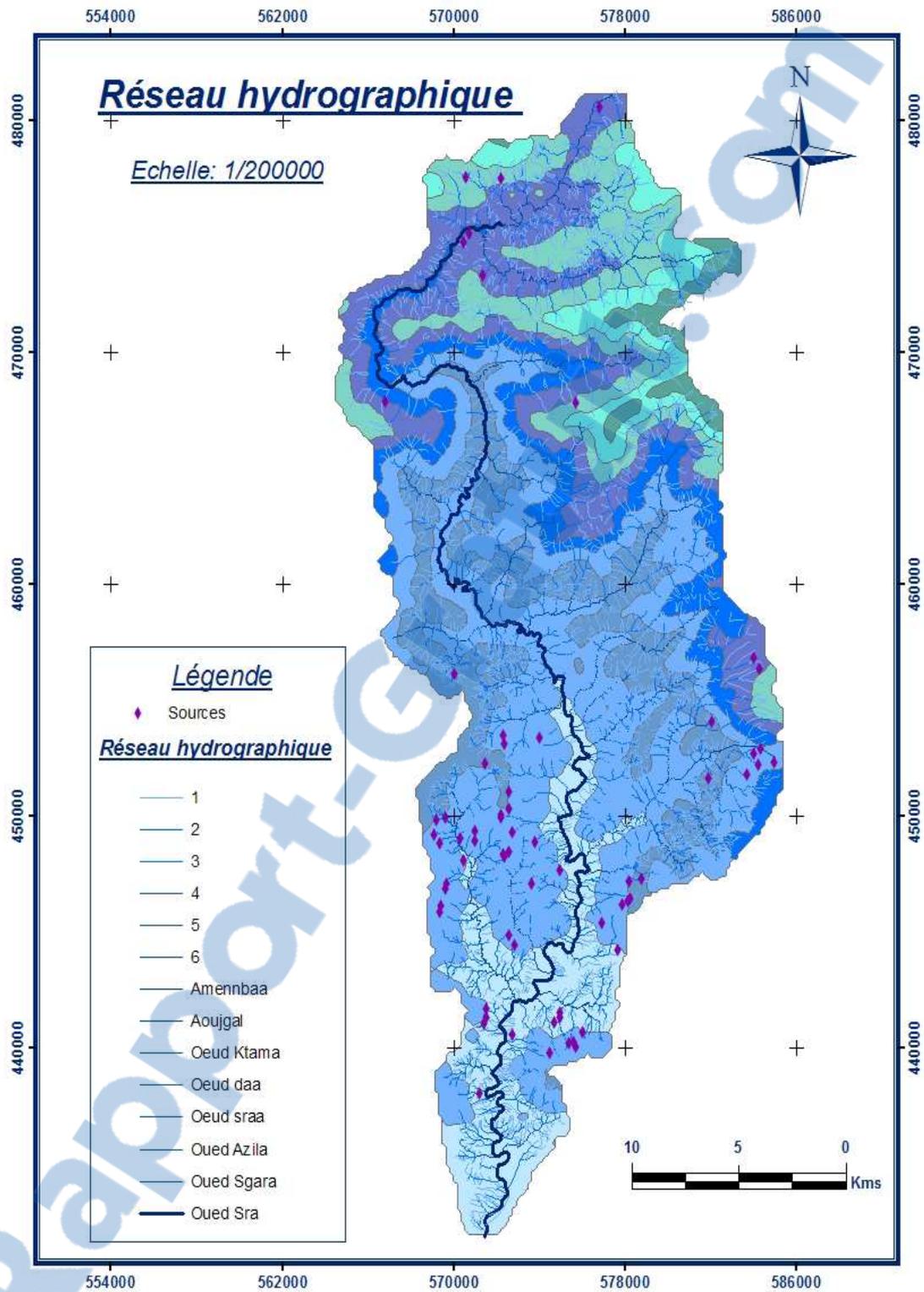


Figure 5: Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Sra

II-5. Climat

Le Rif, du fait de sa situation dans le domaine méditerranéen, appartient à la zone climatique semi-aride.

Le climat méditerranéen est caractérisé par deux saisons très contrastées :

- une saison chaude de mai à octobre
- une saison pluvieuse fraîche de novembre à avril, correspondant à la fin d'automne, à l'hiver et au début du printemps

Cependant, l'appartenance de l'Oued Sra au bassin versant de l'Ourgba qui fait partie du préif lui confère un climat méditerranéen subhumide, induisant une répartition irrégulière des pluies dans l'espace et dans le temps. Ces conditions climatiques sont favorables pour l'intensification de l'érosion hydrique et l'arrachement des sols

a. Précipitation

Les données disponibles (Tabl. II-2) sur les précipitations proviennent de l'Administration des Eaux et Forêts à partir du plan d'aménagement antiérosif du bassin versant de l'oued Ouergha La zone d'étude comprend 10 stations pluviométriques, les données ont été étudiées sur la période 1989 à 2010

La pluviométrie annuelle moyenne des stations varie de 580 à 1700 mm sur l'ensemble de la zone, les valeurs minimales sont ceux des stations situés en aval (Ain Aicha et Touanate avec 580 et 784 mm respectivement). En amont la quantité enregistrée augmente pour atteindre 1267 mm à Ikawn.

Station	précipitations annuelles moyens (mm)	Longitude X	Latitude Y	Altitude
Ain aicha	580	565000	429100	250
Touanate	784	569400	438000	668
Bab ouender	826	579800	440100	310
Pont de sker	784	572900	441900	320
Bouhouda	667	575900	444500	400
Asfalou	632	610720	449000	760
Trzout	664	575150	454900	450
Oudka	970	515000	460900	1500
Ketama	1060	595700	472200	2100

Tableau 1: Données climatiques disponibles dans les stations du bassin versant ou qui lui sont voisines

Le régime pluviométrique de la région couverte par le bassin versant de l'Oued Sra se caractérise par une double irrégularité dans la répartition, à la fois spatiale et temporelle. Cette irrégularité est due aux conditions atmosphériques du climat méditerranéen et au rôle de la topographie (altitude, exposition, etc.). Afin de cerner cette irrégularité dans la répartition des hauteurs moyennes des pluies dans le bassin, nous nous sommes intéressés d'abord aux particularités pluviométriques régionales, ensuite aux variations spatiales et temporelles dans les stations du bassin du Sra et celle de ses bordures

La distribution des pluies dépend essentiellement de l'altitude et la latitude, les précipitations les plus importantes se trouvent sur les massifs les plus élevés de la partie Ouest du bassin versant et sur les crêtes montagneuses du nord. Les précipitations sont plus faibles dans la partie sud du bassin versant à mesure que diminue l'altitude ; elles diminuent aussi dans la partie Est avec l'éloignement de la cote Atlantique et l'influence plus aride du Rif orientale

Pour rendre l'interprétation des précipitations plus simple, on a réalisé la carte des isohyètes qui a été construite par la méthode de Thiessen qui considère qu'il existe un gradient de précipitations progressif entre les différentes stations (Fig. II-11). D'après cette dernière on remarque que le gradient pluviométrique augmente de l'aval vers l'amont.



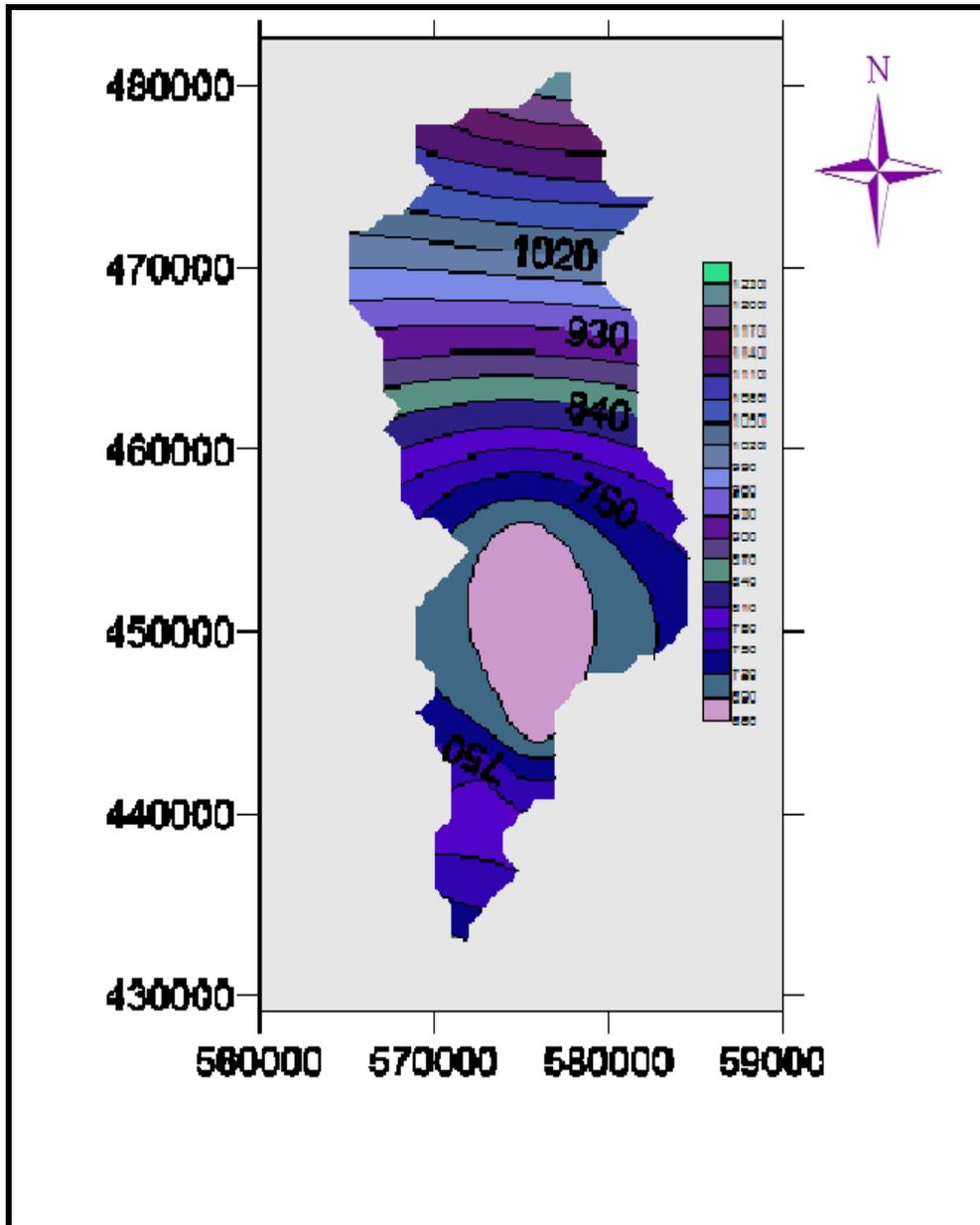


Figure 6: Distribution des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Sra

b. Température

Ce qui concerne l'hydrologie fluviale de l'Oued Sra, l'intérêt principale de l'étude du régime thermique réside dans le mode de transfert de l'eau. Les températures agissent également sur la morphogénèse des versants. La caractérisation des saisons sèches et des saisons humides dans le bassin sera menée principalement à partir des données de la station de Hajria, vu le manque d'enregistrement de ce paramètre dans la station aval du bassin, afin de combler ce manque, nous avons eu recours aux données des stations Tissa et l'Ourtzag, dans le but de régionaliser ce paramètre climatique, tout en extrapolant les cartes climatiques et les données disponibles

		sept	oct	nov	déc	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août
Hajriya	Max	27,9	23,2	17	13,8	15,2	12,8	15	19	23,0	27,4	31,7	32,3
	Min	20	16,0	11,9	11,0	4,3	7,6	10,2	11,6	12,1	21,6	27,6	27,2
	Moy	24,7	19,6	15,1	12,9	11,0	10,9	12,8	15,1	18,9	24,6	29,9	30,3
Tissa	Max	40,4	35,4	28,0	22,6	22,4	24,0	29,5	32,4	38,5	43,1	45,5	45,8
	Min	20,6	14,3	10,0	8,0	6,9	9,4	9,8	12,1	13,5	20,1	25,8	24,5
	Moy	30,1	25,3	18,7	15,0	14,9	15,9	18,5	21,1	24,5	31,2	36,4	36,0
Ouertzagh	Max	36	27	21	17	17	18	21	22	26	32	37	37
	Min	19	15	10	7	6	8	9	11	14	17	20	21
	Moy	27	21	16	12	11	13	15	16	20	25	28	29

Tableau 2: Données des températures disponibles dans les stations du bassin versant ou qui lui sont voisines

1. Variations mensuelles des températures

Les variations intra-annuelles des températures nous permettent de distinguer une phase humide et une phase sèche. D'après l'histogramme, le mois de juillet montre un maximum des températures atteignant 30 °C et le mois de janvier relève un minimum de 13 °C. Cet écart de valeurs traduit des oscillations climatiques importantes liées au climat semi-aride de la région.

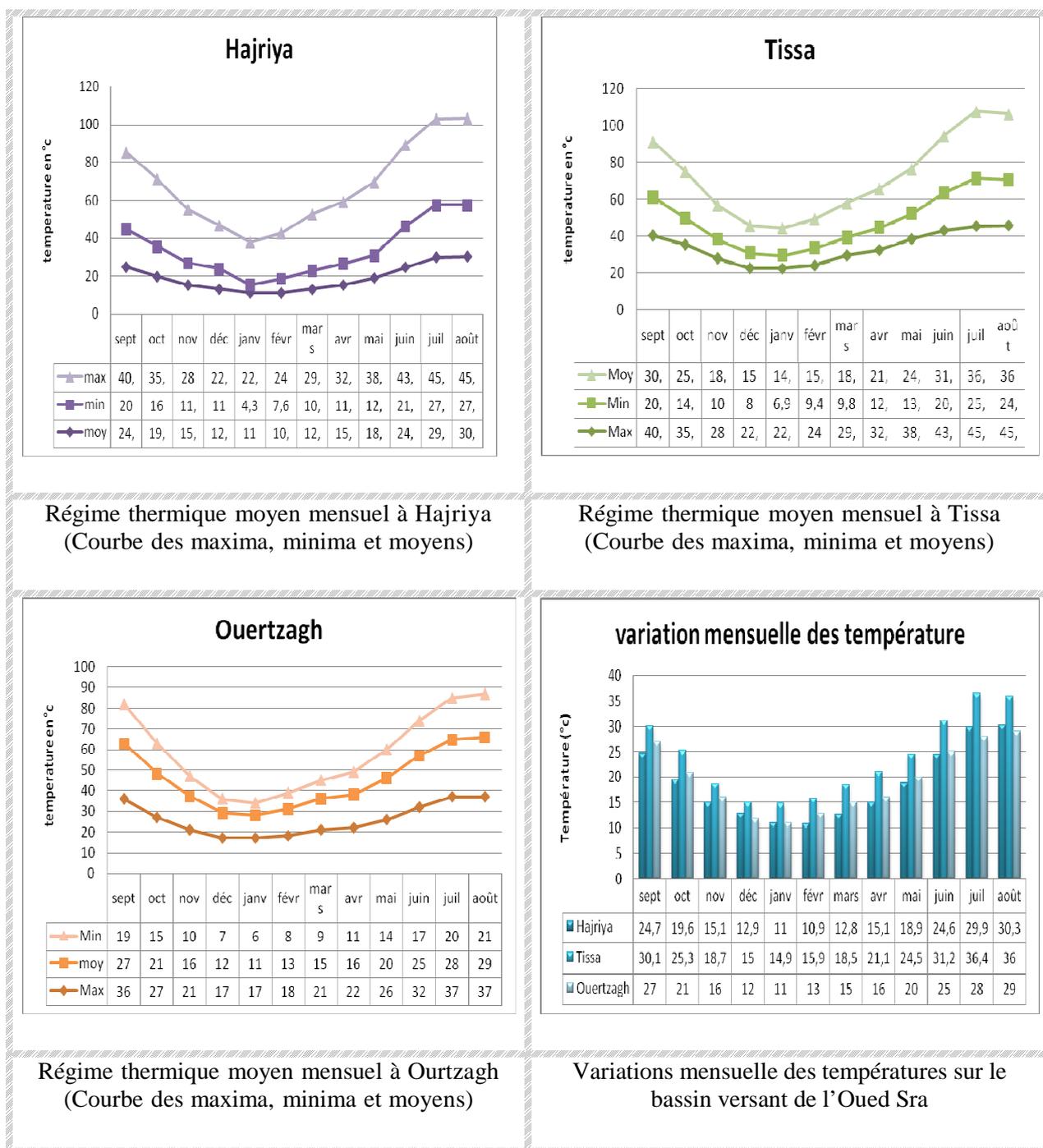


Figure 7: Variations mensuelle des températures sur le bassin versant de l'Oued Sra

2. Variations saisonnières des températures

Les valeurs de températures inégalement réparties varient d'une saison à l'autre.

Les variations de la température à l'échelle des saisons influencent les débits par les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration pendant la saison critique (été)

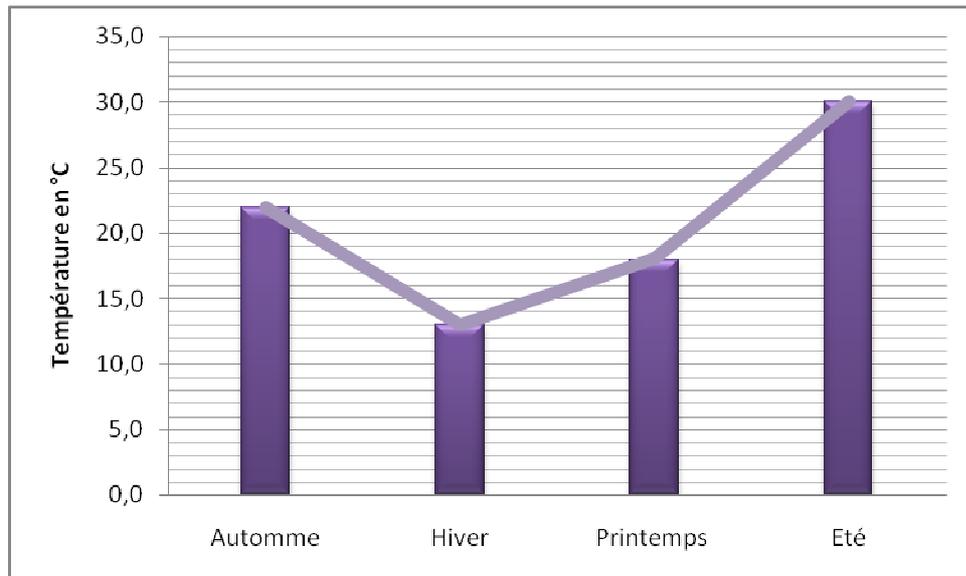


Figure 8: variations saisonnières de la température sur le bassin versant de l'Oued Sra

🌸 Les températures hivernales :

La température moyenne est de l'ordre de 20,7 °C. En hiver les températures atteignent des valeurs minimales extrêmes. Janvier est le mois le plus froid de l'année, où les maxima atteignent 13,3 °C

🌸 Les températures printanières :

Elles sont plus ou moins élevées. La température moyenne durant cette période est d'environ 18 °C

🌸 Les températures estivales :

L'été est une saison critique, aussi bien pour les écoulements que les végétaux. En effet, pendant cette période, une partie du cours de l'oued Sra s'assèche, tandis que la végétation subit un stress hydrique important du fait de la hausse des températures. En effet, la température moyenne de la région passe à 30 °C.

Juillet est considéré comme étant le mois le plus chaud.

🌸 Les températures automnales :

Pendant l'automne, nous constatons une décroissance de la température moyenne vers les environs de 21,9 °C.

D'une manière générale, nous présumons d'après les rythmes thermiques saisonniers, que les saisons hivernales et estivales constituent les périodes de l'année les plus critiques, au cours desquelles les manifestations hydrologiques et les actions hydrodynamiques affectent le bassin versant.

II-6. Etude géologique et lithologique du terrain

a. Généralités sur la géologie de la chaîne du Rif

Le Rif chaîne de montagnes d'âge alpin différentes des autres formations du Maroc, a été largement étudié par plusieurs chercheurs (LAC OSTE, 1931 ; MARCAIS et SUTER, 1957 ; DELGA et MATTAUER, 1962 cités par MOURER, 1968 ; EL GHARBAOUI, 1981).

J.C. VIDAL (1984) considère quant à lui que le pré-rif est un mélange constitué par la juxtaposition d'éléments distincts. Il l'interprète comme étant un bassin post-tectonique miocène supérieur vers lequel ont glissé ces nappes et les olistostromes qui proviennent du Nord. La mise en place de ces matériaux est causée par le mouvement à composante verticale (approfondissement du sillon pré-rifain) et par le soulèvement des zones internes. A la suite de ces mouvements, la régression marine s'est produite entraînant l'émergence de l'ensemble de la région pré-rifaine ; c'est donc depuis cette dernière période que cette zone a subi l'action de l'érosion qui a modelé le paysage pour lui donner son aspect actuel.

L'originalité du domaine Rifain se manifeste par sa lithologie variée ou dominante les séries marneuses et schisteuses très tendres et par sa tectonique résultat de chevauchement des nappes de glissement.

Les géomorphologues ont divisé le Rif en trois domaines structuraux caractérisés par leurs stratigraphies, leurs faciès et leurs tectoniques s'arrangeant du Nord au Sud comme suit :

- Le domaine médian ou le Rif septentrionale
- Le domaine interne : Nappes Ultra-rifaines
- Le domaine externe dont on connaît le versant méridional et les régions de collines marneuses

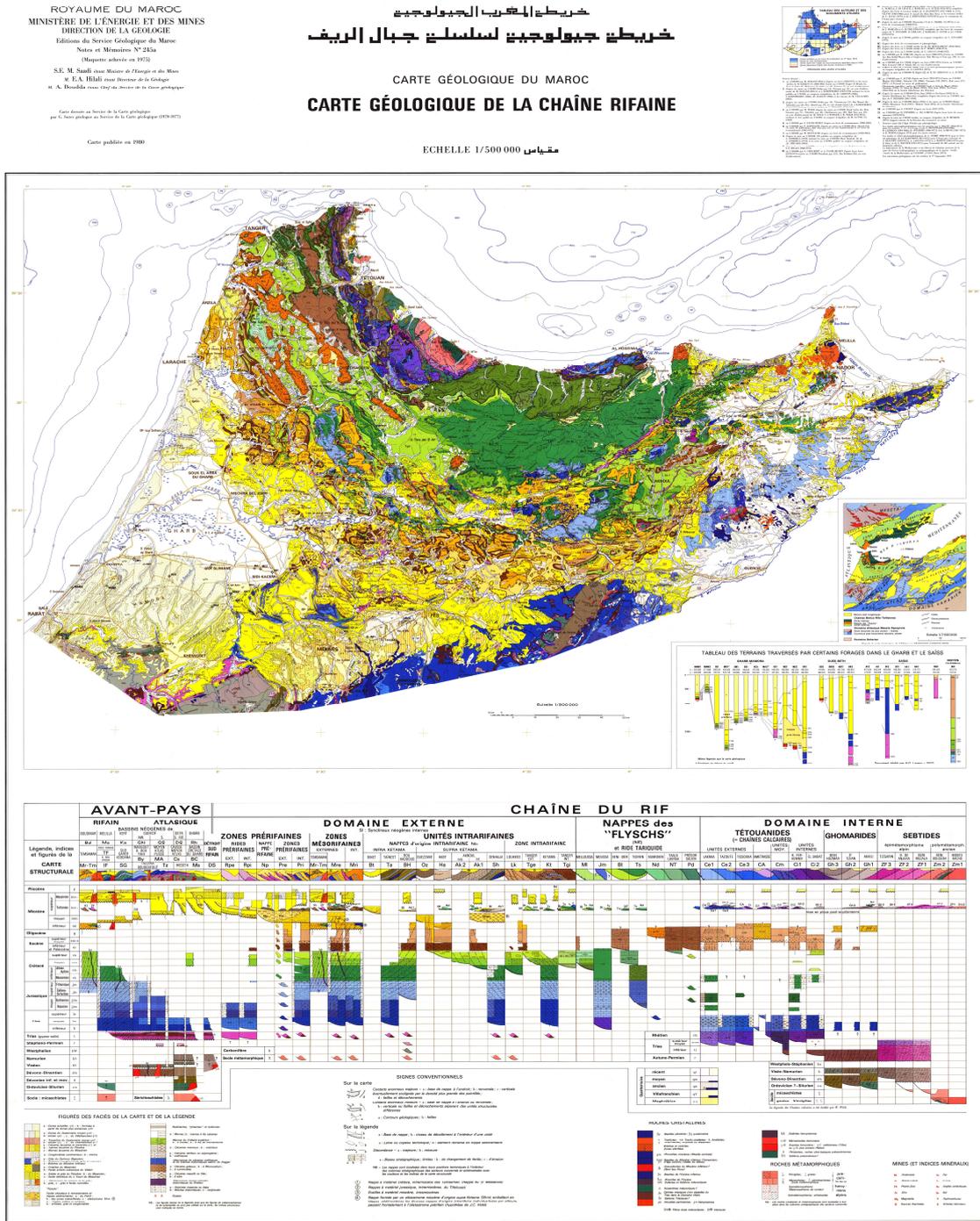


Figure 9: Extrait de la carte géologique du Maroc (publiée en 1980)

b. Cas du bassin versant :

Le bassin versant est intéressé par les trois types de formations cités précédemment qui sont :

 **Les dépôts post-nappe :**

Les dépôts post-nappe correspondent à des formations autochtones du Miocène déposées pendant la transgression tortonien. Ils sont formés par des sédiments grossiers conglomératiques à la base. Au sud de Taounate cette formation molassique montre un pendage fort vers le SE justifiant ainsi une déformation tectonique récente. Ces formations deviennent plus fines en haut donnant des grés puis une série épaisse des marnes argileuses bleues. Ces formations marneuses sont surmontées par des roches sédimentaires continentales déposées dans deux systèmes distincts Structuralement, il s'agit d'un ensemble de bassins de subsidence qui se sont mis en place au Tortonien suite à un effondrement de la partie nord de la chaîne Moyen Atlasique et qui ont formé des bras de mer dans la région. Le plus important de ces bras de mer est celui du Sillon Sud-rifain. Dans la région d'étude, deux bassins de ce type sont séparés par la ride Mésorifaine de Taounate, le bassin de Taounate au sud situé entre Aïn Aïcha et la partie Sud de la ville de Taounate et celui de Tahar Souk au nord.

 **Zone Intra-Rifaine :**

Cette zone formée par deux nappes de charriage; les unités de Ketama et de Tanger. Ce sont des formations mobiles, para-autochtones constituées par des éléments allant du trias jusqu'au Tortonien inférieur.

✓ **Unité de Ketama :**

L'unité de ketama se situe entre l'Oued Nekor à l'Est du Rif central et l'Oued Aoudour à l'Ouest, sur une longueur de 120 Km et une largeur de 30 km en moyenne, constituant le cœur de la haute montagne, para-autochtone (DURAND-DELGAS et HOUTINGER 1962) ; le matériel est à dominante marno-calcaire et marno-schisteuse (crétacé). Cette unité couvre dans notre domaine d'étude superficie réduite dans la partie amont du bassin versant de l'Oued Sra.

Unité de Tanger :

L'unité de Tanger Affleure dans la partie occidentale du rif, elle s'étend de Tanger à l'Ouest jusqu'à l'unité de Ktama à l'Est sur plus de centaine Km, son matériel ne diffère pas trop de celui de l'unité de Ktama : elle caractérisée par des formations tendres, marneuse ou marno-schisteuse du crétacé supérieur, c'est une région a reliefs plus aérés que ceux de l'unité de Ktama (basses montagnes et larges vallées), on y trouve :

- Des marnes grises et noirâtres du crétacé supérieur, contenant des boules de calcaire jaune.
- Des marnes de calcaire marneux de l'Eocène.
- Des marnes sableuses grises et verdâtres épaisses datant de l'oligo-miocène.

N.B : les nappes rifaines constituent la couverture décollée des unités de Ketama-Tanger.

 **Zone Méso-Rifaine :**

Les terrains de cette unité sont constitués dans la zone d'étude par les marnes surmontées par une formation molassique composée de conglomérat et de grés.

○ **Tectonique**

Les phénomènes tectoniques polyphasés ayant affecté la région sont la cause de l'apparition de plusieurs types d'accidents :

- des failles chevauchantes orienté E-W sous le dernier régime compressif tel que σ_1 est orienté presque N-S (AIT BRAHIM, 1983) ;
- des failles décrochantes conjuguées N 135 et N 45 à jeux dextre pour les premières et sénestre pour les secondes ;
- des failles subméridiennes à jeu normal qui apparemment, correspondent aux structures tectoniques dont le jeu est plus récent (CHARRIERE, 19990 ; SABAOU ET HINAJE, 2000)

On note également la présence de contacts anormaux dans les terrains autochtones et dans les nappes allochtones qui recouvrent le bassin versant.

La nature essentiellement marneuse (terrains incompétents) des sédiments dans la zone d'étude rend l'observation des structures difficiles.

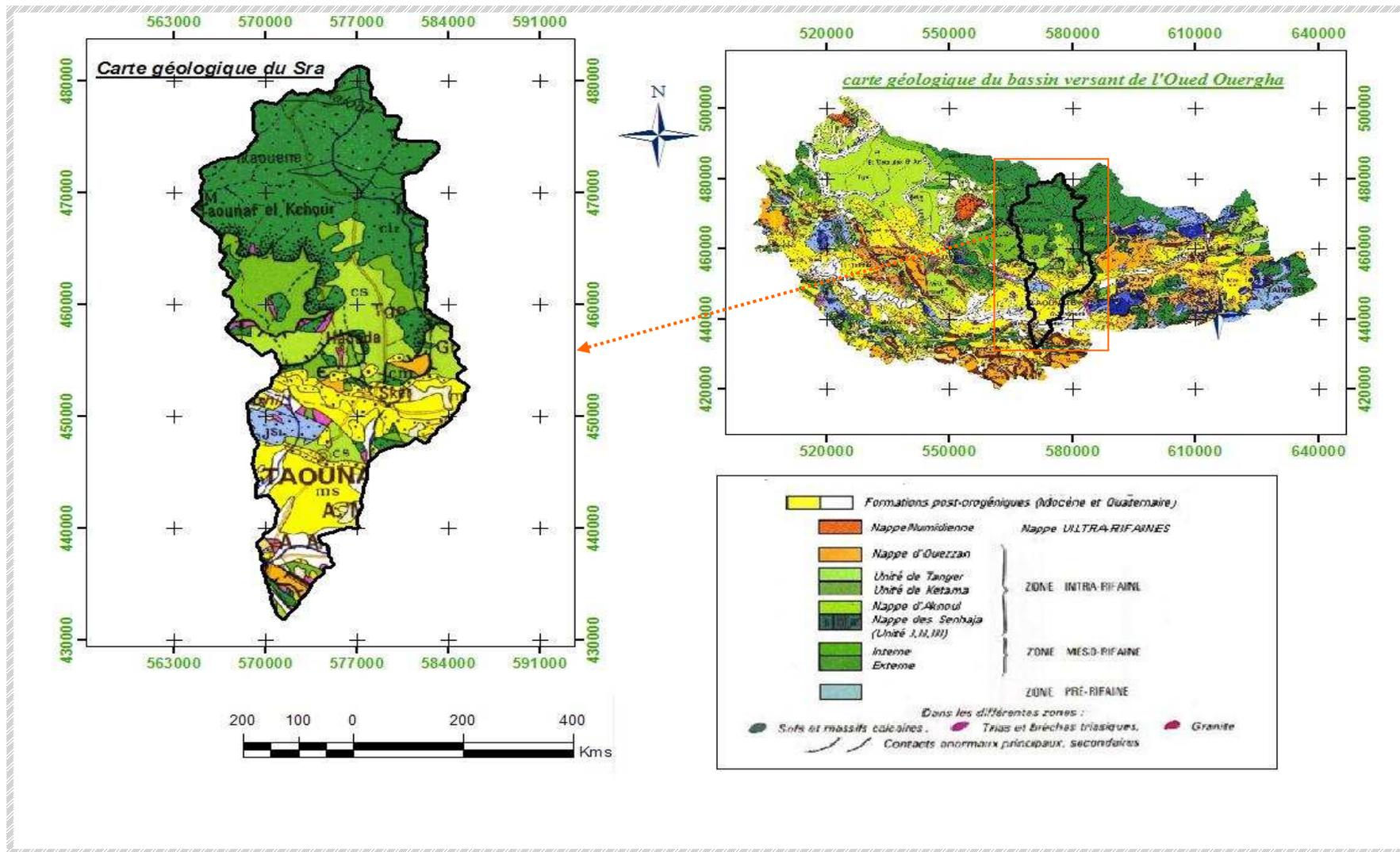


Figure 10: Carte géologique et lithologie du bassin versant de l'Oued Sra

c. Lithologie

Le type de faciès lithologique renseigne sur le degré d'érodibilité des formations géologiques, cela dépend de plusieurs facteurs tels que, la texture et la structure.

Au niveau du bassin versant de l'Oued Sra les faciès les plus représentatifs sont les Flysch dominante de Grés et Quartzite du Crétacé Inférieur et les flysch noirs à bancs de grés siliceux du Crétacé Inférieur, avec un pourcentage de 37,22 % et 33,51 % respectivement localisé surtout dans la partie amont du bassin. Dans la partie aval, ce sont surtout les flysch marneux, les marnes massives et les Basse Terrasse à éléments fins du Quaternaire avec 16,28 % de la surface total, les Flysch a Bancs de Calcschiste du crétacé moyen, les argiles salifères, Facies Flyschoide à Grés Calcaire du Miocène inférieur, les Argile rouge et grés fractures du Jurassique supérieur ne dépasse pas 5% et sont localisées surtout dans les parties aval et centrale.

type de lithologie	Superficie en Km ²	%des superficies
Flysch dominante de Grés et Quartzite, Crétacé Inférieur	206,3	37,22
Flysch Noir a Bancs de Grés Siliceux, Crétacé Inférieur	185,7	33,51
Flysch Marneux, Crétacé Supérieur	51,4	9,27
Flysch a Bancs de Calcschiste, crétacé moyen	26,1	4,72
Argiles Salifères à Ophiles, Trias	5,4	0,97
Marnes Massives, Messénien	35,3	6,37
Facies Flyschoide à Grés Calcaire, Miocène inférieur	17,7	3,20
Massifs Calco Dolomitique, Lias et Jurassique moyen	4,0	0,71
Flysch dominante de Grés et Quartzite, Crétacé Inférieur	0,9	0,16
Basse Terrasse à éléments fins, Quaternaire	12,7	2,29
Dépôt de pente forte, Quaternaire	5,6	1,01
Argile rouge et grés fractures, Jurassique supérieur	3,2	0,57
Total	554,3	100,00

Tableau 3: Types de lithologie en fonction des surfaces et les % des superficies

Au cours du Crétacé et du Tertiaire, les formation géologiques du rif et du pré-rif se distinguent du reste du Maroc et se caractérisent par la dominance des faciès marneux et argileux (MICHARD, 1971)

Le substratum paléozoïque est pratiquement inconnu dans la zone pré-rifaine. On observe seulement quelques débris lus ou moins métamorphisés entraînés par les diapirs triasiques.

Les dépôts du Trias, constitués surtout d'argiles rouges salifères avec du sel gemme et du gypse en quantité importante associées à des roches basaltiques, affleurent sous forme de

pointements à la faveur des mouvements diapiriques ou d'accident tectoniques, Il est probable que cette formation plastique a constitué le niveau de décollement dysharmonique généralisé entre les séries secondaires et tertiaires du sillon rifain externe et du soubassement (LICHARD, 1976). L'affleurement triasique se concentre dans la partie centrale du bassin versant

- Le lias est formé d'une série calco-dolomitique de quelques centaines de mètres d'épaisseur. Il afflue dans l'Est de la zone d'étude
- Le Dogger et le Malm sont marqués par une formation argilo-gréseuse.
- Les formations du Crétacé et du Tertiaire caractérisées par des faciès argilo-marneux constituent l'essentiel des matériaux géologiques servant de roches-mères pédogénétiques pour les sols de la zone d'étude
- Le Crétacé plus représenté que le trias est :
 - ❖ Flysch Noir à Bancs de Grés Siliceux et Flysch dominante de Grés et Quartzite, pour le Crétacé inférieur,
 - ❖ Flysch à Bancs de Calcschiste, pour crétacé moyen
 - ❖ Flysch Marneux, pour le Crétacé supérieur.

Il affleure dans tout le bassin versant et surtout il domine au nord et dans la partie centrale de la zone d'étude

Quand au Tertiaire, il est représenté par le Miocène inférieur et moyen qui est constitué par des dépôts d'âge Eocène et Oligocène (MICHARD, 1976).

- Les dépôts Eocène sont constitués par des marnes blanches, riches en rognons de silex. Ils forment de hauts reliefs marneux.
- L'Oligocène est constitué d'un flysch à marnes, grés et calcaires. Les couches terminales sont constituées par des marnes jaunes à niveau sableux et gréseux.
- Le Miocène inférieur et moyen est constitué par des marnes et des alternances marno-calcaires.
- Le Miocène supérieur ou Miocène post-nappe correspond au Tortonien supérieur. A l'opposé des formations précitées qui sont allochtones, le Miocène supérieur est autochtone, déposé au cours d'une transgression marine qui a envahi tout le domaine du sillon sud-rifain entre le Rif et le domaine atlasique. Il est généralement détritique à la base (grés et conglomérats) puis constitué d'une épaisse série de marnes bleues. Le Miocène post-nappes contient aussi des blocs resédimentés ; il s'agit d'olistostromes constitués des masses argileuses antérieures au Miocène post-nappe amenées par des glissements sous l'effet de la gravité ou par des décollements dans la vase tortonienne.

Cette formation affleure au sud du bassin versant

- Le Quaternaire est représenté par des terrasses constituées de dépôts argileux provenant de l'érosion des marnes. Les dépôts les plus récents qui constituent les plus basses terrasses sont de nature limoneuse fortement calcaire (Pléistocène et Holocène) (D.P.A., 1994).

La carte de la lithologie nous montre que la lithologie des séries géologiques qui affleurent dans le bassin versant de l'Oued Srara est très friable d'une part; d'autre part, la dominance et l'importance des alternances de marnes et calcaires classées en formation meuble, en pente augmente les potentialités érosives du bassin. Ceci est confirmé par:

Les alternances de roches cohérentes et de roches meubles variées (argile, grès, marne et calcaire) en partie inférieure du bassin;

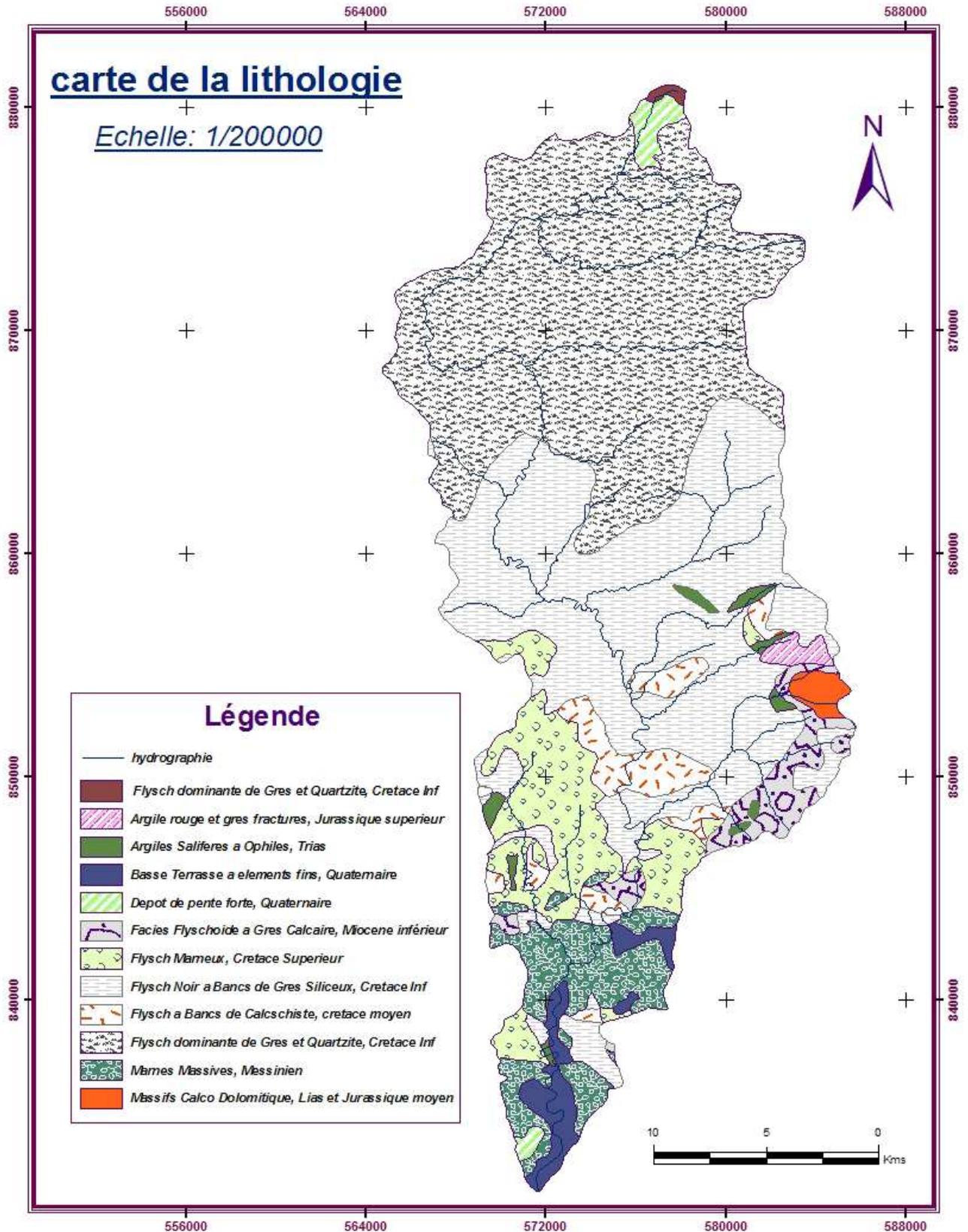


Tableau 4: Carte lithologie du bassin versant de l'Oued Sra

II-7. Caractéristiques topographiques du bassin versant d'oued Sra

Le bassin versant est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par le cours d'eau principale et ses affluents, tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour poursuivre leur trajet vers l'aval.

La dissection opérée par le réseau hydrographique qui façonne les reliefs du bassin est contrôlée par la structure, la disposition des roches et par leur nature.

a. Le relief

La plupart des facteurs climatiques et hydrologique varient avec l'altitude, Il est important de déterminer la répartition du bassin versant par des tranches d'altitude et de dégager les différents paramètres du relief

La morphologie du bassin versant de l'Oued Sra se caractérise par un relief accentué. Entre les deux valeurs d'altitudes extrêmes de 2400 m et de 260 m la répartition des altitudes, exprimée par la carte des tranches altimétriques et la courbe hypsométrique, traduit le caractère de la différenciation entre la zone des montagnes et la zone des collines et le domaine des plaines alluviales dans le bassin. Environ 7 % de la superficie est situé à plus de 1600 m d'altitudes, 53% entre 1600 m et 600 m, les altitudes les plus basses inférieures à 600 m, représentent 40% du relief dans le bassin, L'altitude moyenne est d'environ 1350 m pour l'ensemble du bassin avec un sommet à 2400 m et un exutoire à 300 m

Trois zones d'altitudes peuvent être distinguées dans le bassin versant de l'Oued Sra, une partie amont avec un grand nombre de sommets d'altitudes élevées, notamment le jbel Ajira à 1760 m, jbel El Hanout à 1960 m, jbel Mounsaboun à 2050, ainsi que le jbel Tirhirhine avec une altitude de 2400 m, cette partie très accidentée témoigne d'une forte dynamique. Une partie centrale caractérisée par Le passage rapide des altitudes hautes (1660 m) aux altitudes basses (260 m) qui se fait généralement sur de courtes distances. Cette partie peut être considéré comme un canal qui va jouer le rôle d'intermédiaire entre la partie amont et la partie aval, la troisième partie est caractérisé par des altitudes faibles en comparaison avec le reste du bassin, qui vue sa morphologie douce peut être un emplacement adéquat pour la mise en place de la charge transportée.

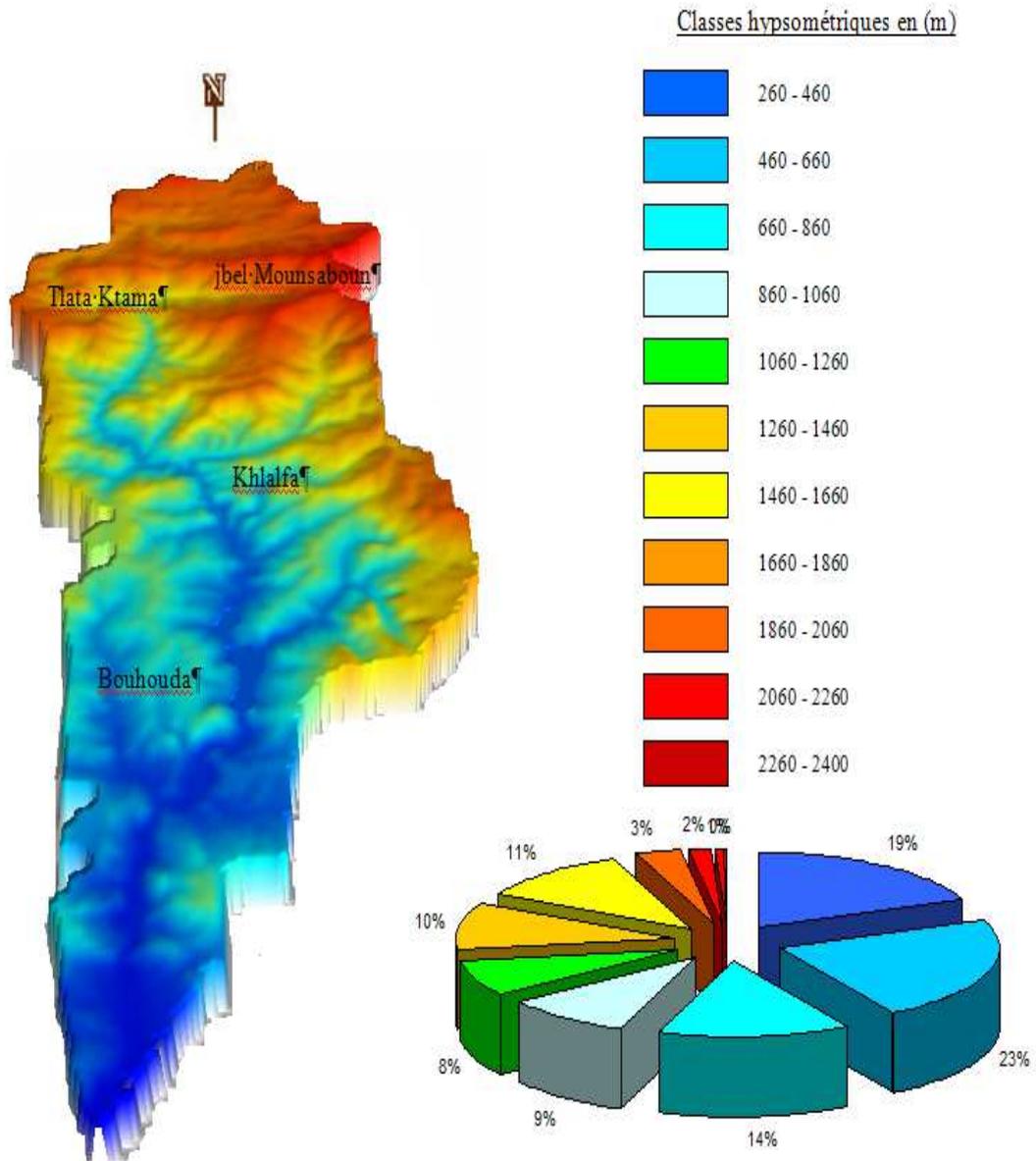


Figure 11: MNT et pourcentage de superficie en fonction des classes

L'étude de la répartition des altitudes dans le bassin est effectuée à partir d'une carte en courbes de niveaux, en mesurant et en cumulant les aires situées au dessus (ou en dessous) d'une altitude donnée. On obtient un histogramme de fréquences d'altitudes et une courbe hypsométrique (courbe des fréquences cumulées)

Classes d'altitudes en (m)	Surface en km ²	% du totale	% au-dessus de la limite inférieure
260 – 460	105,2	18,98	100
460 – 660	124,3	22,43	81,02
660 – 860	78,09	14,09	58,59
860 – 1060	52,33	9,44	44,50
1060 – 1260	42,7	7,70	35,06
1260 – 1460	56,5	10,19	27,36
1460 – 1660	63,03	11,37	17,16
1660 – 1860	18,23	3,29	5,79
1860 – 2060	9,25	1,67	2,50
2060 – 2260	3,14	0,57	0,83
2260 – 2400	1,48	0,27	0,27

Tableau 5: Tableau de fréquences et des pourcentages cumulés au dessus de la limite inférieure

A partir des mêmes données on dresse la courbe hypsométrique, qui fournit une vue synthétique de la pente du bassin. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée.

La méthode consiste à calculer les pourcentages des surfaces en fonction des altitudes, puis le calcul des pourcentages au-dessus du cumulés (Tableau.). L'interprétation de la courbe hypsométrique se fait sur la base des recherches récentes qui ont montré l'aspect générale des courbes selon l'état d'érosion d'un bassin versant. Pour les bassins versants jeunes, la superficie est faible par rapport au changement d'altitude initiale, ce

qui caractérise des bassins abrupts, Les vieux bassins présentent l'inverse, une plaine douce près d'un cours d'eau où l'altitude varie peu malgré une superficie importante, l'état de maturité est intermédiaire (Figure II-6). En ce qui concerne le bassin versant de l'Oued Sra, on a commencé par le calcul des surfaces en fonction des altitudes, puis les pourcentages des surface cumulées.

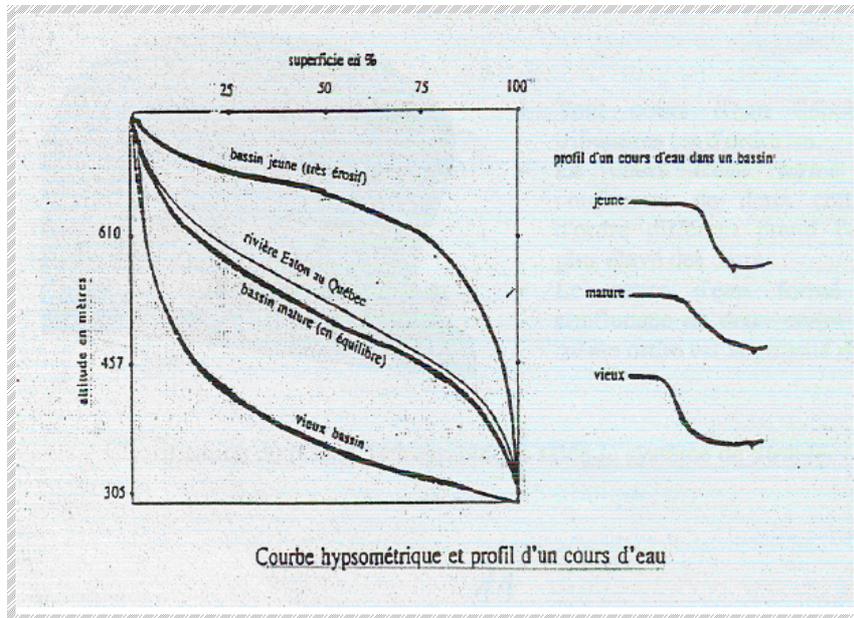


Figure 12: Interprétation de la courbe hypsométrique

Toutes ces données en été réparti sur un graphique (Fig. II-7) qui va permettre de déterminer les altitudes caractéristiques suivantes :

❖ **Altitude la plus fréquente :**

Elle correspond au maximum de l'histogramme des fréquences altimétriques en d'autres termes c'est l'altitude de la plus grande surface élémentaire comprise entre deux courbe de niveau successives. Au niveau d'Oud Sra, l'altitude la plus fréquente est celle de la classe (460-660) avec une superficie de 124,3 Km² localisé dans la partie médiane et aval du bassin.

❖ **Altitude de fréquence ½ (la médiane) :**

Correspond au point d'ordonnée 50% de la courbe hypsométrique pour notre bassin la classe médiane est 660-860.

Altitude moyenne : correspondant à la moyenne des altitudes extrêmes, c'est l'abscisse moyenne de la courbe hypsométrique

$$\text{Alt.moy} = (\text{alt.max} + \text{alt.min})/2 = (2400 + 260)/2 = 1330 \text{ m}$$

Ces différents indices mettent en évidence la grande étendue des terrains à relief fort et moyennement élevé

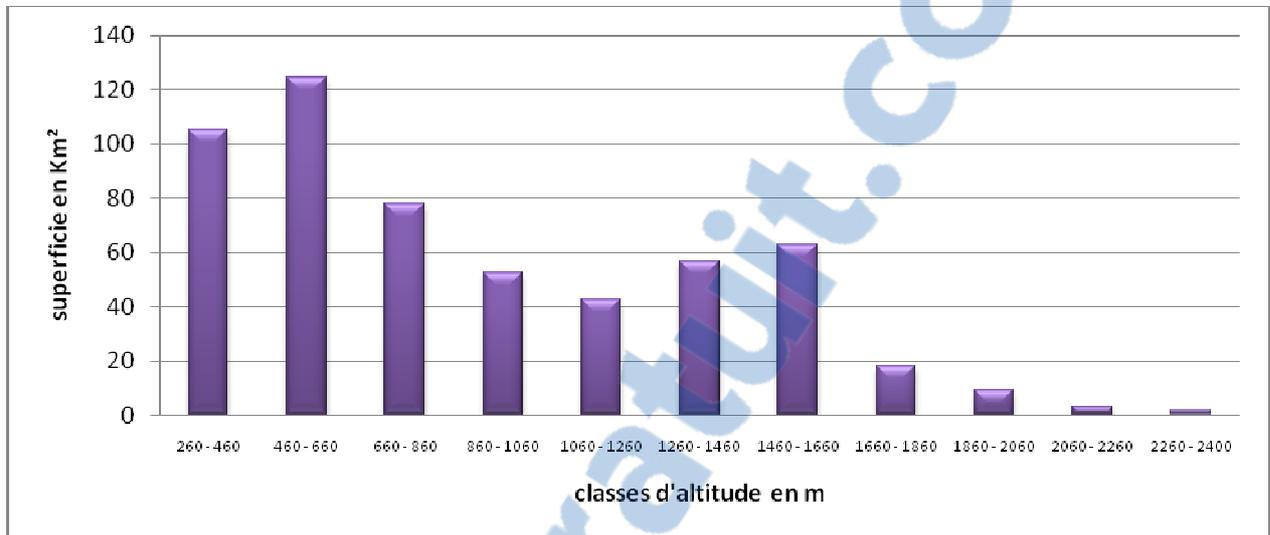


Figure 13: Histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la superficie

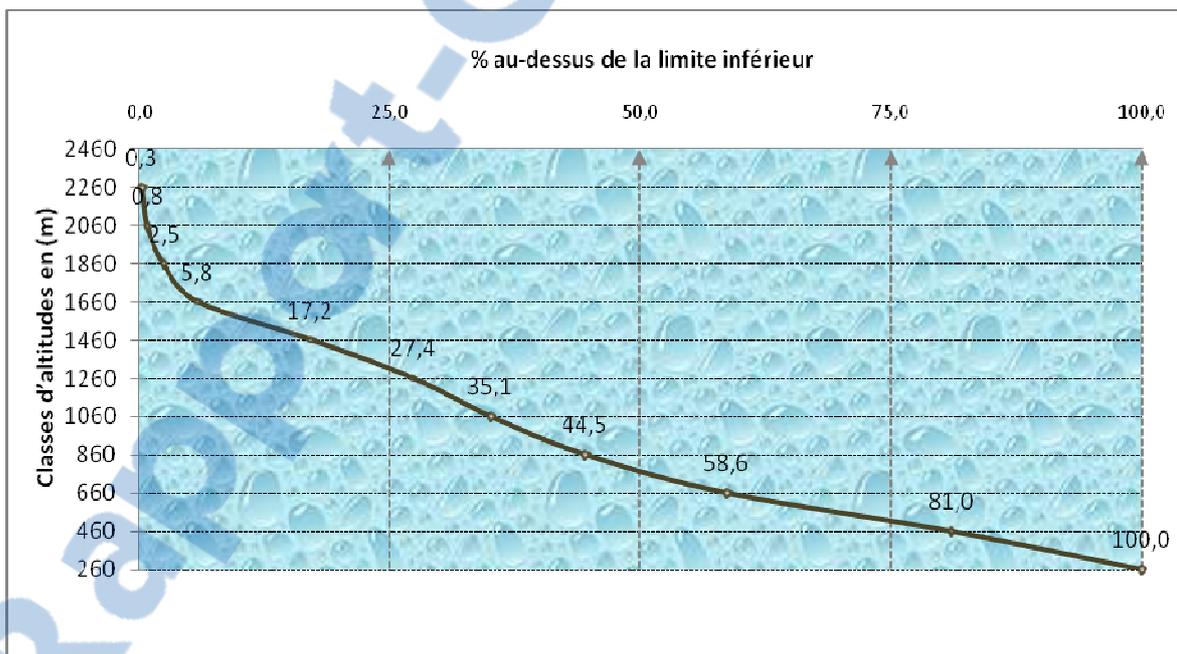


Figure 14: Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Sra

La distribution des altitudes montre que celles en général supérieures à 660 m sont dominantes, elles représentent plus de 60% de la surface totale. En effet l'altitude dans le bassin joue un rôle capital ; son rôle s'exprime, dans le domaine de l'hydrologie fluviale du Sra, par la rapidité de production des crues, et dans le domaine de l'érosion, par la potentialité

de l'érosion. La carte des tranches altimétriques et la courbe hypsométrique sont donc d'un intérêt évident et multiple. Elles permettent de déterminer selon le gradient pluviométrique calculé en fonction de l'altitude, l'abondance des précipitations, leur répartition dans le bassin versant, et le rôle de leurs actions dynamique (hydrodynamique et morphodynamique).

b. Profil en long du cours d'eau

Le profil en long du cours principal et de ses affluents se caractérise par une irrégularité très importante. Le long de ses 84 km, on assiste à une variation très nette dans le profil du cours de l'Oued principal :

Dans le cours supérieur, la pente est forte et dépasse les 35 %

Dans la partie centrale, la pente du cours d'eau devient de plus en plus faible et régulière. Elle devient très adoucie pour se réduire à une valeur faible (de 12 à 3%)

Dans la partie avale en particulier à la confluence avec Oued Ouergha la pente devient pratiquement faible (inférieur à 3%)

Le degré de pente du cours principal de l'Oued Sra est une composante hydrologique et hydrodynamique déterminante, à la fois, dans les variations des débits, et dans le travail de l'érosion. On peut subdiviser le tracé du cours d'eau, selon le degré de la pente longitudinale, en deux secteurs distincts :

Le secteur du haut Sra, où la pente du cours d'eau est forte et dépasse les 35%

Le secteur du bassin moyen et inférieur où la pente est inférieure à 35%

Cette particularité morphométrique du cours de l'oued Sra explique, dans le domaine de l'hydrologie, le phénomène de l'évacuation rapide des eaux de pluies à l'amont et le ralentissement des courants hydriques dans les lits fluviaux moyens et inférieurs. Aussi, elle explique dans le domaine de l'érosion, l'importance du creusement linéaire dans les lits rocheux supérieurs, et l'efficacité du sapement latéral dans les lits à fond mobile dans la vallée moyenne et inférieure du Sra.

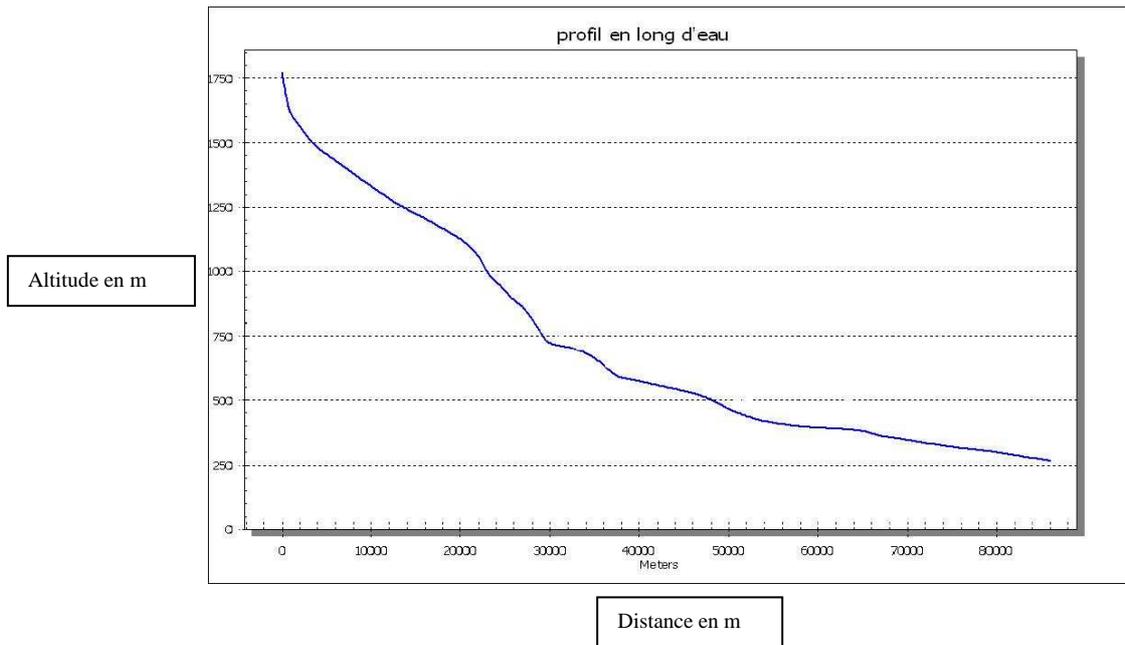


Figure 15: Profil en long de l'Oued Sra

II-8. Couverture végétale

La végétation joue un rôle important dans la protection des sols contre l'érosion hydrique. Son action comme frein à l'érosion, s'observe à différents niveaux :

Au niveau des parties aériennes des végétaux et des débris de végétaux qui jonchent la surface du sol; les feuilles et les branches interceptent les gouttes de pluie et atténuent leur énergie cinétique lorsqu'elles atteignent le sol, Cette interception est fonction de la densité de la surface foliaire et de la structure du couvert végétale et permet de lutter contre le ruissellement, en augmentant l'infiltration de l'eau. Elle constitue pour cela un écran à la surface du sol, barrant le cheminement des filets d'eau. Ce qui a pour effet de :

- diminuer l'effet « splash » et par conséquent diminuer la fragmentation des agrégats, les éclaboussures et de réduire les distances d'éjections des particules du sol
- annuler ou de retarder la formation de la croûte de battance,

Au niveau de la partie racinaire ; les racines fixe le sol, s'opposent au détachement des particules et à leur entraînement par les eaux du ruissellement. Cette partie des végétaux agit aussi par l'augmentation de la porosité du sol qui favorise l'infiltration au détriment du ruissellement,

La végétation agit aussi en fournissant la matière organique au sol, cette matière organique évolue en humus qui favorise la structuration et la cohésion des particules et diminue l'érodibilité du sol. En d'autre terme, quelque soient les valeurs d'agressivité climatique, érodibilité du sol, de l'inclinaison du degré de la pente, leurs effets sont insignifiants, si le terrain est préservé par le couvert végétal qui empêche le déclenchement de l'érosion ainsi il freine le ruissellement pour faciliter le phénomène d'infiltration.

La végétation peut intervenir contre l'érosion hydrique de surface de deux manières principales : d'une part, elle peut empêcher l'ablation du substrat par réduction de l'énergie des agents érosifs et maintien des sols., d'autre part, elle peut exercer un effet favorable sur la sédimentation des particules, grâce à des processus de piégeage et de rétention d'une partie des sédiments érodés à l'intérieur d'un bassin versant plus à l'amont.

a. Les formations non cultivées

Le couvert végétal naturel du bassin versant de l'Oued Sra est fortement lié au climat. La densité du couvert végétal s'accroît parallèlement aux volumes pluviométriques.

 **La forêt**

L'humidité de la montagne se traduit par un couvert naturel forestier à dominance de chênes : chênes lièges, verts, zènes et tautzins. Le chêne liège est l'espèce la plus dominante en altitude. Au niveau de la partie amont, notamment à jbel bou Achia et jbel Tarhant où les altitudes sont plus ou moins fortes on trouve des formations forestières allant de la Forêt naturelle claire dégradée jusqu'à la forêt dense naturelle, elle représente 8% de la superficie totale du bassin versant.

Généralement, les forêts qui occupent les parties limitrophes des champs cultivés subissent un défrichage continu.

 **Le matorral**

Le matorral est une formation très fréquente dans tous les pays méditerranéens, relativement aérée, conventionnellement son origine est généralement considéré comme anthropique (coupe, incendie, pâture) dérivant directement de la forêt. Dans les zones subhumides/humide on trouve le plus souvent une forme qui dérive de la subéraie, avec Bruyère, Lavande, Ciste, et dans les climats tendant vers les semi-aride le matorral reconnaissable notamment à la présence des chênes verts, des Cistes, des Montpellier, ou à Oléastre et Lentisque.

Sur les dépôts de pentes, qui forment les versants, on trouve par endroits des les matorrals, occupant 9% de la superficie

 **Les Ermes**

Les Ermes sont des formations herbacées basses plus ou moins buissonnantes, (thym, lavandes, ciste). A rythme saisonnier très marqué, conquérant facilement les terrains laissés en jachère. Les asphodèles, les scilles maritimes et le doum, refusées par le bétail y sont également abondantes

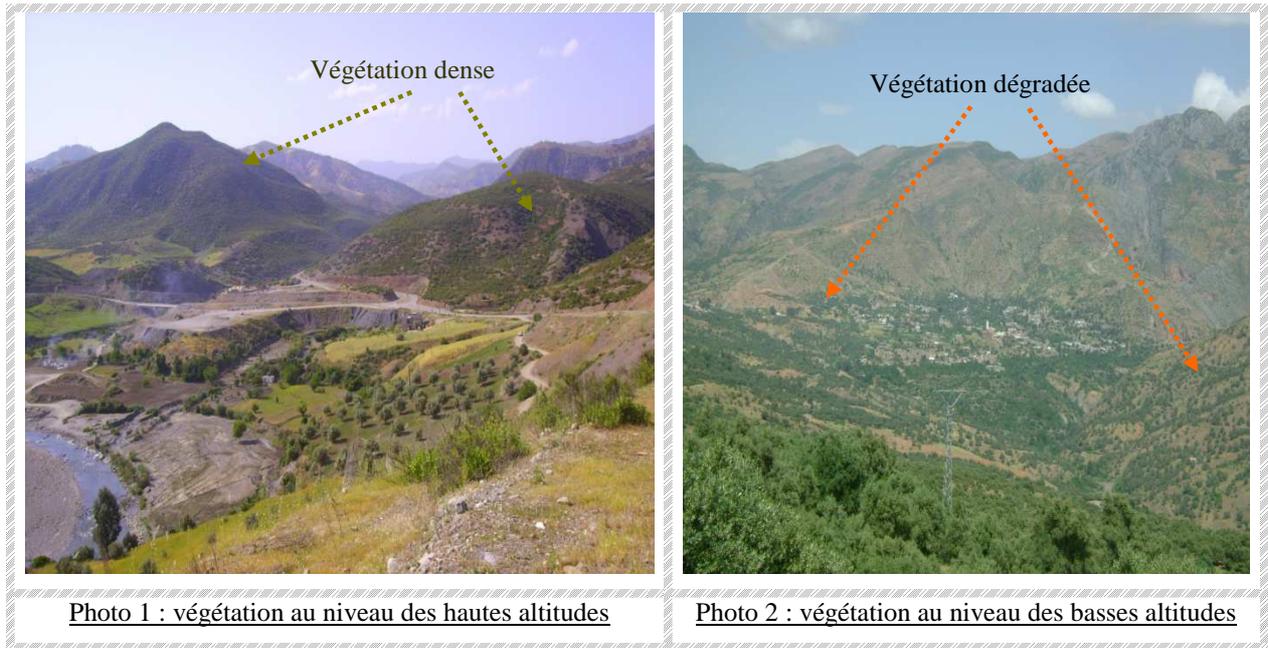
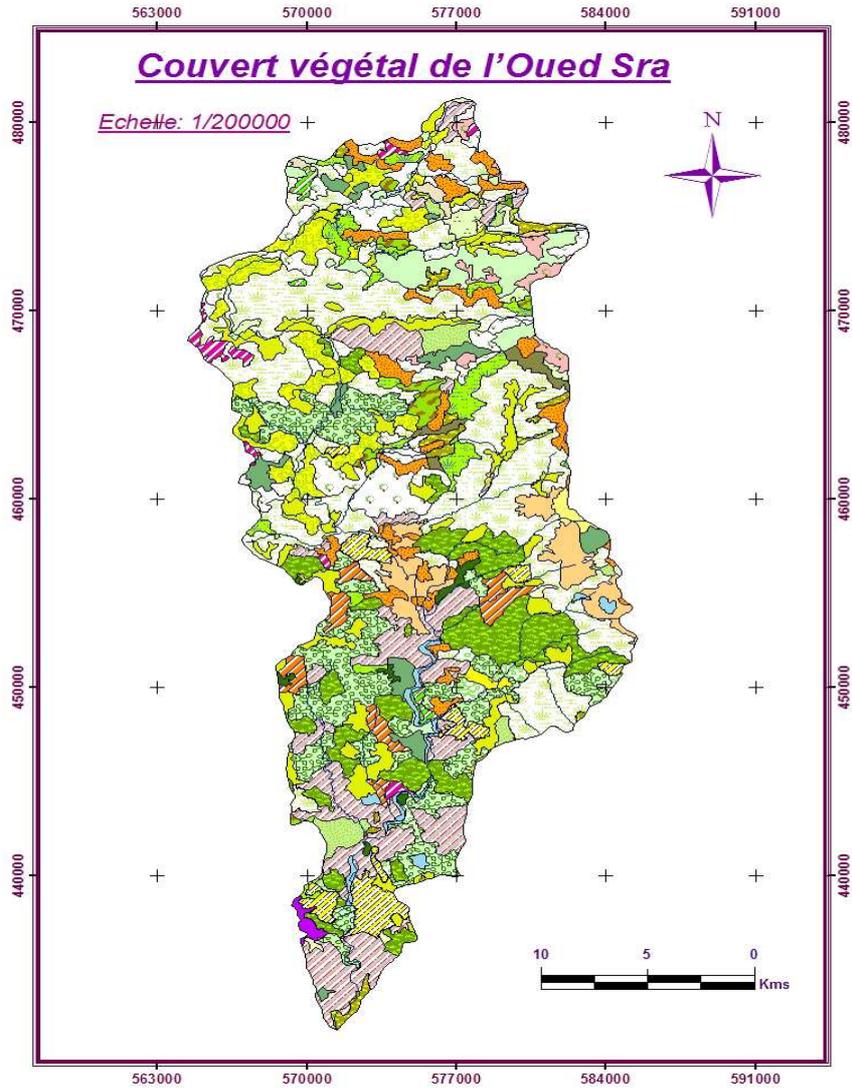


Figure 16: Variation de la couverture végétale en fonction de l'altitude



Légende

- hydrographie
- Type du couvert végétal**
- Cultures et arboricultures
- Cultures et forêt
- Cultures et matorral
- Cultures intensives de proximité d'habitation
- Reboisement clair sur ermes
- Reboisement clair sur matorral à couvert clair
- Reboisement clair sur matorral à couvert dense
- Reboisement clair sur matorral à couvert très ouvert
- Reboisement dense
- Sol nu fortement érodé
- Zone Urbanisée
- Arboriculture dense
- Arboriculture dense aménagée
- Arboriculture diffuse
- Arboricultures sur sols décapés par l'érosion
- Arbres épars sur ermes
- Arbres épars sur matorral à couvert clair
- Arbres épars sur matorral à couvert très ouvert
- Arbres épars sur matorral à couvert dense
- Cultures en sec
- Cultures en sec aménagées
- Cultures en zone fortement érodée
- Cultures sous peuplement para forestier
- Ermes
- Forêt naturelle claire sur matorral à couvert clair
- Forêt naturelle claire sur matorral à couvert dense
- Forêt naturelle dense
- Forêts naturelles claires sur ermes
- Matorral à couvert clair
- Matorral à couvert dense
- Matorral à couvert très ouvert
- Périmètre irrigué
- sol nu rocheux et lit d'oued

Figure 17: Occupation des sols du bassin versant de l'Oued Sra

b. Les formations cultivées

L'agriculture est très intense dans la région d'étude essentiellement les cultures vivrières, le cycle à faible rendement. Mais elle tributaire des facteurs climatiques (hivers frais et étés chauds) qui gênent le cycle de la végétation. La diversité du relief et des sols dans la région permet une certaine diversification des cultures.

Dans le bassin versant de l'Oued Sra, les sols des glacis, les collines qui forment les zones de raccordement entre les versants des montagnes et les basses terres, sont occupées par les champs d'oliviers en intercalation avec les céréalicultures. L'axe du bassin, formé d'alluvions et dépôts quaternaire, est occupé en majeure partie par des cultures annuelles à base de céréaliculture, les cultures de cannabis, associées parfois avec des cultures en sec. Des versants sont aménagés en terrasses pour des maraîchages irrigués (pomme de terre, oignon, tomate, melon, carotte...). Notamment dans la partie aval

La partie aval du bassin versant, connaît une variété importante d'espèces végétales, notamment les Arboricultures diffuses et denses, L'arboriculture fruitière (développée avec les oliviers, les figuiers, les caroubiers et les raisins), les Cultures intensives de proximité d'habitation, les cultures en sec et les Forêts naturelles claires sur matorral très dégradées.

L'élevage joue un rôle important dans le développement des populations de la zone d'étude, mais les parcours sont toujours dégradés vu la pression exercée. Les bovins sont surtout développés dans les zones de grande culture et dans les douars irrigués, les équidés sont présent pratiquement dans toutes les exploitations et servent pour le transport. Cela favorise le tassement des sols et par conséquent une mauvaise gestion de ce cheptel peut rendre le sol mal protégé.

II-9. Facteur humain

L'homme, parce qu'il artificialisé la surface du sol, modifié sa susceptibilité à l'érosion, dans notre région, celle-ci s'intensifie le plus souvent dès que le sol est utilisé de façon intensive.

La mise en culture d'un sol le rend sensible à l'érosion car la probabilité s'accroît d'avoir un sol nu lors des fortes précipitations, cela dépend de la nature de la plante cultivée et des techniques culturales

L'intervention brutale de l'homme par destruction du couvert végétale, mise en culture sans précaution des terrains fragiles et susceptibles à l'érosion en forte pente, surpâturage, creusement de tranchées et de banquettes, labour mécanisés dans le sens de la pente, les défrichements sur les forêts et les parcours naturels etc. ,est un facteur du déséquilibre, et de dégradation du patrimoine écologique, et la non restitution au sol de ses éléments nutritifs enlevés par les cultures facilitent le ruissellement et par conséquent l'érosion et ses effets indésirables pour l'environnement et pour l'économie

. De toutes ces interventions, le défrichement a été incontestablement le phénomène le plus désastreux sur les roches fragiles. Des conséquences sur la solifluxion et le ravinement ne sont plus à démontrer ; il suffit d'observer que tous les versants marneux, ou marno-schisto-gréseux mis à nu sont aujourd'hui le domaine privilégié de ces processus. L'érosion est contenue dans certaines limites lorsque subsiste le couvert végétal ; mais dès que ce couvert végétal est supprimé, elle connaît une accélération brutale.

La destruction du couvert végétal est ancienne ; elle a débuté par la cueillette du bois, la fabrication du charbon, les incendies par des nombreux facteurs,

L'homme intervient par ailleurs par ses travaux de génie civil et rural, causes d'instabilité, comme le manifeste depuis sa création la route de l'unité,



Photo 1 : les incendies



Photo 2 : les incendies



Photo 3 : cultures dans le sens de la pente



Photo 4 : mise en culture en forte pente



Photo 5 : le défrichement



Photo 6 : culture des cannabis

Figure 18: intervention de l'homme dans la dégradation des sols

Conclusion :

Le bassin versant de l'oued Sra connaît une érosion hydrique intense liée à la conjugaison de plusieurs facteurs naturels favorables tels que la brutalité des précipitations et la prédominance des roches tendres. L'intervention humaine dans ce milieu vulnérable accentue sa fragilité par le défrichement et la dégradation du couvert végétal et la mise en culture de terrains en pente forte

Cette région rassemble toutes les conditions favorables au développement de l'érosion le tableau suivant résume ces caractères :

La morphologie	le bassin du Sra étalé sur une superficie de 554 Km ² à un indice de forme de 1,66 (Forme allongée dans la direction N-S), s'étire du nord au sud sur 50 kilomètres environ et d'ouest en est sur 17 kilomètres témoignant d'un rassemblement rapide des eaux et par conséquent une vitesse d'arrachement rapide.
Réseau hydrographique	Sra caractérisé par un réseau hydrographique assez dense et complexe qui adopte une structure ramifiée
lithologie	la lithologie des séries géologiques qui affleurent dans le bassin versant de l'Oued Sra est très friable d'une part; d'autre part, la dominance et l'importance des alternances des faciès flyshoïdes et marneux classées en formation meuble grande friabilité ce qui favorisera l'érosion
climat	un climat méditerranéen subhumide, induisant une répartition irrégulière des pluies dans l'espace et dans le temps
Couvert végétal	Sra présente dans la plupart des cas des matorrals très dégradés et des forêts défrichées.
	La morphologie du bassin versant de l'Oued Sra se caractérise par un relief accentué. avec une altitude moyenne de 1350 m avec un sommet à 2400 m et un exutoire 220 m, ainsi l'analyse de la courbe

géomorphologie	hypsométrique à montré que Sra appartient à la catégorie des bassins matures ce qui veut dire en voie de dégradation
Facteur anthropique	on remarque une très forte intensité liée surtout à l'accroissement démographique et aux différentes activités des populations.

Figure 19: les caractéristiques du bassin versant de l'Oued Sra

L'interdépendance des facteurs de l'érosion est à l'origine d'un comportement complexe dans le bassin versant de l'Oued Sra, c'est pour cela on a choisie la méthode PAP/CAR qui va d'une part nous renseigner sur les zones de grande vulnérabilité, ainsi que les facteurs déterminant qui ont donné naissance à cette vulnérabilité

Partie 2 : Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR

I. Chapitre 1 : Méthodologie et présentation du PAP/CAR

I-1. Historique

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, et une minéralisation accrue du paysage.

Le Centre d'activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires (PAP/CAR), agissant dans le cadre du Plan d'action pour la Méditerranée (PAM) du PNUE, a entrepris depuis 1984 une action prioritaire intitulée "Promotion de la protection des sols en tant que composante essentielle de la protection de l'environnement dans les zones côtières méditerranéennes".

Presque tous les pays méditerranéens, la FAO et le Centre arabe d'étude des zones arides et des terres sèches (ACSAD) – Damas, ont pris une part active dans ce programme.

A la suite d'une phase d'enquête, le PAP, la FAO et l'ACSAD ont formulé une proposition d'un projet de coopération en matière de cartographie et de mesure de l'érosion dans les zones méditerranéennes, et l'ont soumise à la Ve réunion ordinaire des Parties contractantes à la Convention de Barcelone (Athènes, 1987). Cette proposition a été acceptée, et l'Espagne a offert d'accueillir le projet. Les autorités espagnoles ont désigné l'Institut national de conservation de la nature – ICONA (actuellement Direction générale de la conservation de la nature – DGCONA) à Madrid comme institution d'accueil du projet, tandis que la FAO a accepté d'y contribuer en fournissant son appui scientifique et professionnel.

Par la suite, le projet a été défini et subdivisé en deux parties, notamment **cartographie** et **mesure** des processus d'érosion :

- ❖ La **composante cartographique**, réalisée par le PAP, la DGCONA et la FAO, en collaboration avec l'Espagne, la Tunisie et la Turquie, a été close fin 1992 (pour la zone de Vallcebre en 1995-1996). Les résultats de cette activité, ainsi que la méthodologie de cartographie développée dans son cadre, ont été présentés et discutés lors d'un séminaire tenu à Malaga, en décembre 1992
- ❖ La **composante mesure**, réalisée depuis 1993 par le PAP, la DGCONA et la FAO, a été terminée en 1996. Les résultats de cette activité ont été analysés et discutés lors d'une réunion d'experts tenue à Barcelone, en juillet 1996

Ces deux composantes ont été présentées, discutées et amendées lors d'un atelier de travail organisé à Barcelone du 13 au 16 octobre 1996. Les suggestions et les commentaires faits lors de l'atelier ont été pris en compte lors de la rédaction du texte final des Directives.

La cartographie systématique des caractéristiques qualitatives et dynamique des formes d'érosion permet l'identification de deux grandes catégories de milieux géographiques: les milieux morphologiquement stables, non encore affectés par l'érosion, et les milieux instables actuellement altérés par un quelconque phénomène d'érosion ou de dégradation physique. Pour ce qui est de la première catégorie où l'érosion active ne s'est pas encore manifestée, on procède à l'évaluation qualitative de l'érosion potentielle, ou risque d'érosion, en identifiant sur le terrain les divers paramètres pris en considération pour la carte de base prédictive du statut érosif, et en évaluant leur force "déstabilisante" relative. Cette opération devrait aboutir, pour chaque cas spécifique, à l'identification des principaux facteurs causaux les plus probables de différents degrés de risques d'érosion exprimés sur la carte au moyen de codes et de symboles. En ce qui concerne les aires déjà affectées par l'érosion, la cartographie descriptive et qualitative de l'érosion identifie la nature du processus érosif spécifique, son importance relative exprimée en termes d'extension spatiale, de dimension, profondeur ou volume, et de sa tendance évolutive et/ou taux d'expansion basé sur des observations de terrain indiquant soit une récession, soit une recrudescence de l'activité érosive

I-2. Schéma méthodologique général

PAP/CAR est une méthode d'étude qualitative de l'érosion hydrique qui permet d'hierarchiser la surface d'un bassin versant en unités distinctes selon la vulnérabilité à l'érosion et de déterminer les zones les plus fragiles potentiellement pourvoyeuses de sédiments. La méthode consiste on une cartographie descriptive et prédictive consistant à l'identification, l'évaluation et l'intégration des facteurs physique de base, tels que la pente, la lithologie et/ou les sols et le couvert végétal, dans le but d'établir des hypothèses de départ concernant le risque d'érosion

La méthode consiste en une superposition d'abord d'un ensemble de cartes dont certaines sont une représentation de l'effet combiné de certains facteurs, c'est la phase prédictive. Elaborer ensuite la carte de l'érosion réelle, c'est la phase descriptive puis valider les résultats en superposant les deux cartes obtenues.

Le schéma de la cartographie commune consolidée de l'érosion est le résultat de deux approches complémentaires, Cartographie et Mesure. En ce qui concerne la première composante, elle est fondée sur la base de trois approches, Une approche est prédictive, consistant à identifier, évaluer et intégrer tous les paramètres physiques, tels la pente, la lithologie, le couvert végétal, dans le but de tirer des hypothèses préliminaire concernant le risque d'érosion. L'objectif de cette phase est le traitement de données selon une séquence de 7 opérations différentes:

- Opérations 1 et 2: Elaboration des cartes des classes de pentes et de lithofaciès.
- Opération 3: Carte d'érodibilité par superposition des cartes des pentes et des lithofaciès.
- Opérations 4 et 5: Elaboration des cartes d'occupation du sol et de couvert végétal.
- Opération 6: Carte de protection des sols par superposition des cartes d'occupation du sol et de couvert végétal.
- Opération 7: Carte des états érosifs par superposition des cartes d'érodibilité et de protection des sols.

Une approche descriptive consistant à décrire et à faire une évaluation qualitative des processus actuels et actifs. Elle est en principe réalisée par l'observation directe et le contrôle sur le terrain, en utilisant la carte

prédictive des états érosifs comme canevas cartographique et thématique de référence. L'observation sur le terrain doit être appuyée par la photo-interprétation, particulièrement au cours des étapes préliminaires qui consistent en l'identification des degrés de stabilité, des processus érosifs dominants et des tendances évolutives à l'intérieur des différentes unités d'érosion

Cette méthode permet d'identifier deux grandes catégories de milieux géographiques: les milieux morphologiquement stables non affectés par l'érosion, et les milieux instables, affectés par divers processus d'érosion ; la procédure combinée d'observation de terrain et d'identification des processus se déroulera en trois opérations :

- Définition des degrés de risque/potentiel d'érosion des milieux stables/instables.
- Définition des types de processus érosifs dominants, de leur intensité relative et des tendances évolutives pour les milieux instables.
- Identification et évaluation des particularités locales telles que les principales zones sujettes à l'érosion ou les facteurs causaux sont plus spécifiques

Il s'agit dans cette phase principalement de l'évaluation qualitative qui doit être considérées comme complémentaires à la phase prédictive.

Une approche d'intégration dont le résultat principal est la carte finale consolidée de l'érosion hydrique, obtenue grâce à la superposition et la consolidation de toutes les données prédictives et descriptives contenant les informations complètes sur les différents aspects des phénomènes d'érosion.

La deuxième composante est conçu compte tenu des caractères hydrologiques et géoécologiques des zones méditerranéennes, notamment, les petites dimensions des unités géoécologique uniformes, la diversité de la géologie et de la topographie (pentes abruptes et micro-climats contrastés suivant l'orientation), l'utilisation très ancienne des terres par l'homme (végétation dégradée, micro-topographie modifiée, réseau de ravins dues à l'intervention humaine) et les brefs épisodes de pluies intenses qui peuvent être précédés et suivis de longues périodes de sécheresse.

Les paramètres à tenir en compte selon le PAP/CAR sont : Le taux d'érosion, le taux d'apport de sédiments, l'efficacité de piégeage et la capacité de transport.

- Pour la technologie, ils ont convenu que la meilleure solution consiste à choisir des instruments de mesure faisant appel à la technique digitale électronique la plus moderne,

- Pour toutes les phases de superposition et d'intégration, il est recommandé d'utiliser le SIG comme un outil efficace et hautement approprié au processus de prise de décisions.

- Pour la durée, une phase initiale de 3 ans au maximum pour la sélection des sites, l'acquisition des instruments et la mise en place de tout le dispositif de mesure,

Sur le bassin versant de l'oued Sra, on n'a ni le temps ni les moyennes pour mettre en œuvre ces mesures, donc pour cette partie, on va se baser sur les résultats d'une étude qui a été faite par la direction des eaux et forêt et qui utilise le modèle de Wischmeier et Smith 1978 (USLE) qui permet de quantifier les zones d'érosion en nappe et en rigole. Etant donné les conditions limites d'utilisation du modèle, notamment pour l'inclinaison et la longueur de pente, l'intérêt des résultats du modèle ne tient pas tant à la valeur dans l'absolu qu'à la comparaison avec la méthode consolidée

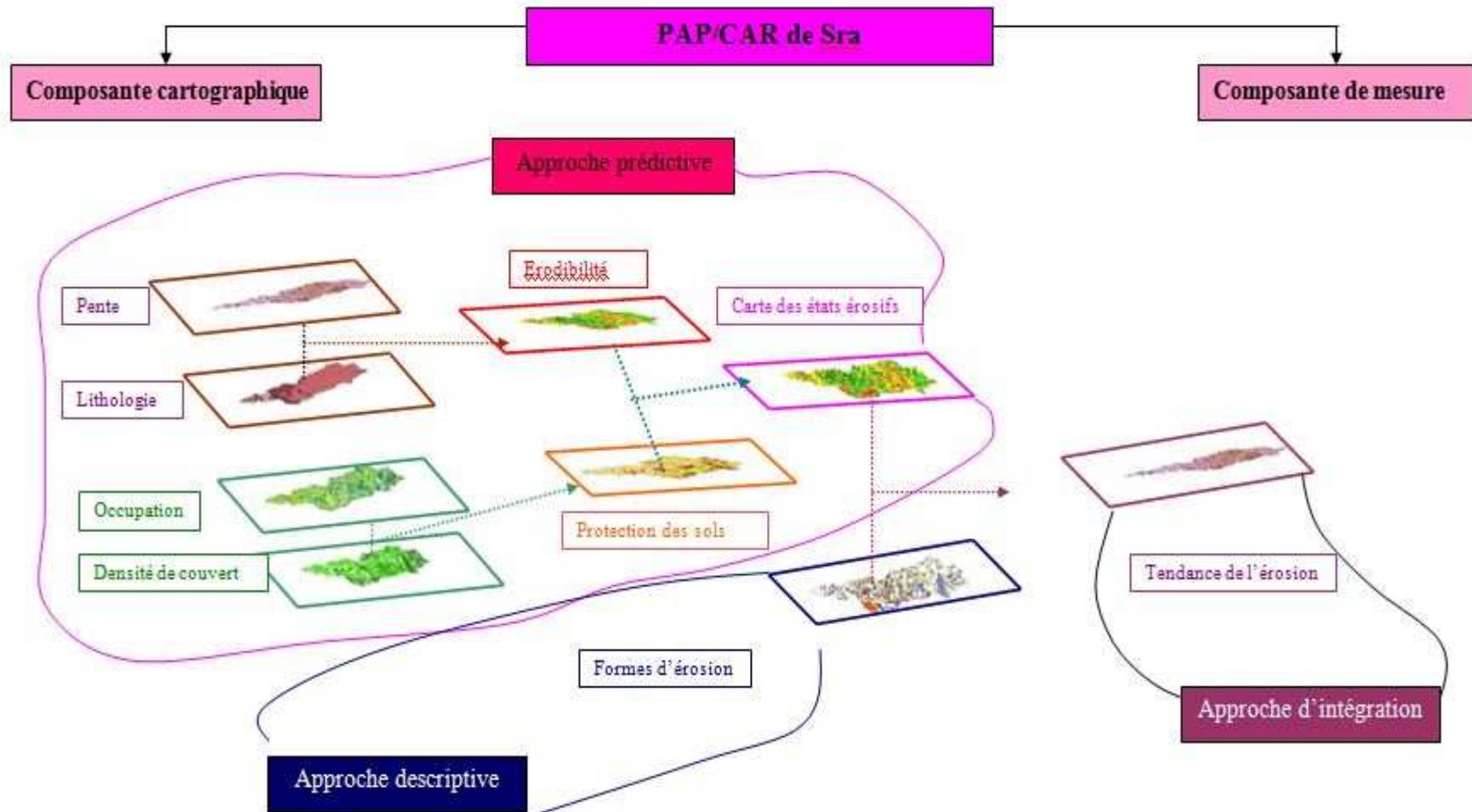


Figure 20: schéma méthodologique PAP/CAR

Chapitre 2 : Approche prédictive :

L'approche prédictive, consistant à identifier, évaluer et intégrer tous les paramètres fondamentaux, tels la physiographie (pentes), la lithologie et/ou les sols, la terre, le couvert végétal, dans le but de déterminer des hypothèses préliminaires concernant le risque d'érosion.

La superposition de la carte des unités et classes topographiques des pentes et de la carte lithologique où l'accent est mis sur la résistance mécanique et le degré de cohésion des différentes lithofaciés permet d'hierarchiser le bassin versant en degré d'érodibilité.

La superposition de la carte de L'occupation du sol cartographie sur le terrain, et la carte de La degré de couvert végétal principalement identifié par le Plan d'Aménagement Antiérosif du Bassin Versant de l'Oued Ouergha en amont du Barrage Al Wahda déterminent les degrés de protection du sol.

Pour chaque carte, le facteur est représenté en plusieurs classes. On affecte pour les différentes classes des valeurs qui correspondent aux degrés d'influence du facteur sur l'érosion.

Des cartes de degrés de protection des sols et de degrés d'érodibilité La carte finale des états érosifs de la phase prédictive est le résultat de la superposition et de la corrélation

II -1. Elaboration de la carte d'érodibilité :

La carte d'érodibilité prend en compte deux facteurs:

- ✚ les valeurs de pentes;
- ✚ les formations superficielles (lithologie);

La complexité et l'interdépendance des facteurs déterminants de l'érosion se prêtent très bien à une analyse par croisements de la carte des unités et classes topographiques des pentes et de la carte lithologique où l'accent est mis sur la résistance mécanique et le degré de cohésion des différentes lithofaciés, Autrement on superpose la vitesse d'altération et d'ameublissement d'un substrat avec l'inclinaison de la topographie qui va contrôler les quantités des éléments préparés pour le départ et celles des éléments qui vont contribuer au développement du sol

La carte d'érodibilité permet aussi de mieux approcher et apprécier la sensibilité à l'érosion des différentes unités du bassin versant. La combinaison de ces facteurs aboutis à la réalisation en fin d'étape la carte d'érodibilité et de la carte des états érosifs.

Pour l'élaboration de la carte d'érodibilité, commençons par expliquer les étapes de réalisation de la carte des pentes puis, celle des lithofaciés. La superposition de ses derniers va constituer la carte d'érodibilité, qui est une combinaison des entités de chaque carte, la combinaison à nécessité la réalisation d'un algorithme qui permet de combiner les valeurs de la carte des pentes et de la carte des lithofaciés pour faire sortir le degré d'érodibilité ~~suivant les classes propres aux directives PAP\CAR.~~

a. Réalisation de la carte des pentes

L'érodibilité des affleurements rocheux affecte surtout le produit d'altération de ces roches or l'épaisseur du manteau d'altération dépend de la pente. Sur les pentes faibles le manteau d'altération a le temps de se développer et de s'épaissir alors que sur les pentes fortes il est constamment aminci par l'érosion c'est pourquoi la pente est un facteur important dont il faut tenir en compte dans l'érodibilité.

La carte des pentes a été élaborée grâce au SIG « Arcgis »

La procédure de réalisation de la carte des pentes commence par une délimitation de la zone d'étude, après on superpose le polygone résultant sur le MNT du Maroc et grâce à l'extension \ extraction \ Masque on obtient un MNT délimité suivant les coordonnées du bassin d'étude. La fonction « spacial analyst \ slope » calcule le dénivelé entre chaque pixel et les 8 pixels les plus proches et permet de diviser le terrain en polygones de classes différentes, la carte résultante de cette opération est de format raster ou chaque pixel est associé à une valeur de pente que peu être représenté en degré ou en pourcentage.

Pour le calcul des surfaces de chaque classe, on a utilisé l'utilitaire de calcul des surfaces qui permet après une transformation du fichier Raster en un fichier vectoriel de rassembler les classes de pentes dans des polygones

Classe	Type de pente
1.	Nulle à faible (0-3%)
2.	Modérée (3%-12%)
3.	Abrupte (12%-20%)
4.	Très abrupte (20%-35%)
5.	Extrême (>35%)

Tableau 6: Classes de pentes

A partir de l'analyse de la base de données de la carte des pentes on a réalisé le tableau suivant qui représentent les superficies relatives à chaque portion, ainsi que les surfaces cumulées des différentes classes de pente.

Classes	Codes	Superficies en Km ²	fréquences cumulées	% des surfaces	%cumulés
0 – 3	1	28,1	28,1	5	5
3 – 12	2	115,3	143,4	21	26
12 – 20	3	164,7	308,1	30	56
20 – 35	4	187,2	495,3	34	89
> 35	5	59	554,3	11	100
Total		554,3		100	

Tableau 7: Superficies, fréquences et fréquences cumulées en fonction des classes des pentes

Les résultats obtenus montrent un pourcentage de 21%, 30% et de 34% pour les classes 2, 3 et 4 respectivement. Les pentes faibles et modérées représentent un pourcentage de 5% pour la classe 1 et 11% pour la classe 5 ce qui témoigne que 64% du secteur d'étude se trouve dans les classes des pentes 3 et 4 (12 – 35).

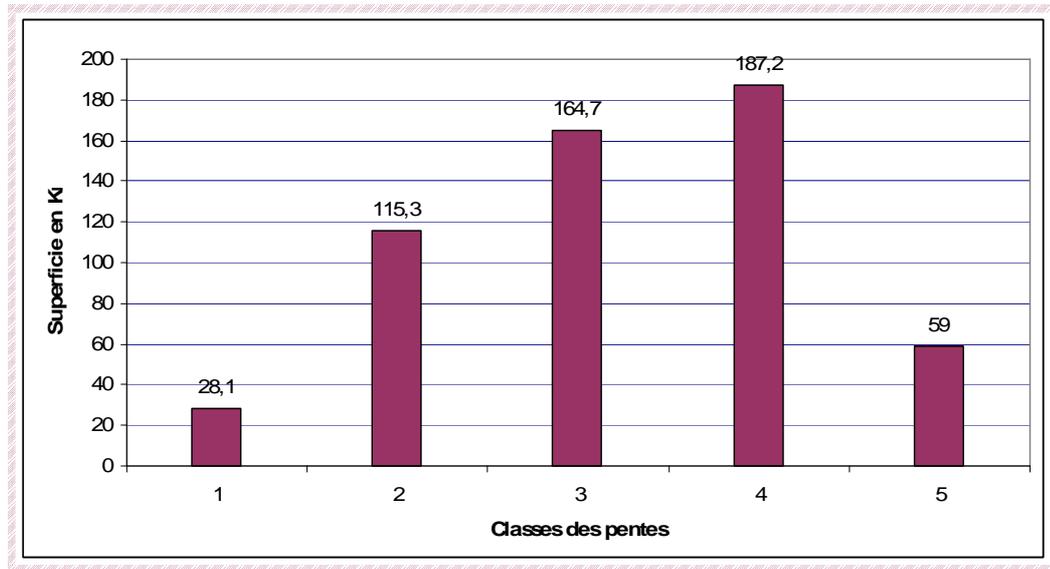


Figure 21: Histogramme des superficies des pentes en Km² du bassin versant de l'Oued Sra

Ainsi l'analyse de la courbe de fréquence cumulé montre une médiane (correspond plus précisément à un pourcentage cumulé de 50 %) situé au niveau de la classe 3 (12 – 20) ce qui confirme que plus de 75% de la zone d'étude montre une pente forte.

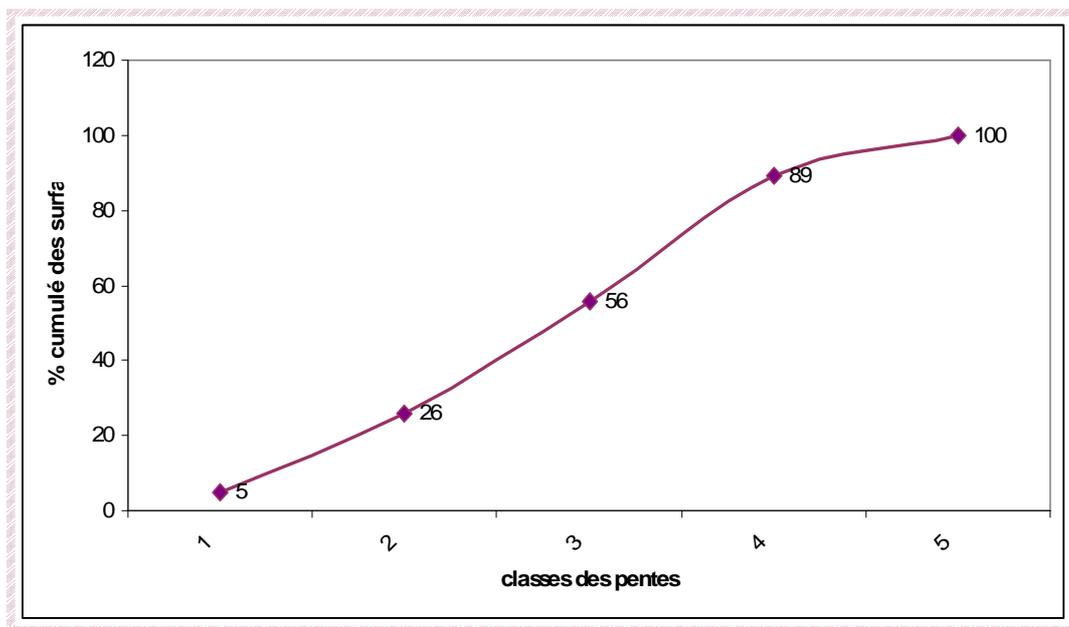


Figure 22: Courbe des % cumulés des surfaces des pentes du bassin versant de l'Oued Sra

La carte des classes de pente renseigne sur la variation de la raideur des pentes, cette variation joue un rôle très important car elle peut influencer le degré d'érosion. (Sur les pentes faibles les sols sont moins vulnérables à l'érosion). Cette carte montre que les pentes les plus abruptes, très fortes à fortes, se concentrent dans les parties Nord- Ouest, intermédiaire et sud-est du bassin. Elles sont caractérisées par un relief accidenté surtout au niveau des massifs montagneux de direction NE -SW. Les pentes modérées occupent les parties Nord- Est et Sud-ouest du bassin formé par des glacis et des versants de morphologie variable. Les pentes faibles à très faibles correspondent à la partie avale du bassin.

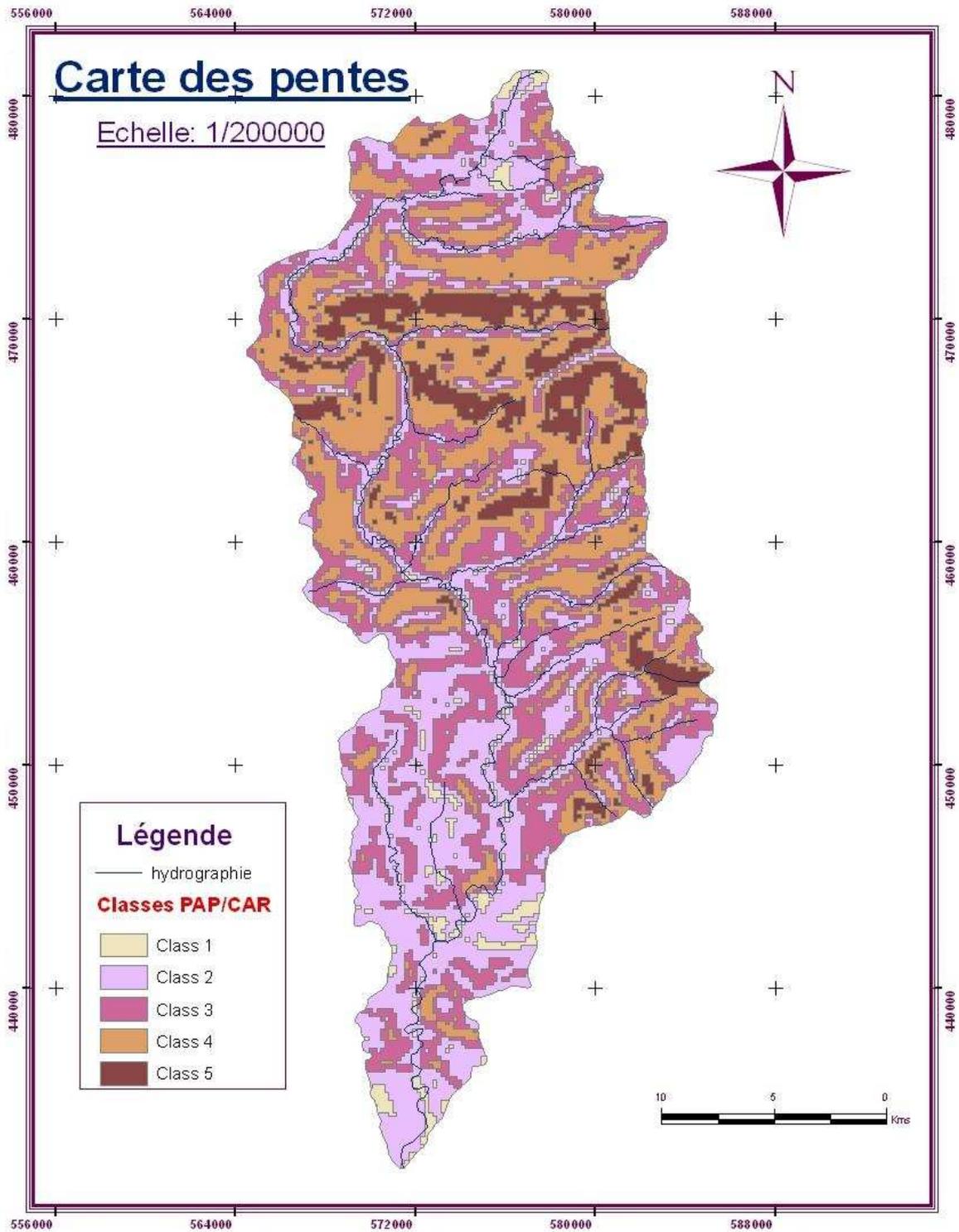


Figure 23: Carte des pentes selon les classes propres au PAP/CAR

b. Réalisation de la carte des lithofaciès

La carte des lithofaciès a été réalisée sur la base de la carte du Plan d'Aménagement Anti-érosif du Bassin versant de L'Ouergha en amont du barrage Al Wahda (1994), Cette carte est préparée à partir des données géologiques, lithologiques et pédologiques. La démarche commence par une délimitation de la zone d'étude, après on digitalise les déférentes polygones selon le type du matériel. La carte résultante identifie les différents types de roches ou de sédiments/sols de surface, classés selon leur degré relatif de cohésion et de résistance mécanique et technique à l'érosion.

En se basant sur la vulnérabilité de substrats à l'érodibilité. Cette carte montre la répartition des terrains en fonction de leur degré de friabilité. Les différentes affleurements on été répartis en 5 classes et on a affecté un code a chaque degré de friabilité ; 1 pour les roche dures et progressivement 2, 3 ,4 et 5 pour les roches de moins en moins dures suivant le tableau

Classes de lithofaciès	Type de matériel
1(a)	Roches compactes non altérées, conglomérats fortement cimentés, croûtes, affleurements de grès ferrugineux (calcaires massifs, sols fortement rocheux, roches ignées ou éruptives, sols localement encroûtés).
2(b)	Roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altérés.
3(C)	Roches ou sols sédimentaires faiblement ou modérément compactés (ardoise, schiste, marne, etc.).
4(d)	Roches et/ou sols peu résistants ou fortement/profondément altérés (marne, gypse, ardoise argileuse, etc.).
5(e)	Sédiment ou sol meuble, non cohésif et matériel détritique.

Tableau 8: Classes des lithofaciès

Le traitement de la base de donnée a permet la réalisation du tableau suivant, dans lequel figure les pourcentages des superficies ainsi que les surfaces cumulées des différentes classes de lithofaciès.

Classe de lithofaciès	Superficie en Km ²	%des superficies	Surface cumulée en Km ²	% cumulée
1a	4,00	0,7	4,00	0,7
2b	392,95	70,9	396,95	71,6
3c	95,25	17,2	492,20	88,8
4d	43,85	7,9	536,05	96,7
5e	18,28	3,3	554,33	100,0
	554,33	100,0		



Tableau 9: Classe de lithofaciès en fonction des superficies des pourcentages et des pourcentages cumulés

L'Histogramme des fréquences des surfaces en fonction des classes lithologiques montre que La majeure partie du bassin versant de l'Oued Sra est constituée par Roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altérés (2b), soit plus de 70%; par contre, les classes 3(c), 4(d) et 5 (e) ne dépassent pas 18% de la superficie totale du bassin les sols compacts et consolidés non altérées, conglomérats fortement cimentés, croûtes, affleurements de grès ferrugineux (calcaires massifs, sols fortement rocheux, roches ignées ou éruptives, sols localement encroûtés) (1a).occupent la plus faible superficie à 0,7%.

Tout ces données montre que notre bassin témoigne d'une lithologie qui ne va pas résister longtemps face aux contraintes naturelle et surtout anthropiques.

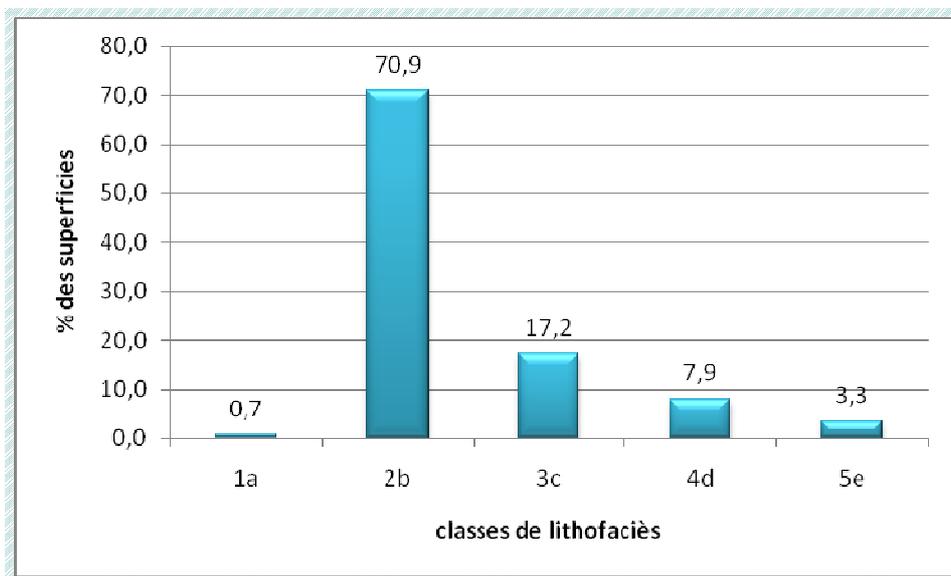


Figure 24: Histogramme des fréquences des surfaces en fonction des classes lithologiques.

Ainsi l'analyse de la courbe des fréquences cumulées montre que la médiane se trouve au niveau de la classe 2b, se qui confirme que plus de 50 % des terrains de la zone d'étude sont faiblement ou modérément compactés et de faible résistance mécanique

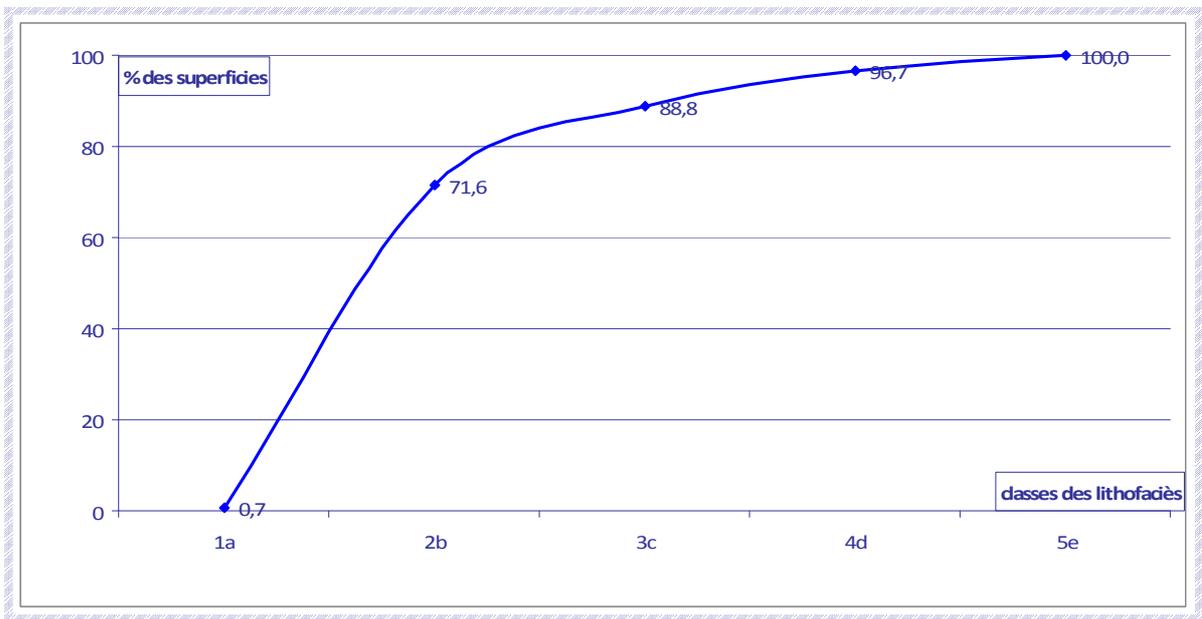


Figure 25: courbe des fréquences cumulées

La carte de la lithologie aperçue que La majeure partie du bassin est constituée par les roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altérés, soit plus de 80%, qui sont localisés sur toute la partie nord du bassin versant là où l'altitude est élevée et la pente est forte ; l'inclinaison forte de la pente dans la partie amont serait à l'origine de ce sol peu évolué ou de ces roches fracturés ou modérément altérés car sur pente forte les produits d'altération sont constamment évacués par l'érosion qui ne laisse que l'horizon C du sol constitué par la roche fracturée, par les fragments grossiers des roches et peu de particules fines piégées dans les poches protégés de la gravité et de l'écoulement ou fixées le réseau racinaire des végétaux.

Par contre, les sols sédimentaires faiblement ou modérément compactés 3 (C), les Roches peu résistants ou profondément altérés 4 (d), les Sédiments meubles non cohésifs et matériels détritiques 5 (e). Occupent la partie aval du bassin versant.

La dominance et l'importance des alternances de marnes et calcaires classées en formation meuble, en pente augmente les potentialités érosives du bassin versant.

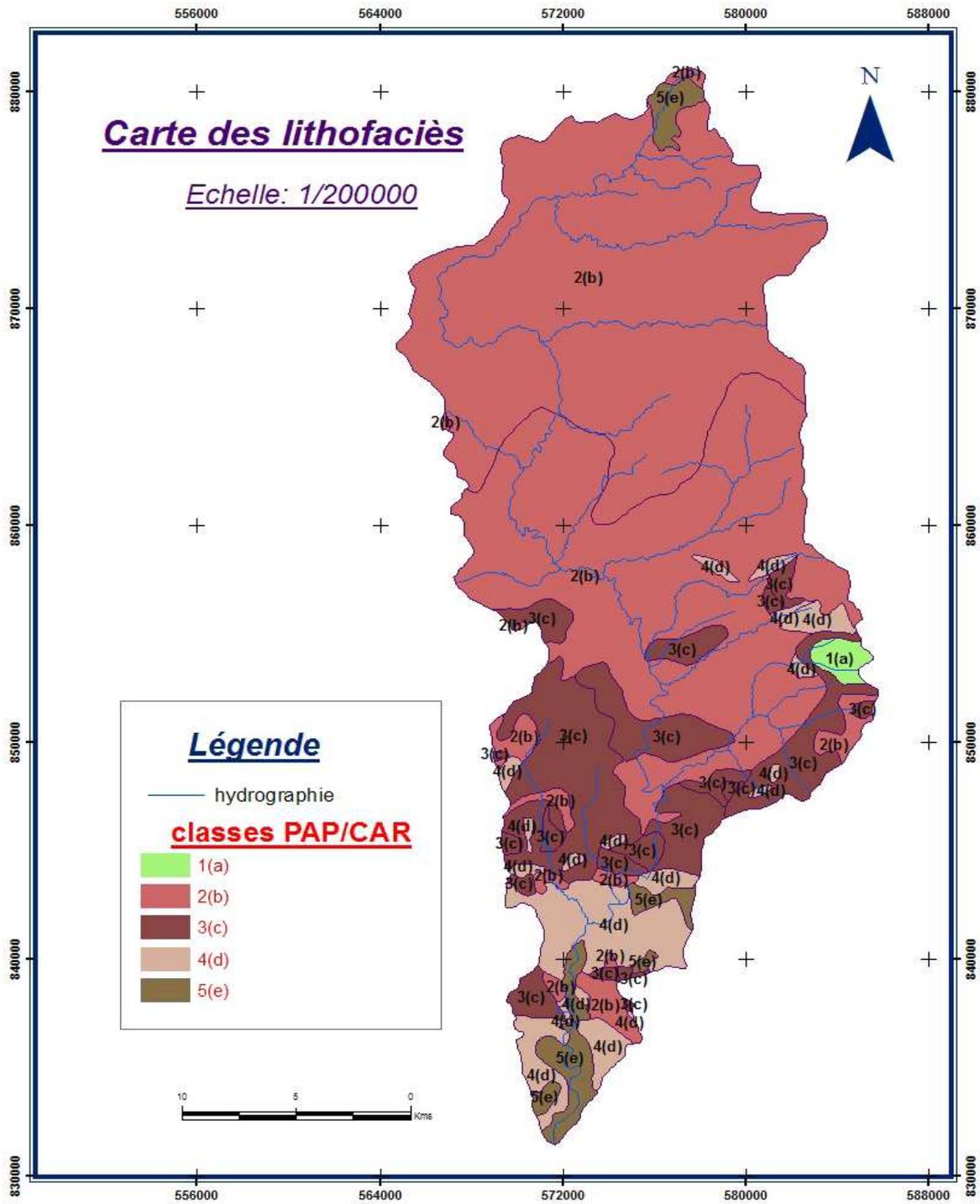


Figure 26: Carte des lithofaciès

c. Réalisation de la carte d'érodibilité

La superposition de la carte des unités et classes topographiques des pentes et de la carte lithologique où l'accent est mis sur la résistance mécanique et le degré de cohésion des différentes lithofaciés permet d'hierarchiser le bassin versant en degré d'érodibilité

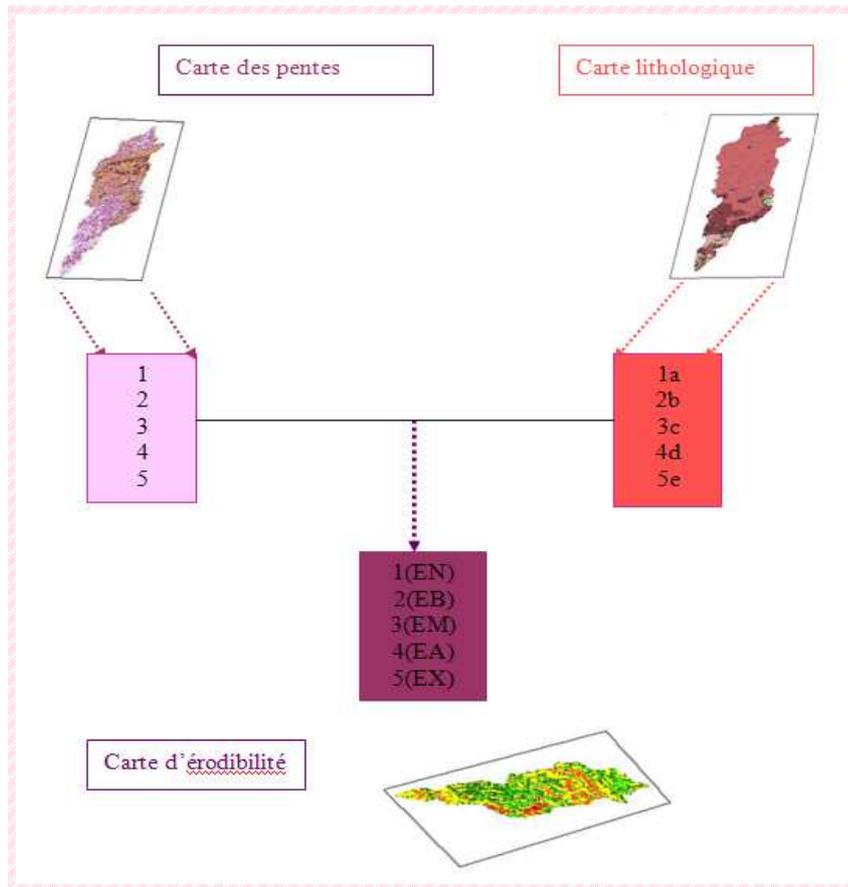


Figure 27 : schéma de Réalisation de la carte d'érodibilité

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

Classes de pentes	Classe de lithofaciès				
	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)
1	1(EN)	1(EN)	1(EN)	1(EN)	2(EB)
2	1(EN)	1(EN)	2(EB)	3(EM)	3(EM)
3	2(EB)	2(EB)	3(EM)	4(EA)	4(EA)
4	3(EM)	3(EM)	4(EA)	5(EX)	5(EX)
5	4(EA)	4(EA)	5(EX)	5(EX)	5(EX)

Tableau 11: Degrés d'érodibilité

Classes	Erosion potentielle
1	Faible (EN)
2	Modérée (EB)
3	Moyenne (EM)
4	Forte (EA)
5	Extrême (EX)

Tableau 10: Classes d'érodibilité

Après la superposition de la carte de lithofaciès et la carte des pentes on obtient la carte d'érodibilité sur laquelle figure la répartition des terrains érodés. Le traitement de la base de données de la carte résultante nous a permis de dégager plusieurs informations notamment sur en ce qui concerne les superficies relatives à chaque classe

Classes d'érodibilité	Superficie en Km ²	% des superficies	% cumulé des superficies
1 (EN)	99,5	17,9	18
2 (EB)	160,6	29,0	47
3 (EM)	212,3	38,3	85
4 (EA)	57,7	10,4	96
5 (EX)	24,2	4,4	100
Total	554,3	100,0	

Tableau 12: Classe de lithofaciès en fonction des superficies des pourcentages et des pourcentages cumulés

L'histogramme de fréquences des superficies en fonction des classes d'érodibilité montre que les superficies les plus représentatives sont ceux appartenant aux classes 3(EM) et 2(EB) d'érodibilité moyenne et modérée avec des superficies de 212,3Km² et 160,6 Km² respectivement, pour la classes d'érodibilité faible 1(EN), elle ne dépasse pas 99,5 Km². Les classes d'érodibilité forte 4(EA) et extrême sont moins représentatifs, leurs surfaces sont de 57,5 Km² et 24,2 Km² respectivement Cela aura de grave répercussion à long terme si la qualité de protection est faible

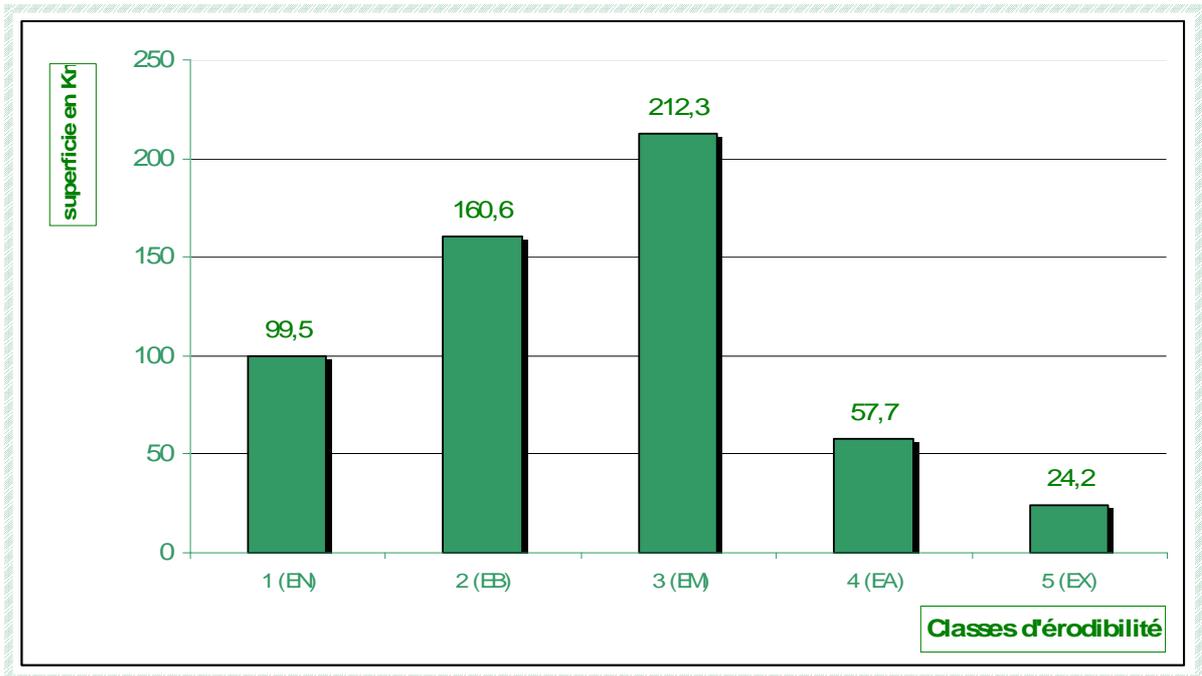


Figure 28: Histogramme de fréquences des superficies en fonction des classes d'érodibilité

La courbe des pourcentages des fréquences cumulées à montré un certain équilibre au sein du bassin versant de l'Oued Sra, vu que la médiane divise la série en deux parties presque égale, 47% des terrains sont touchés par une faible à moyennet érodibilité et presque 53% des terrains du bassin ont une érodibilité moyenne à extrême. Cet équilibre peut être expliqué par les corrections dont la matrice fait objet, par exemple des pentes forte couplé avec des terrains résistants donne un terrain moyennement érodible et vis versa

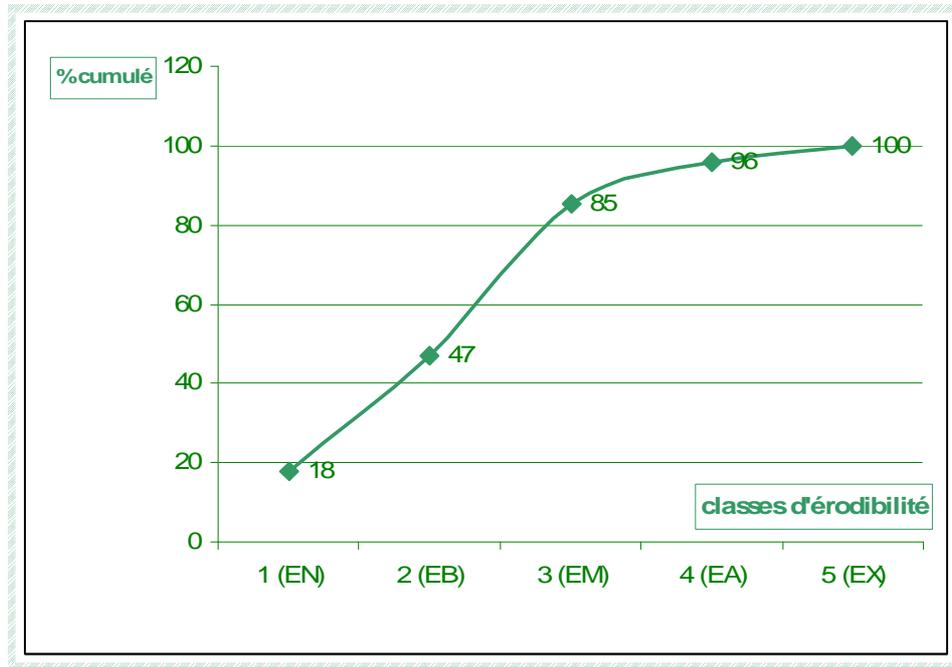


Figure 29: Courbe des fréquences cumulées de l'érodibilité du bassin versant de l'Oued Sra

La carte de degré d'érodabilité indique que là où la pente est forte et/ou le terrain est de faible résistance, l'érodabilité est toujours extrême. Cela peut être observé au niveau de la partie amont à jbel Ajira et jbel Mounsaboun, à ce niveau malgré les lithofaciès plus au moins résistants en remarque que la présence des pentes fortes rend cette partie de plus en plus érodable. Au contraire dans le versant droit, notamment à la commune de Tlata Ktama la situation est moins inquiétante car les classes d'érodabilité qui dominent sont soit faibles ou modérée. Dans ce secteur les faciès montrent une résistance moyenne mais des pentes modérées cela à mettre cette partie dans les classes modérée à moyenne. On peut expliquer cette répartition par la présence de pente modérée qui a atténué le degré d'érodabilité

La partie intermédiaire est touchée par un moyen à fort degré d'érodabilité qui est du à une combinaison d'une pente forte à escarpée avec des sols cohésifs fracturés ou modérément altérés

Au niveau de la partie aval en remarque sur le versant droit le caractère fort à extrême de l'érosion qui est du à une combinaison d'une pente forte à abrupte avec une classe de lithofaciès érodable. En ce qui concerne le versant gauche le degré d'érodabilité est faible à modéré, est liée à une faible pente et un faciès de moyenne résistance.

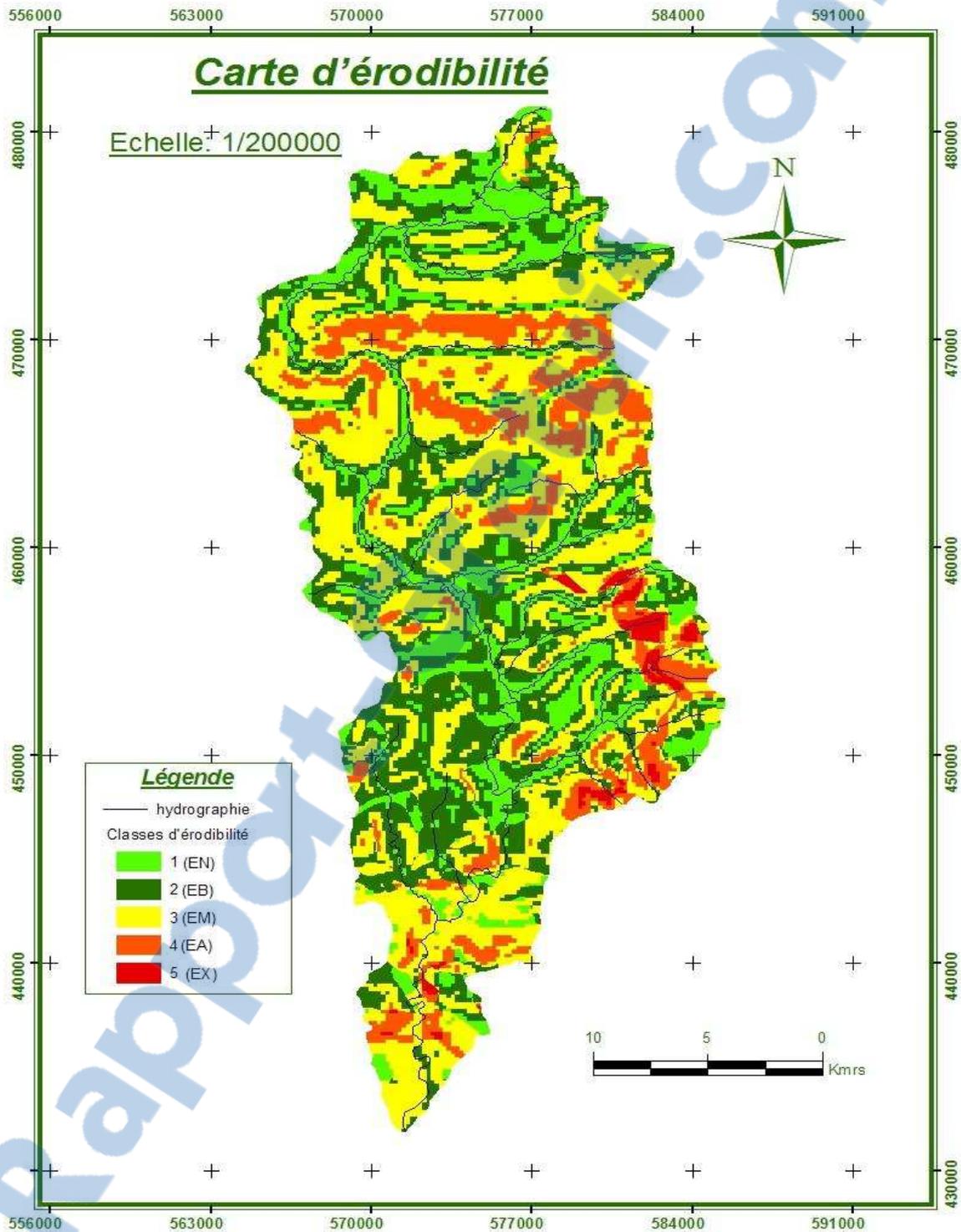


Figure 30: Carte d'érodibilité

II -2. Elaboration de la carte de protection des sols

La carte de protection des sols est réalisée à partir de la superposition de la carte d'occupation des sols et celle des proportions de recouvrement par le couvert végétal. En ce qui concerne la première, elle a pour objectif de diviser le terrain en polygones selon le type de couvert végétal (matorral claire ou dense, forêt, reboisement ...) ou de culture (arboriculture, culture sèche, culture intensive maraîchage ...). La seconde quand à elle, tient compte de la densité du couvert végétal. Elle a pour objectif de corriger la carte d'occupation des sols. La matrice qui va permettre cette superposition ne peut pas être appliqué ailleurs car elle est adapté aux conditions bioclimatique méditerranéenne, la réalisation de cette matrice à fait objet de plusieurs années d'étude de corrélation et d'atelier. Le rôle essentiel que joue cette matrice est qu'elle permet de tenir compte des différentes dégradations du couvert dans le temps et dans l'espace

a. Réalisation de la carte d'occupation des sols

La carte du couvert végétale et l'occupation des sols à été réalisé à partir du Plan d'Aménagement Anti-érosif du Bassin versant de L'Ouergha en amont du barrage Al Wahda (1994), La démarche commence par un calage de la carte et une délimitation de la zone d'étude, après on digitalise les déférentes polygones selon le type de couvert végétal. La carte résultante identifie les différents types de couvet végétale

Classes	Occupation du sol
1	Culture sèche (herbacée)
2	Culture en ligne (oliviers, amandiers, arbres fruitiers, vignobles)
3	Irrigation
4	Forêts
5	Arbustes denses
6	Arbustes clairsemés, pâturages

Tableau 13: Classes d'occupation du sol

Le traitement de la base de donnée a permet la réalisation du tableau suivant, dans lequel figure les pourcentages des superficies ainsi que les surfaces cumulées des différentes classes de l'occupation des sols

Code	superficie en Km ²	fréquences cumulées	% des surfaces	% cumulés
1	108,72	108,72	19,61	19,61
2	263,56	372,28	47,55	67,16
3	0,27	372,55	0,05	67,21

4	64,72	437,27	11,68	78,89
5	53,55	490,82	9,66	88,55
6	63,48	554,3	11,45	100,00
Total	554,3		100,00	

Tableau 14: Table des classes de superficie et de des pourcentages des superficies des différentes occupations des sols

La table de données permet de dégager plusieurs informations concernant les pourcentages des superficies. On remarque que la classe la plus rencontrée est celle des cultures en lignes (arbre fruitiers, vignobles) avec 263,56 Km² ce qui veut dire 47,5 % de la superficie total. Les cultures sèches, les arbustes clairsemés et les Forêts sont moyennement représentés avec des surfaces de 108,72 Km², 64,72 Km² et 63,48 Km² respectivement. Le pourcentage de chacune de ces surfaces ne dépasse pas 20 %. Les arbustes denses sont étalés sur une surface de 53,5 Km² et ne représente que 9,6 % de la superficie total. Les maraichages irrigués ne dépassent pas 0,05% avec des superficies de 0,27 Km²

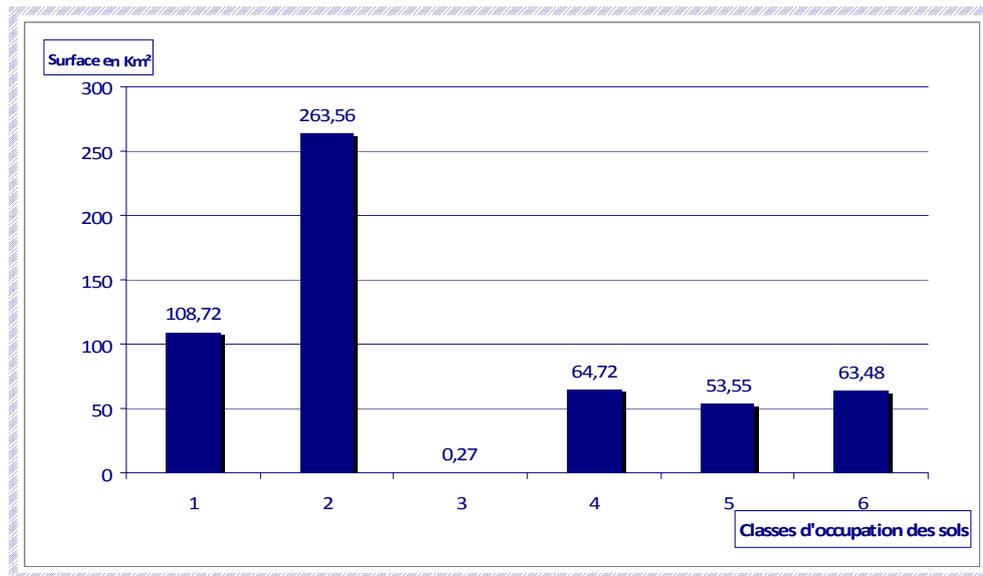


Figure 31: histogramme des classes d'occupation en fonction des superficies en Km²

La répartition des différents types d'occupation des sols (Fig. IV-31) montre que la partie amont comporte presque tous les types d'occupation mais la forêt et les arbustes clairsemés sont les plus représentées. Cela peut être expliqué par la quantité d'eau que reçoit cette partie. On remarque aussi la présence de la Culture en ligne et des Cultures sèches faiblement représentées qui témoignent d'une destruction de la forêt au profit des cultures. Au niveau de la partie médiane on remarque la présence des arboricultures



clairsemés, les cultures en ligne et les cultures sèches, Les Forêts sont moins représentés dans cette partie a cause de défrichements et des incendies

La partie aval généralisée par deux types de couvert, le premier est formé par des cultures en ligne telle que les oliviers, les amandiers ainsi que d'autres arbres fruitiers et les vignobles. le deuxième type est formé par des cultures sèches (herbacée)

A partir de cette répartition on peut dire que la partie amont et mieux protégée par présence marquée de forêts naturelle que la partie aval. Il reste à vérifier une fois la superposition est faite avec la carte de la densité de couverture

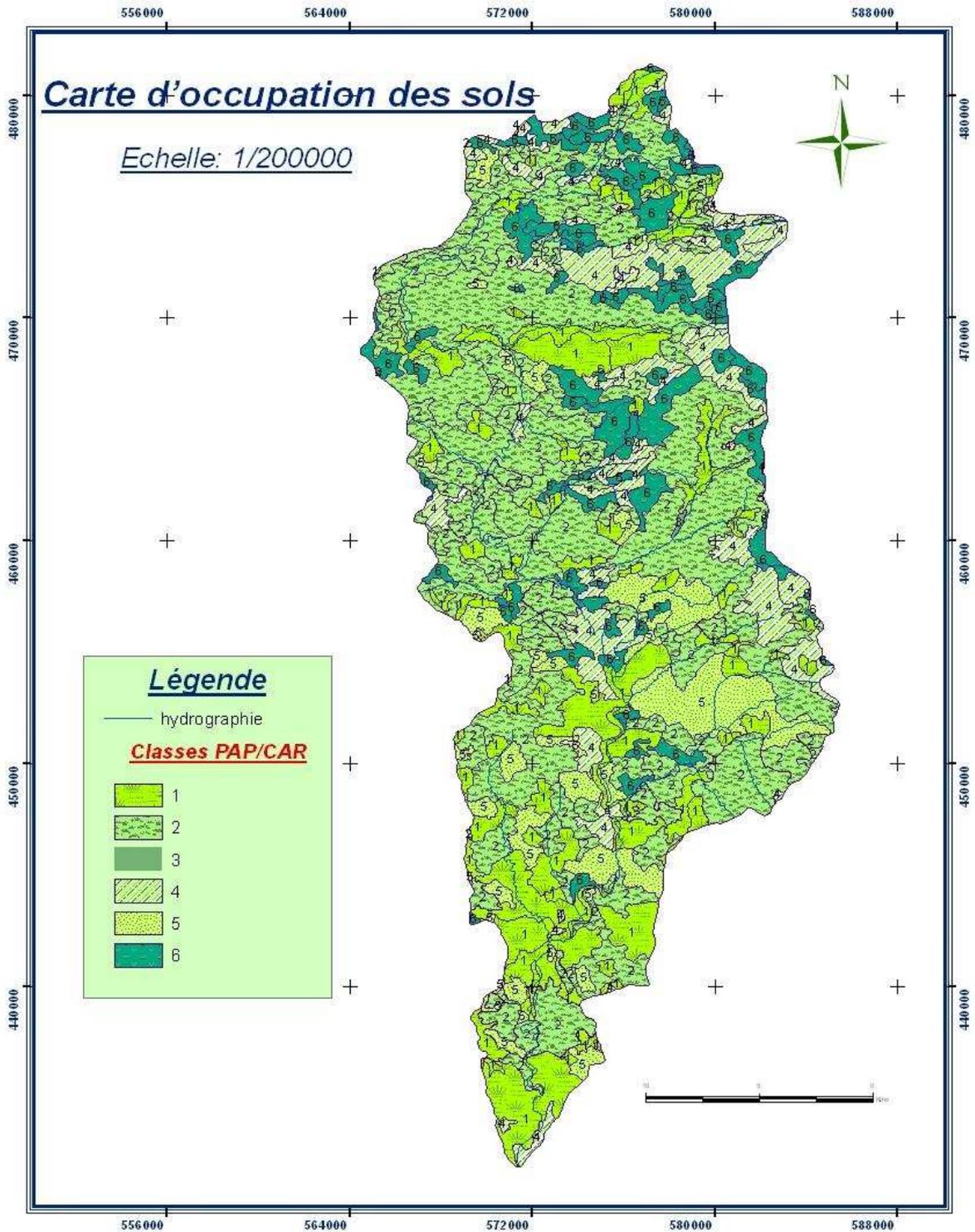


Figure 32: Carte d'occupation des sols

b. Réalisation de la carte de densité de recouvrement :

La carte de densité de recouvrement a été réalisée à partir du Google Earth qui est un navigateur satellitaire développé par Google, permettant de parcourir la Terre par des images satellite, en 2D ou en 3D et de digitaliser in situ les différents thèmes voulus. Le résultat est une cartographie du bassin versant de l'Oued Sra en polygones selon la densité de recouvrement

Selon les classes du PAP/CAR on a choisie de hiérarchiser le bassin versant suivant 4 classes (tableau

Classes	Degré de couvert végétal
1	Inférieur à 25%
2	25% – 50%
3	50% – 75%
4	Supérieur à 75%

Tableau 15: Classes d'occupation du sol

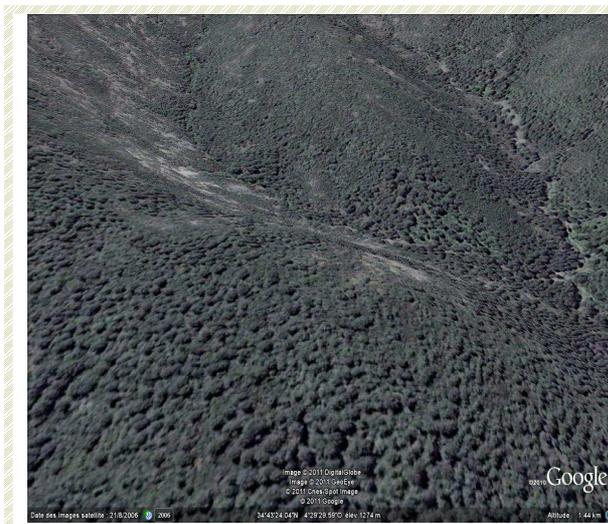


Photo 1 : densité 4 (supérieur à 75%)

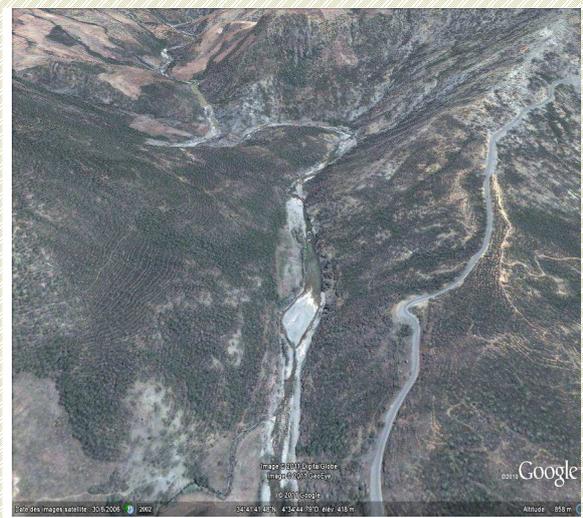


Photo 2 : densité 3 (entre 50% et 75%)

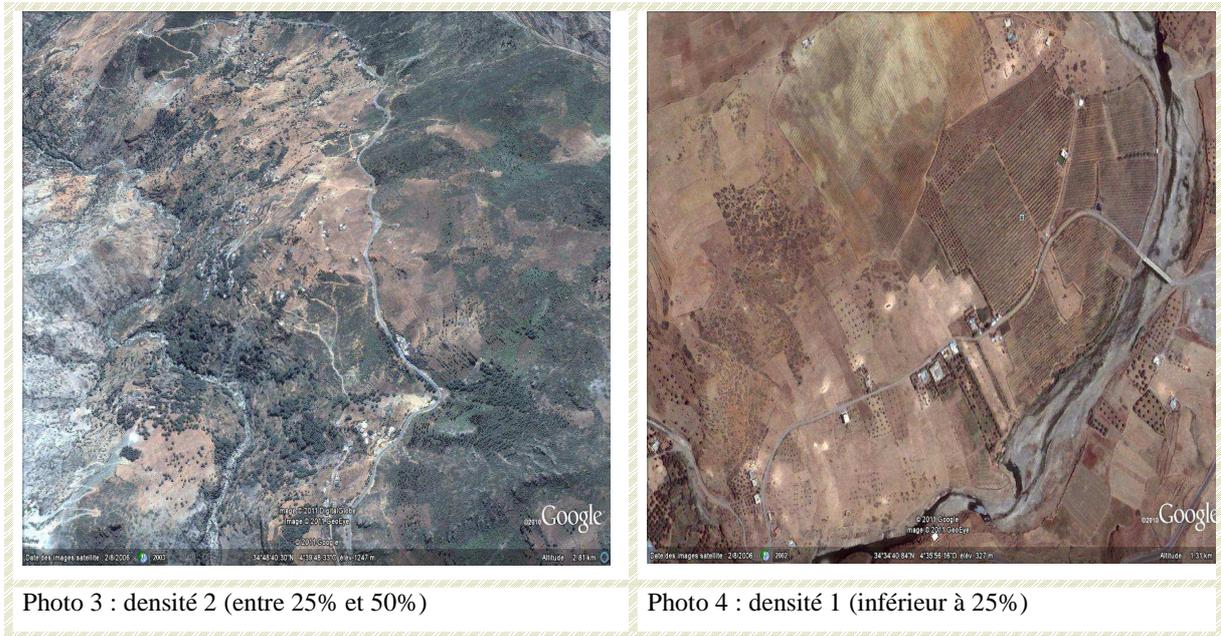


Figure 33: représentation de différents densités

Cette carte permet d'une part corriger la carte d'occupation des sols, d'autre part tenir compte d'un facteur qui joue un rôle clé, dans le maintien de la résistance des sols, car plus le couvert végétal est dense plus forte est la protection du sol, et plus faible est l'action des pluies

Code	classe	superficie en Km ²	les surfaces cumulées	% des surfaces	% cumulé
1	Inférieur à 25	222,4	222,4	40	40
2	25 - 50	150,3	372,7	27	67
3	50 - 75	111,4	484,1	20	87
4	Supérieur à 75	70,21	554,31	13	100
	Total	554,31		100	

Figure 34: Classe superficie et pourcentage de superficie du degré de densité du couvert végétal

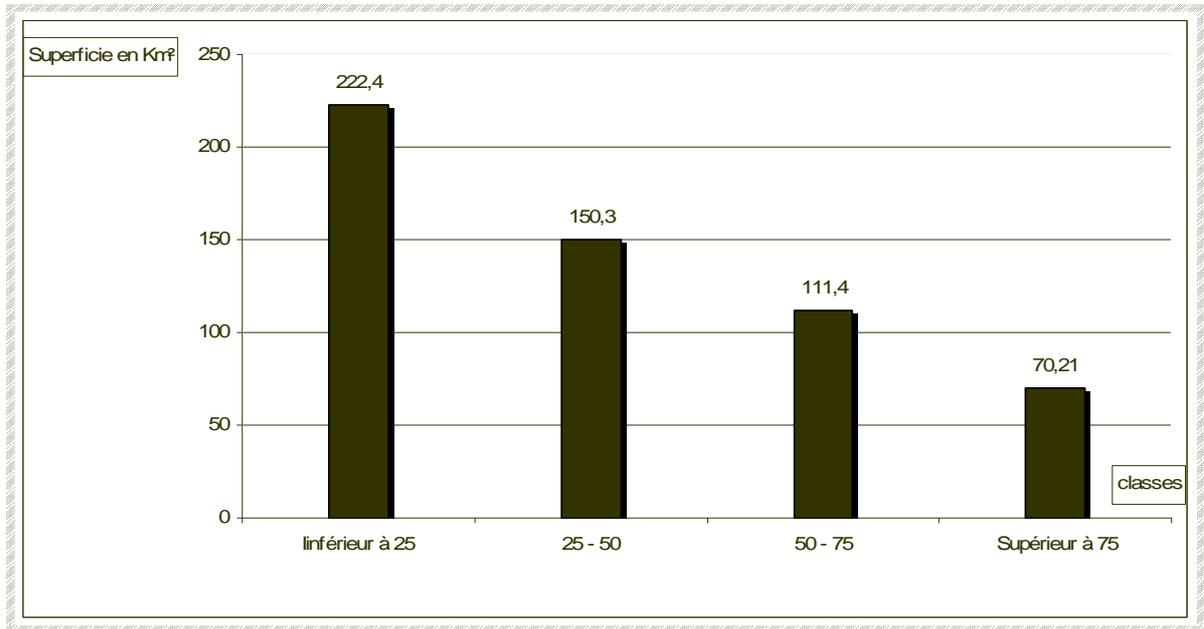


Figure 35: histogramme des classes de degré de couvert en fonction des superficies

L'Histogramme des classes de degré de densité du couvert végétal en fonction des superficies montre que la valeur la plus fréquente est la classe 1 (< 25 %) avec une superficie de 222,4 Km². Les classes 2 (25 – 50) et 3 (50 – 75) représentent des surfaces de 150,3 Km² et 111,4 Km² respectivement. La valeur la moins représentée est la classe 4 (> 75%) avec une superficie de 70,21Km². Tenant compte de la courbe des fréquences des surfaces cumulées du degré de couvert végétale, on remarque qu'elle confirme que plus de 67 % de la superficie du terrain présente une faible densité de couverture. Donc le sol va être d'autant plus vulnérable à l'érosion hydrique.

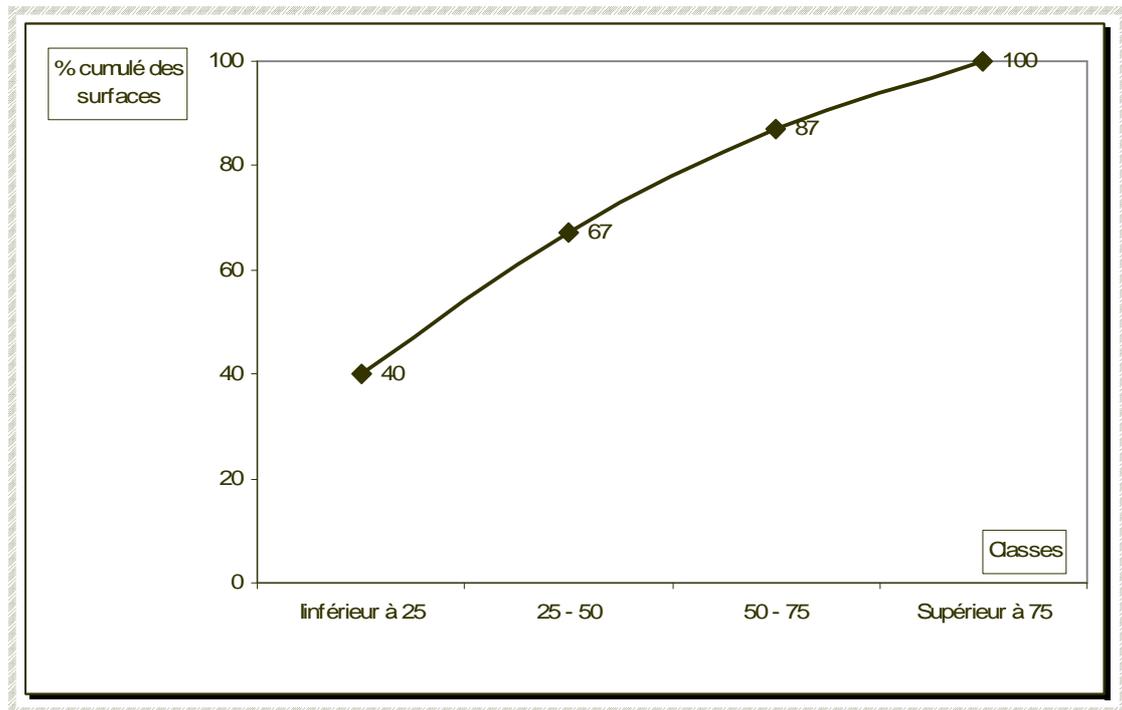


Figure 36: Courbe de fréquence des superficies cumulée du degré de couverture

La répartition de ces classes au sein du bassin versant de l'Oued Sra montre que les densités faibles sont présente dans presque tout le bassin, les parties amont et médiane montre une faible superficie des densités fortes. D'après la carte d'occupation des sols, cette partie montre une forte densité, cette situation et due surtout aux défrichements, incendies et au surpâturage.

La partie aval marque la présence des classes faibles (1 et 2) avec quelques zones de la classe 3.

A partir de ces informations, compte tenu du facteur densité de couvert végétal on peut dire que le bassin versant de l'Oued Sra présente une très faible protection d'où une grande vulnérabilité à l'érosion

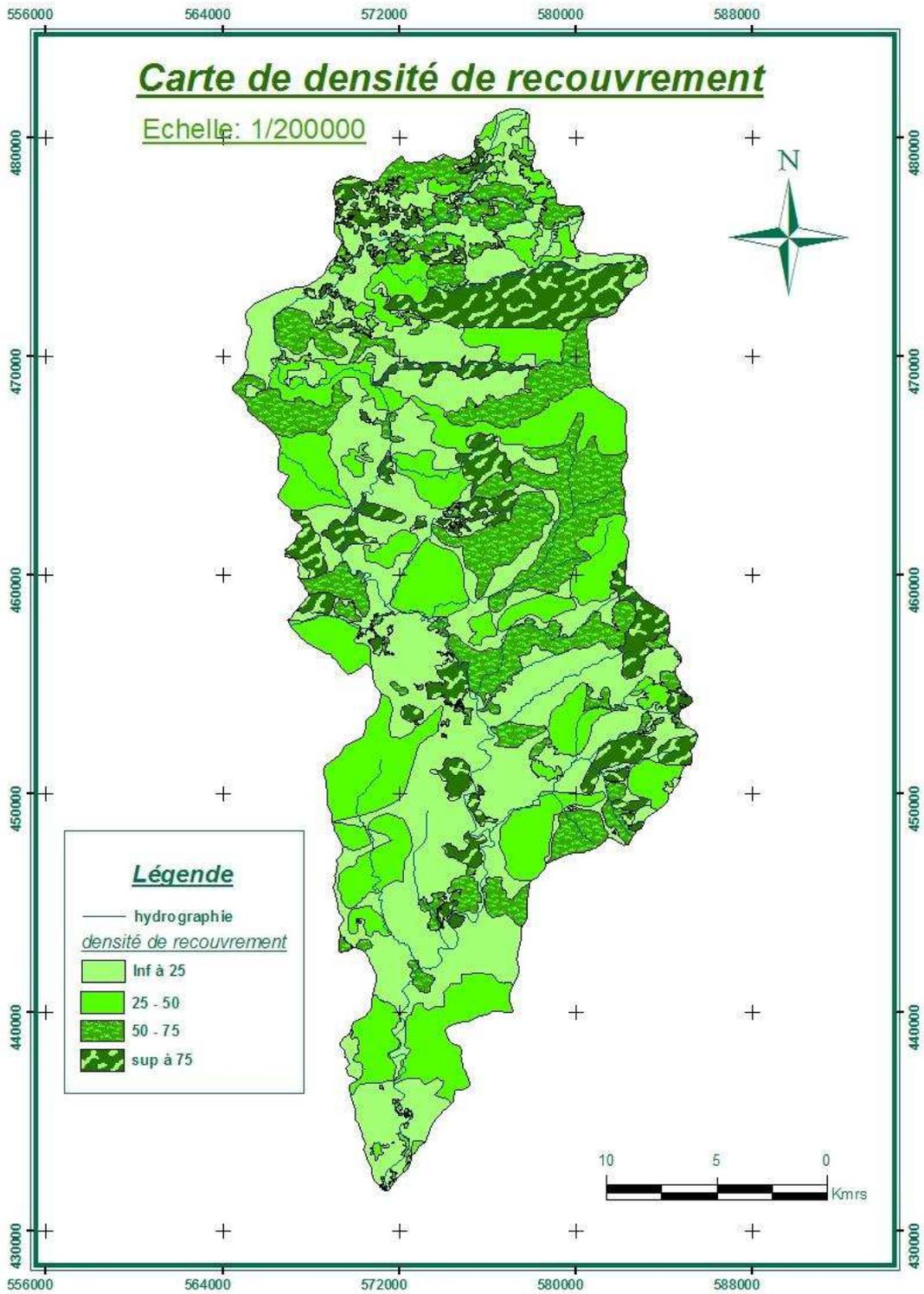


Figure 37: Carte de densité de recouvrement

c. Elaboration de la carte de protection des sols

L'élaboration de la carte de degrés de protection des sols est faite à partir de la superposition de la carte d'occupation des sols et la carte de densité de recouvrement.

L'objet de cette carte est d'hierarchiser le bassin de l'Oued Sra en polygones selon le degré de protection. L'utilité de cette étape s'avère nécessaire dans la mesure où elle permet de détecter les zones à faible ou à forte protection et par conséquent les zones noires qui nécessitent des interventions urgentes et rapide par le reboisement pour fixer et stabiliser le sol

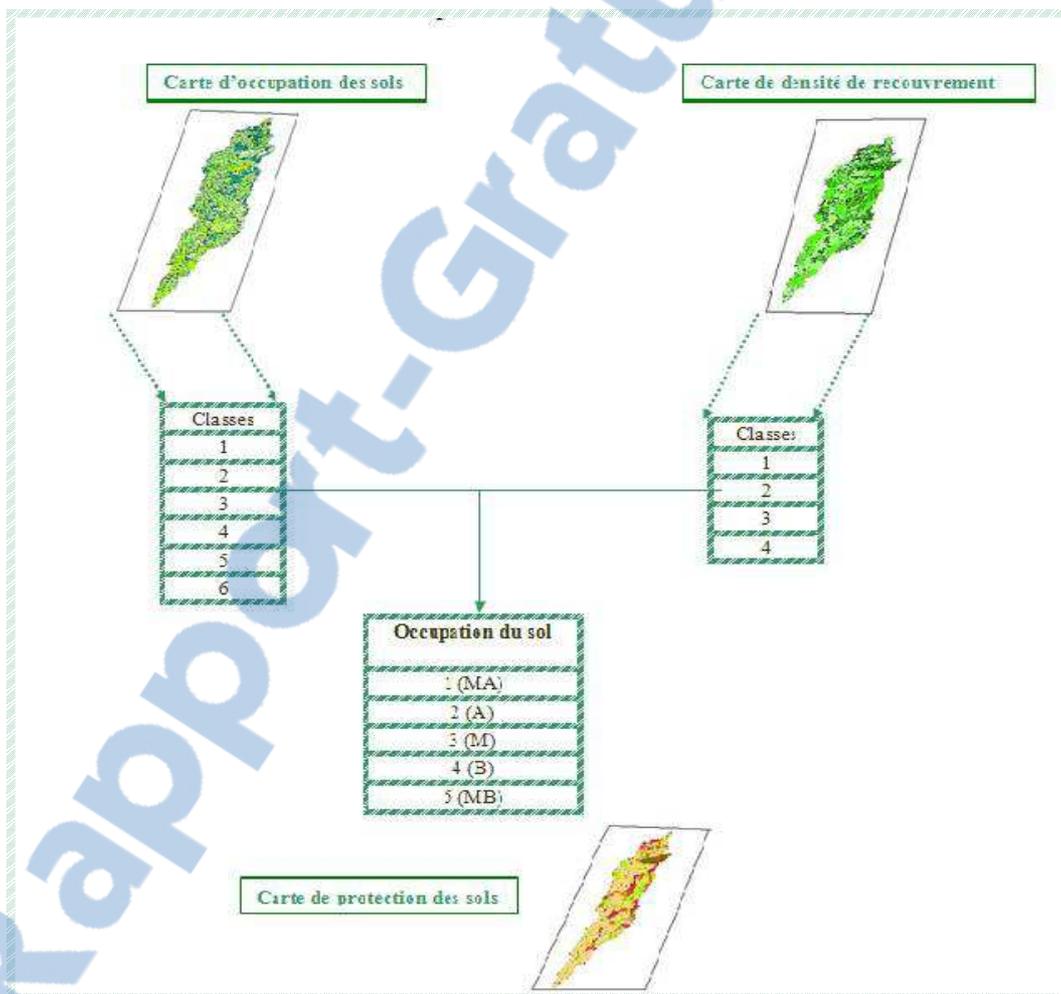


Figure 38: Schéma d'élaboration de la carte de protection des sols

Les polygones résultant de la superposition des 2 cartes de référence sont classés suivant la matrice montrée au tableau (suivant) qui permet de faire sortir le degré de protection voulue selon les classes d'occupation des sols et du pourcentage de recouvrement

Occupation du sol	Couvert végétal			
	1	2	3	4
1	5(MB)	5(MB)	4(B)	4(B)
2	5(MB)	5(MB)	4(B)	3(M)
3	3(M)	2(A)	1(MA)	1(MA)
4	4(B)	3(M)	2(A)	1(MA)
5	5(MB)	4(B)	3(M)	2(A)
6	5(MB)	4(B)	3(M)	2(A)

Tableau 17: Matrice: Occupation du sol vs. Couvert végétal

Classes	Degrés de protection des sols
1	Très élevé (MA)
2	Elevé (A)
3	Moyen (M)
4	Faible (B)
5	Très faible (MB)

Tableau 16: Légende de degrés de protection des sols

Le traitement de la base de données a permis de dériver le tableau suivant, à partir duquel on a réalisé l'histogramme des classes de degré de protection en fonction des superficies, qui montre que le bassin versant de l'Oued Sra est très mal protégé. La valeur la plus fréquente est celle de la classe 5, avec une superficie de 317,3 Km² ce qui fait 57 % de la superficie total du bassin. Pour les autres classes les valeurs des superficies décroît du degré le plus faible au degré le plus fort, donc on peut dire que au niveau de l'Oued Sra plus grande est la superficie, plus faible est la protection.

Classes de protection	Surfaces en Km ²	Fréquences cumulées	% des superficies	% cumulé
1 (MA)	32,5	32,5	6	6
2 (A)	18,7	51,2	3	9
3 (M)	64,4	115,6	12	21
4 (B)	121,4	237	22	43
5 (MB)	317,3	554,3	57	100,0
Total	554,3		100,0	

Tableau 18: Table de données relatives au degré de protection

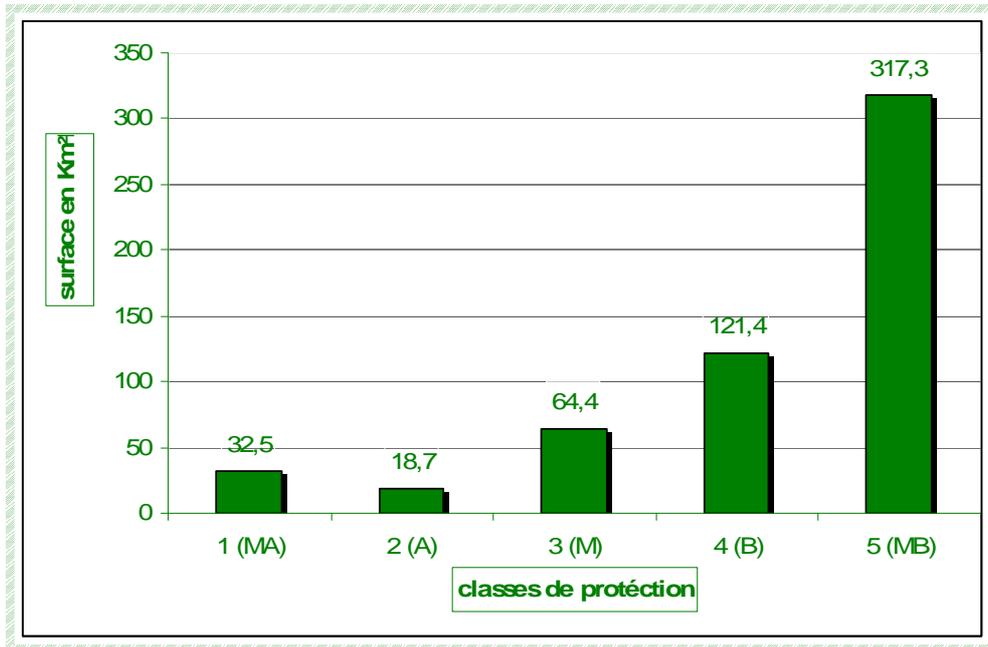


Figure 39: Table de données relatives au degré de protection

L'analyse de la courbe des fréquences cumulées montre que la médiane se trouve au niveau de la classe 4 (B), se qui confirme que plus de 78 % de la superficie totale de la zone d'étude se situe à un degré de protection faible à très faible

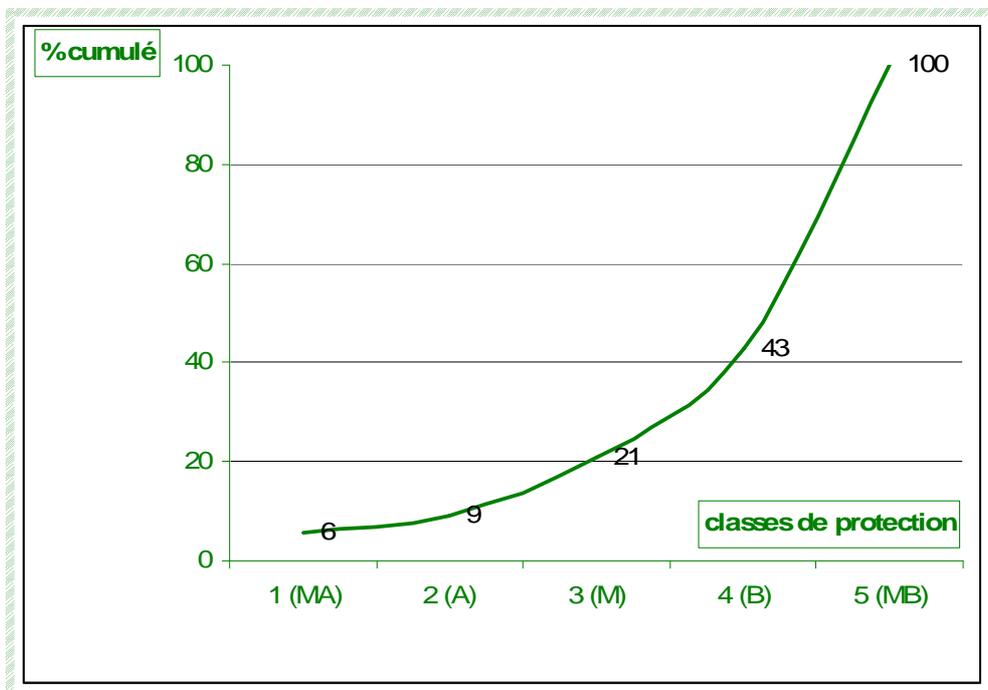


Figure 40: Courbe de fréquence des superficies cumulée du degré de protection

La carte de répartition des classes de protection du sol montre que les zones de très faible protection 5(MB) et 4 (B) se trouvent partout dans le bassin, surtout la partie aval, les zones de protection moyenne 3(M) sont moins représentées, elles sont surtout localisées dans la partie amont et plus particulièrement au niveau de tlata ktama et dans la partie intermédiaire. Les zones de protection élevée sont rarement rencontrées et elles sont localisées dans la partie amont au niveau de jbel Mounsaboun.

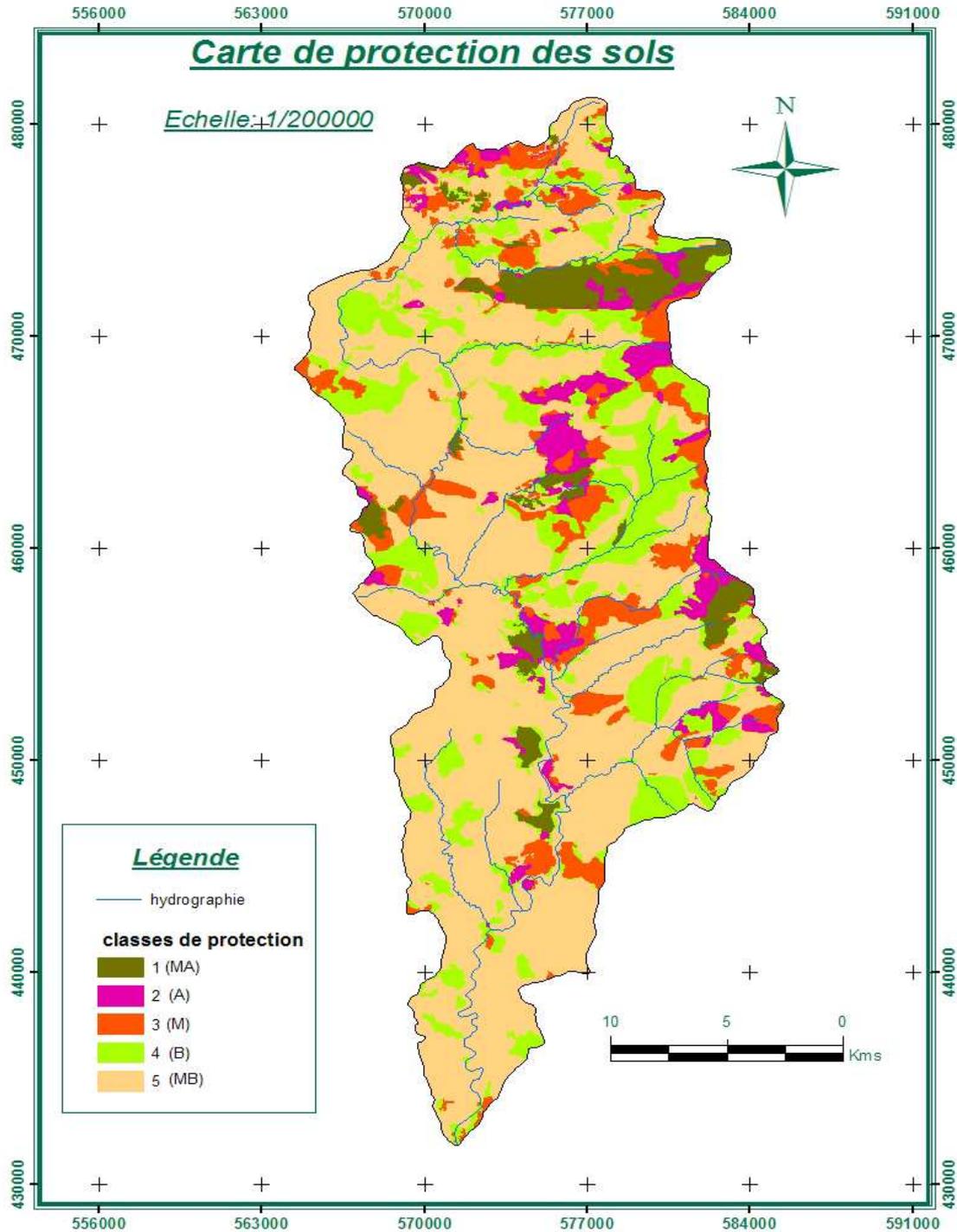


Figure 41: Carte de protection des sols

II -3. Elaboration de la carte des états érosifs

C'est la carte de synthèse de la dernière étape, obtenue après superposition des produits cartographiques précédents. Les polygones résultant vont être classés selon la matrice (Tableau)

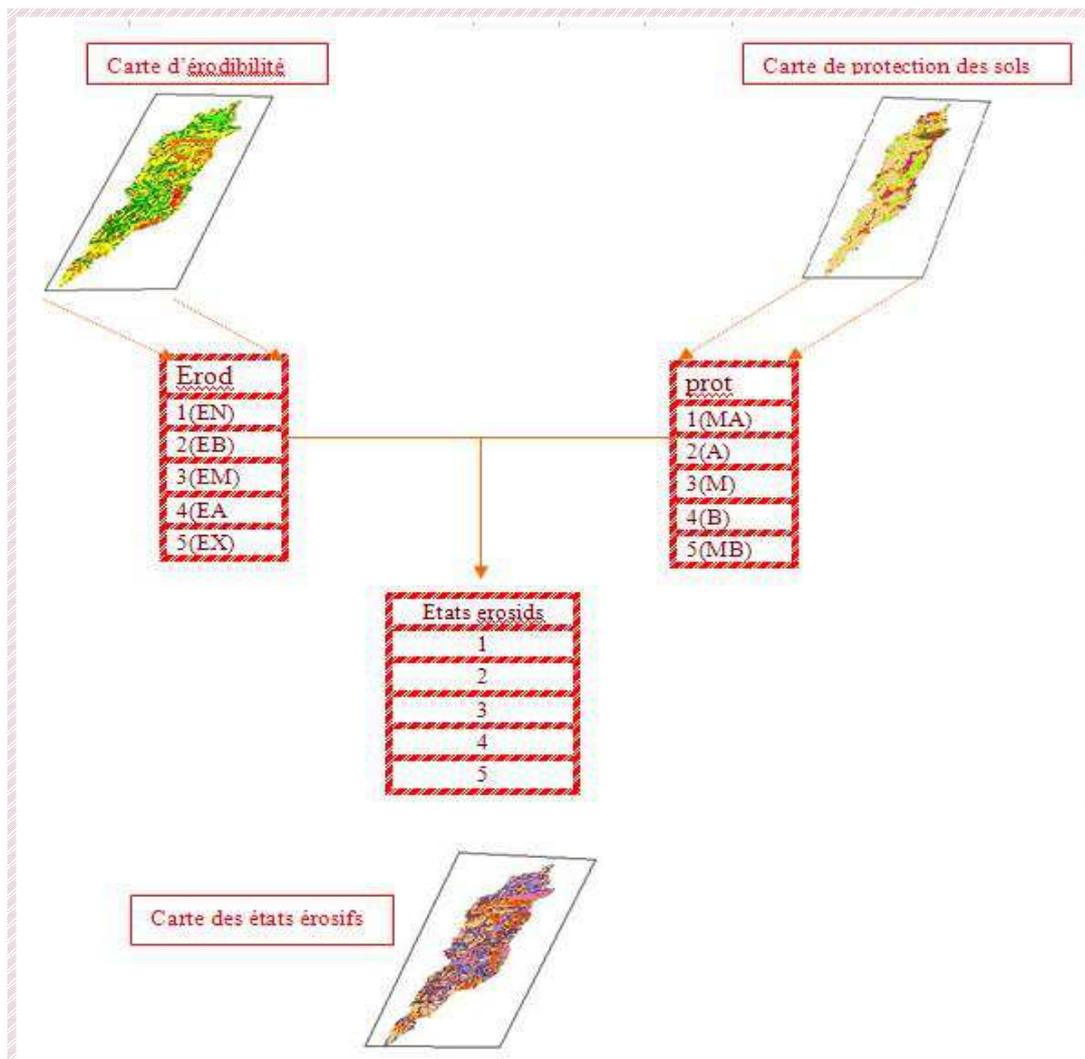


Figure 42: schéma de réalisation de la carte des états érosifs

Degré de protection des sols	Degré d'érodibilité				
	1(EN)	2(EB)	3(EM)	4(EA)	5(EX)
1(MA)	1	1	1	2	2
2(A)	1	1	2	3	4
3(M)	1	2	3	4	4
4(B)	2	3	3	5	5
5(MB)	2	3	4	5	5

Tableau 19: Degré de protection des sols et Degré d'érodibilité

Codes	Degrés des états érosifs:
5	Très élevé
4	Elevé
3	notable
2	Faible

Tableau 20: codification des états érosifs

Le traitement de la base de données a abouti à la réalisation du tableau suivant qui montre les classes en fonction des superficies, pourcentage de superficie et superficies cumulées, à partir de ce tableau on a réalisé l'histogramme des fréquences (Fig) qui montre que la classe la plus représentative est celle de l'érosion moyenne avec 198,3 Km² et 35,5% de la superficie totale du bassin versant. En ce qui concerne les classes du degré d'érosion très élevée et élevée, elles représentent 56,15 Km² et 102,04 Km² respectivement ce qui fait 28,5% de la superficie total. Les classes des degrés faibles et très faibles représentent 134,21 Km² et 63,6 Km² respectivement et 35,7% de la superficie totale du bassin versant. Cela montre que le bassin versant de l'Oued Sra présente un degré d'érosion notable. Cela aura beaucoup de répercussion sur la productivité des sols et par conséquence la qualité de vie des populations de la région.

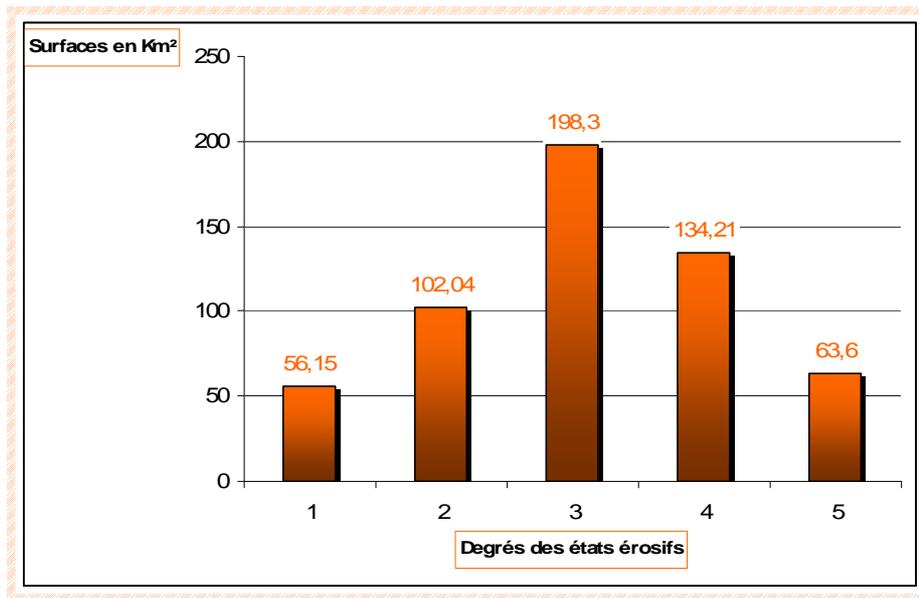


Figure 43: Histogramme des classes de degré d'érosion en fonction des superficies

La courbe des fréquences cumulées des degrés d'érosion réplique la surface du bassin versant en trois classes égales, une classe de degré d'érosion faible représente 28,5%, une classe de degré d'érosion notable représente 35,5% et une classe de degré d'érosion élevé représente 35,7%

Cela peut être expliqué par l'interaction de plusieurs facteurs tels que la pente, la lithologie, le couvert végétal, et surtout le facteur humain qui ne cesse de dégrader l'environnement et de rendre les milieux naturels de plus en plus vulnérables à l'érosion.

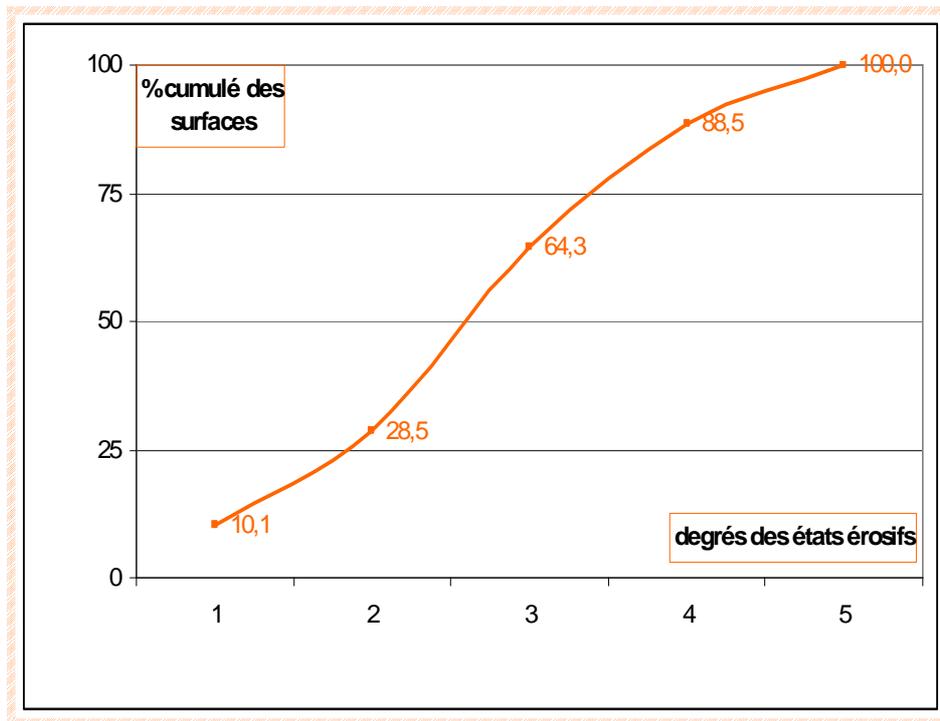


Figure 44: courbe des fréquences cumulées des degrés d'érosion

La répartition de ces superficies sur la carte des états érosifs montre une dominance d'érosion grave et très grave qui affecte la partie aval. Ailleurs l'érosion élevée suit le schéma que dessine le réseau hydrographique, cela est expliqué par la présence d'un couvert végétale dense sur la partie moins érodé. On remarque aussi que les zones qui s'échappent à l'érosion très élevée sont affectées par une érosion élevée, localisée surtout dans la partie intermédiaire. Au niveau du jbel Mounsaboun l'érosion est notable pour l'instant. Mais si en tient compte du facteur humain, on remarque aussi que là où les populations vivent coïncident avec les zones d'érosion élevée avec des petites localités qui se développent tenant compte du composant sol. En ce qui concerne l'érosion faible ils se manifestent dans des zones réduites notamment dans la partie amont là où le couvert végétal est dense.

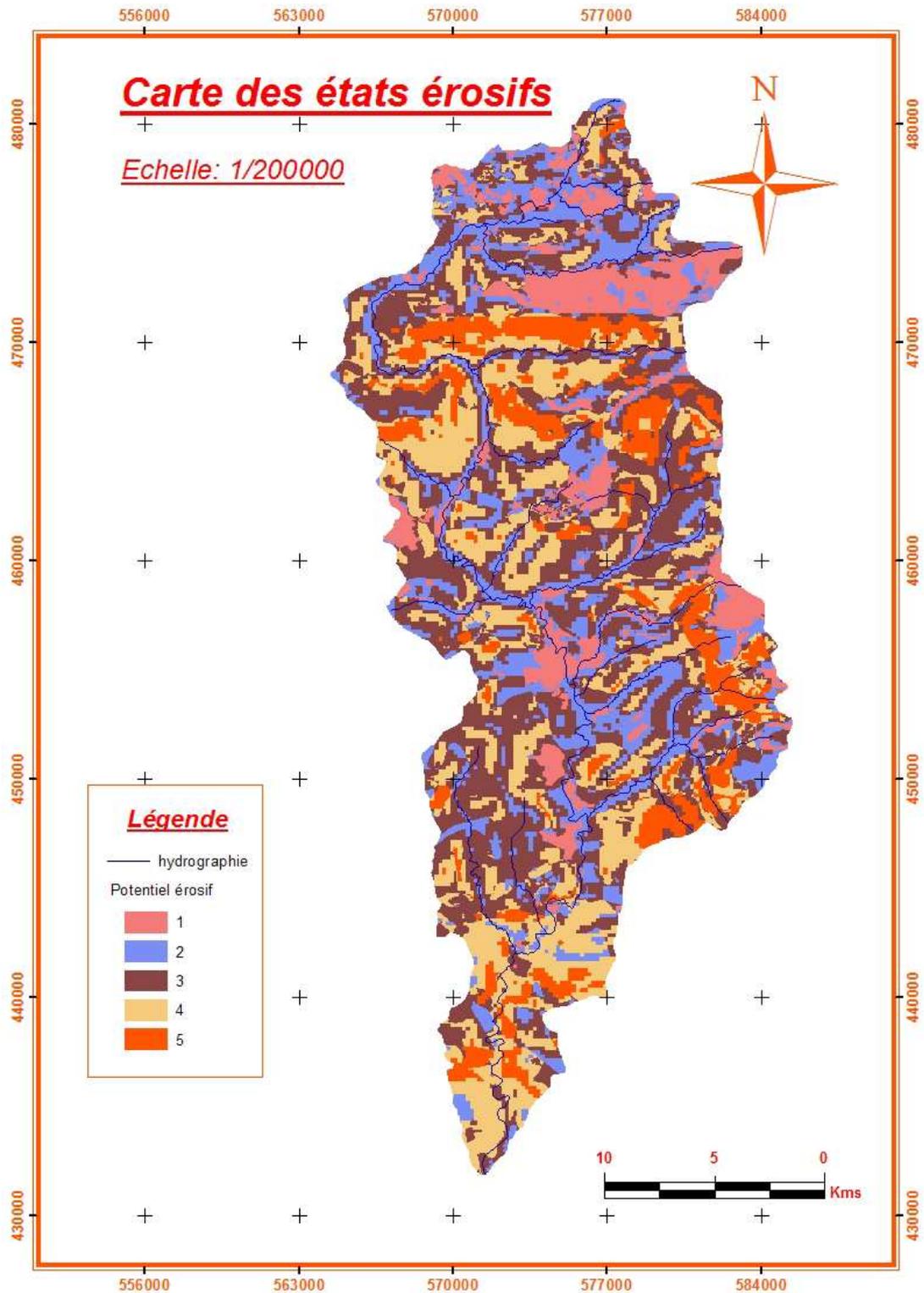


Figure 45: Carte des états érosifs

Chapitre 3 : Approche descriptive:

Les processus d'érosion qui marquent le secteur d'étude sont très diversifiées et fortement liés aux types de sols, leurs positions dans la topographie et à l'étage bioclimatique auquel ils appartiennent, les écoulements d'eau pluviale génèrent deux formes d'érosion dont la première est liée au ruissellement et à l'écoulement selon un mode concentré ; l'autre est liée à l'infiltration ou l'eau se répand de façon diffuse dans le sol. Parmi les formes d'érosion pluviale, nous distinguons :

L'eau pluviale engendre deux modes de comportement a la surface du sol dont le premier est liée au ruissellement et à l'écoulement selon un mode concentré ; le deuxième est liée à l'infiltration ou l'eau se répand de façon diffuse dans le sol. La dynamique des versants dépend donc de ces deux modes de cheminement de l'eau. Les deux types de mécanismes peuvent jouer successivement ou conjointement dans le temps, sur une même surface

III-1. Erosion en nappes

Partout dans notre région, les processus de ruissellement diffus sont pratiquement généralisé ils constituent la forme d'érosion la plus élémentaire qui intervient sur toutes les surfaces inclinées, le ruissèlement se développe sur les formations strictement argileuse ou marneuse.

Le ruissèlement diffus provoque simplement un décapage des sols ou formations superficielles. Les formes d'érosion se manifestent d'une part par un changement de couleur des sols et par l'amincissement de la couche superficielle (éclaircissement) et la migration des fines du haut vers le bas du versant d'autre part. Celles-ci s'accumulent en bas de versant au quel elles donnent une teinte repérable sur les photographie aériennes



Figure 46: localisation de l'érosion en nappe au niveau du khlalfa

Ce processus attaque particulièrement les terrains nus, en roches cohérente, à texture fine et dépourvue de toute végétation ; telles que sur les marnes, les argiles, les flyschs et les grés.

III-2. Erosion en rigoles, en ravines et en ravins

Les processus de ravinement représentent l'aspect le plus spectaculaire de la reprise récente des entailles. On distingue deux types de ravinements : les ravinements élémentaires ou diffus et les ravinements évolués, profonds et encaissés. Ces ravinements interviennent préférentiellement dans les terrains tendres des marnes crétacées et des argiles triasiques, et se développent aussi sur les marnes sableuses du Miocène et sur les dépôts de pente à dominante argileuse.

a. Les ravinements élémentaires peu actifs :

Ils affectent les roches résistantes, et de manière intense, les roches meubles. Ce sont les organismes qui servent à évacuer les eaux, sans qu'il y ait ni creusement, ni accumulation.

- Les griffes

Sur de nombreux versants, on observe, tout d'abord, une dégradation par griffure. Ces dernières apparaissent en hiver, en raison de l'abondance pluviale, de l'énergie cinétique des eaux de pluies qui attaque les roches sensibles et de la forme du relief (pente des versants, expositions, tranches altitudinales, densité de drainage, etc.).

- Les rigoles

La dégradation par les rigoles se présente sous forme d'incisions peu creusées, en principe à fond plat et parois verticales, d'une largeur qui varie entre 5 et 40 cm de largeur, et de 2 à 30 cm de profondeur. Ces rigoles sont souvent rectilignes et se développent dans les versants de pente moyenne (12 à 20%), elle attaque les champs labourés et présentent un chevelu inorganisé

Sur notre terrain d'étude, le ruissellement concentré se manifeste surtout dans la partie sud ; l'eau s'incise dans des formations tendres, peu perméables, marnes et argiles d'âge triasique, crétacé et miocène.

Des incisions apparaissent dès les premières pluies d'automne, sur sol sec. L'importance et la vitesse de l'incision sont tributaires de la quantité et surtout de l'intensité des pluies, du degré de perméabilité et de résistance du sol, de l'énergie des filets de ruissellement, elle-même fonction du débit et de la vitesse de l'écoulement et donc de la pente et de la rugosité du substrat (kalman, 1970)



Figure 47: Rigoles au niveau de khalfa.

b. Les ravins encaissés, profonds et actifs

Ils sont le siège d'une érosion vigoureuse. Il s'agit des collecteurs des eaux de précipitation d'impluvium assez vaste, leur répartition spatiale est déterminé par la nature lithologique, le degré de la pente, l'exposition des versants et le degré de la couverture végétale

- Les ravines

L'érosion en ravins, ou ravinement, est le stade avancé de l'érosion en rigoles où les ruisseaux de surface ont creusé leur lit à tel point que les opérations normales de travail du sol ne suffisent plus à le



combler. Les ravins sont bien entaillés, profonds et rectilignes. Ils se présentent en forme de « V », signe d'un encaissement profond

Les ravines peuvent évoluer en ravins, si elles ne sont pas stabilisées. Elles évoluent en profondeur, en longueur et en largeur. Les formes et l'évolution des ravins sont diverses et sont surtout liées à la lithologie (Roose et al, 2000)

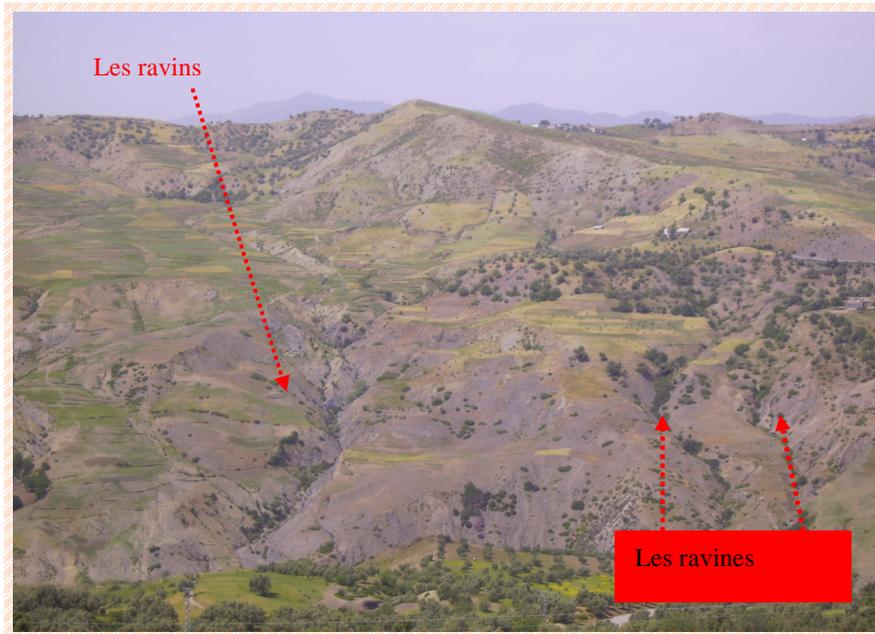


Figure 48: Rigoles et ravines au niveau de khlalfa

III-3. Les mouvements de masses par La solifluxion

La solifluxion qui se développe sur toutes les expositions. Elle prend naissance au niveau des points de stratification entre les bancs de grés et les marnes tendres.

L'érosion peut se manifester par la solifluxion, c'est un ensemble de mouvements de masse allant de petits arrachements pelliculaires aux grands glissements rationnels profonds déplaçant des quantités considérables de matériaux. Ces mouvements sont liés à la perte de cohésions entre les particules du sol ou du substratum lorsqu'il est riche en argiles. En revanche les glissements se manifestent lorsque le sol devient plastique ou liquide est on assiste soit a un glissement superficiel ou rotationnel.

a. Glissements superficiels ou pelliculaires

Il s'agit d'un mouvement lent d'une pellicule superficielle du versant qui se produit lorsque la limite de plasticité des minéraux constituant le manteau d'altération est franchie. L'eau s'infiltré dans les marnes altérées et atteint le substrat plus imperméable. Un plan lubrifié se forme.

~~La pellicule, d'une épaisseur moyenne de quelques décimètres, se désolidarise~~
Projet de fin d'études/FST Fès 2010- 2011 93 BADAOUI Ouidiane

du reste du versant et glisse sous l'effet de la gravité dans le sens de la pente.



Figure 49: Glissement au niveau de la route de khlalfa.

b. Glissements rotationnels.

Le mouvement de masse dans ce cas est plus spectaculaire. Il affecte des quantités considérables de matériaux, plusieurs milliers de mètres cubes de matériaux glissent sur le versant. La masse glissée est structurée par des failles, des gradins et une loupe. L'eau, est l'agent principal dans le déclenchement des glissements rotationnels mais d'autres agents interviennent aussi tels que la pente, la tectonique et les actions humaines

III-4. Erosion par les cours d'eau

Elle résulte de la turbulence des eaux courantes lors des crues. L'érosion se manifeste par le sapement des berges ou l'ablation des fonds des chenaux. La capacité de transporter est fonction de l'énergie et la vitesse des cours d'eau ce qui implique qu'un chenal est en équilibre lorsque toute l'énergie est dépensée dans le transport des sédiments ce qui veut dire que si la charge en sédiments est faible, l'énergie disponible est utilisée pour l'érosion des berges.

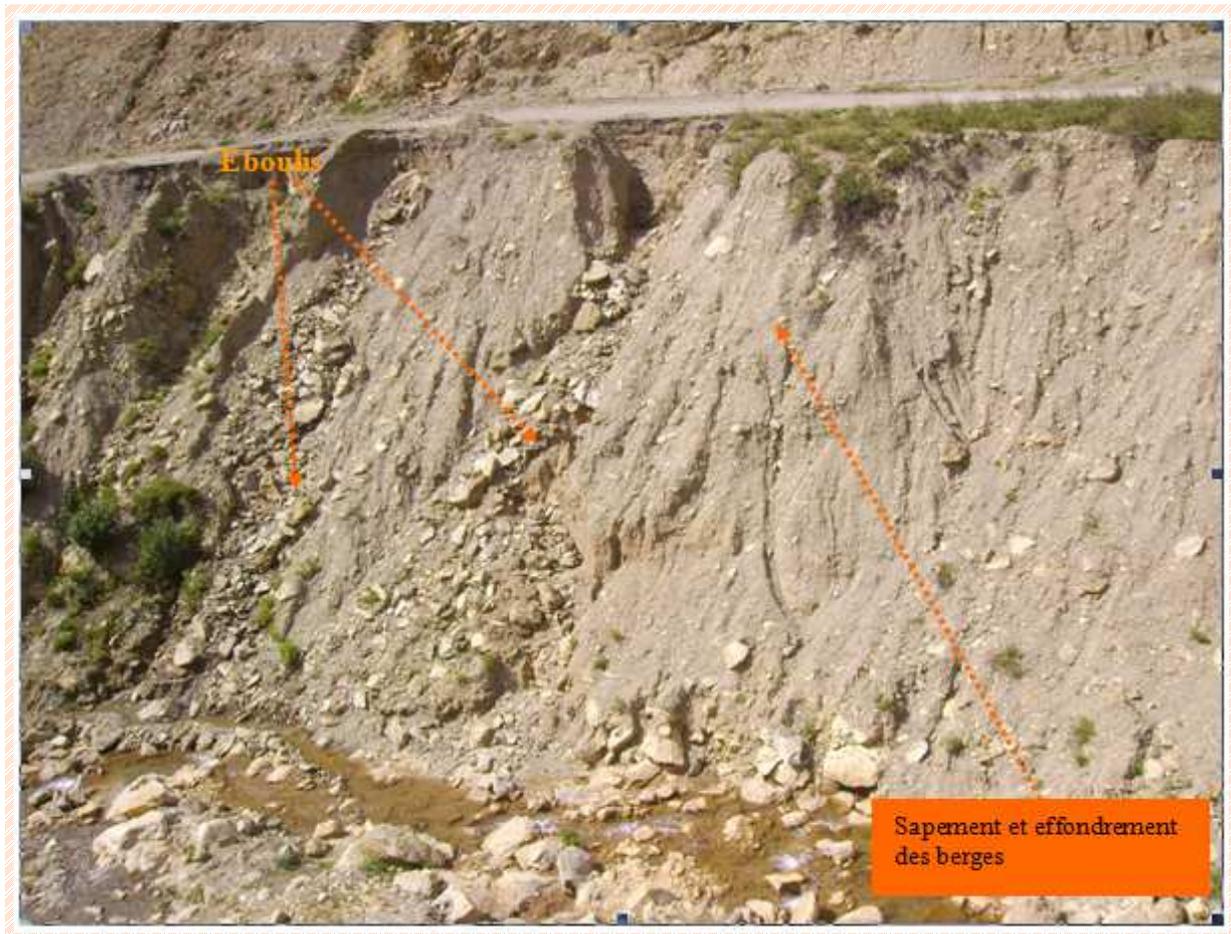


Figure 50: Erosion par le cours d'eau au niveau de khlalfa

III-5. Carte des formes de l'érosion

La carte des formes de l'érosion est réalisée sur la base de la carte du plan d'aménagement anti érosif du bassin versant de l'Oued Ouergha en amont du barrage Alwahda (1994),



Le tableau suivant résume l'analyse spatiale de la base de données de la carte des formes d'érosion avec, dans la première colonne, les abréviations descriptives des formes utilisées pour les directives du PAP/CAR.

forme d'érosion	Code	Surface en Km ²	% da la superficie
Lent décapage, Ruissellement diffus ou érosion en nappe	L2	422,66	76,25
Ravins moyennement profonds	C3	50,50	9,11
pas d'érosion visible sur un site protégé par un couvert végétale assez dense	O5	47,07	8,49
Zone à Bad-lands, ravinement généralisé	CX	25,28	4,56
Rigoles et Ravinement Superficiels sur Versant	D2	6,07	1,10
Solifluxion	M1	1,77	0,32
Ravins profonds avec tassement des bordures	C4	0,91	0,16
Important sapement de berge localise	MX	0,07	0,01
Totale		554,33	100,00

Tableau 21: superficies relatives des formes d'érosion

À partir de ce tableau on a réalisé l'histogramme des fréquences des formes d'érosion en fonction des superficies relatives qui montre que le Ruissellement diffus ou l'érosion en nappe représente 422,66 Km² (76,25% de la superficie totale du bassin versant). Les ravins moyennement profonds occupe la seconde place avec 50,5 Km², pour les Rigoles, les Ravinement Superficiels et les badlands ne dépassent pas 25,28 Km², le reste sont des formes très localisée et ne dépassent pas 1,77 Km²

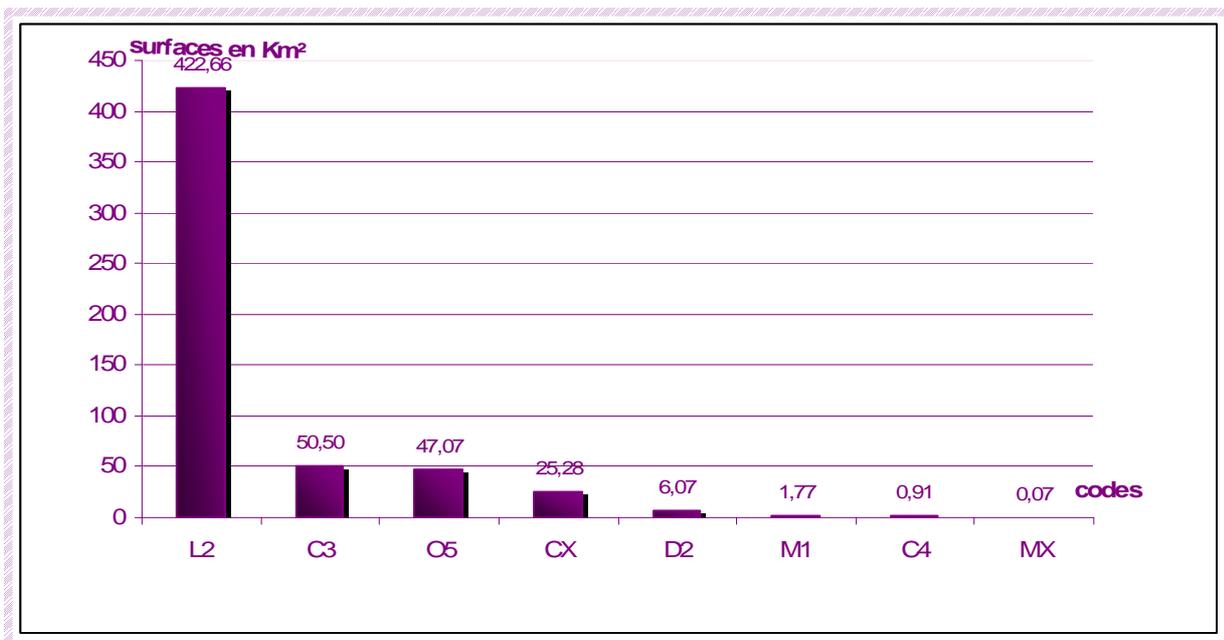


Figure 51: Histogramme de fréquence des formes d'érosion en fonction des superficies relatives



La répartition de ces formes dans le bassin versant de l'Oued Sra montre que la forme la plus représentée dans tout le bassin est les Ruissellement diffus ou l'érosion en nappe, cela est expliqué par la forte pente et a friabilité des sols au niveau de ce secteur. Les Ravins moyennement profonds sont aussi présents dans tout le bassin et surtout localisés dans la partie intermédiaire Au niveau du Jbel Mounsaboun on assiste à une protection par un couvert végétale assez dense, dans la partie aval les formes les plus représentées sont les Bad-lands, les rigoles et les ravinements, cela est expliqué par la vulnérabilité du terrain et les pratiques humains qui multiplie cette dernière

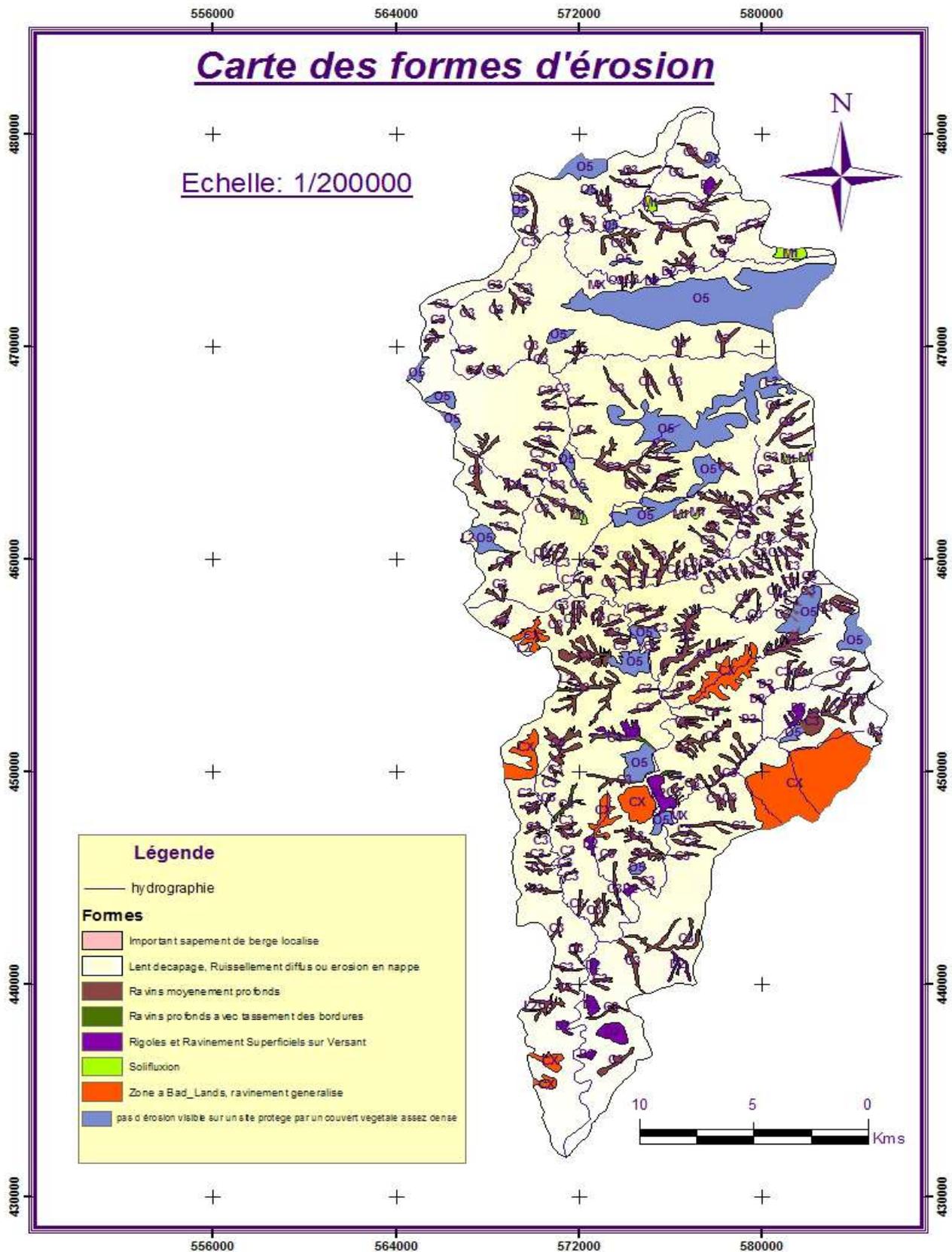




Figure 52: Carte des formes de l'érosion

Chapitre IV : Approche intégration

Cette phase est le produit de deux étapes précédentes. Il s'agit de compléter les résultats obtenus lors de la phase prédictive par les données descriptives des processus d'érosion cartographiées et réalisées au cours de la deuxième phase. La combinaison de deux résultats nous fournit un produit cartographique très précis qui reflète la réalité de l'état de dégradation du sol et l'évolution future de l'érosion.

Elle aboutit au produit cartographique final identifiant et évaluant, à la fois l'érosion potentielle (Statut érosif) et l'érosion actuelle sous ses différentes formes, intensités et tendances évolutives.

IV-1. Réalisation de la carte consolidé d'érosion PAP/CAR

C'est une carte qualitative, qui combine les données des approches descriptives et prédictives et contient des informations complètes sur les différents aspects des phénomènes d'érosion.

La carte a été réalisée par la superposition des cartes des états érosifs obtenues par la cartographie thématique et la carte des formes d'érosion obtenue par cartographie directe des formes d'érosion sur le terrain ou par les images satellites.

La carte des états érosifs a été utilisée comme canevas cartographique de référence. La superposition a permis de fournir une grille d'unités homogènes pouvant être affectées par une grande variété de processus d'érosion.

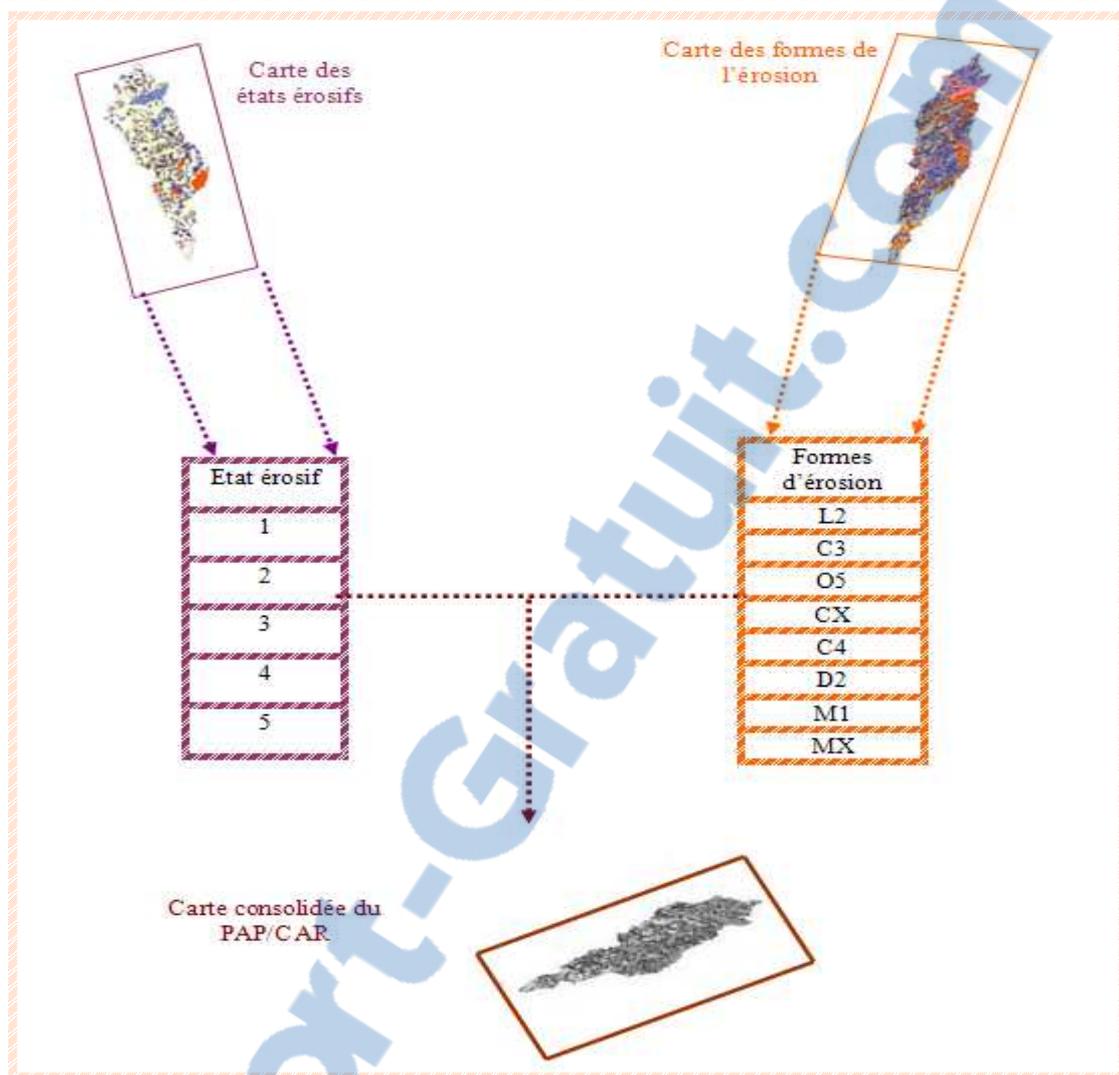


Figure 53: réalisation de la carte consolidée PAP/CAR

La carte consolidée PAP/CAR montre que :

Les ravins moyennement profonds coïncident avec des zones où le degré d'état érosif est faible à moyen, la présence de ces formes peut être liée à la pente forte et l'agressivité des pluies

Pas d'érosion visible sur un site protégé par un couvert végétale assez dense coïncide avec des zones où le degré d'érodibilité est faible et le degré de protection est élevé, Cela est expliqué par la présence d'une densité forte de couverture végétale.



Dans la partie médiane en remarque la présence de toutes les formes : les rigoles et ravinements, situé surtout sur les versants. Les Bad-lands et le décapage caractérisent cette partie. A ce niveau les activités humaines et l'agressivité climatique liée à un substrat de faible résistance mécanique peuvent être à l'origine de cette situation.

La partie avale est marquée par la présence de l'érosion en nappe localisé là où la pente est faible.

Les bad-lands sont liées surtout à des terrains de forte pente et une densité de couverture faible. En ce qui concerne le degré d'état érosif, la partie avale montre un degré fort à extrême. La liaison des états prédictives et descriptive témoigne que cette zone est très vulnérable à l'érosion

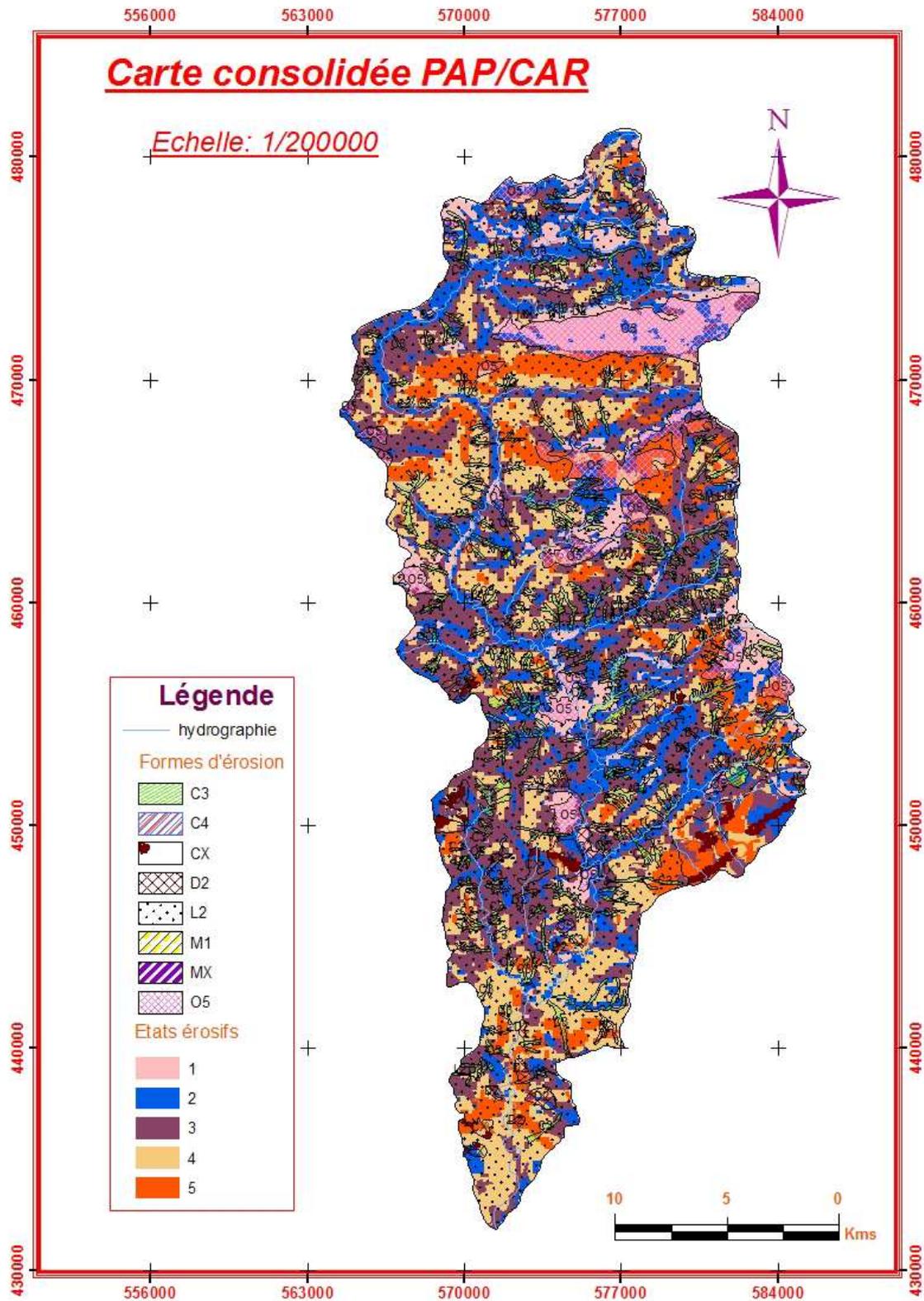


Figure 54: carte consolidée PAP/CAR du bassin versant de l'Oued Sra



Conclusion Générale

La zone d'étude est un lieu où l'on peut observer toutes les formes d'érosion hydrique : formes liées aux ravinements, aux mouvements de terrains, tels que la solifluxion superficielle ou profonde, écoulement boueux, glissement, érosion fluviale ou torrentielle.

Cette région rassemble toutes les conditions favorables au développement de ce type d'érosion : précipitations agressives, roches tendres, pentes fortes, sauvant défrichées ou surpâturées

La cartographie et mesures de l'érosion grâce à la méthode consolidée PAP/CAR basée sur les facteurs naturels uniquement (pente, couvert végétal et lithologie) permet d'analyser et de comprendre la problématique du bassin versant de l'oued Sra sur le plan risque érosif, usage des terres et l'interaction des facteurs naturels et humains.

Les cartes de la phase prédictive fournissent des informations sur l'état actuel de la dégradation des sols. La carte fait ressortir trois états, 28,5% des terrains présentent une faible à très faible prédisposition à l'érosion hydrique, 35,5% de la surface du terrain d'étude a une érosion potentielle moyenne, le reste soit 35,7% de la surface est très érodable.

La carte de la phase descriptive montre que 76,25% de la superficie totale du bassin versant est représentée par le Ruissellement diffus et l'érosion en nappe, le reste soit 24,75% de la surface est reparti entre les autres formes d'érosion (Zone à Bad-lands, Ravins moyennement profonds, Solifluxion...)

La superposition de la cartographie prédictive et descriptive a permis de montrer les tendances globales de l'évolution superficielle des sols du bassin versant ainsi on a pu faire sortir la coïncidence de certains états très dégradés avec des formes d'érosion spectaculaires et d'autres états plus stables avec des formes d'érosion mineurs ou carrément des zones stables.

Elle montre aussi les tendances aggravantes pour certaines zones ou des tendances de régression de la dégradation pour d'autre.



BIBLIOGRAPHIE



Abdelghani gartet, 1994 : *Morphogénèse et hydrologie dans le bassin versant de l'Oued Lebene (Rif Méridional et pré-rif central et oriental, Maroc)*



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



FAO. (1981). *Arid zone hydrology for agricultural development* FAO Irrigation & Drainage. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations



ICONA. (1982). *Paisajes erosivos en el Sureste Espanol. Instituto Nacional para la Conservacion de la Naturaleza. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion.*



Jawad gartet : *contribution de la connaissance de la dynamique fluviale à pléistocène supérieur et à l'holocène dans la vallée de l'Ouerga*



Haytam Mesrar, 2010 : *Application des directives du PAP/CAR et des outils SIG pour l'évaluation de l'érosion hydrique et la définition des facteurs causaux dans la partie aval du bassin versant de l'Oued Amzaz*



Mohammed Haraj TOUZANI, 1993 : *l'érosion, hydrique dans le pré-rif et sa bordure Rifaine*



R. Bou kheir, et al : *érosion hydrique des sols dans les milieux méditerranées : une revue bibliographique*



directives pour la gestion de programmes de contrôle d'érosion et de désertification plus particulièrement destinées aux zones côtières méditerranéennes



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



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