



**UNIVERSITÉ MOHAMMED V- AGDAL
FACULTÉ DES LETTRES ET DES SCIENCES HUMAINES**

Département de Géographie

CED : L'HOMME ET L'ESPACE DANS LE MONDE MEDITERRANEEN

Formation : Gestion de l'Environnement et Développement Durable

THESE DE DOCTORAT DE GEOGRAPHIE

**La dynamique du bassin versant de Rdat
Entre la fragilité naturelle et l'action anthropique**

Sous la direction des professeurs : Miloud CHAKER et Mohamed SABIR

Présentée par Amal KHAFAOUI

Devant les membres du JURY

Miloud CHAKER

Mohamed SABIR

Driss CHAHOU

Mohammed ADERGHAL

Rachida NAFAA

Asmae NOUIRA

Nadia MACHOURI

2018 - 2019

Liste des Tableaux

Tableau 1: Les principales caractéristiques morphométriques du bassin versant.....	10
Tableau 2: Méthodes complémentaires à l'utilisation de la télédétection pour les évaluations et le suivi de la dégradation des terres (Sur la base des travaux de LADA)	21
Tableau 3: Imagerie utilisées	27
Tableau 4: Composantes de l'équation universelle révisée des pertes en sol (RUSLE)	29
Tableau 5: Pluviométrie moyenne annuelle dans les stations du Rdat et stations adjacentes sur la période (1982 – 2012)	30
Tableau 6: Les classes établis pour le facteur C.....	35
Tableau 7: Répartition des surfaces des zones stables et instables dans le bassin versant du Rdat	36
Tableau 8: Masses des échantillons avant et après étuve	46
Tableau 9: Forces et faiblesses des méthodes utilisées	53
Tableau 10: Matrice des changements intervenus entre 1984 et 2003 dans le bassin versant Rdat	75
Tableau 11: Matrice des changements intervenus entre 2003 et 2015 dans le bassin versant Rdat	75
Tableau 12: Dynamique du changement entre 1984 et 2015.....	76
Tableau 13: Changement des occupations de terre en pourcentage	76
Tableau 14: Estimation des taux d'érosion spécifique dans le bassin versant du Rdat.....	78
Tableau 15: Activité du Cs-137 dans les sites étudiés et modèles utilisés	84
Tableau 16: Caractéristiques des sites d'évaluation	90
Tableau 17: Type d'érosion et pratique de contrôle par site d'évaluation	91
Tableau 18: Coefficient de ruissellement CR en %	92
Tableau 19: Valeurs moyennes des propriétés hydrologiques et physico-chimiques étudiées ainsi que leur écart-type pour les sites de Zrekten	93
Tableau 20: Paramètres de Densité apparente, de porosité et d'humidité selon la profondeur du sol.....	96
Tableau 21: Texture du sol des sites étudiés	97
Tableau 22: Etats de surface des sols ainsi que leur écart-type pour les sites d'évaluation	99
Tableau 23: Moyenne des paramètres physico-chimiques des échantillons de sols prélevés	101
Tableau 24: Données climatiques sur les stations d'Ait Ourir, Marrakech et Toufliht	113
Tableau 25: Données climatiques sur la station de Sidi Rahal	113
Tableau 26: Superficie et pourcentage des station de Sidi Rahal	119
Tableau 27: Statut juridique des terres Source : RGA, 1996 pour les communes Zrekten, Touama et Tzart. Et ORMVA, 2016 pour la commune de Sidi Rahal.....	137
Tableau 28: Taux d'accès à l'eau potable (DPE Al Haouz, Décembre 2009).....	139
Tableau 29: RGA, 1996 pour les communes Zrekten, Touama et Tzart. Et ORMVA, 2016 pour la commune de Sidi Rahal	142
Tableau 30: Les UST de Tazliyda	148

Liste des Figures

Figure 1: Carte de situation du bassin versant du Rdat.....	6
Figure 2: Carte de situation de la zone d'étude sur les quatre communes rurales du Haut Atlas Occidental	9
Figure 3: Schéma de classification et d'élaboration des ROIs.....	26
Figure 4: Carte de la répartition des stations sélectionnées pour le calcul du coefficient d'érosivité pluviométrique R	31
Figure 5: Carte de la répartition des sols principaux au bassin versant Rdat, ABHT.	32
Figure 6: Carte du facteur LS.....	34
Figure 7: Carte des sites de sondage.....	37
Figure 8: Carte des sites homogènes avec les occupations de terres sur pente entre 0 et 20%	38
Figure 9: Caractéristiques des transects et des sites d'évaluation	49
Figure 10: Occupation des terres dans les différents sites de prélèvement	52
Figure 11: Carte de l'occupation des terres du bassin versant Rdat en 1984.....	62
Figure 12: Carte de l'occupation des terres du bassin versant Rdat en 2003.....	63
Figure 13: Carte de l'occupation des terres du bassin versant Rdat en 2015.....	64
Figure 14: Pourcentage de changement dans les classes d'occupation des terres en 1984	65
Figure 15: Pourcentage de changement dans les classes d'occupation des terres en 2003	65
Figure 16: Pourcentage de changement dans les classes d'occupation des terres en 2015	65
Figure 17: Graphique du changement en pourcentage dans le bassin versant du Rdat, sur une période 1984 – 2015.....	66
Figure 18: Carte de changement survenu au bassin versant de Rdat sur la durée de 31 ans (1984 – 2015).....	66
Figure 19: Carte de répartition des zones stables et instables dans le bassin versant de Rdat en 2015	71
Figure 20: Carte de répartition des zones stables et instables dans le bassin versant de Rdat en 2003	72
Figure 21: Carte de répartition des zones stables et instables dans le bassin versant de Rdat en 1984	73
Figure 22: Pourcentage des zones instables en 1984	74
Figure 23: Pourcentage des zones instables en 2003	74
Figure 24: Pourcentage des zones instables en 2015	74
Figure 25: Redistribution du 137Cs en profondeur du sol dans le site de référence.....	81
Figure 26: Courbe et équation de distribution du 137Cs en profondeur du sol dans le site de référence.....	82
Figure 27: Moyenne d'accumulation et d'érosion annuelle au transect n°2 (fig.9)	86
Figure 28: Moyenne d'accumulation et d'érosion annuelle au transect n°1(fig. 9)	87
Figure 29: Schéma du transect de Tijjedant, commune rurale de Zrekten	90
Figure 30: Variation de l'infiltration en fonction du temps pour les différentes occupations de terre, à la commune de Zrekten.....	92
Figure 31: Carte géologique simplifiée du bassin versant Rdat	108
Figure 32: Carte des principales formations lithologiques dans le bassin versant de Rdat.....	109
Figure 33: Carte des principales roches mères dans le bassin versant de Rdat	110
Figure 34: Représentation du climat pour les stations du BV de Rdat (période d'observation 1982 – 2012), données : climate-data	112
Figure 35: Situation des stations Sidi Rahal, Toufliht, Marrakech et Ait Ourir sur le Climagramme d'Emberger	114
Figure 36: Carte des expositions au bassin versant du Rdat	116
Figure 37: Variation pluviométrique annuelle à la Station Sidi Rahal (1967 – 2015)	118
Figure 38: Mise en évidence des tendances pluviométriques dans la station de Sidi Rahal (1967 – 2013)	118
Figure 39: Polygones de Thiessen et calcul de la moyenne pondérée	119
Figure 40: Variation des précipitations du bassin versant de Rdat (1967 – 2013)	120

Figure 41: Visualisation des tendances pluviométriques selon une moyenne mobile d'ordre 5 du bassin versant (1967 – 2013)	120
Figure 42: Variation des précipitations et des lames d'eau ruisselées dans le bassin versant de Rdat	121
Figure 43: Variation des précipitations et des lames d'eau ruisselées dans le bassin versant de Rdat	122
Figure 44: Distribution des lames d'eau ruisselées en fonction de la pluviométrie annuelle 1967 – 2010	122
Figure 45: Le coefficient de ruissellement en fonction des années (1967 – 2010)	123
Figure 46: Corrélation entre le coefficient de ruissellement Kr et des précipitations dans le bassin versant Rdat	123
Figure 47: Corrélation entre le coefficient de ruissellement Kr et des précipitations dans le bassin versant Rdat	124
Figure 48: Population légale par commune	133
Figure 49: Evolution des effectifs	134
Figure 50: Comparaison entre 1994 et 2014 par commune.....	134
Figure 51: Répartition selon le groupe d'âge Source : RGPH, 2014	135
Figure 52: Population municipale par sexe Source : RGPH, 2014.....	135
Figure 53: Niveau d'études Source : RGPH, 2014.....	136
Figure 54: Taux d'analphabétisme Source : RGPH, 2014	136
Figure 55: Comparaison de SAU entre les 3 communes de montagne. Source : RGPH, 2014	138
Figure 56: Répartition des terrains bour et irrigués sur la SAU	139
Figure 57: Carte de situation du micro bassin de Tazliyda	145
Figure 58: Carte des unités socio-territoriales (UST) dans le micro bassin de Tazliyda	146
Figure 59: Carte des UST avec les noms de douars recensés.....	149

Liste des photos

Photos groupés n° 1: Ateliers participatifs et enquêtes avec la population locale.....	22
Photo 2 : Dispositif utilisé pour la simulation de pluie.....	41
Photo 3 : Matériel de prélèvement des échantillons du sol.....	45
Photos groupées n° 4 : Indices de dégradation de la forêt sur le terrain, commune de Zrekten.....	55
Photos groupées n°5 : Indices d'utilisation du bois de forêt par l'homme, commune de Zrekten.....	58
Photos groupées n°6 : Principales occupation des terres observées dans le bassin versant du Rdat.....	59
Photos groupés n°7 : Les principales formes d'érosion dans le bassin versant Rdat.....	65
Photo 8 : Une partie de transect montrant la forêt dense, le parcours pâturé et la forêt dégradée.....	82
Photo 9: Observation de la croute de battance dans la zone d'étude.....	100
Photo 10 : Accentuation de l'érosion à l'aval.....	104
Photo 11: Influence du substrat sur la stabilité des versants.....	109
Photo 12 : Restes du château du Glaoui, commune de Zrekten.....	125
Photos groupées n° 13 : Aménagement et abandon des terres par la population locale à Zrekten.....	125
Photo 14 : Fixation des versants par le Cactus dans la vallée de Tazliyda.....	155
Photo 15: Cordons en pierres sèches dans la commune de Zrekten.....	156
Photo 16 : Aménagement anti-érosif pour correction torrentielle.....	156
Photo 17 : Reboisement par le pin d'Alep dans la commune de Zrekten.....	157

Introduction générale

Les problèmes environnementaux et le problème de la sécurité alimentaire mondiale sont parmi des défis les plus importants de notre époque, en raison de leur forte association avec les problèmes économiques et sociaux. Il est impossible de parler de développement économique ou social sans prendre en compte l'aspect environnemental. Par conséquent, les problèmes environnementaux sont d'un grand intérêt pour la communauté internationale, les chercheurs de diverses disciplines scientifiques ainsi que les organisations internationales, qui soutiennent les projets contribuant au maintien de l'équilibre environnemental.

L'enjeu actuel étant de limiter l'aggravation des risques naturels et de réduire les déséquilibres environnementaux afin de rétablir l'équilibre et assurer une vie décente pour les populations. Le Maroc n'est pas à l'écart de ce problème, les mutations socio-économiques qu'il a connu dans la dernière décennie montrent sa grande évolution qui peut contraindre son équilibre environnemental. Les fluctuations écologiques, sociétales et économiques impactent les cas de dégradation des terres. D'une région à une autre, la gravité et la forme de dégradation prend une ampleur différente, selon les conditions locales. Il est donc important de travailler sur une unité géographique pour mieux cerner sa dynamique.

Le cas étudié dans ce document est un bassin versant du Haut Atlas Occidental, un milieu naturel montagnard qui subit des contraintes et des enjeux multiples liés au développement économique et social. Il présente un laboratoire important pour l'étude des changements du monde rural, dans sa relation étroite avec le monde extérieur, à savoir les centres urbains au niveau national et international. Bien comprendre ces sites montagneux, leurs propriétés, leurs potentialités et les menaces qui les entourent, permet de mieux prévoir leur évolution, et de participer positivement à leur régulation. A titre d'exemple la quantité érodée annuellement des bassins versants montagnards dépasse 77 millions de tonnes, l'équivalent de 77% des quantités de sols perdues au niveau national. (Boujrouf S., 2011), ce qui n'est pas sans conséquence sur l'évolution du milieu naturel. D'autant plus que le contexte actuel est caractérisé par l'agressivité des événements ponctuels, souvent catastrophiques, qui impactent de façon directe le milieu naturel et les localités, sujettes à une forme de pression démographique, à une sécheresse chronique et à un déboisement grave et continu (Boujrouf S., 2011).

La dégradation des terres qui en résulte témoigne d'une fragilité naturelle et remet en cause les pratiques, et les stratégies de prévention et de lutte contre ce problème.

Cette dernière, étant d'abord une pratique des sociétés paysannes ayant développé des techniques et mis en place des règles de gestion des ressources naturelles, est devenue depuis les premières décennies du 20ème siècle, une prérogative de l'Etat. Malgré la réussite de certaines interventions, concrétisées sur le terrain par des ouvrages de protection, les efforts consentis durant plusieurs décennies n'ont pas abouti à maîtriser le phénomène de la dégradation des terres au Maroc. Au lieu de régresser celui-ci prend de plus en plus d'ampleur ; et devenu encore plus actif sous l'effet des changements climatiques et de la pression anthropique. Les résultats mitigés des actions publiques trouvent une explication, moins dans le type de techniques proposées, que dans leur inadaptation aux différents contextes socio-environnementaux et aux procédés adoptés pour les faire accepter par les différentes communautés paysannes (Chaker M. et Al, 2013).

Ainsi il est important de renforcer les efforts par la recherche scientifique, afin de faire un diagnostic prenant compte des facteurs naturels en relation avec le contexte socio-économique des populations, non pas de façon sectorielle mais transversale afin de comprendre les mécanismes de dégradation et adapter les solutions à un contexte spécifique. C'est bien l'originalité de ce travail qui combine plusieurs disciplines scientifique dans une approche systémique et multidisciplinaire afin de savoir l'apport de l'assiette physique, et de l'action anthropique dans la dégradation.

Les objectifs de cette étude peuvent être résumés comme suit ; reconstituer l'évolution du bassin versant Rdat, et identifier les principaux facteurs de changement afin de mieux adapter les efforts de gestions. Tout cela en utilisant les technologies et outils adapté à cette problématique et voir leur efficience par rapport à l'étude.

PARTIE 1 : ASPECTS DE DEGRADATION ET DE CONSERVATION

Chapitre 1. Introduction

Dans ce travail de recherche, la dynamique du bassin versant du Rdat est étudiée dans un contexte d'écosystème, dépendamment des autres dynamiques parallèles, en prenant compte les caractéristiques physiques et anthropiques. Ainsi les phénomènes naturels ne sont pas isolés mais mis en relation avec d'autres composantes du milieu, qui peuvent être explicatives des changements observés.

Ainsi les phénomènes naturels observés sont traités en tant que composantes qui peuvent être explicatives des changements observés. Notamment, le phénomène hydrologique, qui joue un rôle important dans les dynamiques de transfert amont-aval et rive gauche-rive droite, est traité dans sa relation avec l'érosion, en tenant compte de la lithologie et des états de surface, ainsi l'Oued Rdat n'est pas isolé pour servir d'étude à aspect purement technique, mais il est étudié comme une composante dans un système en évolution, avec d'autres composantes du milieu telle que la végétation, les occupations des terres, la variabilité climatique et le facteur anthropique, etc. L'étude du problème de la dégradation du milieu naturel dans le cas du bassin versant atlasique du Rdat est contribuable à la compréhension du processus dans un contexte semi-aride, représentable du Haut Atlas Occidental, où l'érosion hydrique est considérée comme la principale cause de dégradation des terres.

Cette étude est d'autant plus complète si elle représente les interactions possibles de ce milieu avec les périphéries. Pour cela les bassins versants permettent de cadrer la dynamique du monde rural et de mieux cerner leurs particularités qui peuvent favoriser leur vulnérabilité. Les bassins versants sont le siège d'une grande dynamique spatiale et peuvent illustrer les phénomènes de changement.

C'est dans cette optique que s'inscrit le présent travail de recherche, et qui s'est fixé comme objectif ; de donner une synthèse sur la dynamique naturelle et anthropique du bassin versant du Rdat, en mettant l'accent sur les changements observés, ainsi que de proposer des outils d'aide à la décision dans ces milieux montagnards, éloges d'un grand patrimoine naturel et culturel, qui peuvent servir de niche d'expérience pour l'aménagement intégré, et le développement durable.

Le travail réalisé et les résultats obtenus sont présentés en plusieurs chapitres coordonnés de sorte à présenter les aspects de dégradation et de changement dans le bassin versant de Rdat d'une part, et d'expliquer ce changement d'autre part à travers des variables explicatives reliées à l'assiette physique, et au facteur humain.

La question de l'échelle s'impose, d'autant plus qu'on cherche la précision dans l'étude des phénomènes observés. Dans ce travail nous avons travaillé à l'échelle du bassin versant, tout en zoomant, selon le besoin, sur le versant et la parcelle, pour assurer la précision, et faire ressortir des aspects de dégradation spécifiques.

Travailler sur plusieurs échelles nous a permis de mieux comprendre le phénomène de dégradation et de voir toute ses interactions possibles. Afin de mieux s'adapter aux méthodes de géographe et aménagiste pour mieux cerner la relation amont-aval sur le transfert de matière. Il est donc important de prendre en considération cette perspective de changement d'échelle qui permet d'affiner la recherche, et ressortir les facteurs responsable de la dégradation des terres.

Les échelles qui ont été entreprises dans cette études sont comme suit ;

- L'échelle du bassin versant,
- L'échelle d'un micro bassin versant pour servir d'étude socio-économique
- L'échelle d'un versant ou d'un ensemble de versants (transect)
- L'échelle d'une parcelle pour les mesures spécifiques.

Dans cette introduction nous allons présenter la zone d'étude de façon brève afin de pouvoir la situer géographiquement et avoir un aperçu sur ses aspects les plus marquants, plus de détail sur la zone va être exposé dans les chapitres à venir, de façon évolutive selon le raisonnement analytique des composantes étudiées.

1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du Rdat est un affluent du grand bassin versant du Tensift (figure 1). Il appartient à la chaîne de montagne du Haut Atlas, dans une zone de transition entre le Haut Atlas occidental (HAO) et le Haut Atlas central (HAC). Administrativement il s'étale sur quatre communes notamment : Zrekten, Tazart, Touama et Sidi Rahal, des provinces Al Haouz et El Kelaâ des Sraghna, de la région de Marrakech – Safi. Sa superficie totale est de 541 km².

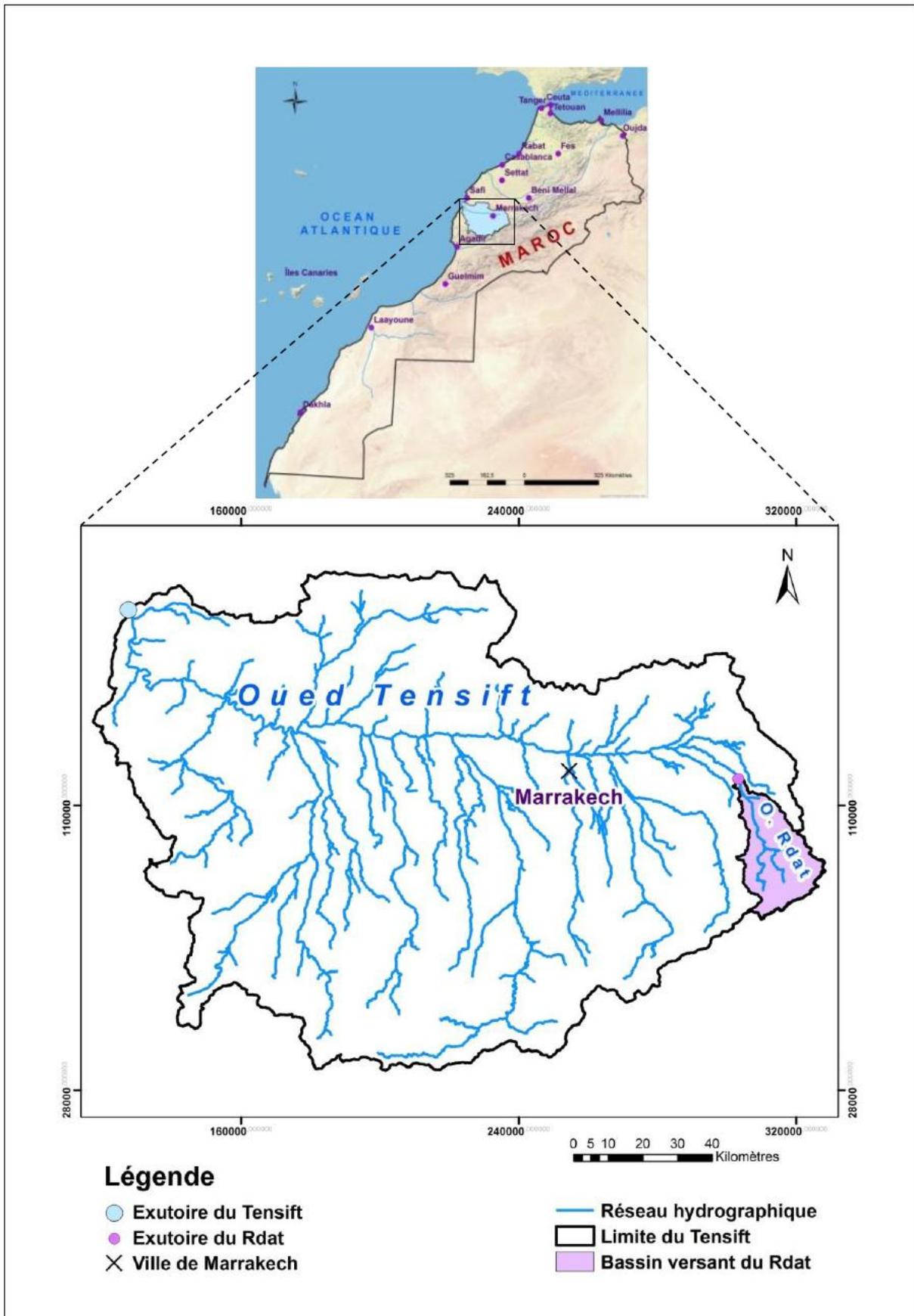


Figure 1: Carte de situation du bassin versant du Rdat

1.1. Situation géographique et administrative

Le bassin versant du Rdat occupe approximativement 10% du grand bassin versant de Tensift.. Il prend sa source dans l'amont de Tichka, qui appartient au versant Nord de la chaîne du Haut Atlas Occidental, délimité au Sud par la zone axiale du Tizi'n'Tichka, au Nord-Est par le Jbel Azilf, au Nord-Ouest par le Jbel Boulemjad, à l'Est par le bassin versant du Tassaout, et à l'Ouest par le bassin versant du Zat.

Son exutoire est à Sidi Rahal, entre la latitude 31°17' et 31°40' Nord et entre la longitude 7°12' et 7°29' Ouest.

Administrativement le bassin versant du Rdat appartient au cercle d'Aït Ourir, (sauf pour la commune territoriale de Sidi Rahal qui appartient à la Kelaa Seraghna), et se partage entre les communes territoriales de Zerkten, Tazart et Touama, selon les pourcentages suivant ; Zrekten occupe 78% du bassin versant Rdat, il est donc la commune dominante, il est suivi de Tazart qui représente 28%, Touama à 17% et finalement Sidi Rahal à moins de 1%.

- **Zrekten**

Elle a été créée en 1959, par le Dahir qui régleme les communes territoriales au Maroc. Elle appartient ethniquement et géographiquement au territoire de Glaoua Nord, répartie en 67 douars et s'étalant sur une superficie de 422 km². En 1992, la région de Tazlida Mesfioua rejoint la commune.

Zrekten a un relief montagneux qui domine, avec des altitudes entre 1500 et 3500 couvert de neige en hiver, parmi ces montagnes ; Jbel Ouaghdid, Ourkouz, Ifrwan. Elle contient 180 sources d'eau et 78% de son espace est fait de forêt.

- **Tazart**

La commune de Tazart est créée en 1060, elle est parmi les plus anciennes communes du Haouz, son histoire remonte à plusieurs siècles.

Son nom signifie « figuier », en référence à la répartition abondante de cet arbre.

Elle est composée de 15 cercles et se rattachant administrativement à la région de Marrakech - Safi, Kiada de Abadou.

Elle comporte 58 douars sur une superficie de 249 km². Son relief dominant est la montagne à 75%, les plateaux à 15%, les plaines à 10%.

76% de ses sols sont argileux.

- **Touama**

Elle est parmi les premières communes créées par la première division administratives après l'indépendance, en 1960.

Elle appartient administrativement à la région de Marrakech Tensift El Haouz, la Caïda de Touama, cercle Ait Ourir, province El Haouz. Elle contient 31 douars.

En 1992, elle donne naissance à la commune de Tamkert, une ramification au sein d'elle. La tribu qui habite à Touama est ancienne, qui depuis quelques siècles a choisi de nommer leur commune en référence au Wali spirituel Sidi Ahmed Atoumi, dont le mausolée est au centre de Touama.

Elle occupe une superficie de 112km², et contient 147 douars.

Le relief de Touama est formé de 45% collines et 30% de montagnes.

- **Sidi Rahal**

Cette commune appartient à la province de Kelaa Seraghena, région de Marrakech – Safi. Elle a été créée en 1952 comme commune rurale avec une superficie de 4,25 km². Elle a été élargie en 1992 avec un groupe urbain. Depuis 2009, elle est considérée comme commune urbaine, en lui rattachant 7 douars de Zemrane. Elle s'étend sur un plateau d'une altitude variant entre 700 et 900m.

Les principales tribus qui y habitent sont « Semlaliyine » et « Zmamra ».

La gestion des ressources d'une part, et de l'environnement d'autre part peut être contrainte par des problèmes d'exploitation irrationnelle et non concertée par les habitants des communes, parfois au sein de la même commune par les usagers. La dynamique humaine des communes est détaillée dans le chapitre 6, qui traite plusieurs aspects en but d'expliquer la dynamique humaine dans le bassin versant du Rdat.

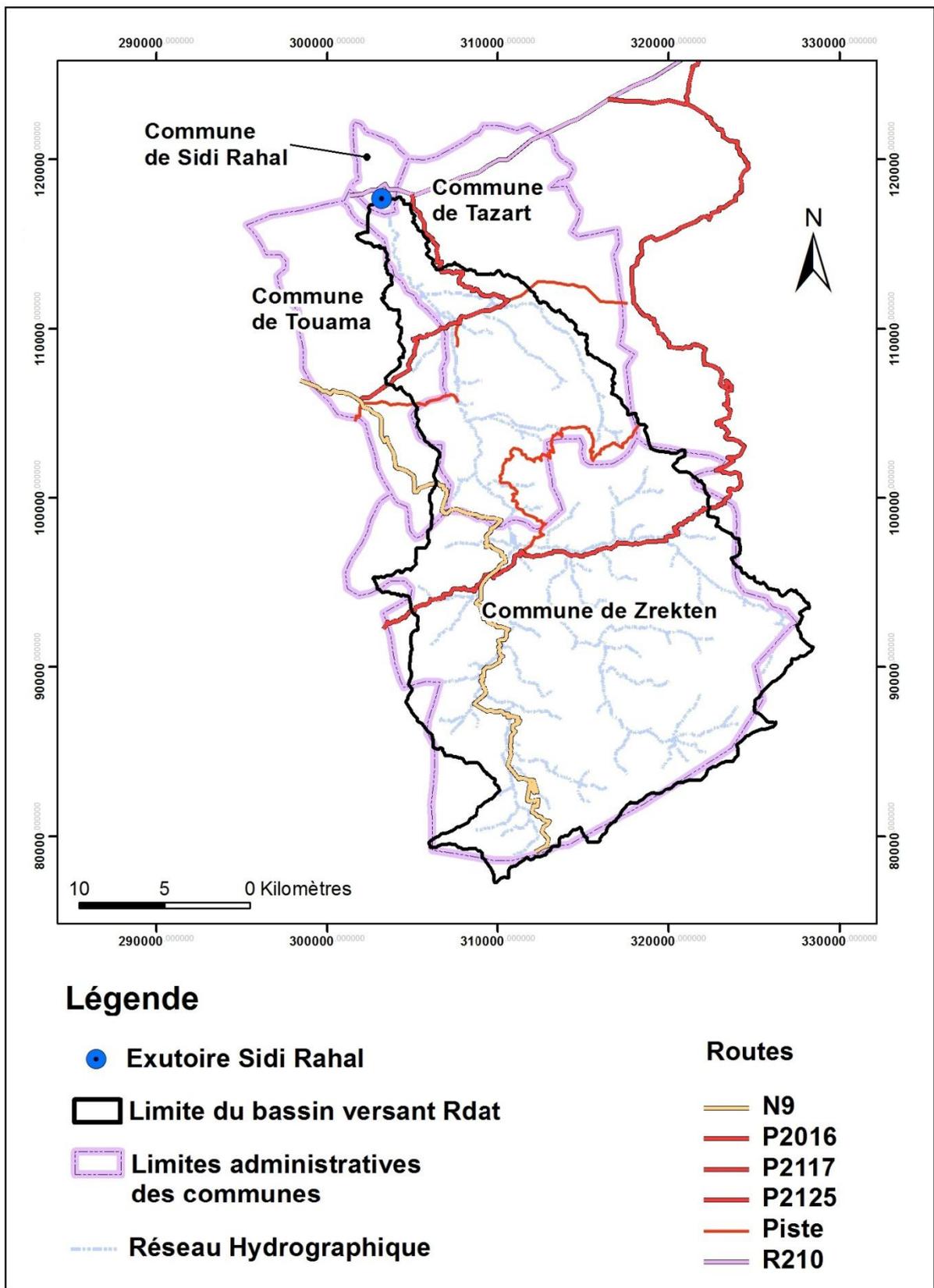


Figure 2: Carte de situation de la zone d'étude sur les quatre communes rurales du Haut Atlas Occidental

1.2. Topographie et géomorphologie

La pente moyenne dans le bassin versant du Rdat est de 4,5%. Les altitudes varient de 600 m à l'exutoire (Sidi Rahal) jusqu'à 3600m en Montagne. Sa superficie est de 541km², drainée par un réseau hydrographique ramifié de densité 2,5 km/km². Les substrats sont variés ; le Permotrias domine à la moyenne montagne avec d'autres formations continentales ou lagunaires rouges, suivies des Schistes à l'amont et du calcaire par endroit. Il est constitué de 30% de terrains imperméables, 56% semi perméables et 14% perméables (Pascon, P. 1977), ce qui favorise l'écoulement superficiel à l'amont du bassin versant, qui présente les aspects d'une tendance au ruissellement.

Le relief montagneux occupe 40% alors que le piémont 88%

- L'altitude maximale atteint 3500 m correspondant au sommet du bassin versant.
- L'altitude minimale de 800 m correspondant à l'exutoire.
- L'altitude moyenne correspond à une surface cumulée de 50% est de 1700m.

Tableau 1: Les principales caractéristiques morphométriques du bassin versant

Surface (A)	Périmètre (P)	Indice de compacité (Kc)	Temps de concentration (Tc)	Pente moyenne
A= 541 km ²	P = 142 km	Kc = 1.71	Tc= 7,76 (h)	45 m/km

Le bassin versant de Rdat est constitué de deux unités majeures de relief, bien individualisées et en contraste apparent, le découpage longitudinal nous amène à distinguer ;

- La zone axiale (zone hercynienne); correspondant à la haute montagne. Elle est caractérisée par son altitude, qui peut atteindre 3859m (Jbel Tifnout-Tidil et Adrar n'Dren). Elle repose sur un noyau de granite, enveloppé à ses extrémités par le cambrien éruptif et sédimentaire, se montrant sous une forme anticlinale (Neltner 1938, E.Roch, 1950, L. Gentil, 1917).

- La zone subatlantique septentrionale (zone post-hercynienne); correspondant à la zone entre le dir et la plaine. Elle est formée essentiellement de plateaux de terrains mésozoïques (Trias, Crétacé) et de tertiaire (Eocène, Oligo-Miocène). (L.Moret, 1931).

Dans le bassin versant de Rdat, deux ensembles contrastés s'opposent dans un contraste évident. Boulli, A. 1994 les décrits comme suit ;

- **L'ensemble grés-argileux**

À l'aval du bassin versant Rdat, au niveau du Jbel Tastwit et le plateau de Guedrouz, la pente représente le premier facteur qui gère la répartition des matériaux résultant de l'altération de la roche mère.

- **L'ensemble shisto-gréseux grisatre, grés-pélique**

Où les barres gréseuses ou quartzitiques ne se limitent pas uniquement aux sommets des massifs, mais elles affleurent également dans d'autres endroits. Les schistes sont partout fissurés et se débitent facilement.

1.3. Climat

Le bassin versant du Rdat est encadré par les bioclimats sub-humide froid et semi-aride supérieur à variante fraîche. La moyenne annuelle des précipitations est de 600mm/an. Avec des valeurs minimales et maximales qui sont observées respectivement au mois de Juillet et d'Avril. La tendance générale du bassin versant est la sécheresse. Il y'a de longues phases sèches inter-coupées par de courtes phases violentes de précipitations, qui donnent souvent naissance à des événements extrêmes, comme les crues génératrices et inondations, ainsi que des phénomènes d'érosion souvent spectaculaires sur un substrat friable.

1.4. Géologie et lithostructure

Le site s'étend sur une couverture post-hercynienne, formée essentiellement de plateaux de terrains mésozoïques (Trias, Crétacé) et de tertiaire (Eocène, Oligo-Miocène). (L.Moret, 1952). Il repose sur le socle hercynien, anciennement plissé et arasé. (E.Roch, 1950). Il est caractérisé par la dominance des formations rouges (grès et marnes) permo-triasiques.

Limité par la fine bande carbonifère, sous forme de dépression longitudinale (SW-NE), qui va séparer les Hauts plateaux permo-triasiques des Hauts plateaux crétacés subatlasiques.

Le substrat lithologique est très diversifié, Plusieurs types de grès sont observés ; grès à conglomérats, des grès schisteux, ainsi que des quartzites des granites.

La couverture permo-triasique comprend des conglomérats, des grès des marnes ou argiles parfois saline.

Les grès forment des bancs en général assez réguliers, tantôt minces, tantôt à épaisseur considérable. Ce sont ou bien des grès alluviaux bien stratifiés, ou bien des grès dunaires à stratification croisée.

Les argiles apparaissent tantôt en bancs très minces inter-stratifiés dans les grès, tantôt en masse épaisses, mal stratifiées et souvent salines, surtout au sommet de la série.

L'ensemble des formations rouges est couronné le plus souvent par des coulées de basaltes dolomitiques vert sombre, qui ont dû monter grâce aux cassures, ces basaltes sont situés entre le Permo-trias et le Crétacé et parfois même jusqu'au Lias.

Les conglomérats à la base de la série, dont le calibre ne dépasse pas celle d'un poing, rappellent les éboulis de pente, ils sont pris dans un ciment gréseux, rouge ou violet, presque toujours compact.

La diversité lithologique offre des milieux plus ou moins fragiles selon les faciès rocheux, les pentes les sols et les couverts végétal.

1.5. Sols

Boulli, A (1994), préfère l'appellation de « l'état superficiel des affleurements lithologiques » au lieu du terme « sol », pour la raison que dans de nombreux cas l'action biologique est absente et la roche mère se trouve dénudée des matières organiques et même des matières fines résultant normalement de l'altération de la roche mère.

Les sols sont superficiels et peu évolués, dégradés et souvent rocailleux, occupent des expositions variés. Ils se rencontrent généralement sur grès, calcaires et schistes. Ces sols sont beaucoup plus squelettiques et xériques sur les expositions Sud et les pentes fortes. Ce sont là des sols minéraux bruts (le cas des sols de Had Zrekten). L'argile est beaucoup plus importante dans les pentes douces et les expositions Nord et Nord-Ouest. Cette argile contribue à la mise en réserve de l'eau (argile en profondeur). La cuvette de Had Zrekten est couverte du point de vue pédologique par des sols marno-calcaires. (HCEFLCD, 1999)

2. Problématique

Le problème de la dégradation des terres est d'actualité au Maroc, notamment dans les zones de montagnes, qui subissent des pertes en terre importantes, la dégradation spécifique étant estimée de 500 t/km²/an au Moyen Atlas, à plus de 5000 t/km²/an au Rif (HCEFLCD). Ce qui dépasse le rythme de dégradation géologique normal, et qui pousse à creuser la question, d'autant plus que ces pertes en terre impactent directement la productivité des terres et par conséquent le rapport entre l'homme et la ressource forêt devient contraint. Sans parler de la

valeur économique de la productivité perdue et de la préservation des ressources naturelles surexploitées qui constituent des coûts supplémentaires, à l'mont et à l'aval. (PNABV, 1996).

Il est donc important d'entamer des études de diagnostic locales, même pour les bassins versants classés non prioritaires, pour ressortir les mécanismes d'accélération du changement, et d'inverser la tendance de la dégradation, et afin d'assurer la durabilité des ressources et la pérennité des populations locales. Cette étude a comme but d'aborder ce problème de dégradation des terres avec une approche systémique pour la première fois dans le bassin versant du Rdat.

Le bassin versant du Rdat, qui est notre cas d'étude, a connu des phases de dégradations importantes dans le passé. Plusieurs auteurs ont signalé ce problème dans le Haut Atlas Occidental (Dresch, 1938, G. Fay, 1986). Vers les années Cinquante, dans le bassin versant du Rdat et ses environs, le problème de sécheresse et de famine se faisait ressentir, poussant les populations locales à étendre les terrains agricoles au dépend des zones forestières. Ces actions n'ont pas été sans conséquences, puisque le défrichement a entraîné une dégradation des terres de l'ordre de 3 400 hectares de forêts chaque année, durant la période 1936-1978 (Fay, 1986 ; Dresch, 1979).

A cause de cette déforestation, la forêt peut être contrainte à jouer son rôle de résilience. Par conséquent les événements hydrologiques ont été dévastateurs et l'érosion a pris de l'ampleur. Nombreuses crues violentes ont été enregistrées dans la région du Haut Atlas occidental, notamment dans les bassins versants adjacents du Rdat, comme la crue meurtrière de l'Ourika en 1995. De même, à Rdat, selon le témoignage de la population locale, le problème de l'inondation par certains affluents de l'Oued devient fréquent. Le phénomène de l'érosion aussi, notamment les sapements de berges et le ravinement, qui ont pris de l'ampleur, menacent leurs exploitations agricoles et la vie des êtres vivants qui s'y abritent.

Les autorités et la population locale ont pris conscience de l'ampleur de ces problèmes sur la durabilité des ressources naturelles, et des actions d'aménagements ont été initiées à partir des années quatre-vingt-dix, pour réhabiliter ces milieux détériorés, après des années d'exploitation anarchique.

Les propositions d'aménagement des années 1999 sont issues d'un effort de synthèse et d'actualisation de ce qui a été conclu par certaines études préalables de la Direction régionale

du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (DPEFLCD), incité par la volonté nationale par le biais du plan directeur du reboisement lancé en 1994.

Notre étude, bien qu'elle retrace l'évolution du milieu naturel à partir des années cinquante, elle est ambitieuse de vouloir apporter des réponses à la dynamique actuelle de la dégradation des terres. Car bien que les formes d'érosions observées sur le terrain sont l'héritage des dynamiques du passé, il existe bien une autre dynamique d'érosion jeune, qui développe d'autres formes d'érosion, à savoir la dégradation des terrasses actuelles, qui nous laisse poser la question sur l'agressivité du ruissellement hydrologique.

On se demande également si les efforts entrepris ont eu un impact significatif sur la dynamique du milieu naturel d'une part, et on cherche à savoir l'apport de la fragilité naturelle, et du facteur anthropique sur l'évolution du milieu naturel d'autre part.

Quels sont donc les mécanismes responsables de la dégradation dans ce bassin versant et est ce qu'il y'a un facteur déterminant ?

Pour répondre à ces questions, nous avons élaboré une hypothèse de départ qui postule que le facteur humain accentue la dégradation observée dans ce site d'étude, qu'on va vérifier tout au long de ce document à travers plusieurs méthodes combinées.

2.1. Objectif principal de l'étude

L'objectif principal est de ressortir l'apport du facteur humain dans la dynamique du milieu naturel en relation avec les changements de l'occupation des terres dans le bassin versant de Rdat, en tant que système couplé « Homme-environnement », afin de prévoir son évolution. Tout en examinant l'ensemble des facteurs qui peuvent être derrière une dynamique de changement, voir de dégradation dans ce bassin versant.

2.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques assignés à ce travail consistent particulièrement à étudier les aspects suivants:

- Cartographie de l'état des lieux et établissement des zones stables et instables du bassin versant de Rdat ;

- Analyse spatio-temporelle de l'occupation des terres dans le BV de Rdat ; sur une période de temps de 31 ans (1984 – 2015);
- Etablissement d'une méthodologie automatisable et applicable à l'ensemble du BV de Rdat;
- Evaluation des mesures sur parcelles expérimentales et estimation de l'érosion ;
- Mise en évidence des facteurs de changement qui entrent dans le jeu de la répartition spatiale et définition des composantes explicatives;
- Synthèse sur l'évolution du milieu naturel et prospection pour le futur.

3. Approches méthodologiques

3.1. Choix de l'approche adéquate

Cette étude se base sur l'approche systémique, qui permet d'aborder le sujet de recherche de façon interdisciplinaire et synthétique, tout en prenant en considération sa complexité.

Cette approche fait appel aux trois composantes suivantes, à des niveaux différents tout au long de la progression de la recherche :

- L'approche spatio-temporelle et historique ;
- L'approche descriptive, inductive et déductive ;
- L'approche analytique et expérimentale.

3.1.1. L'approche spatio-temporelle et historique

L'analyse spatio-temporelle est abordée suivant deux niveaux : Un niveau spatial et un niveau temporel. Au niveau spatial, il s'agit d'adopter une démarche allant du global au détail, par réduction d'échelle, pour dégrossir les processus étudiés et généraliser les faits observés sur un bassin versant de superficie importante ($\pm 541\text{km}^2$). A commencer par une étude diachronique moyennant des photos aériennes, et une analyse par image à différentes résolutions : traitement d'image par télédétection. Quant au niveau temporel, il consiste à choisir des dates de traitement accompagnées par des sorties de terrain, pour l'examen des ROIs (Regions Of Interest) ou sites d'entraînement, qui seront utilisées pour validation des cartes de changements élaborées.

Pour ce faire, plusieurs entrées sont nécessaires :

- Une entrée sur l'hydrologie et les fonctions de productions en eau du bassin versant Rdat, afin de comprendre la dynamique naturelle du bassin versant dans un contexte de changement climatique.

- Une entrée sur l'assiette physique, en liaison avec la dynamique hydrologique, climatique et des utilisations des terres, pour comprendre la part de la dynamique naturelle et la part de l'homme dans la modification du milieu.
- Une entrée socio-économique en illustrant les types d'utilisation des terres et leur changement à travers le temps afin d'en déduire l'évolution du milieu.

Le traitement de ces données nécessite l'utilisation d'un SIG, en abordant l'analyse combinatoire entre différentes entrées possibles, notamment ; les observations de terrain, la cartographie thématique, les cartes dérivés suivant les modèles d'érosion sélectionnés, les données climatiques et hydrologiques, les substrats et lithologie, les données économiques et sociales, etc., afin d'approcher le mieux possible la problématique.

3.1.2. L'approche descriptive et déductive

La description et la caractérisation des phénomènes observés dans le terrain a nécessité une méthodologie spécifique, qui sera exposé dans les chapitres de ce travail. La grande superficie du bassin versant nous a amené à travailler sur des zones homogènes, changer d'échelle à plusieurs reprises, et fait recours aux techniques de spatialisation. Elle s'insère à deux niveaux ; Premièrement dans la phase « In-put », pour préalablement choisir nos entrées du SIG, notamment les composantes du milieu (géographie, géologie, socio-economie, hydrologie, etc.), et deuxièmement au niveau des « Out-put », après l'élaboration des cartes thématiques et analytiques, pour commenter les changements observés.

3.1.3. L'approche analytique et expérimentale

Ce travail est basé sur les travaux et avancées des chercheurs et spécialistes de la question environnementale, l'étude de la dynamique des milieux vulnérables afin de mieux prévoir leur gestion et participer à leur développement a été au cœur des recherches d'un nombre de chercheurs authentiques, qui ont maîtrisé la géographie marocaine et cherché à développer son étude. Je cite les travaux de ; Heuch, 1970 ; Kalman, 1971 ; Laouina, 1992 ; Sabir, 1994 ; Roose, 1996 ; Nafaa, 1997 ; Chaker, 1997 ; Tribak, 1998 ; Al Karkouri, 2002 ; etc.

L'expérimentation s'est faite sur différentes échelles ; parcelle, micro-bassin, bassin versant, transect, etc. Permettant ainsi une meilleure appréhension des phénomènes naturels observés. Plusieurs mesures ont été réalisés, notamment mesures des taux de Césium 137 par carottage, et test de simulation de pluie sur parcelle expérimentale, analyses au laboratoire des échantillons de sols, etc.

Les différentes méthodes utilisées dans ce travail, chacune dans un but déterminé et spécifique au problème soulevé. Les différentes méthodologies sont exposées dans les chapitres de cette thèse de façon détaillée, pour permettre de mieux comprendre leurs résultats.

3.2. Matériel de base et outils

L'ensemble du matériel et outils utilisé dans ce travail de recherche peut être résumé comme suit ;

- *L'outil cartographique et de SIG ;*
- *L'outil de télédétection et de photo-interprétation ;*
- *L'enquête socio-économique ;*
- *Le traitement statistique des données ;*
- *La modélisation par l'équation RUSLE, 1995 ;*
- *L'analyse du laboratoire des échantillons de sol ;*
- *La simulation des pluies et mesures sur parcelles expérimentales ;*
- *L'analyse du Césium 137.*

3.3. Démarche opérationnelle

3.3.1. Les missions du terrain

L'exploration du terrain est une phase importante de notre étude, elle a permis de diagnostiquer le site étudié ainsi que de tracer les axes de notre problématique progressivement, en reflétant ce qui se passe réellement sur le terrain.

Plusieurs sorties exploratoires répétées au terrain ont été effectuées, avec plusieurs Professeurs et experts (Chaker, M ; Sabir, M ; Roose, E ; El-Gassmi, B, etc.) pour s'imprégner du site et constituer une vue d'ensemble, en un premier temps, et pour cibler les missions de terrain dans un deuxième temps, notamment :

- Missions du terrain pour l'identification et la mise à jour des informations concernant la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie, la végétation et des campagnes d'échantillonnage ;
- Missions de terrain pour valider les cartes d'occupation des terres ;
- Missions de terrain pour les tests de simulation et de caractérisation des états de surface.
- Missions de terrain pour l'enquête socioéconomique.

3.3.2. La phase du bureau

- Lecture et synthèse bibliographique ;
- Choix et traitement des images satellitaires et élaboration de cartes dérivées ;
- Etablissement des classes et Elaboration des cartes d'utilisation des terres dans des séries de temps données.
- Choix du modèle de l'érosion et calage ;
- Validation des modèles et des cartes ;
- Analyse des tendances pluviométriques et des fluctuations majeures ;
- Analyse fréquentielles des échantillons de pluie et débit et estimation des périodes de retour ;
- Diagnostique des changements en occupation des terres en parallèle avec la dynamique socio-économique ;
- Quantification des pertes en sols et comparaison entre valeurs observées et valeurs estimées ;
- Interprétation des résultats et discussion.

Chapitre 2. Techniques d'évaluation des états de dégradation des terres dans le bassin versant du Rdat

La dégradation des terres est difficile à identifier, du fait que le concept lui-même est emblématique. Il englobe la dégradation des sols, du couvert végétal ou des ressources. Il est beaucoup plus intégré dans le sens où il comprend les interactions entre phénomènes ; mais il se limite à la dégradation sous l'effet de l'impact anthropique (Laouina, A. 1997). Globalement, on peut distinguer au moins quatre types de dégradation, que la FAO (Food and Agriculture Organization) définit comme suit ;

- Détérioration chimique du sol : diminution de la fertilité des sols et du taux de matière organique (à cause des cultures continues et du faible niveau d'intrants) ;
- Erosion hydrique et éolienne des sols : perte de la couche fertile du sol ;
- Détérioration physique du sol : compactage, scellage et encroûtement ;
- Dégradation hydrique : à savoir de fortes pertes d'eau par évaporation des surfaces non-productives, événements extrêmes lourds causant le ruissellement et l'érosion ;
- Dégradation biologique : processus faisant intervenir le vivant.
- Désertification : qui est un autre terme couramment utilisé pour la dégradation des terres dans les zones arides et aussi pour le changement irréversible de la terre jusqu'à un point tel qu'elle ne peut plus être récupérée pour son usage originel.

La dégradation des terres a une portée plus large que l'érosion des sols et la dégradation des sols ensemble parce qu'elle recouvre tous les changements négatifs dans la capacité de l'écosystème à fournir des biens et services (y compris les biens et services biologiques, et également les biens et services sociaux et économiques liés à la terre, selon le projet LADA, 2011). Le FEM (Fonds pour l'environnement mondial), quant à elle, définit la dégradation des terres comme « toute forme de détérioration du potentiel naturel des sols qui altère l'intégrité de l'écosystème soit en réduisant sa productivité écologiquement durable, soit en amoindrissant sa richesse biologique originelle et sa capacité de résistance ».

Aux termes de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULD), la dégradation des terres désigne la diminution ou disparition, dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres agricoles pluviales ou irriguées, des terrains de parcours, des

pâturages, des forêts ou des forêts claires, résultant de l'utilisation des terres, d'un processus ou d'une combinaison de processus, y compris ceux découlant d'activités humaines et de schémas d'habitation.

Il est donc clair que l'étude de la dégradation des terres est complexe et nécessite plusieurs niveaux d'étude, contrairement à l'étude de l'érosion des sols qui peut être un aspect isolé. L'érosion des sols est un terme commun qui est souvent confondu avec la dégradation des terres dans son ensemble, mais, qui en fait ne concerne que les pertes absolues de sol en termes de couche arable et d'éléments nutritifs. C'est l'effet le plus visible de la dégradation des terres, mais cela ne couvre pas l'ensemble de ses aspects. Une bonne partie de notre étude va concerner l'érosion hydrique des sols, et estimer les pertes en sol, comme entrée de description de l'ampleur de la dégradation des terres. Ensuite on va essayer de corrélérer ce processus naturel dans le bassin versant du Rdat, à l'activité zooanthropique.

Il est donc important de rappeler aussi que la dégradation et l'amélioration des sols changent selon l'endroit et le temps, en fonction de l'usage auquel le terrain est soumis et cela dépend aussi des objectifs différents, et parfois contradictoires, des parties prenantes.

1. Techniques et méthodes

Afin de révéler les aspects de dégradation des terres, on s'est basée sur un ensemble de méthodes pour décrire, représenter et quantifier les changements observés sur le terrain. A travers un travail synthétique de cartographie et de modélisation. Les principaux résultats vont être classés en deux groupes ;

- Premier groupe : Aspects qualitatifs de dégradation.
- Deuxième groupe : Aspects quantitatifs de dégradation.

L'utilisation d'images et de techniques de télédétection et de modélisation se fait par le biais d'un SIG (Système d'Information Géographique), permettant de combiner plusieurs facteurs à la fois et procédant par des entrées différentes. Cette technique a été utilisée par plusieurs auteurs pour la spatialisation des risques de l'érosion (Tribak et al., 2008 ; Meyer et al. 2001 ; Milaouhi, 2001). Ces outils sont d'un grand intérêt, du fait qu'elles permettent d'évaluer des indices pertinents et de suivre leur évolution dans le temps. Cependant leur manipulation nécessite un prétraitement de l'information et un processus de vérification pour minimiser les erreurs de spatialisation.

Bien que l'interprétation sur imagerie satellitaire permet de ressortir un grand nombre d'information, il est impossible de se baser uniquement sur cette technique. La connaissance du terrain permet de tempérer les résultats obtenus, ainsi l'observation est une phase indispensable à l'étude des phénomènes étudiés. Leur explication nécessite des enquêtes de terrains et des tests empiriques.

1.1. Enquêtes de terrain

Tableau 2: Méthodes complémentaires à l'utilisation de la télédétection pour les évaluations et le suivi de la dégradation des terres (Sur la base des travaux de LADA)

Échelle spatiale	Processus /Caractéristiques évalués	Méthodes complémentaires	Systèmes potentiels d'intérêt
Petite échelle : Parcelle, versant	Types de dégradation des terres ; Ampleur, gravité, causes.	Mesures sur le terrain	Terres (cultures, pâturages, jachères, forêt, etc.) Sols (Hydrologie de surface Biodiversité)
Grande échelle : Bassin versant de Rdat Micro bassin de Tazlida	Impacts, risques Condition des terres Changement de couverture terrestre biodiversité	Entretiens Modelisation Cartographie participative Enquêtes de terrain Groupes de discussion	Terres (cultures, pâturages, jachère, forêt, etc.) Sols Hydrologie de surface Biodiversité Zones agroécologiques



A



B



C



D



E



F

A-B : Ateliers de discussion. E-F : Enquêtes et entretiens

Photos groupées n° 1: Ateliers participatifs et enquêtes avec la population locale

1.2. Télédétection et Modélisation

1.2.1. Principe de télédétection

Le suivi de changements de géo-formes à la surface de la terre donne une information très précieuse et utile pour l'étude de la dynamique du milieu naturel, néanmoins leur mise en évidence nécessitent des années conséquentes de recherches, d'où l'intérêt d'utiliser la télédétection comme outil d'analyse, qui permet, avec sa vue générale et verticale, de modéliser nos habitudes et notre savoir-faire d'inventaire, de cartographie et de surveillance des ressources naturelles depuis très longtemps. Elle intègre les développements les plus récents de la recherche spatiale, de l'informatique et de la physique pour constituer aujourd'hui un outil des plus puissants et des plus flexibles pour la gestion du milieu, la planification et le développement économique (Ferdinand et Guy, 1992).

En se basant sur la télédétection, qui constitue une documentation fondamentale pour l'étude des sites montagnards et prévoir leur aménagement (P. Rey, 1977), et la technique de détection des changements, tout en associant l'analyse de données bibliographiques et les observations de terrain.

La détection des changements est le processus d'identification et de quantification des différences temporelles dans l'état d'un objet ou d'un phénomène existant sur la surface de la Terre en l'observant à des dates différentes (Singh, 1989).

Selon Lagabriele *et al.* (2007), la détection des changements est un processus d'identification des différences d'état d'une zone donnée, en l'observant à des dates différentes, afin de comprendre au sens large, l'évolution temporelle de cette zone.

L'étude du changement de l'occupation des sols par la télédétection se base sur l'hypothèse que ces changements se traduisent par la variation de la luminance et que cette variation soit plus importante que celle causée par d'autres facteurs (humidité du sol, conditions atmosphériques, inclinaison solaire, etc.) (Mas, 2000).

L'analyse de détection du changement comprend de nombreuses méthodes dont le but est d'identifier, de décrire et de quantifier, les différences entre images d'une même scène (même endroit) prises à différents moments ou dans des conditions différentes.

Une panoplie de méthodes numériques et de techniques de détection du changement a été développée au cours de ces trois dernières décennies (Singh, 1989; Coppin *et al.*, 1996; Lunetta et Elvidge, 1998; Mas, 2000; Jensen, 2004; Lu *et al.*, 2004; Coppin *et al.*, 2004; Feranec *et al.*, 2007; Sui *et al.*, 2008; Gao 2009; Dekker *et al.*, 2009; OTB 2010; etc. In Alboody, 2011).

Dans les situations de changement rapide des occupations des terres, les images classifiées fournissent des informations détaillées pour comprendre l'utilisation des terres et la couverture terrestre de la zone d'étude. Toutes les images satellitaires ont été sélectionnées dans cette étude en se référant à la même saison au cours des années pour produire des cartes de classification de l'occupation des terres avec le moins d'erreurs possible. Cette étude aidera les planificateurs et les décideurs pour le développement futur de la région. Les résultats de la classification montrent que la classification du maximum de vraisemblance est une technique qui donne les meilleurs résultats. Le modèle d'évaluation de l'exactitude est significatif, de plus, le nombre d'échantillons et la distribution des points aléatoires sont basés sur la densité de chaque catégorie dans les images classées. Le coefficient Kappa indique que la méthode de classification est très bien capturée pour l'utilisation des terres et la couverture terrestre de la zone d'étude. La principale influence sur les changements de couverture terrestre vient de la diversité des facteurs liés à la croissance démographique et économique.

1.2.2. Choix de classification et réalisation des cartes d'occupation des terres

La classification permet le passage des images satellitaires à des cartes thématiques, en se basant sur les propriétés spectrales afin de rassembler les objets qui ont les mêmes propriétés en classes thématiques. Il existe plusieurs types de classification. L'approche retenue pour cette étude est la classification supervisée qui nécessite une connaissance à priori du terrain, en adoptant la méthode du maximum de vraisemblance. Cette dernière, consiste à calculer la probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée, et ce dernier sera affecté à la classe pour laquelle la probabilité est la plus forte (Lacombe, 2008).

Les sites d'entraînement pour la classification des différentes images sont sous forme de polygones répartis sur l'ensemble du bassin versant, choisis de manière visuelle, en se basant sur la composition colorée de chaque image et sur les données vérité du terrain. Quant aux sites de vérification, ils sont construits à base des données collectées sur terrain pour l'image de 2015, et sur les résultats des travaux antérieurs pour les anciennes dates.

Afin d'évaluer la précision de la classification et la qualité des résultats obtenus, on a opté pour l'approche quantitative basée sur le calcul de la précision globale et du coefficient kappa. L'exactitude globale représente le rapport entre le nombre total de pixels bien classés (les éléments de la diagonale de la matrice de confusion) et le nombre total de pixels de vérification (Singh, 1989).

Le coefficient Kappa développé par Cohen (1960) utilise tous les éléments de la matrice de confusion. Il tient compte à la fois des erreurs de commission et d'omission.

Il convient enfin de signaler que, ces deux paramètres sont fournis par un outil statique inclus dans le logiciel ENVI, ils sont calculés à base d'une matrice de confusion ou de contingence. Cette matrice a été établie en se basant sur les sites de validation de taille supérieure à un pixel. Le coefficient Kappa de la classification de l'année 2015 est de l'ordre de 80%, permettant ainsi de valider la classification actuelle.

1.2.3. Schéma de classification et Elaboration des ROIs

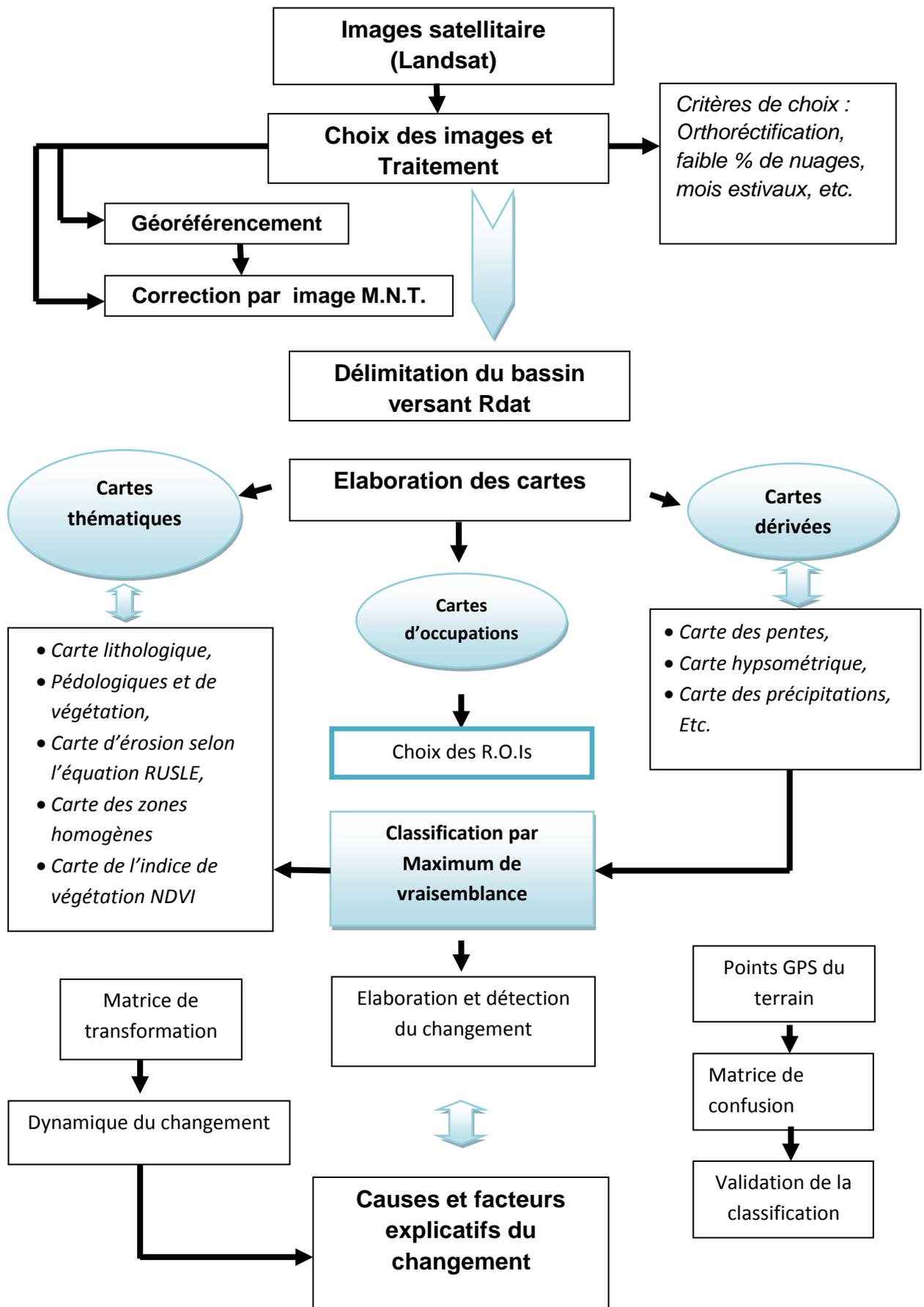


Figure 3: Schéma de classification et d'élaboration des ROIs

Cette étude a été réalisée en utilisant des images satellitaires des dates suivantes : 1984, 1995, 1999, 2003 et 2015 et une image SPOT de 2016, toutefois les meilleurs résultats avec le minimum d'erreur nous a amené à garder les dates suivantes ; 1984, 2003 et 2015, correspondant à la période avant et après aménagement du bassin versant de Rdat.

Pour démontrer les changements survenus dans ce bassin versant, plusieurs étapes ont été nécessaires :

- La Photo-interprétation sur images satellitaires ;
- La classification des principales formes d'occupation des terres.

1.2.4. Matériels et outils

- **Matériel de base « In-puts »**

- Cartes topographiques (Agence de la Conservation Foncière et des Travaux topographiques, Division de la carte, Rabat) ;
- Carte Telouat 1/100000, (1973).
- Carte Had zrakten 1/50000, (1977).
- Carte Sidi Rahal 1/50000, (1922).
- Carte des types de peuplement Glaoua Nord 1/25000, (1999)¹;
- Trois images satellitaires Landsat de résolution : 30m.

Tableau 3: Imagerie utilisées

Identifiant d'image	Date d'acquisition	Satellite	Capteur
1	25-08-1984	4-5	TM
2	27-06-2003	4-5	TM
3	15-08-2015	8	OLI

- Image SPOT de 2016 pour vérification.
- Image ASTER pour le Modèle Numérique du Terrain.
- Google Earth ; différentes versions pour vérification.

¹ Réalisée par le Haut commissariat des Eaux et Forêts et de la Lutte contre la désertification de Marrakech.

- ❑ ENVI 4.7 pour les prétraitements des images (correction géométrique, correction radiométrique, correction atmosphérique, normalisation des images), la classification et élaboration de la carte thématique;
- ❑ ArcGis 10.1 pour l'élaboration des shapfiles et des cartes de changements, des cartes dérivés et des cartes d'érosion;
- ❑ GPS (Trimble JUNO SB) afin de localiser les points diagnostiqués sur le terrain;
- ❑ Microsoft Office Excel 2010 pour le traitement des données et calculs statistiques ;

- **Matériel thématique : « Out-puts »**

Comporte l'ensemble des cartes élaborées, et cartes dérivées des différentes opérations d'analyse et de description du terrain.

1.2.5. Principe de modélisation

L'action de l'érosion hydrique est variable selon le secteur. La pente, l'exposition, la couverture végétale, la nature du substrat, le micro-climat et l'intensité de l'événement hydrologique, etc. peuvent modérer l'ampleur de l'érosion hydrique. Ainsi, les facteurs qui entrent en jeu dans le déclenchement du phénomène érosif sont variables et interactifs. Plusieurs auteurs les définissent comme suit; le sol, l'occupation du sol, la topographie, le climat et l'homme (Roose, 1994 ; King et Le Bissonnais, 1992 ; Wischmeier et Smith, 1978).

Plusieurs méthodes de mesure et d'estimation de l'érosion permettent de donner l'information sur l'état de dégradation des terres. Ils varient de la simple description, parfois subjective et imprécise, aux mesures quantitatives des pertes en sol sur parcelle. Leur point fort est la relativité des résultats ; ils sont utiles pour la comparaison entre les situations dans une même zone géographique. Le modèle le plus approprié dépendra de l'utilisation voulue, et des caractéristiques de l'environnement modélisé. (Sabir, 2019).

Le besoin d'évaluer et de cartographier l'érosion, en combinant plusieurs paramètres du terrain, nous a amené à utiliser la modélisation par l'équation des pertes en sol révisée (RUSLE, 1995).

Son utilisation a deux avantages ; elle prend en considération les facteurs pouvant influencer les changements des géo-formes dans le bassin versant, notamment la pente, la lithologie, le couvert végétal, l'agressivité pluviales, etc. et permet d'évaluer le taux annuel moyen de perte en sol.

Bien qu'il n'existe pas de modèle unifié pour classer les formes d'érosion, la légende adoptée dans ce travail pour classer l'intensité d'érosion, a été inspirée des travaux réalisés au Maroc par Avenand (1965), Lacroix (1965), Maurer (1968), Heush (1970), Milovanouic (1982), Sabir (2007).

L'interprétation sur image satellitaires a été faite en se basant sur les notions de texture et de structure pour les ravins, les bad-lands, les sapements de berges, et la tonalité (niveau de gris de la photo) pour l'érosion en nappe (FAO, 1990). Les images satellitaires utilisées correspondent aux dates suivantes; Aout 1984, Juin 2003 et Aout 2015 (Les mêmes dates utilisées pour l'établissement des cartes d'occupation des terres, voir Tableau 1).

La période étudiée s'étale sur une période de 31 ans (entre 1984 et 2015). La superposition des facteurs évalués sous les outils d'ArcGis donne une carte synthétique de répartition des taux d'érosion dans le bassin versant du Rdat.

1.2.6. Facteurs utilisés pour l'établissement des cartes de l'érosion hydrique

L'équation universelle des pertes en sol (RUSLE, Renard, 1995) est un modèle permettant l'estimation de l'érosion hydrique à travers la multiplication de plusieurs indices sous l'équation suivante : $[A = R * K * LS * C * P]$.

Tableau 4: Composantes de l'équation universelle révisée des pertes en sol (RUSLE)

A	Perte en terre exprimée en unité de masse par unité de surface et par unité de temps (t/ha/an)
R	Facteur d'agressivité des pluies, exprimant son action sur le sol : déstructuration, abrasion et lavage (Mj.mm/ha.an)
K	Facteur d'érodibilité du sol, exprimant sa résistance à l'érosion (variant de 0 à 1, sans unité)
LS	Facteur de pente et de longueur de pente, exprimant son effet catalyseur (combinaison non linéaire entre le degré de pente et sa longueur)
C	Facteur de culture caractérisant la couverture végétale (effet protecteur du couvert végétal variant de 0 à 1, sans unité)
P	Facteur des effets des aménagements utilisés pour lutter contre l'érosion (sans unité, variant de 0 à 1)

- **Le facteur d'agressivité R**

Cet indice dépend essentiellement des précipitations annuelles et mensuelles. Le résultat obtenu par interpolation des valeurs des stations du bassin versant du Rdat ont donné une carte de distribution des valeurs de cet indice qui varient entre 44 comme valeur minimale à la station Sidi Rahal et 126 comme maximale.

Le coefficient de l'érosivité R, montre que la station la plus exposée est celle de Toufliht correspondant à la moyenne montagne à dominance forestière, suivi de Telouet à l'amont à dominance d'affleurement rocheux et de badlands.

Tableau 5: Pluviométrie moyenne annuelle dans les stations du Rdat et stations adjacentes sur la période (1982 – 2012)

Stations	Pluviométrie moyenne (mm)												Annuelle	R
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC		
Taferiat	35	43	49	49	25	8	2	3	8	32	45	45	344	66
Tazart	36	44	53	51	25	8	2	3	8	33	48	49	465,7	49
Touama	42	48	59	59	30	10	2	3	11	36	51	53	521,3	57
Taddart	57	55	72	67	35	14	3	5	20	44	61	67	575,2	89
Sidi rahal	35	44	52	50	24	8	2	3	7	32	47	49	515,1	40
Toufliht	81,1	69,3	84,5	62	39,3	16,6	5,3	14,6	26,1	43,7	69,2	53,2	564,9	126
Telouet	56	51	68	61	33	13	3	6	21	45	60	66	483	103
Ighrem n ougdal	62	57	73	66	36	15	4	6	22	48	66	72	527	117
Ait Hkim Ait Yzid	55	54	74	69	35	13	3	5	19	43	58	66	494	110

Avec :

R : Coefficient d'érosivité moyenne de pluie (MJ.mm/ha/h/an), sa formule s'écrit comme

$$\text{Log(R)} = 1,74 * \text{Log} (\sum \text{pi}_i / \text{P}) + 1,29$$

pi : Précipitations moyennes mensuelles du mois i (i : 1 à 12) (mm),

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

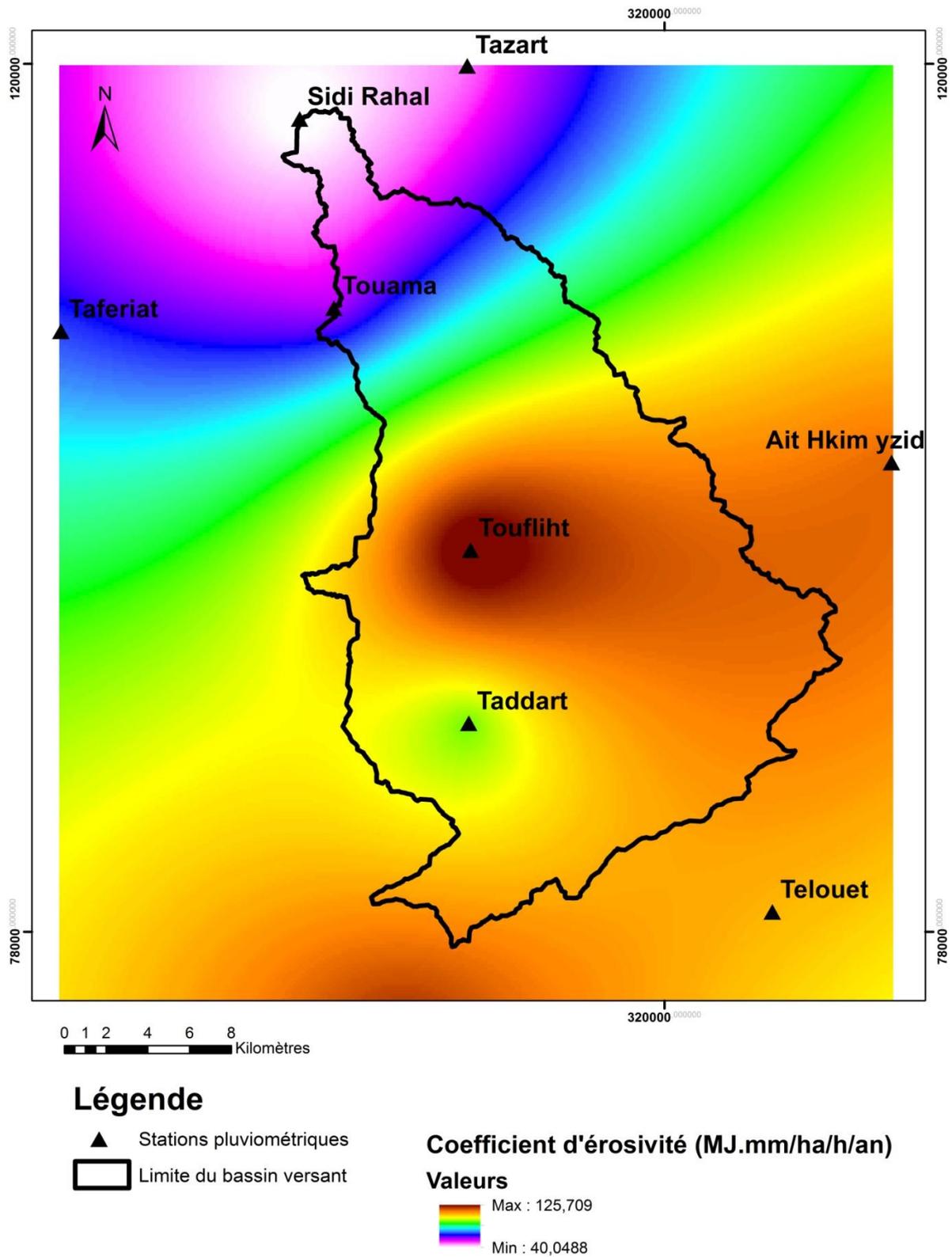


Figure 4: Carte de la répartition des stations sélectionnées pour le calcul du coefficient d'érosivité pluviométrique R

- *Le facteur d'érodibilité du sol K*

Cet indice dépend de la structure et la texture du sol ainsi que du pourcentage de la matière organique. L'évaluation de cet indice est basée sur la carte lithologique du bassin versant. Les résultats indiquent que cet indice varie entre 0,05 à 0,6.

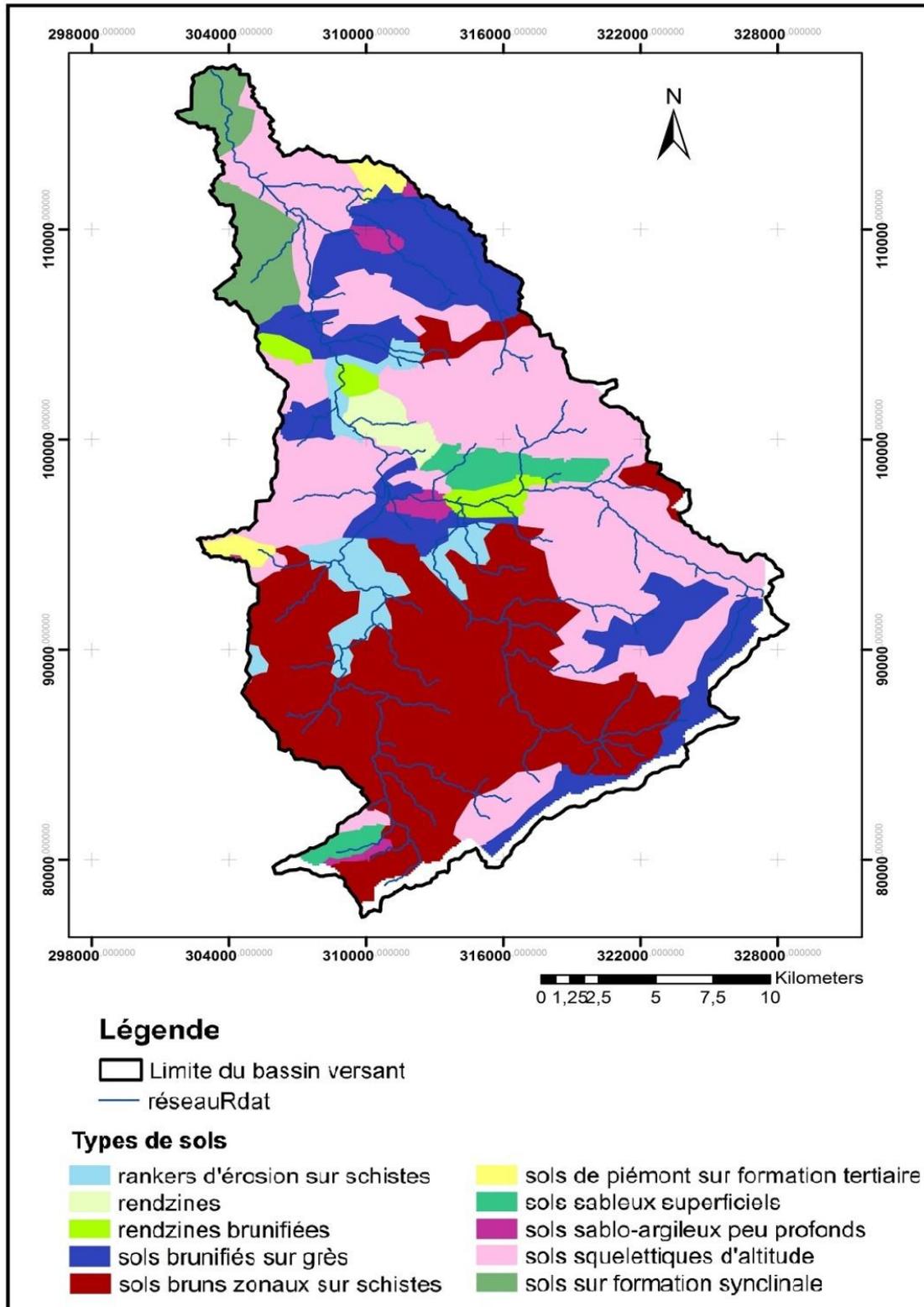


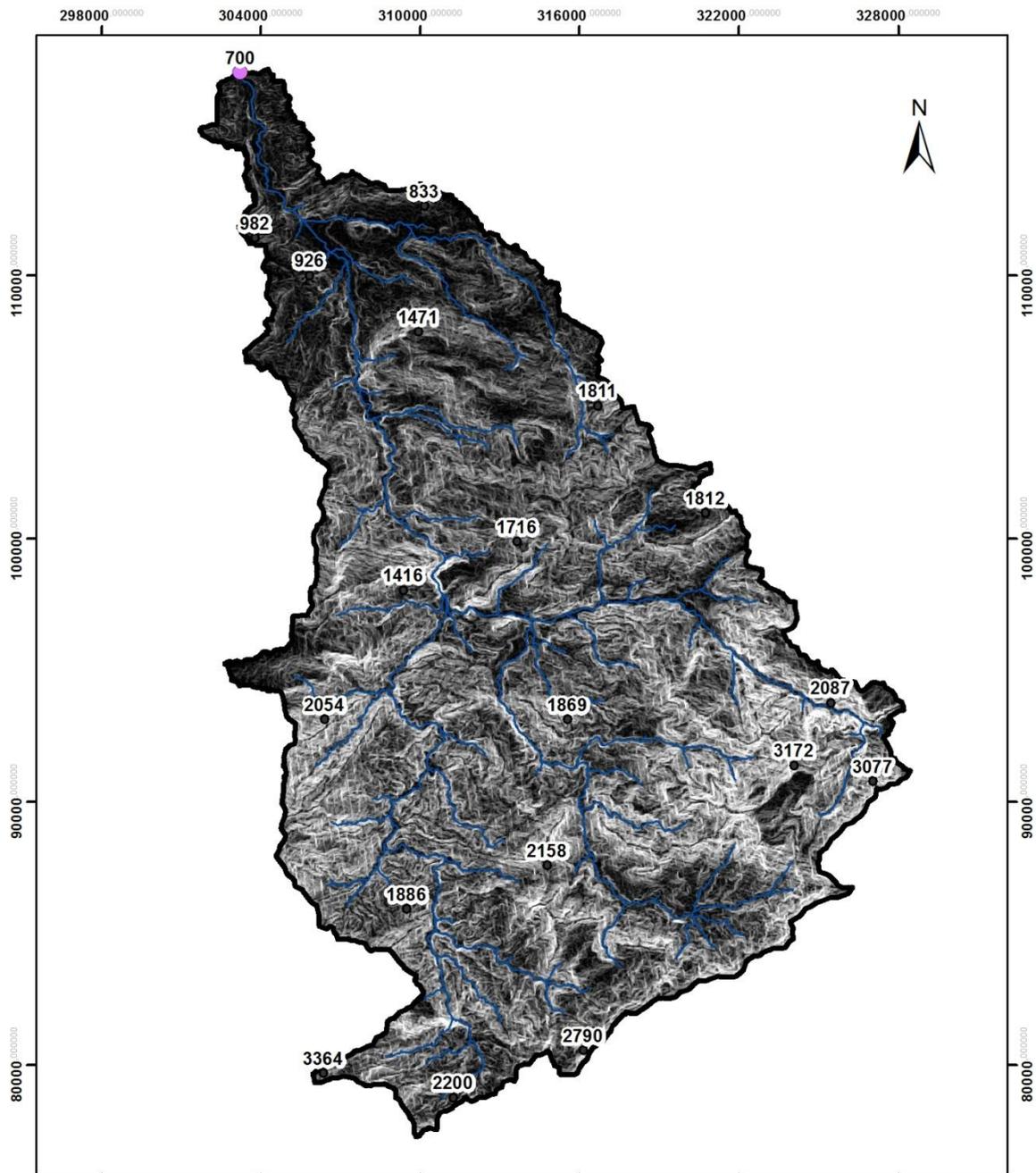
Figure 5: Carte de la répartition des sols principaux au bassin versant Rdat, ABHT.

- ***Le facteur topographique ou inclinaison de pente (LS)***

LS exprime l'importance des pertes en terre, pour une pente et une longueur de pente donnée. Il est réalisé à partir du modèle numérique de terrain. Il est utilisé dans les études de l'érosion hydrologiques par le modèle de RUSLE, en utilisant l'équation de Mitasova et al. (1996), dont la formule s'écrit comme suit, sous l'extension de ArcGIS :

$$\mathbf{LS = Pow (accumulation\ des\ flux * résolution) / 22.1, 0.6) * Pow ((Sin (pente\ en\ gradient) * 0.01745) / 0.09, 1.3)}$$

L'application de cette équation dans le bassin versant du Rdat a donné des valeurs de LS qui varient entre 0 et 15,885. Ce qui explique que les hautes élévations dominant dans ce bassin versant, et par conséquent la majorité du bassin versant est soumis à un grand risque d'érosion de l'amont vers l'aval.



Légende

- Limite du bassin versant
- Réseau hydrographique
- Exutoire à Sidi Rahal
- Point de hauteur

0 1 2 4 6 8 Kilometers

Valeurs de LS

High : >5
Low : 0

Figure 6: Carte du facteur LS

- ***Le facteur de la végétation C***

Le couvert végétal traduit l'effet protecteur de la couverture du sol et des pratiques culturales. La couverture du sol permet de ralentir ou d'accélérer la dynamique de l'érosion sur un versant. En effet, un couvert végétal dense est d'autant plus efficace pour réduire l'érosion car il dissipe l'énergie des gouttes de pluies, il ralentit l'écoulement des eaux à la surface du sol et maintient une bonne porosité superficielle en évitant l'encroûtement superficiel (Roose 1996, Sabir & Roose 2004). Wischmeier & Smith (1978) ont établi un tableau qui permet d'évaluer le facteur C à partir des cartes d'occupation des sols. Dans cette étude nous avons exploité les données de la télédétection pour la cartographie de facteur d'intensité du couvert végétal. Trois images satellitaires Landsat d'Aout 1984, Juin 2003 et Aout 2015, ont servi à une classification supervisée afin d'établir la carte d'occupation des sols de la zone étudiée.

La couverture adoptée par cette étude comporte les classes suivantes : La forêt dense à moyennement dense, la forêt claire à dégradée, les fruticées, les cultures irriguées, et les cultures sèches. Trois cartes de couverture de sol ont été générées sur les dates suivantes ; 1984, 2003 et 2015.

Tableau 6: Les classes établis pour le facteur C

Type de végétation	Valeurs du facteur C
Forêt dense à moyennement dense	0,05
Forêt claire à dégradée	0,1
Terrains de parcours (correspondant aux fruticées)	0,3
Cultures sèches	0,6
Cultures irriguées	0,15
Sol nu	1

- ***L'indice des effets des aménagements P***

Cet indice reflète les pratiques anti-érosives dans le bassin versant, correspondant à des pratiques conservatrices ; (cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage, etc.). Les recommandations de l'utilisation de l'équation de RUSLE prévoient que les valeurs de P égales à 1 si aucune de ces pratiques n'existent dans les bassins versants. Dans notre zone d'étude, il existe bien des pratiques sous forme de terrassettes, murettes, limites de parcelles, etc., on ne peut donc pas

parler d'absence de pratique. Cependant pour des faciliter les calculs on suppose un état où les parcelles sont négligeables qui nous permet de considérer P est égal à 1 dans tout le bassin.

Elaboration des cartes de stabilité du milieu et estimation de la dégradation spécifique

La superposition des indices évalués sous les outils d'ArcGis donne une carte synthétique de répartition des taux d'érosion dans le bassin versant du Rdat. Pour une meilleure lisibilité de cette carte, nous avons adopté la classification selon Roose et sabir (1994), utilisée dans les études d'érosion par RUSLE.

Afin d'évaluer les changements survenues sur la stabilité du milieu, durant cette période de 31 ans, toutes les corrections géométriques ont été réalisées dans le cadre du SIG pour le géocodage des cartes issues de l'interprétation des images. La classification s'est basée sur les taux de dégradation spécifique en t/ha/an. (Roose E., 1994), et (Merzouk, A. ; Fenjiro, I. ; Laouina, A. 1996).

Tableau 7: Répartition des surfaces des zones stables et instables dans le bassin versant du Rdat

Taux d'érosion réelle (t/ha/an)	Intensité de d'érosion	Pente (%)	Stabilité du milieu (Roose, 1994)
0 à 2	Faible ou nulle	0 - 5	Très stable
2 à 12	Modérée	5 - 15	Stable
12 à 20	Forte	15 - 35	Instable
20 à 50	Très forte	35 - 75	Très instable
>50	Extrêmement forte	>75	Extrêmement instable

1.3. Techniques empiriques

1.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Afin d'identifier les sites représentatif du bassin versant, et pour être efficace sur le temps et les moyens utilisés, on a eu recours à l'élaboration de la carte des unités homogènes sur un fond topographique. Elle a été réalisée à partir de la superposition de la carte des pentes

(figure 8), la carte des occupations des sols (figure 5) et la carte lithologique (figure 32). Ainsi, sur la base du pourcentage des unités et des objectifs de l'étude, on a identifié quelques sites de mesure, correspondant aux occupations des terres dominante dans le bassin versant de Rdat. La réalité et la complexité du terrain a empêché l'accès à certains sites, ce qui a conduit à revoir leurs emplacements. Une analyse des propriétés des sols au laboratoire a été envisagée pour mieux caractériser les échantillons de sol échantillonnés.

Les prélèvements de sol ont été effectués, avec trois profondeurs (0-10, 10-20, 20-30) et un prélèvement témoin, à l'aide d'un cylindre dont la longueur et la hauteur sont connues d'avance.

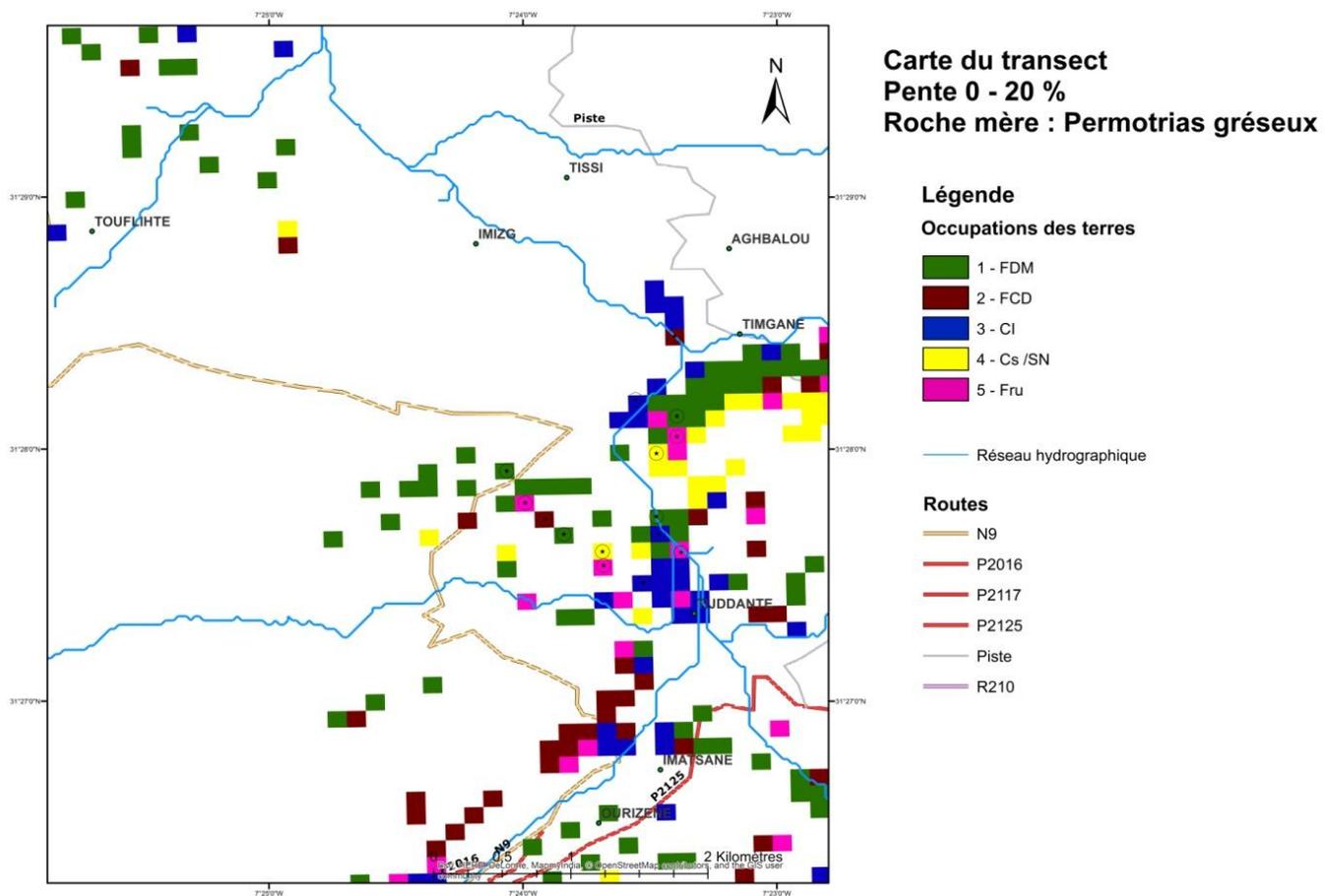


Figure 7: Carte des sites de sondage

Ces sites ont été retrouvés grâce à la technique des zones homogènes, en se basant sur la carte lithologique, la carte des sols d'une part, et sur la carte des pentes reclassée (0 – 20 %).

Le choix de l'étude par toposéquence, n'a pas été arbitraire, il tient compte de plusieurs paramètres du milieu, son principe se base sur la fixation des conditions liées à la topographie et à la lithologie, pour pouvoir suivre la variation de la condition des occupations des terres et en tirer les conclusions. Toutes les mesures ont été faite sur une pente variant entre 15 et 20% Ce choix est justifié par sa dominance dans le bassin versant du Rdat, ainsi que le substrat permotriasique gréseux retenu pour l'étude, sur lequel les formes d'érosion sont spectaculaires.

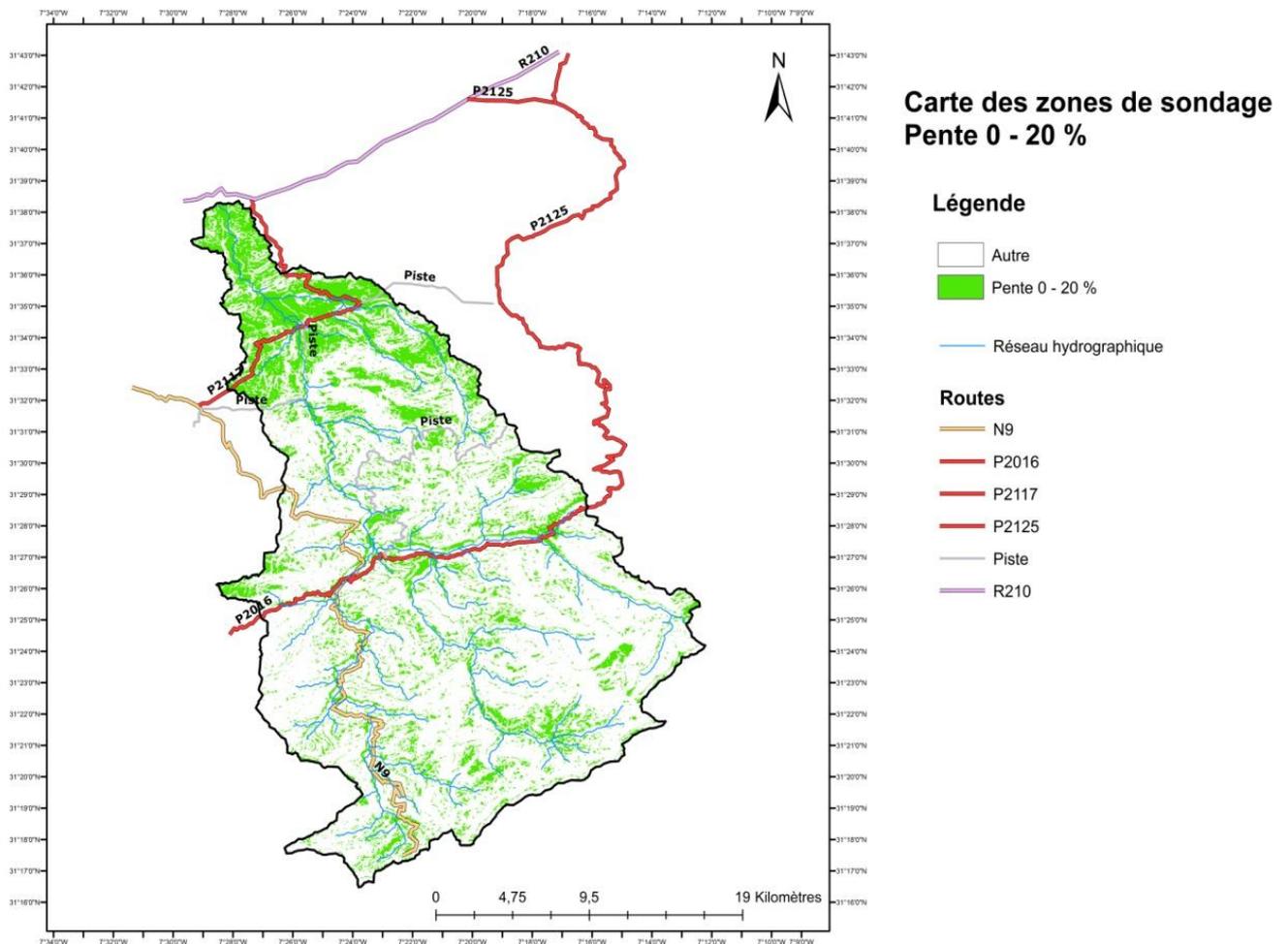


Figure 8: Carte des sites homogènes avec les occupations de terres sur pente entre 0 et 20%

1.3.2. Test de simulation de pluie sur parcelle expérimentale

Cette technique permet de mettre en évidence les impacts des occupations des terres sur le comportement hydrologique du sol dans le bassin versant de Rdat. En simulant une averse dont l'intensité est connue à l'avance pour pouvoir en déduire le ruissellement.

De façon générale, lorsque la pluie tombe, un mécanisme énergétique se déclenche. Les particules du sol sont arrachées par l'énergie cinétique de la goutte ; on parle de l'effet splash (ou l'érosion de rejaillissement). Le rejaillissement n'apparaît qu'au dessus d'une certaine énergie cinétique et croît linéairement avec cette énergie. La détachabilité d'un sol est ainsi définie comme étant son aptitude à être fractionné par la pluie en particules susceptibles d'être transportées par l'effet splash. Elle est liée aux caractéristiques physiques du sol (structure, matière organique, etc.).

Le ruissellement est l'écoulement par gravité des eaux de pluies qui n'ont pas pu s'infiltrer, s'évaporer ou se stocker à la surface du sol, tout en suivant la pente du terrain (Eskenazi, 1980). Il dépend essentiellement de la stabilité structurale de la couche superficielle du sol (2 à 5cm) (Merzouk, 1985), la macroporosité de cette couche, le pourcentage du sol nu, et la couverture pierreuse (Valentin et Casenave, 1992).

Pour un même ruissellement on peut avoir différentes expressions de l'érosion, selon les conditions initiales du sol ; humidité initiale, caractéristiques physico-chimiques, état de surface, etc.). La perte en sol est aussi variable selon le couvert végétal, le degré de recouvrement et la pente. Sur une forte pente par exemple, l'érosion peut être accélérée, dès que le sol ait atteint sa capacité d'infiltration maximale.

Le seuil de déclenchement du ruissellement est très variable (Laouina et al., 1993, Chaker, 1997, Laouina et Chaker, 1998), il dépend aussi bien de l'intensité que des précipitations antérieures et de l'état du sol.

Lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration du sol, on parle du ruissellement Hortonien (Horton, 1933), et lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe, il s'appelle le ruissellement par saturation. Le ruissellement de surface, incluant éventuellement le déplacement des particules érodés jusqu'aux cours d'eau, la formation de rigoles et de ravines et les déplacements en masse; éboulement, sapement de berges, glissement de terrain, etc.

Pour pouvoir évaluer ses aspects de ruissellement selon les occupations des terres dominantes dans le bassin versant du Rdat, une approche de travail, basée sur trois phases essentielles a été adoptée ;

- La phase du terrain : choix des sites d'expérimentation ;

Les sols à l'échelle d'un bassin versant comme le Rdat sont très diversifiés et hétérogènes, en fonction des conditions climatiques locales, hydrologiques, zooanthropiques, et forestiers, lithologique et géomorphologiques. A l'échelle d'un versant, et plus précisément, un transect, la reconnaissance scientifique des sols peut donner une information plus précise sur leur propriété et ainsi permettra de mieux décrire le comportement hydrologique.

Dans un premier lieu, nous allons cartographier les sites ciblés par le test de l'expérimentation, en uniformisant les conditions du milieu afin de ressortir une classe homogène et représentable des données. Ensuite nous allons effectuer une analyse au laboratoire des échantillons de sol prélevés localement pour mieux décrire leurs propriétés.

- La phase du laboratoire : Granulométrie, physico-chimie.

Cette phase est importante pour s'assurer que les sols prélevés correspondent à la même classe établie pour toutes les occupations de terres ciblées au début de l'expérimentation. La texture et l'analyse physico-chimiques va donner plus de précision sur l'impacte de ces paramètres du sol sur le comportement hydrologique.

- La phase traitement statistique et analyse des résultats.

Le traitement statistique des données analysées, notamment l'écart-type et le coefficient de variance, permet de juger si les variations observées sur les échantillons de sol sont significatives.

1.3.3. Dispositif utilisé

Nous avons eu recours à un simulateur manuel à rampe, du fait qu'il est le mieux adapté au relief du terrain, par sa facilité de transport et d'installation, et son coût peu élevé.



Photo 2 :Dispositif utilisé pour la simulation de pluie

1.3.4. Mesures sur parcelles expérimentales

Etats de surface du sol

Les états de surface du sol ont été décrits par la méthode des points quadrats. Elle consiste à définir sur une parcelle de 1m², deux transects diagonaux stables à l'aide d'un ruban qui est posé à 5cm du sol (Roose, 1996). Ainsi, tout au long du ruban et à chaque 2cm, on décrit ;

Le pourcentage de surfaces couvertes (SC) au ras du sol ; il correspond aux endroits où le sol est couvert par la litière (résidus de culture, racines nues, etc.) ; de cailloux non intégrés dans le sol ; des adventices et plantes de couvertures rampantes.

Le pourcentage de surfaces ouvertes (SO) ; Il s'agit de tout ce qui est fissures profondes, galeries des microfaunes, et mottes.

Le pourcentage de surface fermée (SF) : il s'agit des endroits caractérisés par la présence de pellicule de battance, croûte de sédimentation, semelle de tassement, croûte d'érosion, surface des cailloux intégrés dans le sol.

Propriétés du sol

Les propriétés du sol évaluées sont la densité apparente des premiers 10 cm (Da g/cm³), la résistance à la pénétration (PEN Kg/cm²), la résistance au cisaillement (SS Kg/cm²) et la

détachabilité (g/m²/h). La teneur massique en eau du sol au début du lancement de cette expérience a été de 0 %.

La densité apparente D_a (g/cm³) ; Trois échantillons de sol par cadre ont été pris à la surface par cylindre de rayon 3.5cm et de hauteur 10cm. Ces échantillons ont été posés avant et après séchage à l'étuve (105°C pendant 24h). Ils ont servi à déterminer aussi le taux d'humidité au moment de l'observation. Les ouvertures laissées par ces échantillons ont été remplies par du sol de même origine.

$D_a = m_0 / V$ avec m_0 : masse anhydre du sol (g) ; V : volume du cylindre.

- **La porosité $P\%$** ; $P = 100\% - [(D_a/D_r)*100]$, avec $D_r =$ Constante de la densité réelle = 2.65g/cm³.
- **L'Humidité $H\%$** ; $(m_f - m_0) / m_0 * 100$, avec m_f : masse de l'échantillon du sol frais (g), et m_0 : masse de l'échantillon du sol sec (g).

La résistance à la pénétration PEN (Kg/cm²) ; La PEN a été mesurée par un pénétromètre à cône, type « Soil Test ». Le cône fait 5cm de hauteur et 3cm de diamètre. Trois observations ont été faites par cadre.

La résistance au cisaillement SS (Kg/cm²) ; Elle est mesurée par le même cisomètre (torvane) utilisé sur le terrain. La moyenne de 10 observations a constitué la mesure de SS pour le cadre considéré.

La détachabilité D_c (g/m²/h) ; La mesure de la détachabilité correspond à la quantification des sédiments contenus dans les eaux de ruissellement. La méthode de détermination a été décrite dans le travail de Bensalah (2008). Pour cela les eaux de ruissellement, recueillies à la fin du test de simulation de pluie et stockées dans les jerricanes, subissent une floculation par l'ajout du sulfate d'alumine $AL_2(SO_3)_3$ à 50g/l après agitation à l'aide d'un bâton. Le mélange est laissé au repos pendant 24 à 36h jusqu'à ce que l'eau devienne claire. Cette dernière est aspirée dans un autre jerricane contenant les sédiments par l'eau siphonnée, les sédiments sont versés dans un bécher d'un litre ou 1,5l préalablement pesé. La décantation des sédiments est obtenue après 48h, on procède encore à un autre siphonage de l'eau du bécher et le contenu est mis à sécher dans une étuve à 105°C pendant 24h puis pesé à l'aide d'une balance à grande précision.

Pour noter l'effet des occupations des terres sur l'infiltration d'eau, une averse constante de 80mm/h a été simulée. En fonction du temps, on a pu suivre l'évolution de l'infiltration.

1.3.5. Mesure par le Cesium 137

L'étude de la distribution du ^{137}Cs dans l'environnement permet d'évaluer l'importance et la variabilité spatiale des déplacements du sol liées à l'action de l'érosion hydrique au sens large, puisque l'érosion redistribue spatialement ce radio-isotope avec les particules du sol.

Cette technique vise à donner une estimation des pertes en sol selon le type de l'occupation des terres, en suivant les étapes suivantes :

- Précipitation
- Adsorption
- Redistribution spatiale
- Echantillonnage
- Spectrométrie Gamma
- Estimation du taux d'érosion.

Le Radiotraceur Cesium 137 (Cs-137)

Le Cesium 137 est classé 55ème élément dans la table périodique des éléments chimiques de Mendeleïv, ce qui décrit sa grande réactivité potentielle. Sa masse atomique est variable entre 125 et 145, mais seul le Césium 133 existe naturellement. Le Césium 137 est un radio-isotope introduit artificiellement dans les années 50 et 60, où les essais atomiques ont été récurrents en haute atmosphère (stratosphère). Cet isotope a eu la réputation d'être un intéressant marqueur qui peut donner une information sur les mouvements de sol vu ses propriétés de fixation. Il a une forte capacité d'adsorption par les particules du sol ainsi que la mobilité réduite du Césium 137 par les processus chimiques.

Sa redistribution spatiale dans l'environnement a été recueillie pour permettre l'estimation des pertes en sol.

L'estimation des mouvements du sol à partir des mesures de ^{137}Cs , nécessite une connaissance du stock de césium initialement présent dans les sols étudiés ; les sites de sondage et les sites de référence.

L'importance des mouvements du sol est estimée en comparant l'activité spécifique en ^{137}Cs (Bq/m^2) des sites étudiés à celle de sites de référence considérés comme témoin d'un état non érodés.

Calcul de l'activité en ^{137}Cs

L'activité d'un radioélément X correspond au nombre de désintégration/unité de temps.

Selon la loi de la décroissance, le nombre de noyaux N_x présent à l'instant de mesure s'exprime par :

$$N_x = A / \lambda$$

Avec λ constante de désintégration.

Pour une mesure réalisée au bout d'une durée t_c (négligeable devant la période), le nombre de noyaux N_d désintégré est le nombre N de noyaux réellement détectés s'exprime par :

$$N = N_d I_\gamma \varepsilon = A t_c I_\gamma \varepsilon$$

Où :

ε est l'efficacité de détection correspondant aux conditions expérimentales utilisées ;

I_γ la probabilité d'émission ou intensité du rayonnement γ .

Dans le cas de nos analyses on s'intéresse à l'exploitation des pics γ correspondant aux effets photoélectriques. ε est donc l'efficacité de détection liée à la probabilité d'interaction par l'effet photoélectrique et N correspond à l'aire nette du pic γ .

L'activité massique A_m en (Bq/kg) d'un radioélément donné est déterminée en exploitant l'équation. Ainsi A_m s'exprime par :

$$A_m = N_{net} / t_c * I_\gamma * m * \varepsilon$$

où :

- N_{net} : aire nette sous le pic photoélectrique γ ou nombre de coups net sous le pic ;
- t_c : temps de comptage (s) ;
- I_γ : intensité du rayonnement γ (85,5%) ;
- m : masse de l'échantillon (kg) ;
- ε : efficacité de détection.

1.3.6. Dispositif utilisé pour le prélèvement

- Le prélèvement est effectué à l'aide du carottier, de type superficiel.
- Les dimensions de la carotte : 30 cm de profondeur sur 9 cm de diamètre.
- Trois échantillons par occupation et carotte découpée n zone référence.
- Découpage de la carotte en tronçons de (2cm – 4cm) pour la zone référence.



Photo 3 : Matériel de prélèvement des échantillons du sol

Préparation physique

La mesure des échantillons exige un prétraitement qui consiste à effectuer :

- Un séchage dans une étuve à 105° pendant 24h.
- Un broyage et tamisage à 2mm.
- Une homogénéisation de la fraction fine (<2mm).
- Un conditionnement dans des flacons type *Marinelli* 500ml pour les carottes prélevées entières, ou des flacons de géométrie cylindrique 200ml pour les profils découpés en tronçons.

Tableau 8: Masses des échantillons avant et après étuve

Profondeur		Echantillon	Poid Etat humide (g)	Poid Etat sec (g)	
				Après étuve	Après refus à 2mm
La référence	30 cm	T1	2736	2631	2609
		T2	3065	2996	2902
	0-5 cm	T3-1	549	527	521
	5-10 cm	T3-2	815	746	779
	10-15 cm	T3-3	794	774	762
Echantillon	30 cm	E1	3650	3574	3390
		E2	2530	2429	2307
		E3	2904	2839	2819
		E4	3201	2602	2584
		E5	3247	3019	2904
		E6	2337	1758	1759
		E7	2094	1744	1684
		E8	1788	1498	1454

Analyse des échantillons au Laboratoire

Le spectromètre gamma permet le comptage et la mesure de l'énergie des photons gamma émis dans le temps. On parle de rayonnements gamma issus des isotopes radioactifs, qui vont être identifiés et mesurés afin de déterminer leur activité.

Le rayonnement gamma est émis après une désintégration alpha ou bêta par le noyau de l'atome du radioélément, de façon continue jusqu'à trouver un état d'équilibre énergétique. On parle de la signature du radioélément.

La méthode d'analyse basée sur la spectrométrie Gamma exige une phase de calibrage, pour déterminer avec précision l'identité et la teneur en radioéléments des pics. Elle consiste à associer à chaque nombre de canal, l'énergie qui lui correspond.

Elle s'effectue sur une solution radioactive utilisée au laboratoire de spectrométrie Gamma, qui est certifiée par le Commissariat de l'énergie Atomique de France (CEA).

La mesure se fait par le détecteur Germanium hyper pur Canberra. Toute la partie détection est entourée par un château de Plomb afin de minimiser la radioactivité ambiante.

Modèles de conversion

Plusieurs modèles d'interprétation des fluctuations de l'activité des sols en Cs-137 ont été proposés. Dans cette étude, les modèles de conversion de l'activité de Cs-137 en taux de redistribution du sol utilisés sont le modèle proportionnel (PM), et le modèle d'équilibre de masse version 2 (MBM2).

Le modèle proportionnel (PM)

C'est un des modèles les plus utilisés (Walling et Quine 1990, Mitchell et al 1980) pour estimer les taux d'érosion et d'accumulation à partir des mesures de Cs-137. Ce

Modèle introduit la notion de temps et l'utilisation des variables indispensables qui font défaut dans les méthodes de calibration empiriques. En effet, il considère que les retombées du Cs-137 sont incorporées et mélangées dans la couche labourée à une date précise et que le sol conserve la même activité spécifique au cours du temps. Ainsi, la perte en sol est directement proportionnelle à la réduction de l'activité de Cs-137 depuis les premières accumulations du ¹³⁷Cs, selon l'équation suivante :

$$y = (10 B d / 100 P T) X$$

Où :

y = la perte (ou le gain) moyenne annuelle de sol (T/ha/an).

X = le pourcentage de perte (ou gain) en Cs-137 dans le total de l'inventaire de Cs-137 d'un site par rapport à la valeur de référence.

B = la densité volumique apparente (Kg/m³).

d = la profondeur de labour (m).

T = le temps écoulé depuis le début de l'accumulation du Cs-137 (an).

P = facteur de correction granulométrique.

Modèle d'équilibre de masse version 2 «MBM 2»

Le modèle MB2 prend en considération les retombées de Cs-137 déposées par précipitations et qui n'ont pas été incorporé dans le sol. Il suppose qu'ils ont été déplacé avec l'eau avant même d'être adsorbé par les particules du sol. Pour un site érodé, l'équation est la suivante :

$$dA(t)/dt = (1-\Gamma)I(t) - (\lambda + PE/m)A(t)$$

où :

Γ : pourcentage de Cs-137 déposé et entraîné par l'eau ruisselée avant son incorporation dans le sol.

I(t) : Flux annuel de retombées de Cs-137

m : Poids de la colonne du sol par unité de surface (Kg/m²).

$E(t)$: Taux d'érosion en $Kg/m^2/an$

λ : Facteur de désintégration de Cs-137

P : Facteur de correction granulométrique

1.3.7. Site de référence

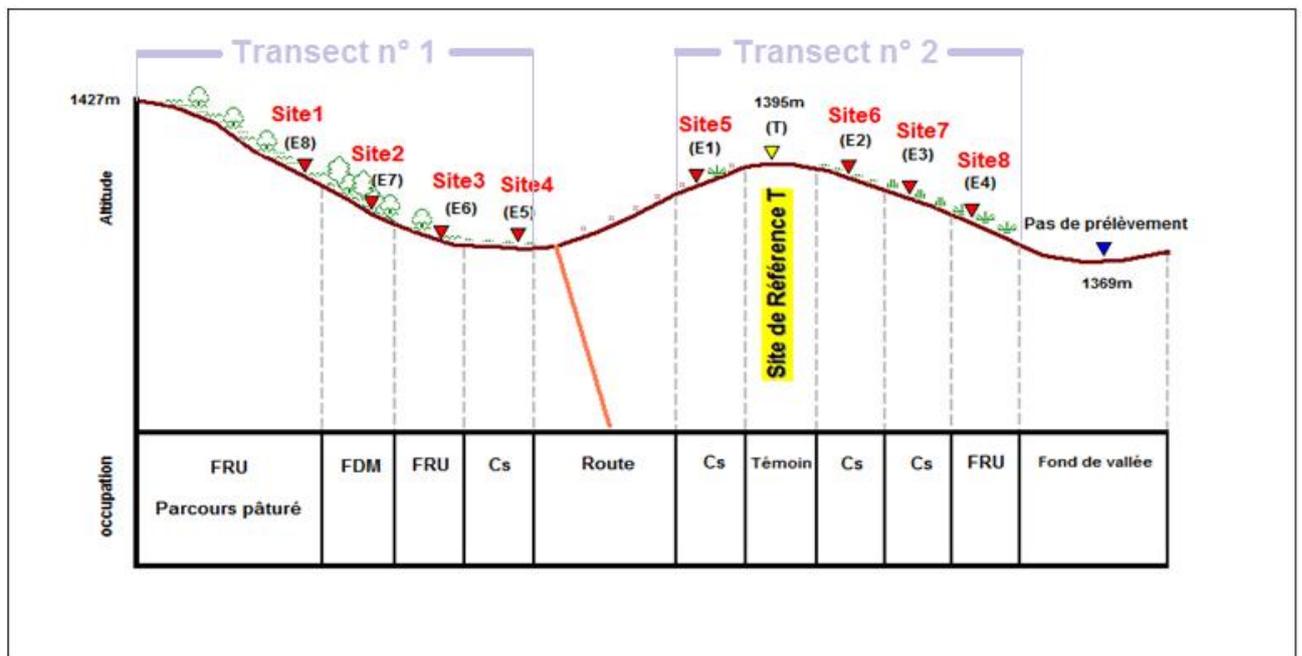
En milieu non perturbé, le Cs-137 est habituellement concentré dans les premiers centimètres du sol et décroît de façon exponentielle avec la profondeur (Walling et al.,1993). D'où l'importance de faire des tronçons de 2 à 5cm, jusqu'à une profondeur de 30cm, sur la carotte du profil de référence.

Afin d'étudier le comportement de distribution du Cs-137 en profondeur, un profil de référence a été prélevé à proximité de la forêt de Toufliht ; milieu considéré non perturbé.

Les autres profils choisis sont prélevés sur les occupations de terres dominantes ayant servi à l'étude de l'érosion dans le bassin versant de Rdat. Chaque point représente un site le long de la toposéquence et chaque point prélevé est entièrement extrait à une profondeur de 30cm.

1.3.8. Les sites de prélèvement (voir le détail dans le chapitre 4).

Transect (Tijaddant)



Pente %	Entre 15 et 20 %
Substrat	Argile permotriasique à bloc et gallet gréseux
Type du sol	Sol brunifié sur grès

Figure 9: Caractéristiques des transects et des sites d'évaluation

Sites	Occupation des terres	Culture principale / Couverture
Site 1 (E8)	FRU (Fruticées)	Parcours pâturé 
Site 2 (E7)	FDM (Forêt dense à moyennement dense)	Forêt d'oxycèdre avec Doum et Ciste sur surface caillouteuse 
Site 3 (E6)	FRU (Fruticées)	Parcours pâturé (Ciste dégradé pâturé)

		
Site 4 (E5)	Cs (Culture sèche)	(Jachère 2ans) Céréaliculture 
Site 5 (E1)	Cs (Culture sèche)	(avec touffe de doum par endroit) avec présence de bloc et gallets gréseux Céréaliculture

		
Site 6 (E2)	Cs (Culture sèche)	Jachère ancienne >50ans (Céréaliculture) 
Site 7 (E3)	Cs (Culture sèche)	avec Doum (Céréaliculture bienvenante)

			
Site 8 (E4)	FRU (Fruticées)	(Doum et reprise du ciste) Sol tassé en surface présence de croûte de battance 	

Figure 10: Occupation des terres dans les différents sites de prélèvement

1.1. Force et faiblesse des techniques utilisées

Tableau 9: Forces et faiblesses des méthodes utilisées

Méthode	Forces	Faiblesses
Observation	<ul style="list-style-type: none"> -Donne des informations spécifiques ; -Permet de décrire les comportements des composantes, -Apporte des informations qui n'étaient pas connues des chercheurs en théorie ; -Améliore la conception de la problématique, et de la méthodologie. 	<ul style="list-style-type: none"> -Prend beaucoup de temps ; -La documentation repose sur la mémoire, la discipline personnelle et la rigueur du chercheur ; -Demande un effort conscient d'objectivité, car la méthode est intrinsèquement subjective.
Entretiens avec les informateurs clés	<ul style="list-style-type: none"> -Stimule des réponses détaillées avec des nuances et des contradictions ; -Emploi d'une perspective interprétative ; -Connexions et relations sur les principaux sujets d'intérêt ; -Des données détaillées et fournies peuvent être rassemblées sur chaque sujet, car l'enquêteur peut explorer chaque sujet librement ; -Peut être facilement combiné à d'autres techniques de recherche. 	<ul style="list-style-type: none"> -Il faut beaucoup de temps pour organiser et effectuer les entretiens et la collecte des données primaires ; -Il faut du temps pour sélectionner des bons informateurs et établir la confiance ; -Coûteuse, avec les coûts d'organisation et de conduite des entretiens ; -Les informations obtenues peuvent être difficiles à quantifier.
Groupes de discussion (avec les acteurs locaux, exemple de la commune Zrekten).	<ul style="list-style-type: none"> -Obtention d'informations de différentes normes et opinions en peu de temps ; -La dynamique de groupe stimule la conversation, les réactions. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pas toujours efficace pour ressortir les vrais problèmes ; -Résultats peuvent être orientés par les participants ; -Le modérateur peut influencer fortement le résultat d'une discussion de groupe.

Enquête	<ul style="list-style-type: none"> -Peut produire une grande quantité de données en peu de temps pour un coût relativement bas ; -Flexible et peut être réalisé sous différents formats ; -Produit beaucoup de réponses -Les données peuvent être généralisées si l'échantillonnage est effectué soigneusement. 	<ul style="list-style-type: none"> -Peut prendre beaucoup de temps ; -Assurer un niveau élevé de réponse à une enquête peut être difficile à contrôler ; -Saisit ce que les personnes interrogées disent penser et croire mais pas forcément ce qu'elles font dans la vie réelle ; -Les données risquent de manquer de détails ou de profondeur sur le sujet.
Techniques spatiales et cartographie	<ul style="list-style-type: none"> -Permet de gagner du temps -Génère un grand nombre d'information sur une grande étendue de terrain ; -Permet de cibler les zones à intérêt pour l'enquête et l'observation ; -Gratuite. 	<ul style="list-style-type: none"> -N'explique pas les phénomènes digitalisés ; -Peut donner des erreurs sur la nature du terrain ; -Automatisé et nécessite une connaissance du terrain ; -Demande une vérification sur le terrain.
Techniques empiriques (Test de simulation des pluies et Sondage pour le Cs-137)	<ul style="list-style-type: none"> -Mesures sur parcelles expérimentales ; -Donne une idée sur les valeurs de l'érosion dans un contexte spécifique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Nécessite de fixer des paramètres de bases ; -Nécessite un laboratoire d'analyse ; -Nécessite un post traitement des données.

Chapitre 3. Les aspects de la dégradation et de la conservation du milieu

Dans le bassin versant du Rdat, la forêt a une grande place. Il s'agit de la forêt Glaoua Nord (voir tableau de ses cantons en annexe) qui occupe une superficie de 85%, dont 44% est en état de matorral et 24% en épars ou en état de dégradation avancée. Les cultures irriguées occupent une superficie de 7% alors que 8% restante est utilisée en bour ou correspond à des sols nus.

Bien que les sols peu évolués dominent, les terres cultivées sont abondantes à la moyenne montagne et à proximité des zones forestières. Les cultures céréalières prédominent avec près de 45% de la SAU. Viennent ensuite, les arbres fruitiers, en présence d'eau d'irrigation et les cultures maraîchères, les fourrages et l'agroforesterie (plantations d'oliviers) avec des rotations de céréale-jachère ou de céréale légumineuse. La part des terres en jachère est de l'ordre de 0,05% de la SAU, tandis que les superficies irriguées sont de l'ordre de 301 277 ha, soit près de 16% de la SAU régionale et 24% de la SAU irriguées au niveau national.

La relation entre l'Homme et la forêt dans le bassin versant du Rdat est dylemmique. La forêt assure les moyens de subsistance de la population locale. Ils y prélèvent le bois nécessaire pour leur survie (bois de feu pour le chauffage en hiver, et pour la cuisine, le bois de construction pour les toits des maisons, l'alimentation du bétail, etc.). Ces pratiques ne seront pas néfastes dans les mesures où la population locale est en phase avec l'équilibre environnemental. Or, les observations de terrains indiquent des aspects de défrichement et de surpâturage, à des stades avancés, laissant la place à de grands spectacles d'érosion par endroit. Dans ce chapitre on va évaluer la superficie des terres et leur évolution à travers une période de temps de 31ans, de 1984 à 2015, tout en quantifiant les changements observés en termes d'occupation des terres et d'érosion.

1. Aspects qualitatifs de changements

1.1. Formes de dégradation du couvert végétal

La dégradation du couvert végétal est un indicateur révélateur de la dynamique du bassin versant de Rdat. L'étude de son évolution permet de restituer l'histoire du milieu naturel.

Les versants dénudés de leur couvert, spécialement d'exposition Sud, connaissent des stades de dégradation intenses.

Les espèces dominantes, arborescentes, arbustives et buissonnantes informent sur l'état physionomique de la végétation.

La strate arborescente est constituée essentiellement de Chênaie (*Quercus rotundifolia*, *Quercus suber*), Pinèdes (*Pinus halepensis*), Genevriers (*Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, *Tetraclinis articulata*) *Ziziphus lotus*

La strate arbustive on retrouve ces mêmes espèces à l'exception du *Quercus suber*. En plus des espèces suivantes ; *Acacia gummifera*, *Olea europea*, *Phillyrea angustifolia*, *Retama dasycarpa*, *Adenocarpus anagyriifolius*, *Rus pentaphylla*.

La strate buissonnante surtout dominée par les cistes (*Cistus monspeliensis*, *Cistus laurifolius*, *Cistus salviifolius*, *Cistus villosus*), et *Chamaerops humilis* (doux), outre que les Xérophytaires. Et Allyssaies dans la haute montagne.

La présence de la végétation secondaire sur de grandes étendues de versant, indique des stades évolués de dégradation des forêts.

La présence du doux de façon abondante sur plusieurs versants (Commune de Zrekten), indique un stade d'évolution de la forêt. Il est rencontré généralement sur les zones de transitions, indiquant un changement d'aridité. Le ciste occupe des surfaces importantes dans l'espace forestier et témoigne également de la dégradation.

Bien que d'autres formes de stabilisation sont observées, notamment la reprise de quelques arbres forestiers, d'autres aspects de mutilation et d'adaptation des essences forestières sont remarqués. Témoignant de la dégradation antérieure. D'autres espèces comme le chêne liège, n'existent plus dans leur milieu naturel, qu'à l'état de pied isolé avec un recouvrement presque nul. L'âge de ces arbres indiquent qu'ils appartiennent à une époque remontée (les années cinquante). Les interviews avec la population locale, et surtout les anciens sédentaires informent sur l'exploitation intense que la forêt a subit dans les environs, vers la fin des années 1940. D'après l'étude d'aménagement réalisée en 1999 par la Direction régionale des Eaux et Forêts du Haut Atlas, les prélèvements annuels du bois de feu étaient estimés à 18609 stères, correspondant à environ 3,98 stères/ménage/an.



A : Milieu colonisé par le doum après disparition des arbustes



B : Doum en sailli de 60cm de hauteur



C : Matorral de Ciste et de doum



D : Arbres témoins à l'amont du versant



E : Racine de chêne vert coupée



F : Genévrier en poutre indiquant une forme d'adaptation ou une éducation

Photos groupées n°4 : Indices de dégradation de la forêt sur le terrain, commune de Zrekten



A : Femme transportant du bois coupé de la forêt Toufliht



B : Homme qui coupe les branches d'un arbre pour l'utilisation comme bois de feu



C : Troncs d'arbre taillé en poutre pour la construction de toit de maison

Photos groupées n°5 : Indices d'utilisation du bois de forêt par l'homme, commune de Zrekten

1.2.1. Dynamique des occupations des terres

Dans le bassin versant du Rdat, plusieurs occupations de terre ont été observées. La Forêt qui occupe une grande superficie, peut être classée selon l'état de dégradation et de recouvrement en trois classes ; la forêt dense à moyennement dense, la forêt claire et représentant un stade avancé de dégradation, et la forêt en forme de fruticées. L'agriculture une autre forme d'occupation des terre très répandue dans le bassin versant, elle peut être classée en deux classes ; les cultures irriguées à proximité des affluents, et l'agriculture bour ou terres pluviales, parfois confondues avec le sol nu.

Sur la base des missions de terrain, des zones d'entraînement (ROIs) ont été établies à partir de ces occupations de terre dominantes dans le bassin versant Rdat, qu'on a groupé en cinq classes distinctes comme suit;

- **Forêt dense à moyennement dense (FDM):** correspondant à la forêt dense et comprend les formations végétales à base de chêne vert, genévriers, et des reboisements de pin d'Alep ;
- **Forêt claire à dégradée (FCD):** représentant les stades de dégradation de la forêt naturelle dont le recouvrement de la strate arbustive est compris entre 20 et 50 %, allant du matorral bas et clair issu de la dégradation de l'ancienne chênaie et de l'ancienne Junipéraie, jusqu'à l'Erme;
- **Fruticées (Fru) :** arbustes et arbrisseaux et sous arbrisseaux, correspondant généralement à un maquis ou forêt très dégradée ;
- **Culture irrigué (CI) :** comprend les terrains occupés par les cultures irriguées et mises en jachère ;
- **Culture sèche et/ou sol nu (Cs/SN) :** correspond aux terres cultivées en bour (céréales) et aux sols nus.



A



B



C



D



E



F



G



H



I



J



K

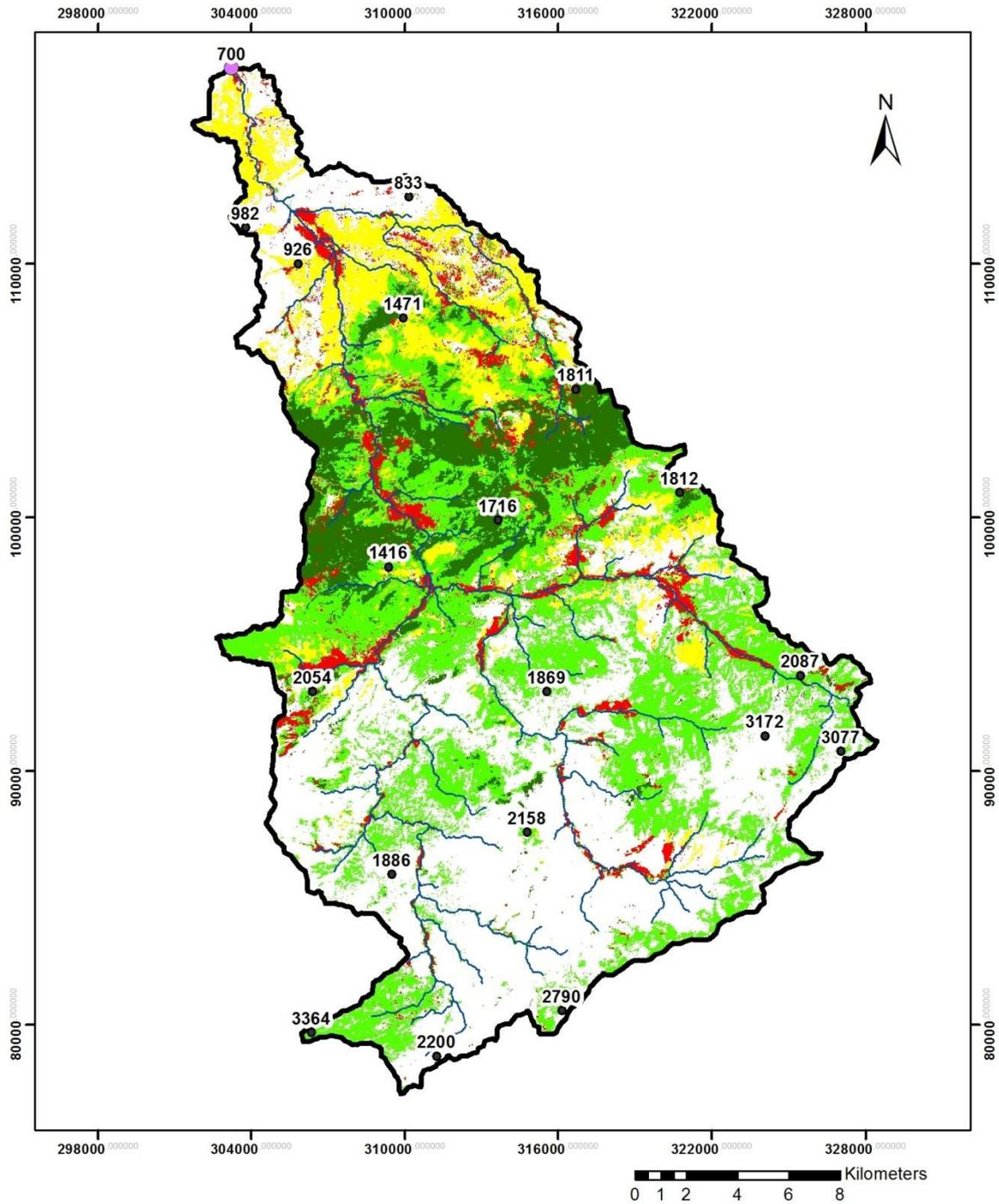


L

**Photos groupées n°6 : Principales occupation des terres observées dans le bassin versant du Rdat
 A-B : Cultures sèches et/ou Sol nu. C-D : Cultures irriguées. E-F : Forêt claire à dégradée. G-H : Forêt
 dense à moyennement dense. I-J : Forêt moyennement dense. K-L : Fruticées.**

1.2.2. Evolution spatio-temporelle des principales occupations de terres dans le bassin versant Rdat

Bien que l'analyse visuelle permette de voir la répartition spatiale des occupations des terres dominantes dans ce bassin versant, elle reste difficile à faire. Pour cela d'autres tableaux de transformations ont été élaborées pour estimer les surfaces transformées, ou restées intactes dans le temps (tableaux n°10-11-12). Nous avons procédé par la comparaison post-classificatoire de cinq cartes d'occupation de terre à travers l'étude diachronique s'étalant sur 31ans (1984 – 2015).



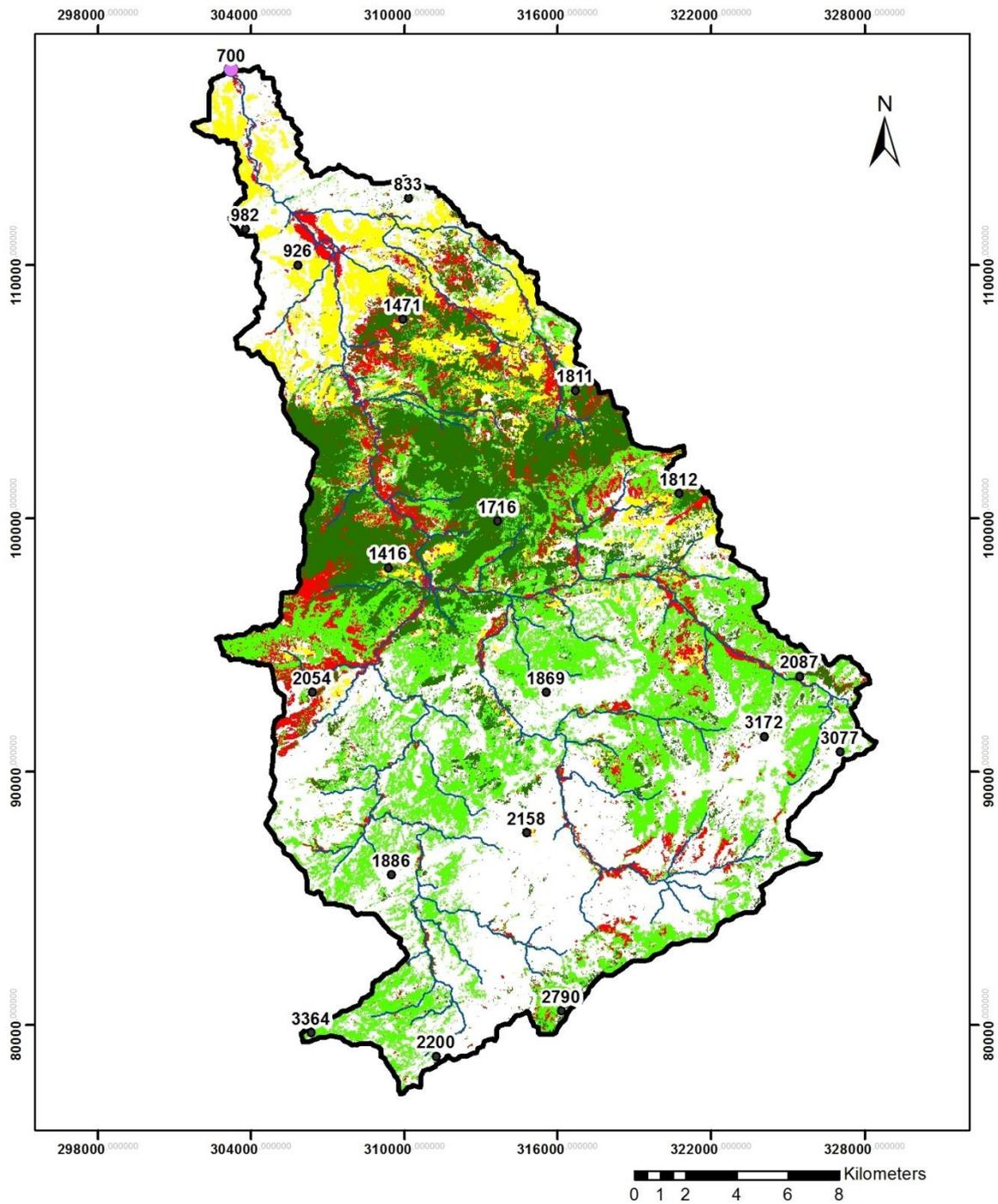
Légende

- Limite du bassin versant
- Réseau hydrographique
- Exutoire à Sidi Rahal
- Point de hauteur

Occupations des terres 1984

- Forêt dense à moyennement dense (FDM)
- Cultures irriguées (CI)
- Forêt claire à dégradée (FCD)
- Cultures sèches ou/et Sol nu (Cs/Sn)
- Fruticés (Fru)

Figure 11: Carte de l'occupation des terres du bassin versant Rdat en 1984



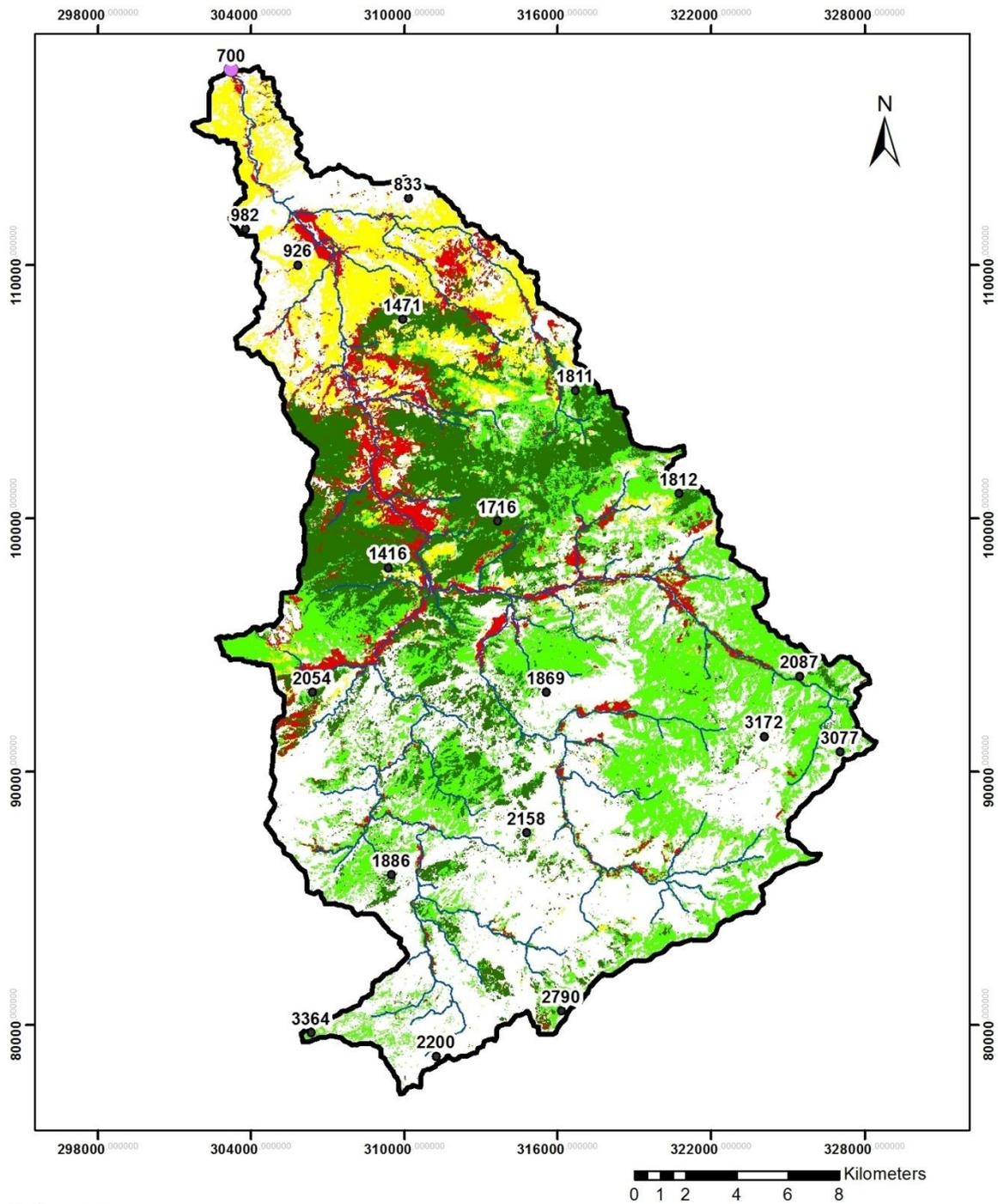
Légende

- Limite du bassin versant
- Réseau hydrographique
- Exutoire à Sidi Rahal
- Point de hauteur

Occupations des terres 2003

- | | |
|--|--|
| ■ Forêt dense à moyennement dense (FDM) | ■ Cultures irriguées (CI) |
| ■ Forêt claire à dégradée (FCD) | ■ Cultures sèches ou/et Sol nu (Cs/Sn) |
| ■ Fruticés (Fru) | |

Figure 12: Carte de l'occupation des terres du bassin versant Rdat en 2003



Légende

- Limite du bassin versant
- Réseau hydrographique
- Exutoire à Sidi Rahal
- Point de hauteur

Occupations des terres 2015

- | | |
|---|---|
| Forêt dense à moyennement dense (FDM) | Cultures irriguées (CI) |
| Forêt claire à dégradée (FCD) | Cultures sèches ou/et Sol nu (Cs/Sn) |
| Fruticés (Fru) | |

Figure 13: Carte de l'occupation des terres du bassin versant Rdat en 2015

- **Pourcentage de changement dans les classes d'occupation des terres**

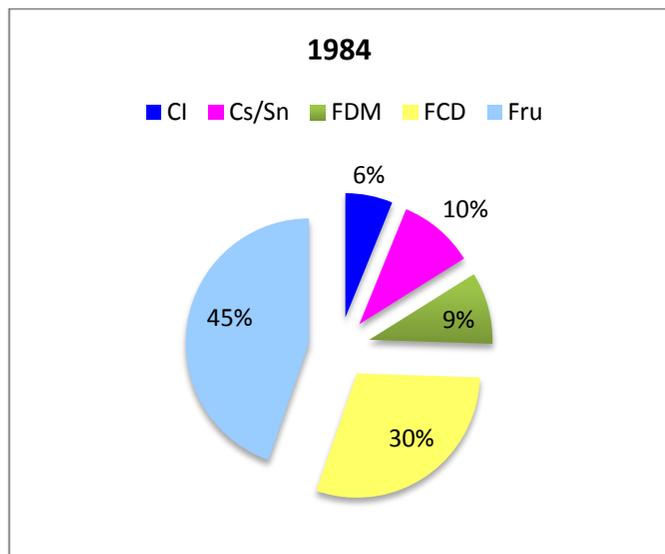


Figure 14: Pourcentage de changement dans les classes d'occupation des terres en 1984

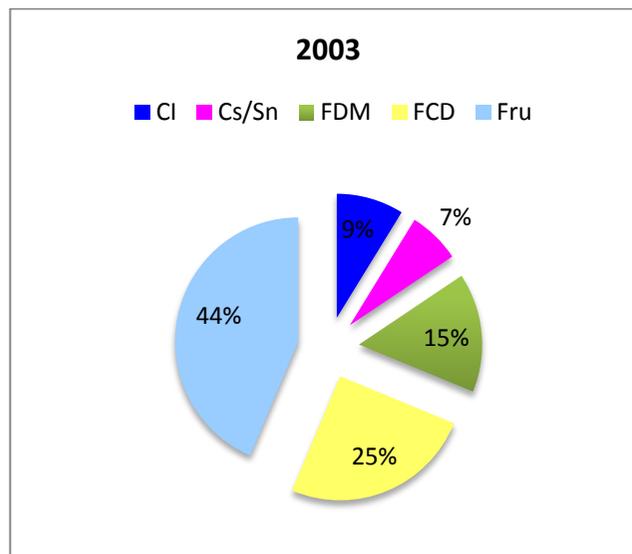


Figure 15: Pourcentage de changement dans les classes d'occupation des terres en 2003

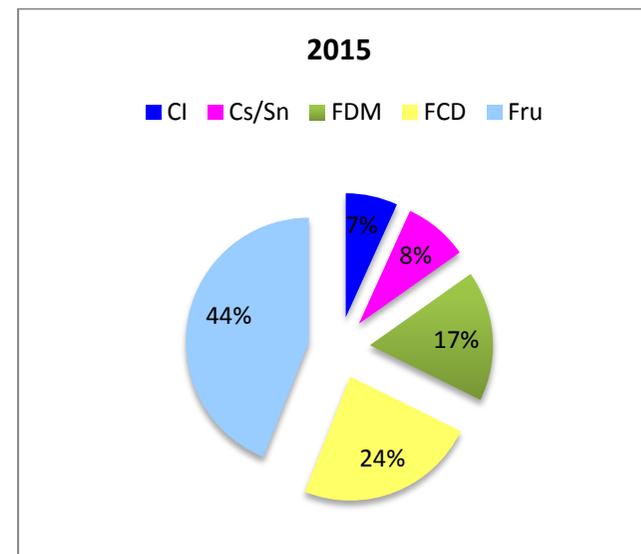


Figure 16: Pourcentage de changement dans les classes d'occupation des terres en 2015

Les pourcentages de changement dans le bassin versant du Rdat ne concernent que 41% de la totalité du bassin versant (figures 23-24).

- Evaluation du changement spatio-temporel survenu dans le bassin versant du Rdat

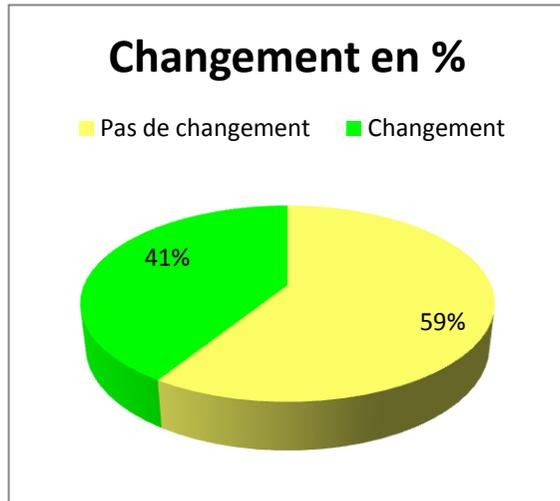


Figure 17: Graphique du changement en pourcentage dans le bassin versant du Rdat, sur une période 1984 – 2015

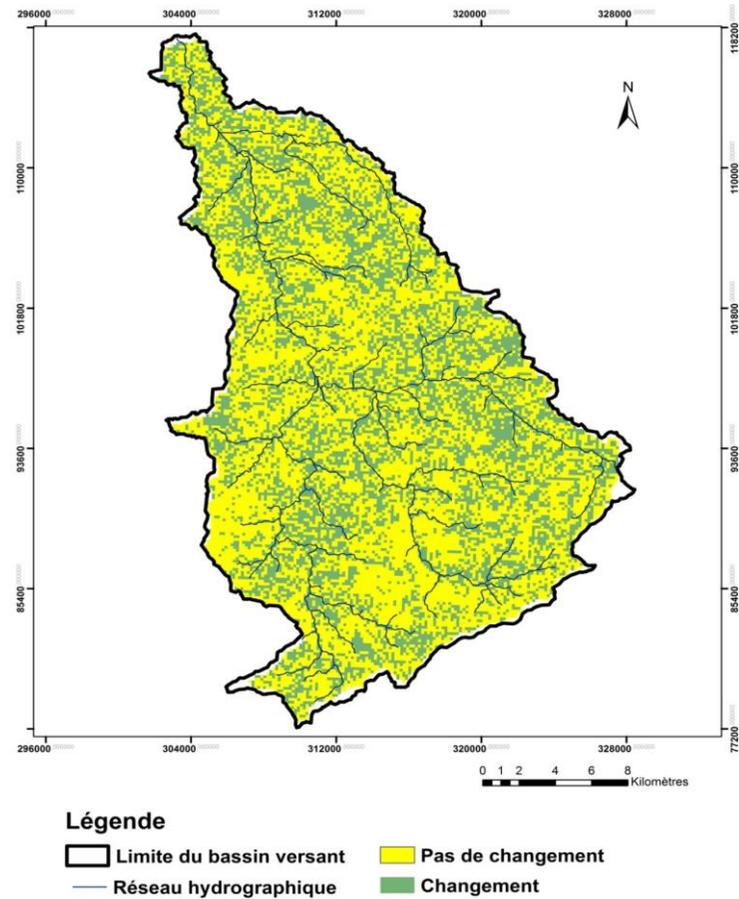


Figure 18: Carte de changement survenu au bassin versant de Rdat sur la durée de 31 ans (1984 – 2015)

1.2. Formes d'érosion hydrique des sols

Les principales formes d'érosion observées dans le bassin versant de Rdat ont des origines diverses, principalement le ruissellement. Les formations superficielles sont souvent entraînées dans ce processus, d'autant plus si elles sont friables. A long terme, l'érosion peut causer une baisse de productivité des terres arables.

Sur la base de l'observation des formes d'érosion dans le terrain, et par imagerie satellitaire ; Landsat à résolution 30m et 15m en panchromatique, ainsi que d'autres images intermédiaires ; google earth, et photos aériennes, on a pu établir cinq classes de formes d'érosion dominantes dans le terrain qui sont ;

- L'érosion en nappe ;
- L'érosion en griffes et rigoles ;
- L'érosion en ravines ;
- Ravinement profond et sapement de berge ;
- Badlands.



A



B



C



D



E



F



G



H



I



J



K



L

Photos groupées n°7 : Les principales formes d'érosion dans le bassin versant Rdat

A-B : Surfaces raclées par l'érosion. C : Erosion en griffe. D : Erosion en rigole. E : Rvinement. F : Badlands. G : Erosion linéaire à l'échelle d'un versant. H : Ravinement et sagement des berges. I : Glissement massif de terrain. J : Eboulement. K-L : Ravinement généralisé (Badlands).

1.2.1. Dynamique de l'érosion dans le bassin versant du Rdat

- **Erosion en nappe**

Correspond au stade initial de l'érosion hydrique. Cette forme d'érosion est causée par l'énergie de la battance des pluies sur les sols dénudés (Ellison, 1944). On parle d'érosion en nappe ou aréolaire, lorsque l'énergie des gouttes de pluie s'applique à toute la surface du sol, et le transport des matériaux détachés s'effectue par le ruissellement diffus.

L'érosion en nappe peut entraîner un décapage de la majorité de l'horizon humifère en quelques dizaines d'années. Les terres fines sont entraînées par les pluies, soit par drainage en profondeur, soit par érosion sélective, tandis que les cailloux trop lourds pour être emportés s'accumulent à la surface du sol (Roose, 1973).

- **Erosion linéaire**

L'érosion linéaire apparaît lorsque l'érosion en nappe s'organise, ou quand un flux concentré d'eau en provenance d'une surface amont arrive sur une surface aval et augmente la force du cisaillement du flux sur des sols fragilisés, c'est-à-dire, lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol. Il se forme d'abord des flaques, qui vont donner naissance à des lignes d'écoulement. L'énergie n'est plus dispersée sur l'ensemble de la surface du sol, mais concentrée sur ces lignes.

Contrairement à l'érosion en nappe qui affecte de grandes surfaces, l'érosion linéaire est plus localisée. Si on rapporte les pertes en terre à l'hectare, l'érosion linéaire est plus importante. D'autant plus que ses manifestations sont beaucoup plus visibles que l'érosion en nappe.

L'érosion en nappe peut se combiner à l'érosion linéaire pour former des fissures dans le sol, qui donne naissance à un processus de ravinement.

Le ravinement est le processus de formation des ravines. Il est favorisé sur les versants nus et sur les terrains imperméables soumis à des précipitations pluvieuses courtes mais intenses. Il est considéré comme le stade d'érosion linéaire le plus avancé. Cette forme élémentaire d'érosion est créée par le ruissellement concentré des eaux sur un versant.

Une distinction est parfois faite dans le domaine de l'érosion entre rigole, ravine fondé sur la base de leur profondeur (< 15 cm, $15-45$ cm, > 45 cm); outre le fait que les ravines constituent des structures plus marquées que les rigoles, qu'elles s'en distinguent essentiellement par leur caractère permanent. Bien qu'elles puissent dans certains cas être considérées comme des éléments du réseau hydrographique dans lesquels seuls des écoulements éphémères se produisent lors de fortes précipitations.

Contrairement aux cours d'eau permanents qui présentent en général un profil en long relativement régulier et concave, les ravines se caractérisent par un talus initial très marqué, souvent vertical, et une succession de replats et de chutes tout au long de leur cours. Elles sont par ailleurs, en général, plus profondes et moins larges qu'un cours d'eau permanent, et susceptibles de transporter d'avantage de sédiments, bien que leur comportement soit souvent imprévisible de ce point de vue. La présence de ravines constitue un signe patent d'érosion accélérée (Soutter et al., 2007).

- **Ravinement généralisé (les bad-lands)**

Le ravinement est un stade avancé de l'érosion linéaire. Il dépend de l'énergie du ruissellement, laquelle dépend du volume ruisselé multiplié par le carré de sa vitesse (Roose, 1994 ; Roose & al., 1999). Les ravines peuvent évoluer en ravins, puis se généraliser en badlands, si elles ne sont pas stabilisées. Les formes et l'évolution des ravins sont diverses et sont surtout liées à la lithologie (Roose et al 2000). Selon Roose et al. (2010). Ils peuvent évoluer en profondeur, en longueur et en largeur. Elles représentent le stade final de la dégradation.

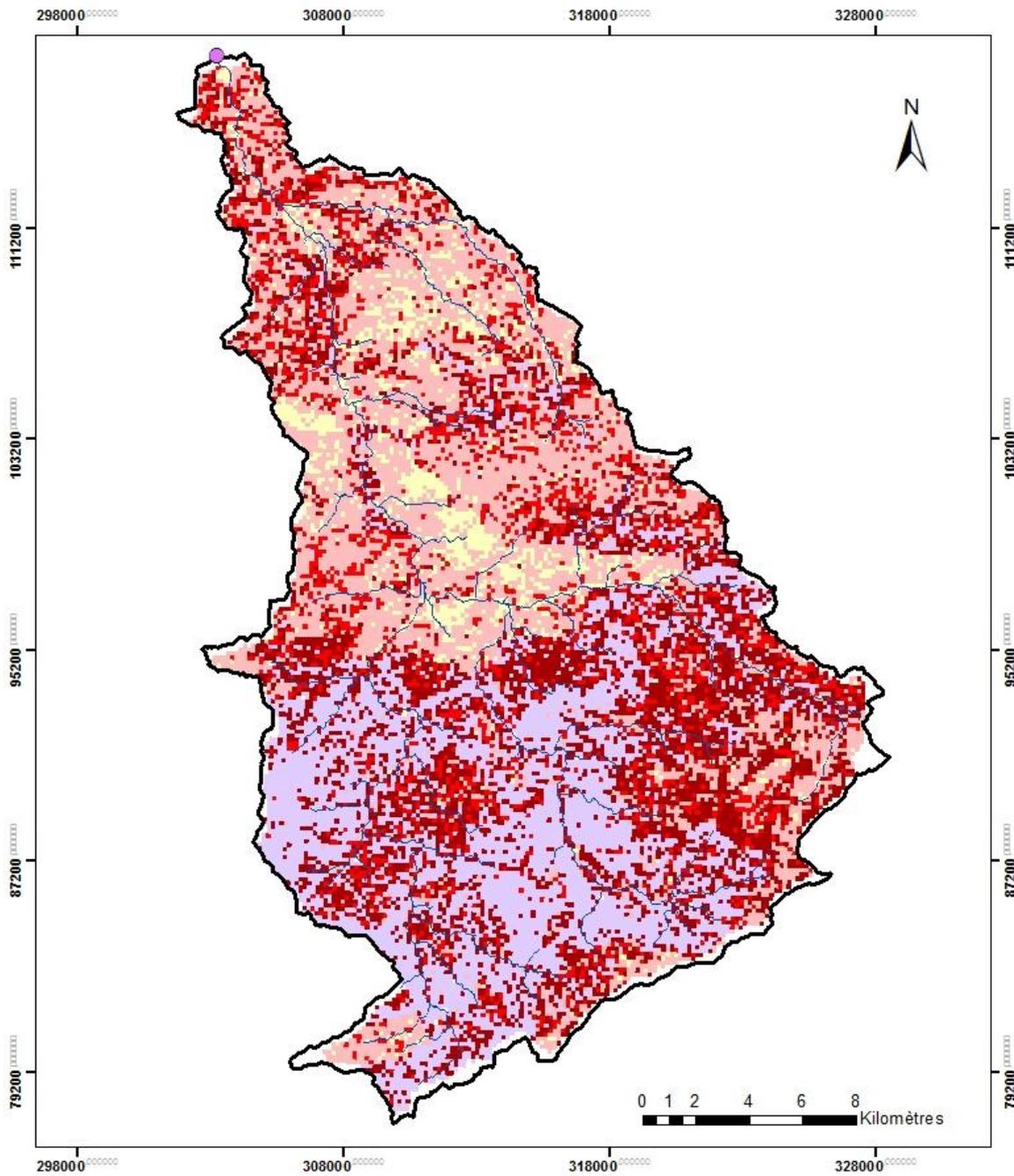
- **Mouvements en masse**

Les phénomènes de mouvement de masse sont très nombreux dont on peut citer :

Les glissements : sont des décollements d'une couche plus ou moins épaisse de sol, glissant sur un horizon plus compact (souvent de la roche altérée), servant de plan de glissement. Ce phénomène est très courant sur les schistes et sur les marnes en voie d'altération. Les glissements se produisent lorsque la contrainte de cisaillement dépasse la résistance du sol ou lorsque la limite de plasticité ou de liquidité est atteinte ;

Coulées boueuses et laves torrentielles : Ce sont des mélanges d'eau et de terre à haute densité ayant dépassé le point de liquidité et qui emportent à grande vitesse des masses considérables de boue et de blocs de roches de taille imposante. Les matériaux fins sont repris ultérieurement par l'érosion hydrique en nappe ou en rigole, laissant en place une masse de cailloux et de blocs de taille très hétérogène.

1.2.2. Evolution spatiotemporelle des zones instables



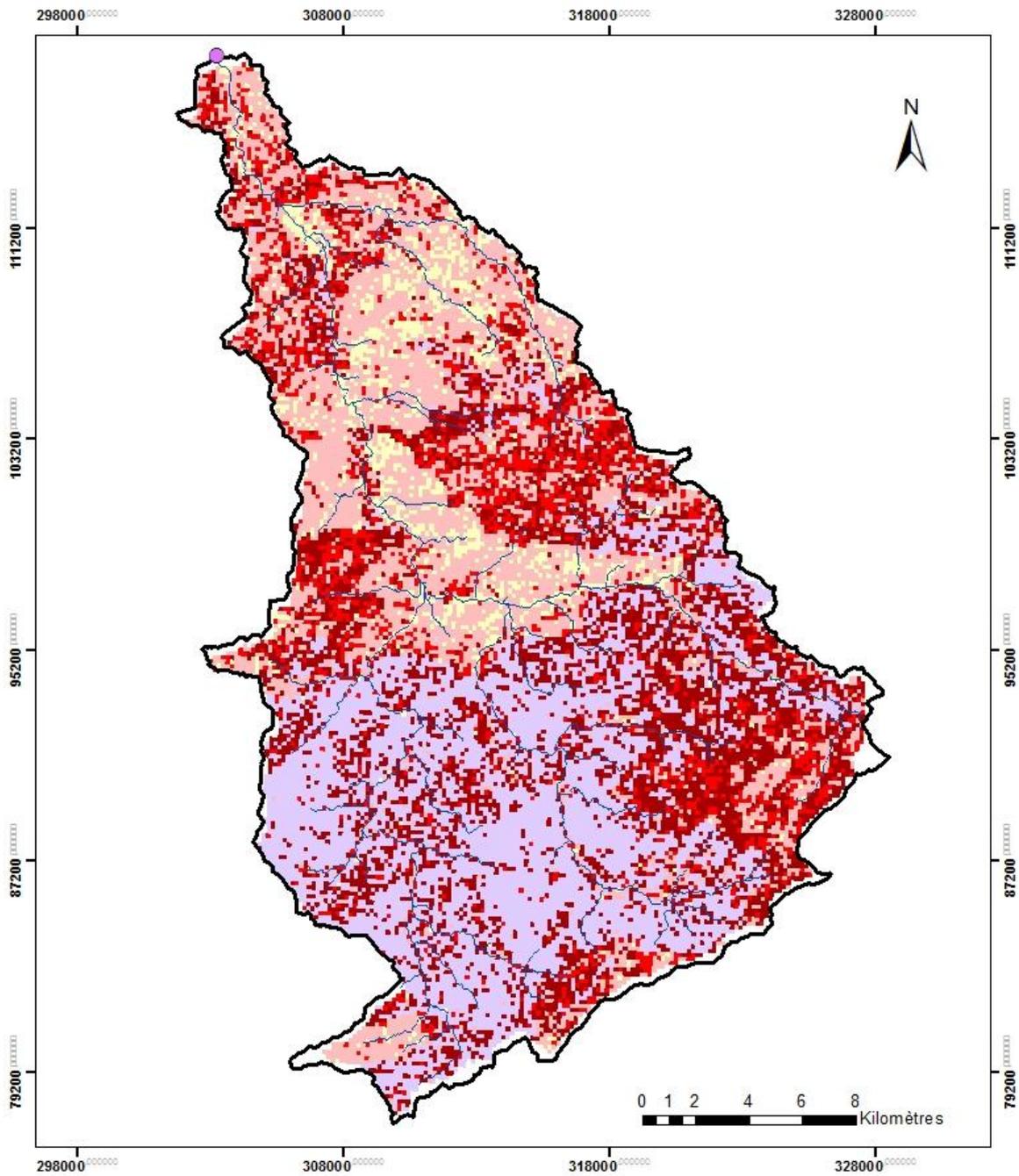
Légende

Stabilité du milieu en 2015

- Très stable
- Stable
- Instable
- Très instable
- Extrêmement instable

- Exutoire
- Réseau hydrographique
- Limite du bassin versant

Figure 19: Carte de répartition des zones stables et instables dans le bassin versant de Rdat en 2015



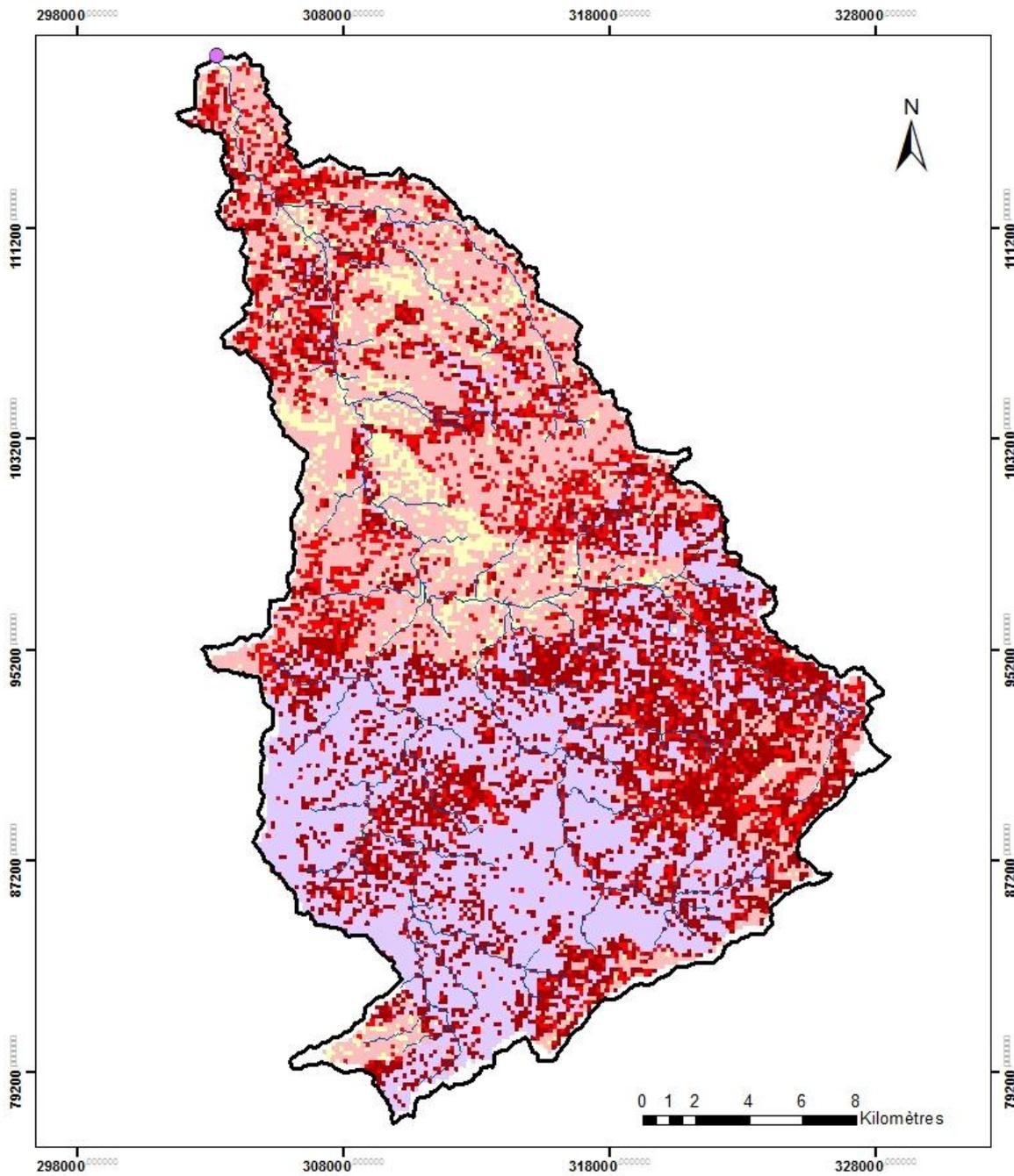
Légende

Stabilité du milieu en 2003

- Très stable
- Stable
- Instable
- Très instable
- Extrêmement instable

- Exutoire
- Réseau hydrographique
- Limite du bassin versant

Figure 20: Carte de répartition des zones stables et instables dans le bassin versant de Rdat en 2003



Légende

Stabilité du milieu en 1984

- Très stable
- Stable
- Instable
- Très instable
- Extrêmement instable

- Exutoire
- Réseau hydrographique
- Limite du bassin versant

Figure 21: Carte de répartition des zones stables et instables dans le bassin versant de Rdat en 1984

1.2.3. Changement spatio-temporel de la stabilité dans le bassin versant du Rdat

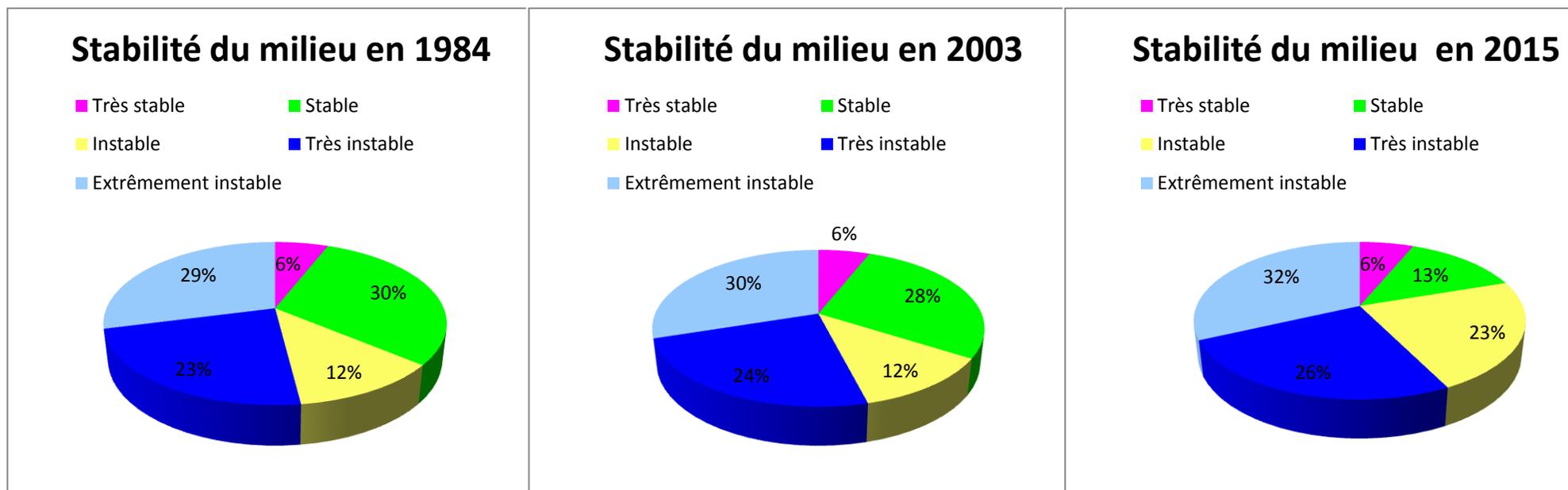


Figure 22: Pourcentage des zones instables en 1984

Figure 23: Pourcentage des zones instables en 2003

Figure 24: Pourcentage des zones instables en 2015

Les résultats obtenus donnent une information globale sur la stabilité du milieu, avec une dominance des zones instable à extrêmement instable qui constituent presque 80% du milieu alors que les milieux stable et très instables constituent presque 20%. Ces résultats permettent d'avoir une idée sur le degré d'instabilité du milieu et prévoit des taux d'érosion qui peuvent aller de à 12t/ha/an pour les cas modérés jusqu'à un taux supérieur ou égal à 50 t/ha/an pour les cas les plus extrêmes. Toutefois ils ne prennent pas en considération les spécificités micro-parcellaires, et peuvent être tempérés par les études locales qui prennent en considération les états de surface (voir les chapitres 4 et 5).

1.3. Les aspects quantitatifs du changement

1.3.1. Dynamique du changement durant la période entre 1984 et 2003

Tableau 10: Matrice des changements intervenus entre 1984 et 2003 dans le bassin versant Rdat

Classes thématiques		Etat initial en 1984					Total des classes de 2003
		CI	FDM	FCD	Cs/Sn	Fru	
Etat final en 2003 (km ²)	CI	16,4	3,9	17,4	4,8	4,3	46,7
	FDM	5	43,8	22,7	4,2	8,1	83,8
	FCD	6,6	2,2	91,2	2,1	34,4	136,5
	Cs/Sn	0,6	0	2,5	29,1	4,6	36,9
	Fru	4,2	0,6	28	13,6	190,3	236,8
Total des classes de 1984		32,7	50,5	161,9	53,8	241,8	540,7
Changement réel (km ²)		16,4	6,7	70,6	24,7	51,4	169,8
Changement en %		50	13,2	43,6	45,9	21,3	
Dynamique		+14	+33,3	-25,3	-16,9	-5	

1.3.2. Dynamique du changement durant la période entre 2003 et 2015

Tableau 11: Matrice des changements intervenus entre 2003 et 2015 dans le bassin versant Rdat

Classes thématiques		Etat initial 2003 en (km ²)					Total des classes de 2015
		CI	FDM	FCD	Cs/Sn	Fru	
Etat final en 2015 (km ²)	CI	18	6,4	9,4	0,2	2,8	36,8
	FDM	7,5	58,9	14,1	0,8	10,3	91,6
	FCD	12	8,7	77,3	2,2	27,9	128
	Cs/Sn	4,1	2	0,8	26,9	11,8	45,5
	Fru	5,2	7,9	34,8	6,9	184	238,8
Total des classes de 1984		46,7	83,9	136,5	36,9	236,8	540,7
Changement réel (km ²)		28,7	24,9	59,7	10	52,8	175,6
Changement en %		61,5	29,7	43,3	27,2	22,3	
Dynamique		-9,9	+7,8	-8,5	+8,6	+2	

1.3.3. Dynamique du changement durant la période entre 1984 et 2015

Tableau 12: Dynamique du changement entre 1984 et 2015

Classes thématiques		Etat initial 1984					Total des classes de 2015
		CI	FDM	FCD	Cs/Sn	Fru	
Etat final en 2015 (km ²)	CI	17	3,5	12,4	1,7	2,3	36,8
	FDM	3,8	41,8	31,31	2,8	11,8	91,6
	FCD	4,9	4,2	82,33	5,2	31,4	128
	Cs/Sn	1,4	0,3	4,2	32,2	7,5	45,5
	Fru	5,6	0,9	31,7	11,8	188,8	238,8
Total des classes de 1984		32,7	50,5	161,9	53,8	241,8	540,7
Changement réel (km ²)		15,7	8,8	79,5	21,6	53	178,6
Changement en %		48,1	17,4	49,1	40	21,9	
Dynamique (km ²)		4,1	41	33,8	8,3	3	
Dynamique (%)		+12,5	+81,2	-20,9	-15,4	-1,3	

Dans ce tableau les changements en superficie ont été calculés sur la base des classes changées sur ArcGis, avec une précision du pixel correspondant à 30m² en réalité. Les changements en km² ont été calculés en prenant en considération la superficie inchangée (en jaune), par rapport au total des classes des années 80, pour connaître les superficies ayant réellement été affectés par le changement. Les valeurs ont été ensuite transformées en pourcentage pour faciliter la lecture. (Exemple de calcul : (Changement réel en km²/Total des classes de l'état initial)*100).

Tableau 13: Changement des occupations de terre en pourcentage

Occupation de terre	Par rapport aux classes			Qualification	Par rapport au bassin versant	
	Etat initial en km ² (1984)	Etat final en km ² (2015)	% Dynamique		Changement en km ²	% Dynamique
CI	32,7	36,8	+12,5	Progression	4.1	+0,8
FDM	50,5	91,6	+81,2	Progression	41.1	+7,6
FCD	161,9	128	-20,9	Régression	-33.9	-6,2
Cs/Sn	53,8	45,5	-15,4	Régression	-8,3	-1,6
Fru	241,8	238,8	-1,2	Régression	-3	-0,6

D'après les résultats, on constate que le bassin versant Rdat a connu un changement positif dans deux classes ; Les cultures irriguées (CI) et la forêt dense à moyennement dense (FDM), respectivement avec les pourcentages suivants 12,5% et 81,2% de progression par rapport aux années 80. Les cultures sèches et/ou sols nus (Cs/Sn) ont régressé de 15,4%, et la forêt claire à dégradée (FCD) de 20,9%. Les fruticées (Fru) n'ont pas beaucoup changé dans le temps, ils ont régressé de seulement 1,3%. Les superficies en km² permettent de mieux ressortir le changement dans chaque occupation de terre et par conséquent une meilleure analyse.

1.3.4. Les superficies des terres affectées par le changement

□ **La forêt dense à moyennement dense** a connu un changement de 81,2% sur une période de 31ans. On est passé de 50,5km² en 1984 à 91,6km² en 2015 de forêt dense à moyennement dense, correspondant à 41 km². Sachant que 41,8km² de forêt est resté inchangé dans le temps voici les changements effectués sur les 8,7km² affectées :

- Une régression de 4,2 km² de forêt transformée en forêt claire à dégradée ;
- Une régression de 3,5km² de forêt transformée en culture irriguée ;
- Une régression de 0,3km² de forêt transformée en culture sèche/sol nu ;
- Une régression de 0,9km² de forêt transformée en fruticées.

La forêt claire à dégradée a connu un changement de -20,9% sur une période de 31 ans. Depuis 1984 elle occupait une surface de 161,9km², pour passer à 128km² en 2015 de forêt claire à dégradée, correspondant à 33,8km². Sachant que 82,33 km² de forêt est resté inchangé dans le temps voici les changements effectués sur les 79,5 km² affectées :

□ en 2015 des changements ont été observés :

- Une régression de 31,3km² de forêt transformée en forêt dense à moyennement dense ;
- Une régression de 12,4km² de forêt transformée en culture irriguée ;
- Une régression de 4,2km² de forêt transformée en culture sèche/sol nu ;
- Une régression de 31,7km² de forêt transformés en fruticées.

□ **Les cultures irriguées** ont connu une progression de 12,5% sur une période de 31ans. Depuis 1984 elle occupait une surface de 32,7 km², pour passer à 36,8 km² en 2015, correspondant à 15,7 km² de changement réel. Sachant que 17 km² de cultures irriguées sont restées inchangé dans le temps voici les changements effectués sur les 15,7 km² affectées :

- Une régression de 3,8km² transformée en forêt dense à moyennement dense ;

- Une régression de 4,9km² transformée en forêt claire à dégradée ;
- Une régression de 1,4km² transformée en culture sèche/sol nu ;
- Une régression de 5,6km² transformée en fruticées.

□ **Les cultures sèches et sols nus** ont connu une régression de -15,4% sur une période de 31ans. Depuis 1984, cette classe occupait une surface de 53,8 km² pour passer à à 45,5 km², correspondant à 21,6 km² touché réellement par le changement. Sachant que 32,2 km² de Cultures sèches et ou Sols nus sont restés inchangés dans le temps, voici les changements effectués :

- Une régression de 2,8 km² en Forêt dense à moyennement dense ;
- Une régression de 5,2 km² transformée en Forêt claire à dégradée ;
- Une régression de 1,7 km² transformée en Culture irriguée ;
- Une régression de 11,8 km² transformée en fruticées.

□ **Les Fruticées** ont connu une régression de 1,2% sur une période de 31ans. Depuis 1984 cette classe occupait une surface de 241,8 km² pour passer à 238,8 km² en 2015. Sachant que 188,8 km² de fruticées sont restés inchangées dans le temps, voici la répartition des changements effectués :

- Une régression de 2,3 en Cultures irriguées ;
- Une régression de 11,8 en Forêt dense à moyennement dense ;
- Une régression de 31,4 en Forêt claire à dégradée ;
- Une régression de 7,5 en Cultures sèches et ou Sols nus.

1.3.5. Analyse des superficies des terres susceptibles à l'érosion

Tableau 14: Estimation du taux d'érosion spécifique dans le bassin versant du Rdat

Taux d'érosion spécifique	1984		2003		2015		Dynamique en %
	Superficie en ha	%	Superficie en ha	%	Superficie en ha	%	
0 à 2 t/ha/an	3100	6	3500	6	3400	6	0
2 à 12 t/ha/an	16400	30	15300	28	7300	13	-2
12 à 20 t/ha/an	6400	12	6400	12	12300	23	+11
20 à 50 t/ha/an	12300	23	12700	24	13800	26	+3
>50 t/ha/an	15700	29	16100	30	17200	32	+3

Le système d'information géographique de la carte des formes d'érosion combiné à l'équation universelle des pertes en sol (RUSLE) indique que 80% des zones instables se concentrent sur le substrat permotriasique et schisteux respectivement à la moyenne montagne et à l'amont du bassin versant. Tandis que 20% des zones stables constituent des cuvettes ou des zones de faibles pentes.

La dynamique spatio-temporelle des zones instables indique une progression de l'instabilité de 17% avec une grande dominance des zones instables, avec un pourcentage de progression de 11% à elle seule, correspondant à une perte en sol équivalente à 12 à 20t/ha/an. Les zones stables ont régressé de 2%. Ce qui indique que l'état de dégradation est dans un sens de développement. La surface des zones extrêmement instables a augmenté de 3% en passant de 29% à 32%, la surface des zones très instables a également augmenté de 3%, en passant de 23% à 26%. Les zones instables ont augmenté de 11%, en passant de 12% à 23%, entre la période (1984 – 2015). Les zones très stables représentant 6% du bassin versant n'ont pas connu de changement, cependant les zones stables ont régressé de 2%.

Une superficie de 41% du bassin versant Rdat a connu un changement dans sa dynamique érosive. Les zones dominantes qui représentent 80% du bassin versant, sont des zones instables, correspondant à une superficie de 43300 ha en 2015.

Les pertes en sol estimés indiquent des valeurs en hausse variant entre 12t/ha/an et dépassant les 50t/ha/an selon les formes d'érosion prospectée.

Ces résultats permettent d'avoir une idée préliminaire sur l'ampleur de la dégradation des terres. Par contre ils ne suffisent pas pour étudier le phénomène de l'érosion dans sa complexité. Pour apporter plus de résultats à cette étude, d'autres travaux ont été réalisés parallèlement ce qui permet d'avoir d'autres entrées d'analyse, notamment :

- L'analyse des carottes de sol par la technique du Césium-137 ;
- La simulation de pluie sur parcelle expérimentale ;
- Les enquêtes socio-économiques ;

Chapitre 4. Apport de la technique du Cesium-137 pour l'estimation des pertes en sol

Dans les chapitres précédents nous avons pu avoir une idée grossière sur les valeurs d'érosion, grâce à la modélisation, qui est un moyen élégant de valoriser les observations et les données accumulées afin de prévoir variations spatiales pour différents scénarios de gestion des paysages. (Roose, E. 2002). Néanmoins, elle n'est pas suffisante pour décrire le phénomène de l'érosion dans sa complexité. Pour cela il est important d'effectuer des analyses localement pour avoir des valeurs réalistes sur le terrain étudié. Un processus basé sur les modèles physiques et empiriques, comme l'analyse du Césium-137 et la simulation de pluie sur parcelles expérimentales qui peut donner des résultats complémentaires.

Toutefois l'étude de l'érosion est complexe, elle nécessite un grand nombre de données, qui ne sont pas toujours disponibles, sur les composantes du milieu naturel.

Dans ce contexte, l'utilisation des radiotraceurs, particulièrement le Cesium-137 constitue une alternative intéressante, elle est particulièrement rapide, économiques et donne des estimations quantitatives, après échantillonnage.

L'étude de la distribution du Cesium-137 dans l'environnement permet de renseigner sur l'importance et la variabilité spatiale des déplacements des particules de sol générées par l'action de l'érosion hydrique, La technique de Cs-137 a été largement utilisée à l'échelle internationale et a prouvé son potentiel d'application au niveau national, néanmoins elle est restée limitée à certaines zones (Bouhlassa et al.,1994 ; Lahlou, 1997 ; Benmansour et al.,2000 ; Nouira et al 2000). Dans le bassin versant de Rdat, aucune étude de Cesium-137 n'a été encore faite, les résultats obtenus sont importants puisqu'ils vont donner une idée sur les pertes en sol dans la région. Ils ont été réalisés dans le cadre du projet PPR2 (Projet Prioritaire de la Recherche scientifique et du développement technologique).

La méthodologie de Cs-137 qui combine entre plusieurs approches d'estimation de l'érosion nous a permis de nous informer sur les mouvements des particules de sol et de donner des évaluations quantitatives sur les taux de perte et de dépositions de sol, ceci à l'échelle d'une toposéquence représentative des différentes occupations qui dominent dans le bassin versant du Rdat, et ainsi avoir une idée sur l'importance de l'érosion sous différentes occupations et sous mêmes conditions de pentes et de lithologie. L'objectif de l'étude par le Cs-137 étant

d'avoir une idée sur les taux moyens d'érosion sous différentes occupations de terre, et compléter les résultats antécédents obtenus par les autres méthodes d'estimation de l'érosion. Huit sites ont été échantillonnés sur une toposéquence en adoptant l'approche transect pour étudier la redistribution du Cs-137 le long de la toposéquence (figure n°9). Les activités de Cs-137 ont été déterminées par l'analyse spectrométrie gamma à l'aide d'un détecteur Germanium hyper pur Canberra. Les taux d'érosion ont été calculés à partir des deux modèles théoriques (PP et MB2) pour les cultures et PDM pour la forêt.

1. Mesure des inventaires

1.1.Site de référence

Le site de référence de latitude 31.46001° N et de longitude 007.40421°W été choisi dans une zone non perturbée, sur une hauteur de 1395m et reçoit la même quantité des précipitations d'une moyenne de 799mm. Il représente une activité spécifique de 1884 (Bq/m²) en moyenne, qui est une valeur de référence pour cette étude, qui permettra d'interpréter l'activité en Cs- 137 dans les différents sites de prélèvement, qui seront classé de déposition si le site présente une activité supérieure au site référence, le cas inverse il est interprété comme site d'érosion.

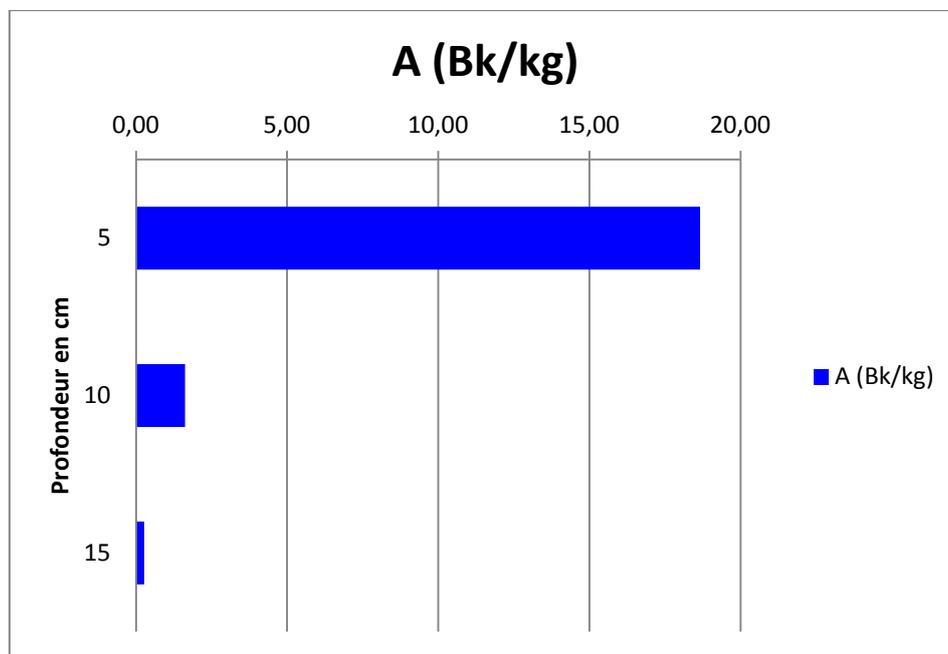


Figure 25: Redistribution du 137Cs en profondeur du sol dans le site de référence

La carotte du site référence présente le type de profil caractéristique de distribution du Cs-137 dans un sol non perturbé avec une augmentation légère de l'activité massique jusqu'à une valeur maximale : 18,67 (Bq/kg) observé aux premiers centimètres, soit les 4-6cm de la

surface puis une décroissance exponentielle nette jusqu'à une profondeur de disparition de 15cm.

Les premiers horizons de sol concentrent le maximum d'activités radioisotopiques, ce qui donne une idée sur le pourcentage du Cs-137 fixé par chaque horizon, et dévoile une forte rétention aux 5 premiers centimètres de la surface. Elle est donc déterminante pour l'étude de la dégradation.

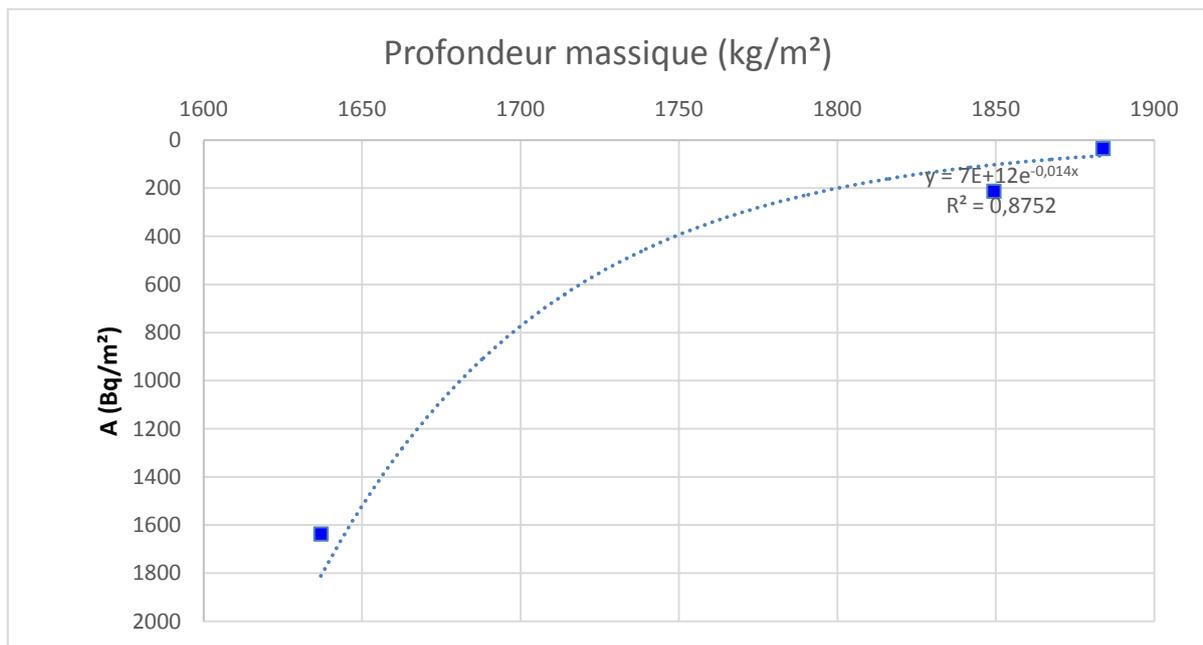


Figure 26: Courbe et équation de distribution du 137Cs en profondeur du sol dans le site de référence

La variabilité observée dans le site de référence est essentiellement due à l'hétérogénéité des états de surfaces et non pas aux variations de grandes échelles, puisque l'échantillonnage a été fait de façon localisée sur des surfaces de seulement 30 cm de longueur sur 10 cm de diamètre, correspondant aux dimensions du cylindre utilisé pour les prélèvements de carotte de sol. L'importance des mouvements du sol est estimée en comparant l'activité spécifique en Cs-137 (Bq/m²) des sites étudiés à celle de sites témoins non érodés.

1.2. Sites de culture

Les prélèvements des carottes a été effectué sur quatre types de cultures sèches dominantes dans la zone d'étude ; une céréaliculture bienvenante, un terrain de culture abandonné de plus de 50ans, une jachère de deux ans et une terre de culture avec présence de doum en sailli. L'activité spécifique d'une culture sèche avec doum en sailli présentent des inventaires en Cs-

137 de 158 Bq/m², une céréaliculture où l'activité spécifique a été nulle, correspondant au plus haut taux d'érosion dans la zone. Cependant une autre carotte de céréaliculture bienvenante 1350 Bq/m² et une jachère de deux ans 1298 Bq/m² s'approchent de l'inventaire de référence, ce qui suppose que l'érosion est très faible dans ces derniers.

1.3.Sites forestiers

L'activité spécifique dans le site forestier est importante 4005 Bq/m² correspondant à une forêt dense à moyennement dense sous Oxycèdre rocailleux avec ciste. Les valeurs étant élevé en comparaison avec le site référence il peut être considéré comme une zone d'accumulation. Sur le même transect en aval, on retrouve une forêt dégradée à dominance de cistes dont l'activité spécifique a été estimée à 3003 Bq/m², et le parcours pâturé 879 Bq/m² qui s'éloigne de la référence pour témoigner d'une érosion importante dans la zone.

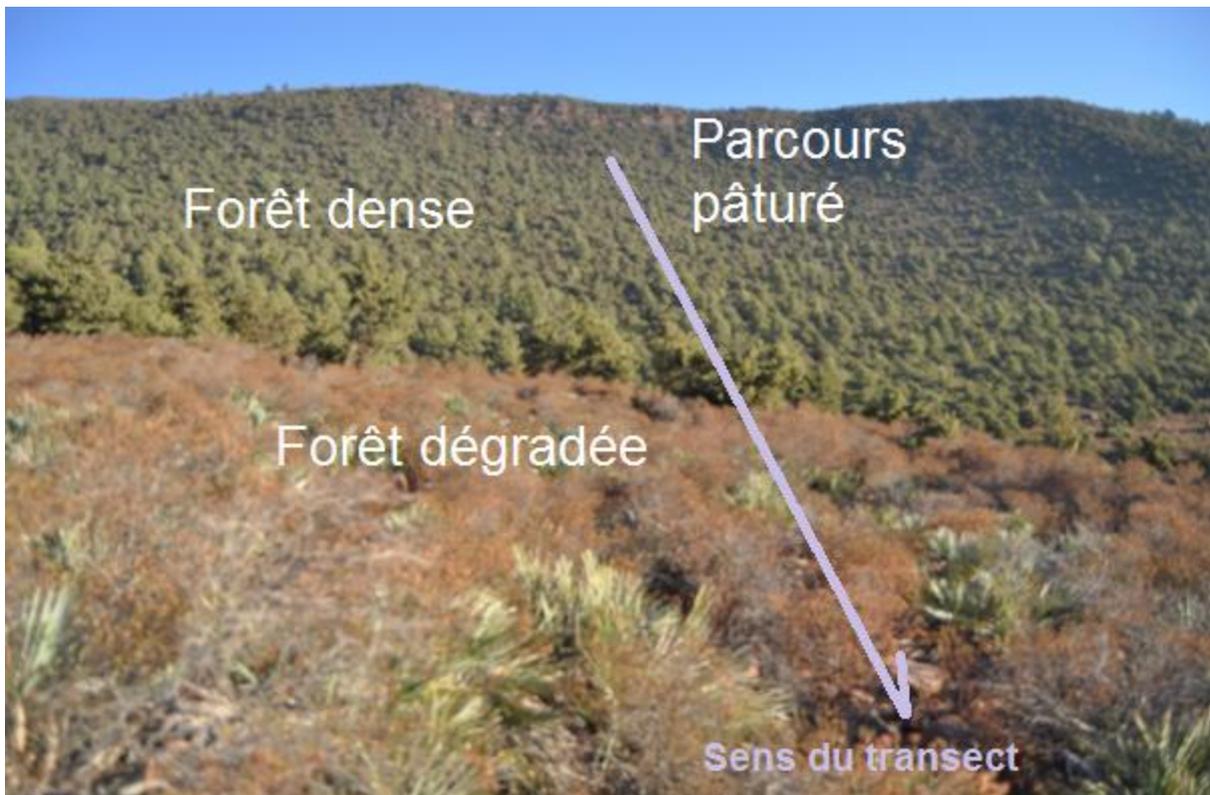


Photo 8 : Une partie de transect montrant la forêt dense, le parcours pâturé et la forêt dégradée

2. Mesure de l'activité du Cesium-137 dans les sites étudiés

Les résultats montrent qu'on peut distinguer deux zones ; les zones d'accumulation et les zones d'érosion.

Tableau 15: Activité du Cs-137 dans les sites étudiés et modèles utilisés

N° Echantillon	Occupation	Act.(Bk/kg)	A(Bq/m ²)	(t/ha/an)	Occupation
E1	Culture sèche (Doum en sailli)	0	158	-65,27	Culture sèche (Cs) (Modèle PP et MB2)
E2	Céréaliculture ancienne (>50ans)	0	0	-73,61	
E3	Céréaliculture bienvenante	3	1350	-2,37	
E5	Jachère	3	1298	-5,1	
E4	Forêt dégradée (doum+cistes) (Fruticées)	0	35	-49,68	Forêt et matoral (Modèle DMM)
E6	Parcours pâturé (Fruticées)	10	3003	15,55	
E7	Forêt dense sous Oxycère	14	4005	25,24	
E8	Parcours pâturé (Fruticées)	4	879	-6,22	

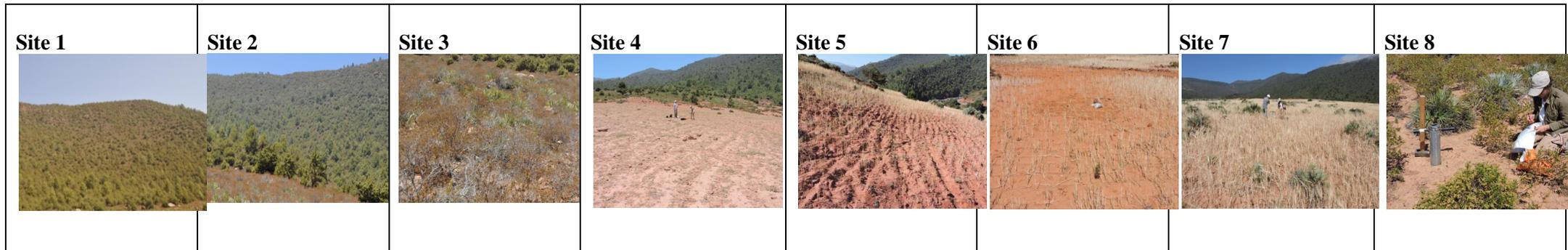
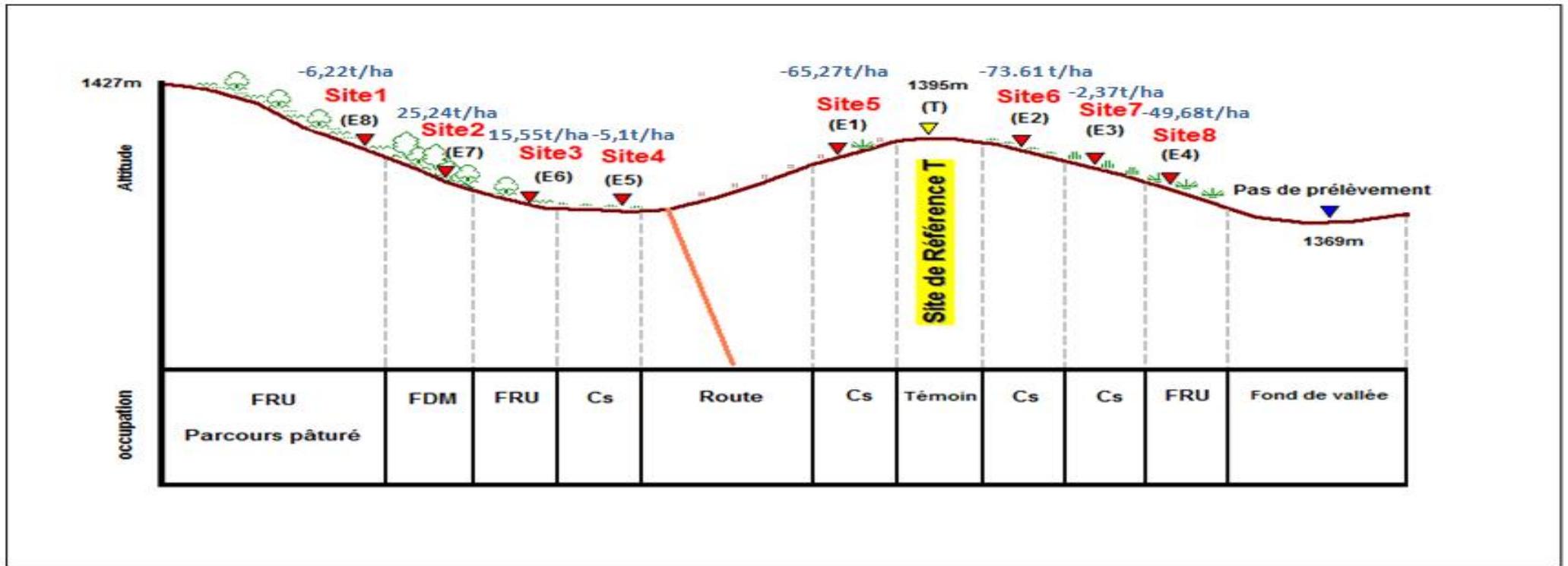


Figure 26 : Toposéquence des sites d'échantillonnage du Césium-137

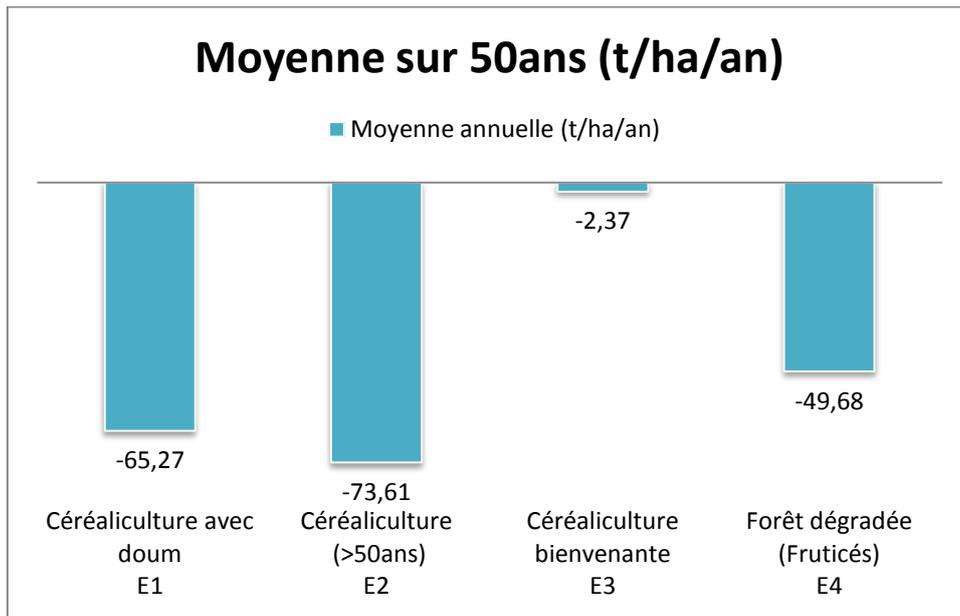


Figure 27: Moyenne d'accumulation et d'érosion annuelle au transect n°2 (fig.9)

Les sites de cultures avec du doum en sailli (E1), présentent une érosion importante (-65,27 t/ha/an) dont témoignent la végétation du doum mis en sailli. La forêt dégradée (E4) formée par des fruticées à base de doum, connaît une érosion importante également (-49,68 t/ha/an). Ceci est dû à l'état de surface, au travail du sol, combiné à l'effet de la pente.

Le site correspondant à une céréaliculture ancienne (E2) ne présente presque aucune trace de Cs-137, avec une estimation de l'érosion très importante (-73,61 t/ha/an). Ceci est peut être dû à l'absence des sédiments fins auxquels se fixent le Cs-137 puisqu'il y'a un sol squelettique dans la zone qui repose directement sur la roche mère.

La céréaliculture bienvenante (E3), malgré la pente, présente une érosion faible en raison de la couverture du sol et son travail.

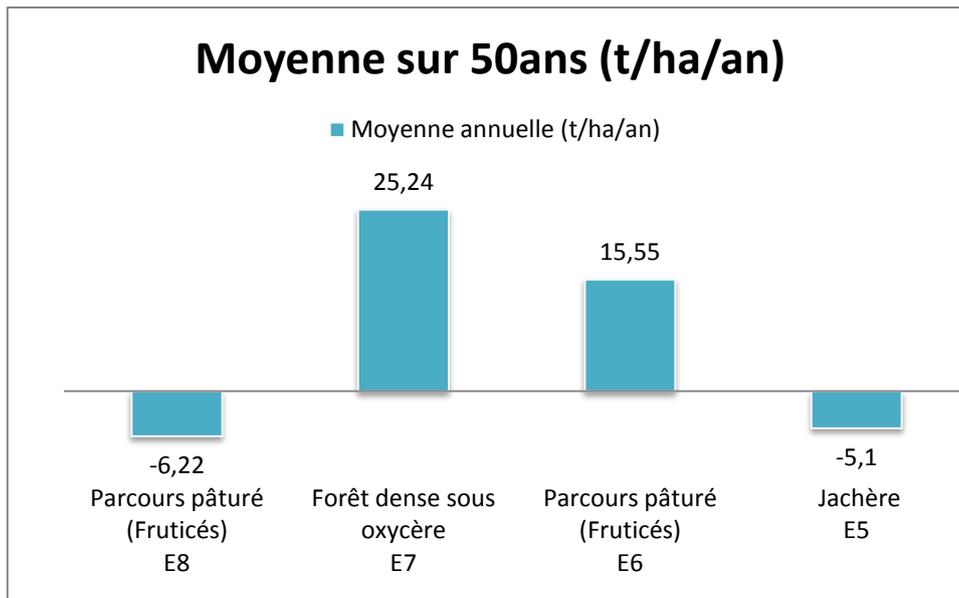


Figure 28: Moyenne d'accumulation et d'érosion annuelle au transect n°1(fig. 9)

On remarque que la forêt dense sous oxycère rocailleux avec ciste (E7) et les fruticées (E6) qui correspondent à une forêt claire à dégradée permettent l'accumulation des sédiments et le dépôt, avec des valeurs respectivement de 25,24 t/ha/an et 15,55 t/ha/an. Ce qui peut être expliquée par le fait que la forêt dans ce versant freine les sédiments en provenance du haut de versant et du sommet qui présentent une zone de parcours pâturée. Cependant le sommet qui est un parcours pâturé (E8) et l'aval qui est une jachère (E5), présentent une érosion estimée à -6,22 t/ha/an et -5,1 t/ha/an respectivement.

3. Analyse quantitative des résultats

L'inventaire du Cs-137 des sites forestiers correspond à une activité spécifique de 4005 Bq/m² pour la forêt dense à moyennement dense, et de 879 Bq/m² pour une forêt claire et 45 Bq/m² pour les fruticées correspondant à un état de dégradation avancée. Ces inventaires sont inférieurs à l'inventaire de référence 1884 Bq/m², sauf pour la forêt dense à moyennement dense sous oxycère, ce qui reflète l'importance de l'érosion dans ses sites. De même pour les sites de cultures, quelques cas de figures ont été observés ; une culture sèche avec doum en sailli présentent des inventaires en Cs-137 de 158 Bq/m², une céréaliculture ancienne (+50ans) où l'activité spécifique a été nulle, correspondant au plus haut taux d'érosion dans la zone. Cependant une autre carotte de céréaliculture bienvenante 1350 Bq/m² et une jachère de deux ans 1298 Bq/m² s'approchent de l'inventaire de référence, ce qui suppose que l'érosion est très faible dans ces derniers. De façon générale, Pour les sites de cultures, les résultats de

Cs-137 sont compris entre 0 Bq/m² et 1350 Bq/m². Et pour les sites forestiers, les valeurs de Cs sont comprises entre 34 et 4005 Bq/m².

Les taux d'érosion moyens obtenus avec le Cs-137 montrent une variabilité selon l'occupation des terres ce qui permet de déduire que pour les sites de cultures l'érosion est toujours présente avec des taux variés selon l'occupation de terre. Pour les sites forestiers nous remarquons deux cas de figure : L'érosion pour les forêts dégradées ; l'exemple des fruticées et des parcours pâturés. Le deuxième cas de figure est l'accumulation ; l'exemple des forêts denses à moyennement denses.

Les résultats des pertes en sol à long terme (~ 50 ans) montrent que la majorité des sédiments arrachés proviennent des terrains cultivés. Ces terrains présentent des taux d'érosion variant de 2 à 74 (t/ha/an), alors que les sites du parcours pâturé et de la forêt présentent des taux d'érosion nettement plus faibles, ne dépassant pas 8 (t/ha/an).

Chapitre 5. Impact des occupations des terres sur le comportement hydrologique

La simulation de pluie sur parcelle expérimentale permet de quantifier le ruissellement et les sédiments transportés et ainsi de compléter l'information sur l'estimation de l'érosion. Dans ce chapitre, à travers la technique de simulation de pluie, on va essayer de ressortir l'impact des occupations des terres d'un sol peu évolué essentiellement permotriasique dans le bassin versant de Rdat, sous la même pente variant entre 15 et 20%, sur les différents paramètres mesurés. Les occupations de terre étudiées sont celles présentées dans le premier chapitre ; la forêt dense à moyennement dense, la forêt claire à dégradée, les cultures irrigués, les cultures sèches et/ou sols nus, et les fruticées. L'objectif étant de simuler une pluie d'intensité constante et de contrôler en parallèle l'intensité du ruissellement, afin d'obtenir un hydrogramme de ruissellement, qui sera complété par une étude des caractéristiques de surface du sol.

Le simulateur de pluie utilisé est un simple irrigateur manuel (Roose, 1996), qui permet une régulation de l'intensité de la pluie simulée. Sur une surface de 1m² (1,66m de long et 0,6m de large). Pour chaque occupation de terre, trois répétitions de mesures ont été effectuées, afin de mieux représenter l'occupation étudiée.

L'étude a demandé les opérations suivantes :

- Réalisation de trois tests de simulation de pluie pour chaque occupation des terres étudiée et décrite dans le chapitre antécédent ;
- Analyse des échantillons du sol ; physico-chimie et granulométrie des sols ; densité apparente (Da), porosité (P), humidité initiale (H), matière organique (MO), Détachabilité (Dc), Granulométrie.
- Caractérisation des états de surface mesurés sur terrain et paramètres physiques des sols ; les paramètres de l'état de surface mesurés sont les taux d'ouverture et de couverture de surface (%SO, %SF), les résistances à la pénétration et au cisaillement (PEN, SS) et la rugosité de la surface du sol (R%).
- Analyse des paramètres hydrologiques ; comme l'infiltration finale (If), la pluie d'imbibition (Pi).
- Comparaison des paramètres physico-chimique et hydrologique, paramètres de l'état de surface du sol entre les différentes utilisations des terres.

1. Les sites d'évaluations

Les sites dans lesquelles le test de simulation a été réalisé sont au long d'un transect de 10km, à coté de la vallée de Tijeddant située près de l'Oued Ighi. En parcourant plusieurs occupations de terre, nous avons pu sélectionner quelques parcelles qui répondent aux critères méthodologiques décrits dans le chapitre 2.

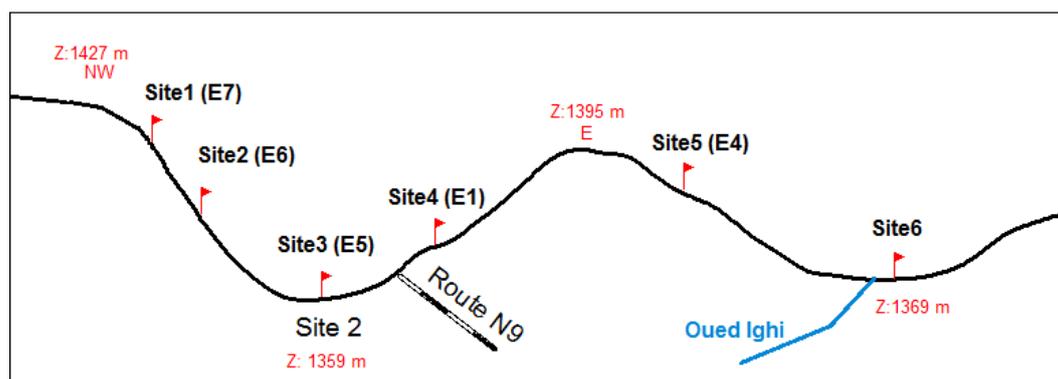


Figure 29: Schéma du transect de Tijeddant, commune rurale de Zrekten

Tableau 16: Caractéristiques des sites d'évaluation

Sites d'évaluation	Coordonnées	Profondeur du sol	Occupation
Site 1 (E7)	31,46171 7,40774	Peu profond (10 cm)	(FDM) Forêt dense avec Cistes
Site 2 (E6)	31,45976 7,40800	Roche mère	(Fru) Parcours paturé
Site 3 (E5)	31,45993 7,40744		(Cs) Jachère de 2ans Céréaliculture
Site 4 (E1)	31,45944 7,40653	Peu profond (10 – 30cm)	(Cs) Céréaliculture avec doum en sailli
Site 5 (E4)	31,45903 7,40242		(Fru) sur Céréaliculture
Site 6	31,45785 7,39209	Profond (50cm) Avec faible pierrosité	(CI) Orge irrigué Sur terrasse de l'Oued Ighi

Tableau 17: Type d'érosion et pratique de contrôle par site d'évaluation

Sites d'évaluation	Type d'érosion - intensité	Pratique de contrôle de l'érosion
Site 1 (E7)	Erosion en nappe	Absente
Site 2 (E6)	Erosion en nappe sur sol tassé, avec présence de croûte de battance	
Site 3 (E5)	Erosion en rigole	
Site 4 (E1)	Erosion en nappe intense (touffes en doum mises en sailli ; butte de 50 cm), Erosion aréolaire avec griffes, rigoles et ravines	Labour traditionnel selon courbe de niveaux
Site 5 (E4)	Défrichement partiel Traces de ruissellement moins fréquentes	
Site 6	Erosion en nappe	Irriguée en planches

2. Effet des occupations des terres sur la capacité d'infiltration (résultats du test de simulation de pluie

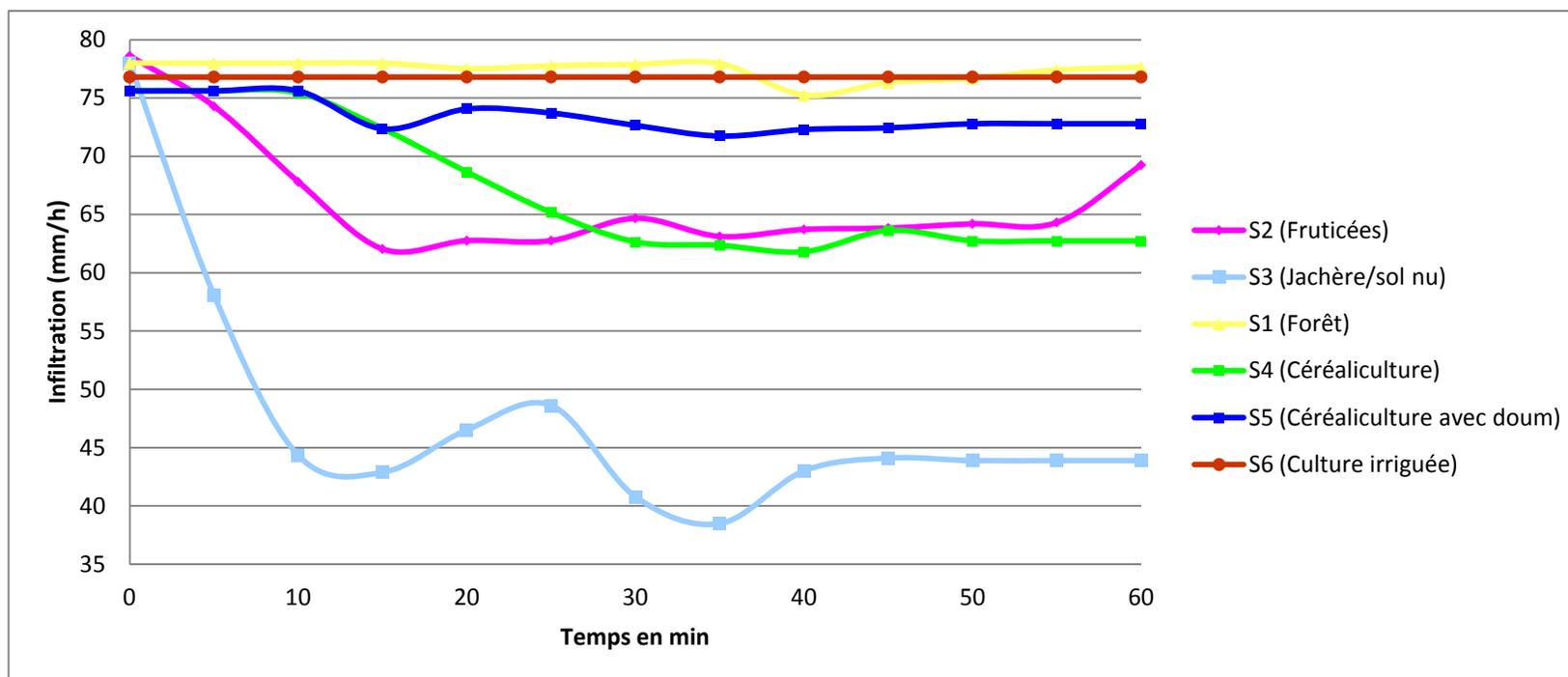


Figure 30: Variation de l'infiltration en fonction du temps pour les différentes occupations de terre, à la commune de Zrekten

Tableau 18: Coefficient de ruissellement CR en %

Sites	S1 (Forêt)	S2 (Fruticées)	S3 (Jachère/sol nu)	S4 (Céréaliculture)	S5 (Céréaliculture+doum)	S6 (culture irriguée)
If	77,5	66,8	43,9	62,7	72,8	76,8
CR %	3,1	16,5	45,1	21,6	9	4

Tableau 19: Valeurs moyennes des propriétés hydrologiques et physico-chimiques étudiées ainsi que leur écart-type pour les sites de Zrekten

Paramètres étudiés	S2 (Fruticées)			S3 (Jachère/sol nu)			S1 (Forêt)			S4 (Céréaliculture)			S5 (Céréaliculture+doum)			S6 (culture irriguée)	
	\bar{X}	σ	CV	\bar{X}	σ	CV	\bar{X}	σ	CV	\bar{X}	σ	CV	\bar{X}	σ	CV	\bar{X}	σ
Pi (mm/h)	3,5	0,9	24,1	2,9	0,1	3,3	6,0	10,3	173,2	10,5	1,8	17,2	4,3	7,4	173,2	0,0	0,0
If (mm/h)	66,8	12,4	17,9	43,9	12,8	29,2	77,5	0,4	0,5	62,7	9,5	16,6	72,8	6,9	9,5	76,8	0,0
Da (g/cm3)	35,4	2,5	7,1	37,1	5,0	13,4	29,2	7,7	26,3	37,5	4,9	13,0	35,8	4,0	11,0	31,3	2,5
Dc (g/m ² /h)	188,48	-	-	189,68	-	-	0	-	-	204,59	-	-	154,58	-	-	0	-

\bar{X} : moyenne ; If : infiltration finale ; Pi : pluie d'imbibition ; CV : Coefficient de variation ; σ : Ecartype; Da : densité apparente ; Dc : Détachabilité

Les graphiques suivants décrivent comment évolue la capacité d'infiltration en fonction du temps, pour chaque occupation de terre.

Pour noter ces effets, une averse constante de 75mm/h a été simulée, ce qui a permis de suivre l'évolution d'infiltration des différents usages en fonction du temps (fig. 30), ainsi qu'une analyse de variance permettant de déduire s'il existe une différence significative d'infiltration au niveau de ces différentes occupations.

L'observation de l'évolution de la capacité d'infiltration du sol indique que les paliers d'équilibres sont atteints à partir de 10min pour la céréaliculture sur doum, puis à 15min par les fruticées, 20min pour la Jachère, et après 30min pour la céréaliculture. La variation entre les différentes occupations sont plus restreintes entre 40 et 80 mm/h. Le sol nu et la céréaliculture (culture sèche) ont une capacité d'infiltration plus réduite par rapport à la forêt et aux cultures irriguées. Les parcelles de cultures pluviales et jachères sont les moins infiltrantes, avec une infiltration finale qui ne dépasse pas (80mm/h), correspondant à un coefficient de ruissellement de 45,13% et 21,63%. Ils représentent le plus grand taux de ruissellement pour les occupations de terre étudiées, suivi de la céréaliculture pluviale qui représente un coefficient de ruissellement de 21,6% et finalement les fruticées avec un coefficient de ruissellement de 16,5%. La forêt et la culture irriguée ont les plus faibles coefficients de ruissellement correspondant respectivement à 3,1% et 4%. Ainsi on peut conclure que la forêt est légèrement moins ruisselante que la céréaliculture irriguée, et 7 fois moins ruisselante que la céréaliculture pluviale. Les fruticées et les cultures sèches ont presque le même comportement hydrologique, sauf quand le terrain cultivé est sur doum, son comportement change et s'approche du comportement de la forêt (Coefficient de ruissellement de 9%).

Un sol cultivé en irrigué a une capacité d'infiltration importante, du fait qu'il est couvert d'une litière importante, le même cas pour la forêt.

L'infiltration sous les fruticées est plus faible par rapport à la céréaliculture, du fait du tassement du sol par le piétinement animal.

1. Effet des états de surface et des propriétés physico-chimiques du sol sur l'infiltration finale

Le comportement du sol face aux événements pluvieux, est un phénomène complexe qui fait intervenir plusieurs facteurs, et se manifeste par l'infiltration et le ruissellement.

Ainsi pour mettre en évidence l'influence des propriétés du sol sur l'infiltration finale, des études de corrélation peuvent être réalisées entre cette dernière (infiltration finale I_f) et certaines variables explicatives étudiées (densité apparente, surfaces ouvertes, teneur en matière organique, etc.).

La densité apparente est élevée au niveau des parcelles S3 et S4 correspondant à la jachère et la céréaliculture pâturée, par rapport à la céréaliculture S2 non pâturée. La parcelle de la forêt S1 et celle des fruticées S2 ont une valeur intermédiaire entre les deux, du fait qu'elles sont aussi pâturées, mais couvertes. Ces résultats confirment l'effet du tassement prononcé par l'effet du piétinement.

L'analyse des propriétés hydrologiques (infiltration finale, pluie d'imbibition, coefficient de ruissellement et détachabilité) permet de ressortir l'impact négatif du pâturage et de la mise en culture sur le comportement hydrologique du sol.

Les parcelles S3 et S4 sont les plus ruisselantes ($I_f=43,9$ mm/h et $I_f=62,7$ mm/h), et génèrent par conséquent plus de ruissellement (CR% 45,13 et CR% 21,6), et de sédiments ($D_c=189,68$ g/m²/h et $D_c=204,59$ g/m²/h). Alors qu'en forêt et en culture irriguée où on aboutit à une meilleure infiltration ($I_f=77,5$ mm/h et $I_f=76,8$ mm/h) il y'a presque un faible ruissellement (CR% 3,1 et CR% 4) et par conséquent pas de sol détachable, ce qui traduit l'effet positif de la végétation d'une part, et l'effet du travail positif du sol.

Les hydrologues ont montré que l'apport de sédiments dans les rivières est généralement plus faible que les pertes de sol à l'échelle de champ (dépôts de colluvions) sauf dans les jeunes paysages montagneux où l'érosion ravinante est plus efficace que l'érosion en nappe. Le taux de sédiment ne dépend pas seulement de l'intensité de la pluie (dans le cas du flux Hortonien), mais aussi de la surface de la roche argileuse molle, de la couverture végétale et du débit maximal, ainsi qu'à la saturation de zones contributives partielles du bassin hydrographique (Roose, 2002 ; Cosandey, Robinson 2000).

Tableau 20: Paramètres de Densité apparente, de porosité et d'humidité selon la profondeur du sol

Echantillon		S1P1			S1P2			S1P3			S2P1			S2P2			S2P3			S3P1			S3P2			S3P3		
Profondeur		0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Paramètres	mf	347,7	251,4	0	359,3	172,2	0	405,9	317,6	0	367	376,2	372,2	368,6	341,9	396,5	435,4	372,7	362,7	388,2	456,5	418,6	449,1	385,2	375,7	332,4	447,7	300,4
	ms	339,9	245,1	0	354	167,5	0	402	312,4	0	364,2	355,8	363,5	366,9	340	393,4	433,5	372,6	360,3	386	452,9	414,5	446,8	380,7	368	330,6	442,8	294,6
	Da (g/cm ³)	30,9	22,3	0	32,2	15,2	0	36,5	28,4	0	33,1	32,3	33	33,4	30,9	35,8	39,4	33,9	32,8	35,1	41,2	37,7	40,6	34,6	33,5	30,1	40,3	26,8
	P%	66,7	76	0	65,3	83,6	0	60,6	69,3	0	64,3	65,1	64,3	64	66,6	61,4	57,5	63,4	64,7	62,1	55,6	59,3	56,2	62,6	63,9	67,6	56,6	71,1
	H%	2,3	2,6	0	1,5	2,8	0	1	1,7	0	0,8	5,7	2,4	0,4	0,6	0,8	0,4	0	0,7	0,6	0,8	1	0,5	1,2	2,1	0,6	1,1	2

Echantillon		S4P1			S4P2			S4P3			S5P1			S5P2			S5P3			S6P1			S6P2			S6P3			Moyenne
Profondeur		0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	
Paramètres	mf	39,4	43,2	42,3	33,9	52,0	33,6	35,9	41,7	40,9	35,2	29,6	0	42,9	38,8	39,4	35,1	35,4	40,2	34,6	35,7	29,5	37,1	31,4	32,9	29,4	31,8	35,1	34,6
	ms	38,9	41,6	40,3	33,7	50,9	32,6	35,7	40,8	40,3	35,1	29,7	0	42,8	38,8	38,5	42,4	34,8	40,0	34,4	35,3	29,1	36,9	31,7	32,5	29,2	30,9	34,2	33,7
	Da (g/cm ³)	35,4	38	36,7	30,6	46,3	30	32,5	37,1	36,7	31,9	27,1	0	38,9	34,6	35	38,6	31,7	36,4	31,3	32,1	26,6	33,6	28,2	29,6	26,6	28,1	31,1	29,9
	P%	61,8	59	60,4	66,9	50	67,7	65	59,9	60,4	65,5	70,8	0	58	62,6	62,2	58,4	65,8	60,8	66,3	65,3	71,2	63,7	69,5	68,1	71,3	69,7	66,4	60,3
	H%	1,3	3,6	4,8	0,9	2	1,8	0,7	1	1,6	0,4	0,6	0	0,4	1,1	1,4	0	0,4	0,7	0,6	1,3	0,8	0,5	1,1	1,2	0,7	0,9	2,7	1,2

Tableau 21: Texture du sol des sites étudiés

Echantillon		S1p1	S1p2	S1p3	Moyenne	S2p1	S2p2	S2p3	Moyenne	S3p1	S3p2	S3p3	Moyenne
% SUR LA TERRE FINE	%A	9,4	9,2	8,4	9	8,3	11,8	8,5	9,5	8,6	8,5	9,3	8,8
	%LF	6,7	5,3	3,2	5,1	1,9	3,3	3	2,7	2,5	3,3	4,6	3,5
	%LG	6,3	6,8	8,6	7,2	12,9	6,8	7,5	9,1	8,2	11,3	10,6	10
	%SF	39	38,7	38,4	38,7	43,1	44,2	43,6	43,6	44,5	49,7	48,7	47,6
	%SG	22,5	21,7	24	22,7	21	23,8	22,5	22,5	22,7	18,3	21,2	20,7
	%CaCO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% SUR LA PARTIE MINERLE A	%A	11,2	11,3	10,2	10,9	9,6	13,1	9,9	10,9	9,9	9,3	9,8	9,7
	%L	15,4	14,8	14,3	14,8	17	11,2	12,3	13,5	12,3	15,9	16,2	14,8
	%S	73,4	74	75,5	74,3	73,4	75,7	77,7	75,6	77,8	74,7	74	75,5
Texture		Limon sableux				Limon sableux				Limon sableux			

Echantillon		S4p1	S4p2	S4p3	Moyenne	S5p1	S5p2	S5p3	Moyenne	S6p1	S6p2	S6p3	Moyenne
% SUR LA TERRE FINE	%A	9,1	9,4	9,1	9,2	7,7	6,6	6,1	6,8	11,2	9,1	9,1	9,8
	%LF	5,8	8	7,8	7,2	4,5	5,3	3,6	4,5	5,9	3,9	5,2	5
	%LG	13,9	12,4	12,1	12,8	6,1	5	6,9	6	4,9	6,2	4,9	5,3
	%SF	30,6	29,1	28,5	29,4	45,5	48,6	50,6	48,2	27,5	37,5	32,1	32,4
	%SG	1,5	2,9	1,3	1,9	21	16,4	21,6	19,6	34,9	24,2	28,7	29,3
	%CaCO3	13,4	14,9	14,9	14,4	0	0	0	0	1	0,9	0,9	0,9
% SUR LA PARTIE MINERLE A	%A	14,9	15,1	15,5	15,2	9,1	8	6,9	8	13,3	11,3	11,4	12
	%L	32,4	33,1	33,9	33,1	12,5	12,5	11,8	12,3	12,8	12,5	12,6	12,7
	%S	52,8	51,8	50,6	51,7	78,4	79,4	81,3	79,7	73,9	76,3	76	75,4
Texture		Limon				Sable limoneux				Limon sableux			

A : Argiles ; LF : Limons fins ; LG ; Limons grossiers ; SF : Sable fin ; SG : Sable grossie

En surface de 0 à 10 cm, la densité des sols est relativement faible ($>0.3\text{g/cm}^3$). En profondeur, à partir de 10cm on note une nette augmentation de la densité, qui diminue à nouveau dès qu'on dépasse 20cm. Dans les parcelles labourées au cover-crop, le sol peut être tassé à la profondeur de 10 à 20cm, ce qui est exprimé dans le tableau n°19 par des valeurs de densité élevée sur ces parcelles. L'infiltration de l'eau à cette profondeur de sol diminue par la semelle de labour créée par l'effet du cover-crop et peut donner lieu à des nappes d'eau perchées (Ameziane, 1996). Une porosité élevée permet une infiltration rapide de l'eau. A partir de l'horizon B, souvent occupé par les racines en cas de parcelle de forêt (S1), ou de céréaliculture sur doum en touffe (S4) ; aucune trace d'hydromorphie.

La porosité est très importante sur ces sol, elle est partout élevée surtout à l'horizon (A1) correspondant à une moyenne de 60%, elle permet à l'eau de circuler dans les pores du sol (eau de gravité), qui entraîne avec lui certains éléments, sous la forme de suspension. C'est l'origine des migrations qui sont le plus souvent descendantes ; il s'agit d'une perte globale. Tandis qu'une autre partie est distribuée à un niveau inférieur du profil, le différencie en deux grands groupes d'horizons ; l'horizon A appauvri (horizon éluvial), et l'horizon B enrichi (horizon illuvial) (Duchaufour, 1977).

Les profils des zones mises en reliefs sont alors appauvris dans leur ensemble au profit des profils des zones en dépression. Sous climat méditerranéen, cet entraînement peut prendre la forme d'une érosion sélective portant sur l'ensemble des particules fines qui intervient même le long des pentes très faibles ; c'est le processus d'appauvrissement (Servat, 1966 ; Roose, 1970). La porosité renseigne également sur le degré d'altération, notamment à l'horizon A1, qui en climat tempéré selon Souchier est maximal en surface.

Tableau 22: Etats de surface des sols ainsi que leur écart-type pour les sites d'évaluation

Etat de surface												
Stations		S2		S3		S1		S4		S5		S6
		Moy	σ	Moy	σ	Moy	σ	Moy	σ	Moy	σ	Moy
SN (%)		45,8	25,3	82,8	20,0	0,0	0,0	92,6	8,3	34,2	27,7	88,5
SC (%)	Litière	53,6	24,3	0,0	0,0	63,6	55,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Végétation	0,0	0,0	16,7	20,5	100,0	1,0	0,0	0,0	65,9	27,8	9,8
	Cailloux non intégrés	0,0	0,0	0,5	0,9	9,1	0,0	7,3	8,4	0,0	0,0	1,6
SO (%)	Fissures	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Galeries	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mottes	61,4	17,4	62,4	7,4	96,4	6,3	96,6	2,9	82,5	30,4	100,0
SF (%)	Cailloux intégrés	22,2	10,0	5,8	6,2	5,4	7,7	0,6	1,0	17,5	30,4	0,0
	Pellicule	15,8	7,9	25,1	13,7	0,0	0,0	0,6	1,0	0,0	0,0	0,0
PEN (Kg/cm ²)		4,1	0,3	3,2	1,4	0,2	0,2	1,4	0,5	0,5	0,5	0,3
SS (kg/cm ²)		1,0	0,1	1,0	0,4	0,3	0,3	0,7	0,1	0,2	0,1	0,8
Ir (%)		8,1	4,3	6,5	3,2	16,6	12,6	5,0	1,5	12,0	6,9	4,8

SC : surface couverte ; SF : surface fermée ; SO : surface ouverte ; PEN : Résistance à la pénétration ; SS : Résistance au cisaillement ; R : Rugosité ; Ir : Indice de rugosité ; σ : Ecart-type.

L'effet de l'occupation des terres sur l'état de surface se fait beaucoup ressentir sur la rugosité du sol (Ir), la pénétrométrie ou la résistance du sol à la pénétration (PEN) et sur la cisométrie ou la résistance du sol au cisaillement (SS). La différence est significative entre ces paramètres de l'état de surface. Par contre les différences ne sont pas significatives pour les paramètres de couverture (SC) et d'ouverture (SO).

S3, S4 et S6 correspondant respectivement à une jachère, une parcelle de céréaliculture en bour et une culture irriguée ont une surface nue de 88% en moyenne. Tandis que les surfaces couvertes correspondant à S1 et S3 sont généralement occupé par la végétation, la litière et ouvertes par la motte. Avec un pourcentage de motte élevé (72,2%). Le cas où la pellicule est présente, elle est sur S2 et S3, correspondant à la forêt et à la jachère pâturées. Les cailloux intégrés correspondant à un état de surface fermé sont très répandus sur toutes les occupations.

La résistance à la pénétration traduit l'état de tassement du sol. Ainsi les faibles valeurs de la résistance à la pénétration et de cisométrie enregistrés au niveau des sites S1, S5 et S6, sont dues au travail du sol récent qui a ameubli sa surface pour les parcelles de cultures, et au tassement par le piétinement du bétail pour les parcelles pâturées.

La différence de rugosité observée s'explique par l'abondance des mottes et des pierres qui donne un aspect rugueux et modelé du sol. Les valeurs qui font la différence entre les surfaces ouvertes, et couvertes du sol, s'expliquent par la présence de la végétation et de la pierrosité de surface. La rugosité joue un rôle très important en faveur de l'infiltration. Les travaux réalisés par Birot et al. (1968) ont montré que le labour augmente temporairement l'infiltration, mais à long terme les risques de ruissellement et d'érosion vont toujours demeurer même sur de faibles pentes.

2. Analyse des échantillons de sol

Les tests de simulation de pluie ont été réalisés en se basant sur la cartographie, en ciblant des sol brunifiés sur grès sur une pente fixe de 0 à 20%. Quelques légères modifications d'emplacement des parcelles ont été entreprises à cause de la difficulté d'accès aux sites, d'où l'intérêt de l'analyse des propriétés des sols et de leur texture, pour mieux les caractériser. Les sols brunifiés, issus de l'altération de roches sédimentaire (grès) sont généralement composés de trois horizons; l'horizon de surface (A1) ; est organique et minéral, il est soumis à un fort lessivage appauvrissant, l'horizon (B), dit d'altération ou structural, est souvent enrichi par illuviation en éléments fins et amorphes, reposant directement sur l'horizon (RM) ; correspondant à la roche mère. Selon la nature de la roche-mère, l'humus peut être un mull (sols riches en bases et/ou en calcium actif), un moder (sols riches en bases, roche-mère siliceuse) ou un mor (roche siliceuse ou argiles, sols pauvres en bases, acides). Dans notre cas, l'acidité est toujours moins forte, le pH est rarement inférieur à 5 (Lefèvre-Drouet, 1966) ; où l'acidité prend la forme d'ions complexes alumineux, $Al(OH)_2^+$ beaucoup moins aisément échangeable. Les observations sur terrain indiquent que l'horizon A1 est un mull-moder qui peut offrir une acidité mixte (30 à 50% d'ions H^+ , 50 à 70% d'ions Al^{3+} : (Delecour et al., 1974). On peut expliquer l'alcalinité du milieu par une remontée capillaire des solutions riches en $Ca(CO_3H)_2$, qui a lieu pendant la saison sèche (Bottner, 1971) sous climat méditerranéen, ce qui peut avoir également une conséquence sur la décarbonatation.

Tableau 23: Moyenne des paramètres physico-chimiques des échantillons de sols prélevés

Echantillon	pH(eau)	pH(KCl 1 N)	MO (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O(ppm) assimilable
S1 Forêt (Réf.)	6,9	6,4	4,4	15,3	202,8
S2 Fruticées	6,9	6,3	4,0	17	192,8
S3 Jachère / sol nu	6,7	6,2	1,3	7,7	60,3
S4 Céréaliculture	7,9	7,5	0,6	1,1	48,2
S5 Culture sèche	6,9	6,6	1,0	6,8	48,2
S6 Culture irriguée	7,6	7,2	4,0	62,8	259,1

La variance qui a servi pour la détermination des paramètres physico-chimiques est nulle, du fait que les échantillons de sol ont été mélangés au préalable pour n'en prendre qu'un seul échantillon à la fin, pour cause d'impossibilité d'effectuer l'analyse de trois échantillons par usage. Ces résultats indiquent que la matière organique est élevée sur les parcelles de forêt (MO% 4,4), de fruticées (MO% 4) et de culture irriguée (MO% 4), correspondant respectivement aux stations S1, S2 et S6. La matière organique est faible sur les parcelles de jachère (MO% 1,3), et de céréaliculture (MO% 0,6), correspondant respectivement à la station S3 et S4. Cet appauvrissement est accéléré quand la rotation des cultures n'est pas pratiquée. L'apport des engrais n'est pas suffisant pour alimenter le sol, surtout avec les cultures intensives.

Les cations alcalins et alcalino-terreux ; Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, P⁺ bien que les ions bivalents (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) sont plus mobiles que les monovalents (Na⁺ et K⁺) qui sont rapidement entraînés hors profil. Les ions K⁺ et P⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et Na⁺ peuvent être retenues, en cas de présence d'un complexe absorbant à l'horizon B, pouvant le désaturer progressivement. On remarque que les pH sont peu acides et par conséquent on déduit que ces cations basiques ne sont pas complètement entraînés. Le cas contraire on aurait assisté à une acidification du milieu, due à un remplacement par les ions acides (H⁺ ou Al³⁺).

Les résultats des analyses granulométriques des échantillons de sols sont présentés dans le tableau n°20. L'analyse des échantillons de sol prélevés indique qu'il s'agit de sols rouge marneux faiblement profonds reposant sur une roche mère gréseuse caractérisé par une texture de type limono-sableux, et une teneur en CaCO₃ faible à nulle, sauf pour le site S4, correspondant à la céréaliculture.

Les sols bruns sont entièrement décarbonatés quelle que soit la teneur initiale en calcaire de la roche mère, sous facteur climatique, se sont des sols forestiers qui produisent des composés organiques solubles acides d'autant plus que la décomposition des litières est lente ; le cas du moder de résineux (observé à la parcelle S1). Ces sols contiennent souvent en surface et dans l'horizon humifère une forte proportion de cailloux, et d'éléments sableux. Selon le principe du (nourrissement par le haut), l'horizon humifère d'altération est riche en cailloux et sables par les roches de surface (M. LAMOUREUX 1966). Ces cailloux favorisent l'infiltration, mais peuvent aussi être contraignant pour la mise en culture.

En effet les sols bruns sont des sols qui peuvent fournir de bonnes terres agricoles, s'ils sont nettoyés en cailloux. Cependant ils doivent être alimentés par des amendements humifère ou calcique, pour restituer ce manque. Le cas contraire, si ces sols sont délaissés à leur sort du lessivage, ils peuvent s'acidifier et devenir battants.

L'étude de la texture des échantillons de sol indique qu'elle est limono-sableuse, ce qui favorise la formation de la croûte de battance à la surface des sols. Les limons sont connus par le rôle qu'ils jouent dans la formation de la croûte de battance à la surface des sols à texture limoneuse ou limono-sableuse (Remley & Bradford, 1989; Singer & Shainberg, 2004).



A

B

Photo 9: Observation de la croûte de battance dans la zone d'étude
A : Sol avec croûte de battance. B : Croûte de battance d'une épaisseur de 2cm.

Conclusion de la première partie

Après l'étude de plusieurs paramètres du terrain on peut comprendre la complexité demandée pour une telle étude de dégradation des terres. Il a fallu plusieurs étapes pour avoir une estimation approximative de l'état de l'érosion et de ruissellement sous différentes occupation de terre. On peut résumer les étapes effectuées dans ce travail comme suit ;

D'abord une description visuelle (spatio-temporelle) par la modélisation pour reconnaître les grands domaines d'études, à savoir les occupations de terre dominantes, et l'ampleur de la dégradation (stabilité des terres). Ensuite une analyse statistique pour quantifier les changements observés. On a pu distinguer des zones vulnérables selon le degré de leur instabilité (Cartes n°17-18-19).

Une fois cette étape franchie, il a fallu descendre à une échelle mesurable pour avoir des données empiriques, ceci a été réalisé grâce à la technique du Césium-137 d'une part, pour estimer des valeurs moyennes de perte en sol par ha et par an. Ainsi que l'estimation du ruissellement de surface sur des parcelles expérimentales représentatives du terrain.

Les principaux résultats ont montré la variation des taux d'érosion selon les différentes occupations proposées dans des conditions empiriques similaires, expliquées dans la note méthodologique (1.3.1.Stratégie d'échantillonnage, page 36).

D'après les résultats obtenus de l'étude du comportement hydrologique sur parcelles expérimentales, on peut conclure que les sols sont régis par les caractéristiques physico-chimiques, la texture et par les des états de surface. Cette étude à montré que la variabilité du sol à une petite échelle peut changer sa réaction vis-à-vis d'une averse donnée. La capacité d'infiltration finale des sols peut dépendre du tassement de la surface, la teneur en limons fins, de sa couverture, ainsi que d'autres paramètres comme la résistance à la pénétration, la densité apparente et la pente, peuvent énormément changer le ruissellement.

Le ruissellement devient alors conditionné par les paramètres de la surface et la texture localement. Pour bien l'étudier il ne suffit pas de se contenter des analyses sur des échelles macro-scopiques.

Cette constatation nous renvoi à penser au travail du sol, qui peut influencer son état et par conséquent sa stabilité.

Les phénomènes de dégradation peuvent être conditionnés par les activités anthropiques, à savoir l'agriculture, la charge pastorale et la pression anthropiques, etc. Cela peut expliquer des aspects de changements dans le milieu. Outre que la fragilité naturelle de l'assiette physique qui joue un rôle important pour la stabilité du milieu.

Qu'en est-il alors de la part de chacun des deux dans l'évolution du milieu naturel ?

PARTIE 2 : FACTEURS DE CHANGEMENT

Chapitre 6. Fragilité naturelle

Les facteurs responsables des changements observés dans le bassin versant du Rdat peuvent être généralement groupés en deux ; Les facteurs naturels et les facteurs liés à l'homme. Les deux peuvent expliquer les changements observés dans le temps durant 31ans. Bien que la dynamique naturelle soit stable et plus ou moins cyclique dans le temps, la dynamique humaine a connu une accélération dans la dernière décennie à cause des mutations socio-économiques. Ce présent chapitre illustre les paramètres qui ont permis de ressortir l'apport de chaque facteur, dans le bassin versant de Rdat.



Photo 10 : Accentuation de l'érosion à l'aval des versants défrichés et mis en cultures sèche

1. Fragilité du substrat

L'analyse des cartes géologiques a conclu que les substrats géologiques dans le bassin versant Rdat sont dominés par les schistes, le grès, l'argile et le calcaire d'âges très anciens. Ces roches sont plus tendres et facilement érodées par l'érosion.

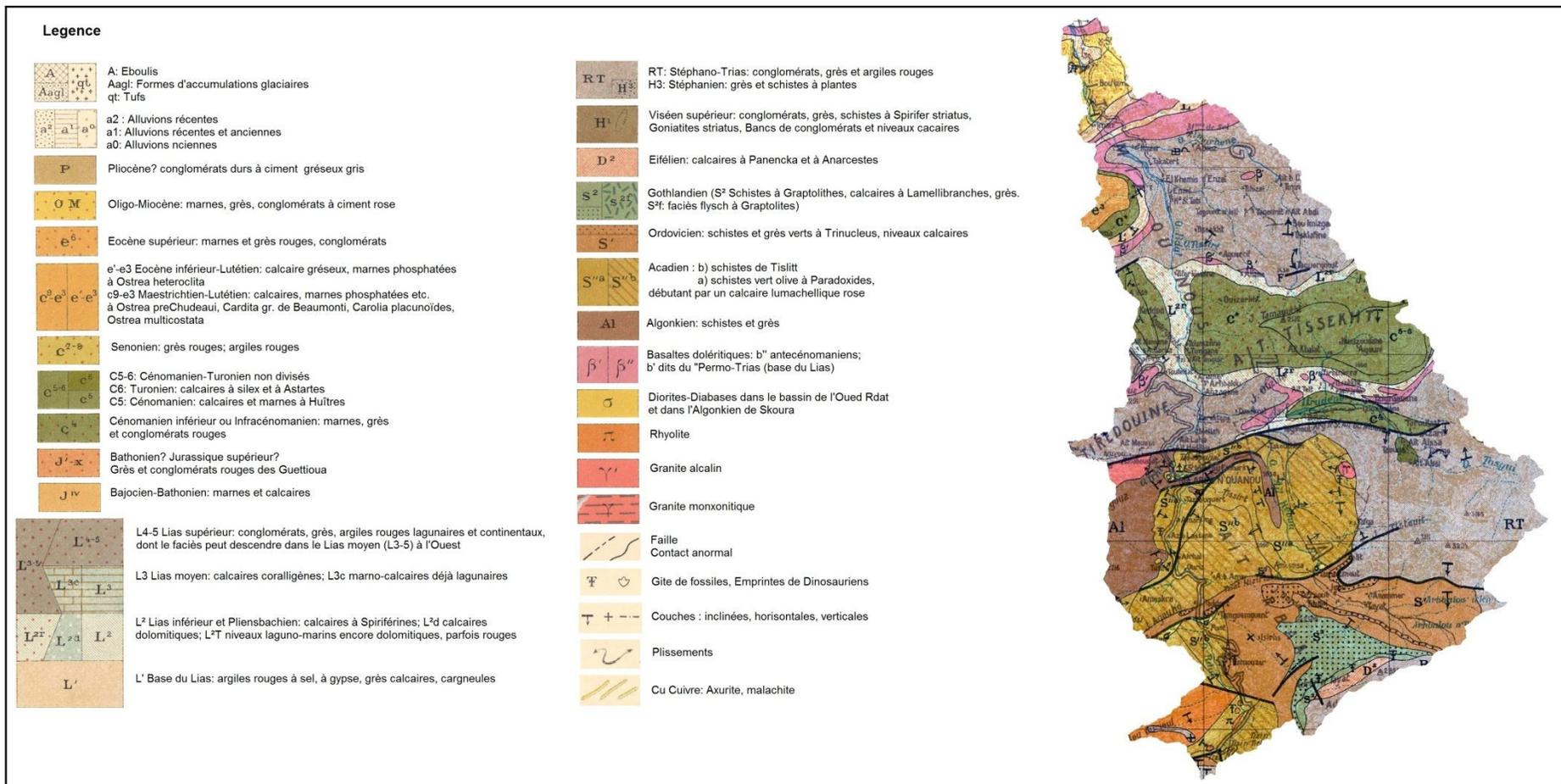
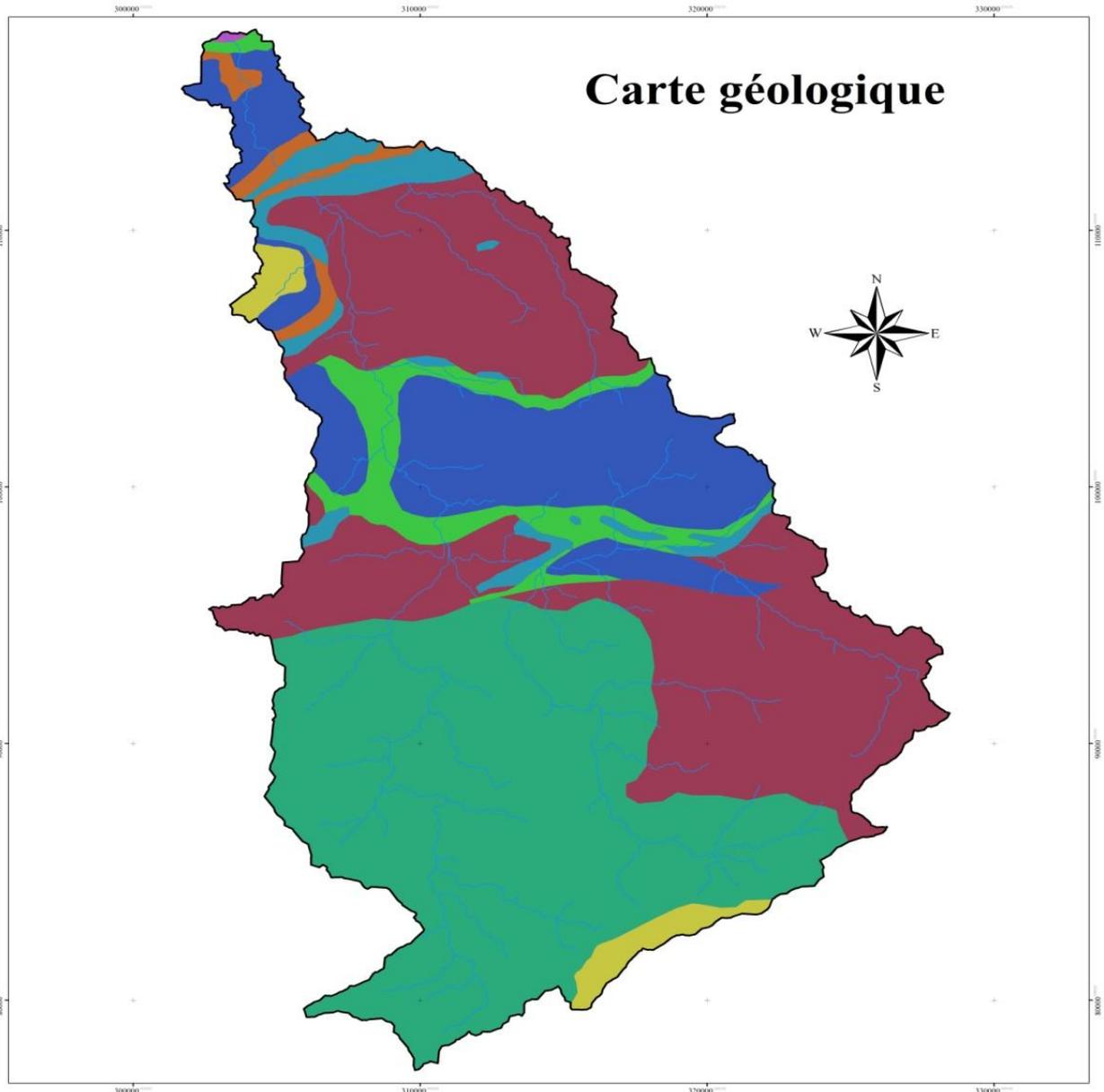


Figure : carte géologique provisoire des régions de Demnat et de Telouet, 1941, 1/500.000

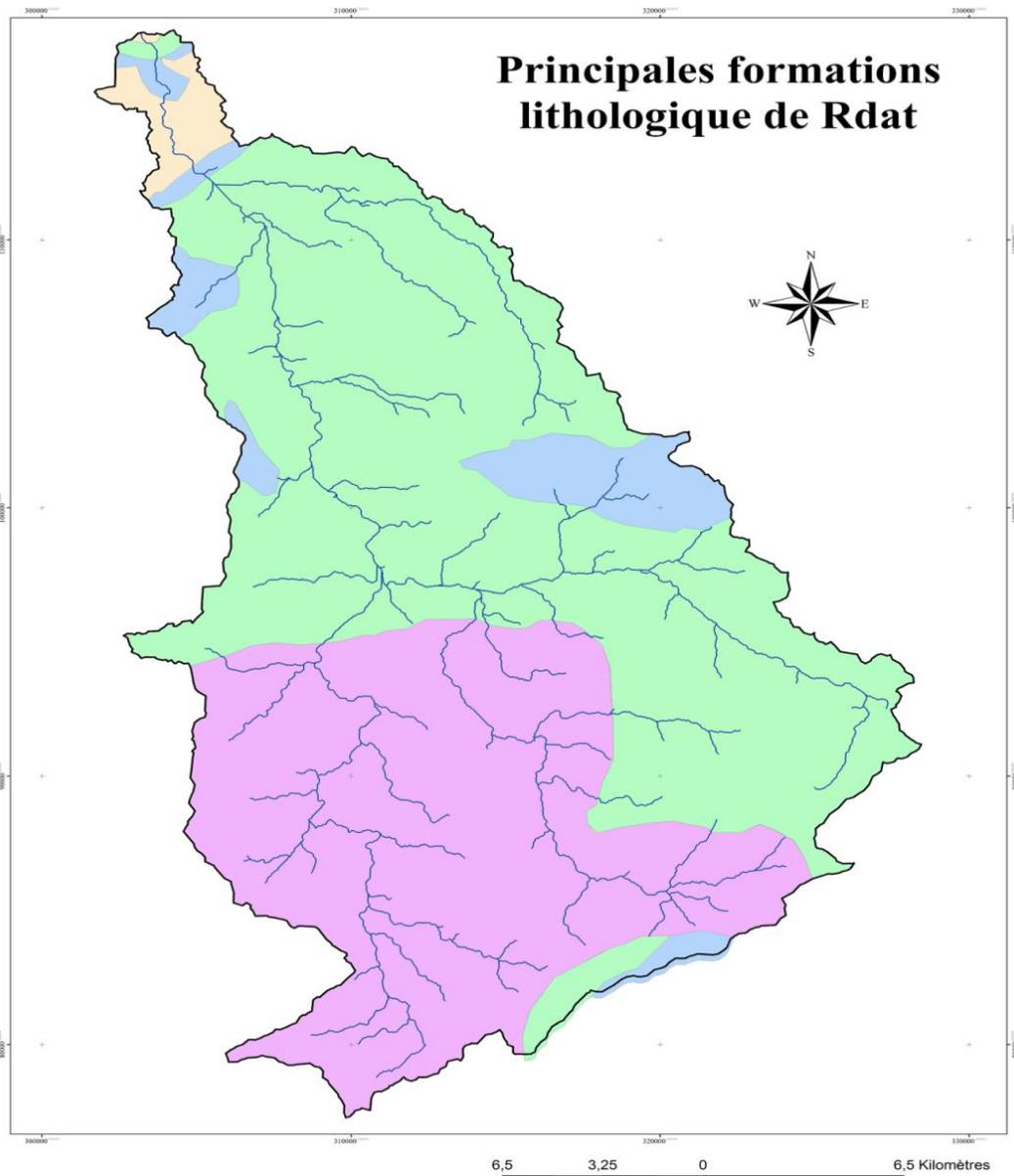


Légende

- réseauRdat
- Couches géologiques**
- Niveaux laguno-marins encore dolomitiques
- Alluvions
- Argiles rouges à sel, à gypse, grès calcaires
- Basaltes doléritiques
- Calcaire, calcaire gréseux
- Conglomérats, grès et argiles rouges
- Marne grès conglomérats à ciment rose, rouge
- Roches métamorphiques et magmatiques, Schistes

Figure 31: Carte géologique simplifiée du bassin versant Rdat

En se basant sur la carte géologique provisoire des régions de Demnat et de Telouet (1941) 1/500.000, la carte de Ouarzazate (1959) 1/500.000, et la carte de Demnate (1985) 1/100.00



Légende

— réseauRdat

Formations lithologiques

- Formations alluvionnaires ou lacustres
- Formations anciennes, métamorphiques ou éruptives
- Formations calcaires
- Formations continentales et lagunaires rouges

Figure 32: Carte des principales formations lithologiques dans le bassin versant de Rdat

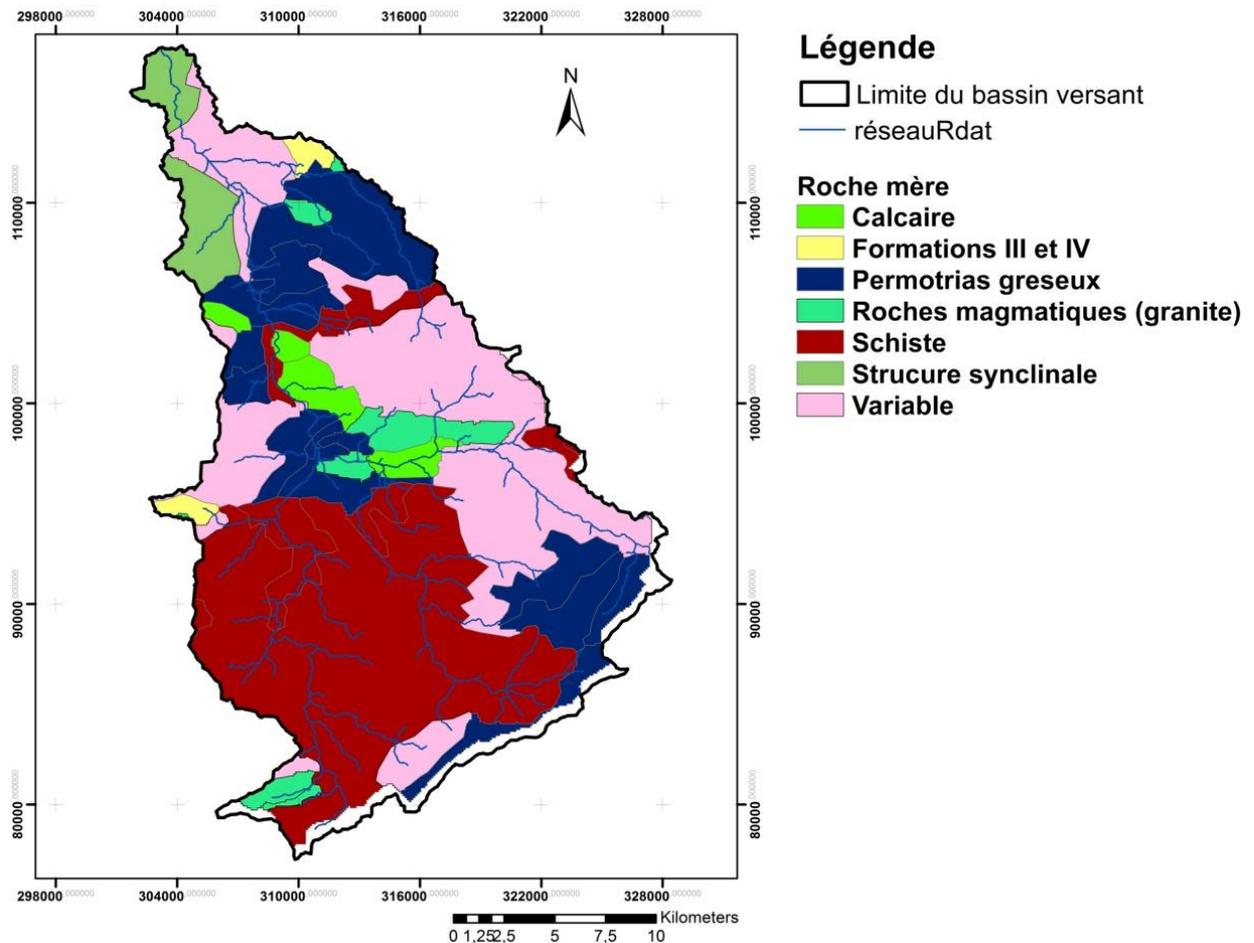


Figure 33: Carte des principales roches mères dans le bassin versant de Rdat, source : ABH

Les deux complexes dominant au bassin versant de Rdat, à savoir l'ensemble grés-argileux où l'érosion s'exprime d'autant plus que la matière friable domine, la structure stable est assurée par endroit, grâce à des bloc gréseux. Contrairement à l'ensemble shisto-gréseux grisâtre, grés-pélicite ; où les schistes sont partout fissurés et se débitent facilement. Les zones où ces schistes dominent les grés, sont fortement burinées et les matériaux d'altération de taille surtout centimétrique s'accumulent aux bas des versants sous forme de cône de déjection, friables et en perpétuel mouvement. (Dresch, J, 1941).

Les substrats géologiques dans le bassin versant Rdat sont dominés par les schistes, le grès, l'argile et le calcaire d'âges très anciens. Ces roches sont plus tendres et facilement attaquées par l'érosion. Il est remarquable que sur les zones où les grés dominent les schistes, la stabilité des versants est assurée par les blocs de grés qui les jonchent,, ainsi l'érosion est moins forte, et la végétation est plus dense.



A



B

Photo 11 : Influence du substrat sur la stabilité des versants

A : Versant stabilisé avec des bloc gréseux, B : Versant constitué de matière fine et érodable

Les sols dominants dans le bassin versant Rdat sont généralement squelettiques et peu évolués, avec une faible teneur en matière organique, sauf localement pour les sols de forêt dense et de culture irriguée. Ils reposent directement sur la roche mère et par conséquent on les appellent les lithosols.

Il n'y a pas véritablement de formation de complexes organo-minéraux, mais seulement des formations de matière organique fraîchement superposée. Ils sont généralement des sols lessivés et pauvres favorisant l'altération de la roche mère.

2. Caractéristiques climatiques

Le climat conditionne la vie de la végétation, ses fluctuations sont normales. Les changements climatiques intensifient la fréquence et l'ampleur de ces fluctuations, laissant à prévoir des phénomènes à risque, comme les cyclones, les feux de forêt, l'érosion et les inondations, etc.

Le climat du Maroc est de type méditerranéen, caractérisé par deux saisons bien distinctes ; un hiver tempéré et humide et un été chaud et sec. Ainsi l'année pluviométrique est composée de deux saisons contrastées, une saison humide qui s'étend d'octobre à mai et une autre sèche de juin à septembre.

Dans le cadre de la présente étude, le bassin versant de Rdat s'inscrit dans un contexte semi-aride, dans un régime semi continental (Selon le diagramme d'Emberger).

2.1. Diagrammes ombrothermiques - quotient pluviothermique d'Emberger

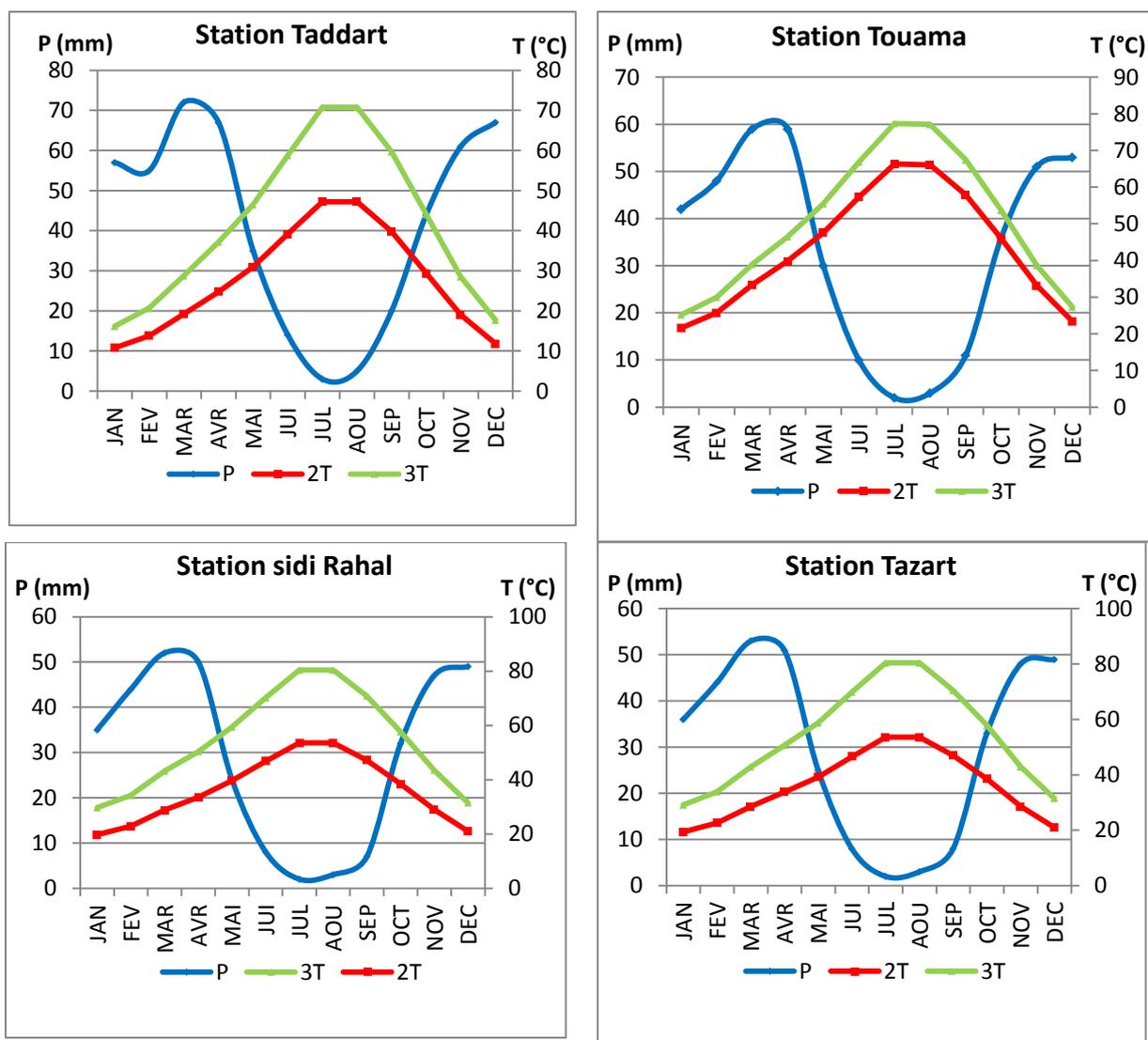


Figure 34: Représentation du climat pour les stations du BV de Rdat (période d'observation 1982 – 2012), source de données : climate-data.org

En analysant les diagrammes ombrothermiques, on remarque que sur ces stations du bassin versant de Rdat, le mois de Juillet est le plus sec, de l'année, par contre le mois de Mars est le mois ayant le plus haut taux de précipitations. Juillet correspond également au mois le plus chaud et Mars est le mois le plus froid de l'année sur toutes les stations étudiées.

D'après les calculs du quotient pluviothermique d'Emberger, 1930² ; les stations sont dans l'étage bioclimatique semi-aride³, avec hivers à sous étage frais, sauf pour la station de Taddart, où l'hiver est froid.

² $Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$

Avec M : Moyenne des Maxima du mois le plus chaud, et m : Moyenne des minima du mois le plus frais, P : Précipitations totales annuelles.

³ Semi aride inférieur pour les stations ; Tazart, Sidi Rahal. Semi aride moyen pour la station Touama. Semi aride supérieur pour la station Taddart.

Bien que ce climagramme d'Emberger permet d'avoir une idée rapide sur l'humidité des stations, son inconvénient réside dans le manque de détail qui concerne les minima, maxima et les précipitations dans chaque station. Contrairement au diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen, qui montre la courbe des températures et précipitations de chaque, et permet ainsi de définir la période sèche au cours de l'année.

D'après Bagnouls et Gaussen, 1953 ; un mois sec est un mois où les précipitations sont inférieures à deux fois la température moyenne mensuelle. On peut aussi définir les mois à tendance sèches, dont les précipitations sont comprises entre deux fois et trois fois la température moyenne mensuelle, (Walter, 1955). Le Houerou H.N., 1995 souligne que ce quotient donne des valeurs sous estimées dans les régions où l'amplitude thermique (M-m) est faible.

Les stations de moyenne montagne, notamment Taddart et Toufliht, manquent en données, l'absence des valeurs de température et d'évapotranspiration limite notre analyse du climat, nous avons eu recours aux travaux antécédents de Ch. Sauvage, 1963, présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 24: Données climatiques sur les stations d'Ait Ourir, Marrakech et Toufliht

Stations	Latitude N	Longitude W (Gr)	Altitude (m)	Précipitations (mm)	M (°C)	m (°C)	Q2
Ait Ourir	31°34'	7°40'	700	350	37,1	5,2	37,3
Marrakech	31°37'	8°02'	470	242	38,3	4,5	24,3
Toufliht	31°28'	7°26'	1465	791	30,5	-1,0	88

Tableau 25: Données climatiques sur la station de Sidi Rahal

Station	Précipitations	M en °C	m en °C	Q2
Sidi Rahal	351,7	45	-0,6	26,76

La température détermine la répartition de la végétation, régule les phénomènes liés à la fonte des neiges et des glaces, et conditionne plusieurs phénomènes physico-chimiques liés à l'érosion, cette dernière qui dépend d'autres processus que des alternances gel-dégel. (Couvreur, G. 1966). Plus on monte dans la montagne, plus la température baisse et la différence entre le jour et la nuit, et la variation saisonnière se fait ressentir. Il gèle en hivers, ce qui met en pause la vie végétale (Boudy, P. 1950). L'altitude a donc une grande influence sur la répartition des essences.

Contrairement aux précipitations, la température est un facteur climatique beaucoup plus régulier à l'échelle temporelle, les écarts journaliers sont assez importants avec un maximum d'environ 45°C dans la plaine (Sidi Rahal) et un minimum de -10°C en montagne.

On note que d'après la classification climatique de (Köppen, 1936), le climat du Maroc évolue, au cours du 20^{ième} siècle, vers des conditions plus chaudes et plus sèches. (Born et al. 2008).

- **Climagramme d'Emberger**

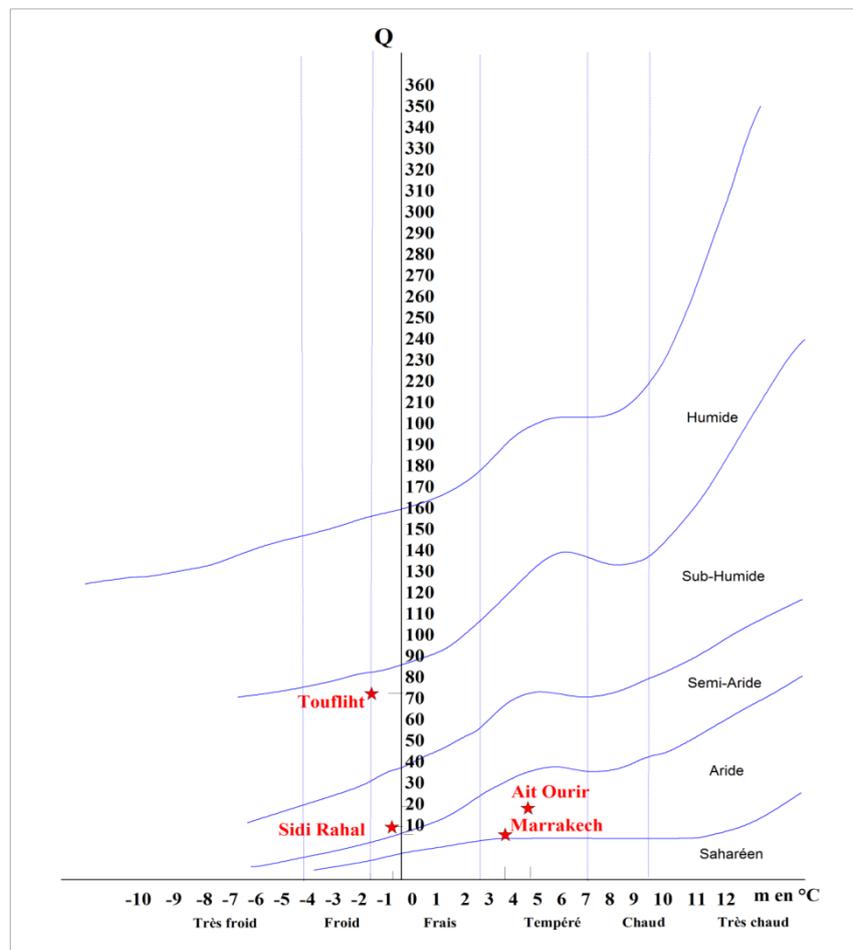


Figure 35: Situation des stations Sidi Rahal, Toufliht, Marrakech et Ait Ourir sur le Climagramme d'Emberger

2.2. Facteurs géographiques du climat

La pluviométrie est parmi les éléments ayant une grande utilité pour la définition des différents paramètres climatiques. Par sa situation géographique dans la chaîne du Haut Atlas Occidental, le bassin versant de Rdat est soumis à un climat montagnard, toutefois les microclimats diffèrent d'une zone à une autre, suivant les paramètres l'altitude, l'exposition du bassin versant et l'éloignement par rapport à la mer.

Afin de caractériser son réseau pluviométrique, on s'intéressera essentiellement à la quantité de précipitation apportée annuellement, qui sera déterminée sur la base des précipitations mensuelles.

2.3. Les expositions du bassin versant Rdat

Le bassin versant de Rdat, accueille sur son versant sud les influences du secteur SW, sous forme de masses d'air tropicale nourrit par l'activité cyclonique renforcée sur les îles Canaries et de l'occurrence de cyclones au sud-ouest de la péninsule ibérique. Tandis que sur son versant nord les influences du secteur NW sont à l'origine de pluies importantes, et le rôle de chaîne axiale est décisif, du fait de son orientation E-W, et reçoit des cumuls annuels dépassant les 800mm.(Knippertz et al., 2003, Driouech et al., 2009), et connaît une condensation sous forme de nuages des masses d'air atmosphériques, et au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source génératrice des courant perturbés, il se crée à cause de l'orographie des secteurs en position d'abri, correspondant à des vallées internes (Alifriqui et al., 1992). A L'ouest des montagnes de l'Atlas, la pluviométrie est influencée par l'Oscillation Nord Atlantique (ONA), dans la direction nord-sud, près des Açores et de la péninsule ibérique.

Une pente exposée e au Sud, à l'Ouest et au Sud Ouest, reçoit plus d'insolation qu'une pente au Nord ou à l'Est, et l'air est plus chaud, et l'évaporation intense.

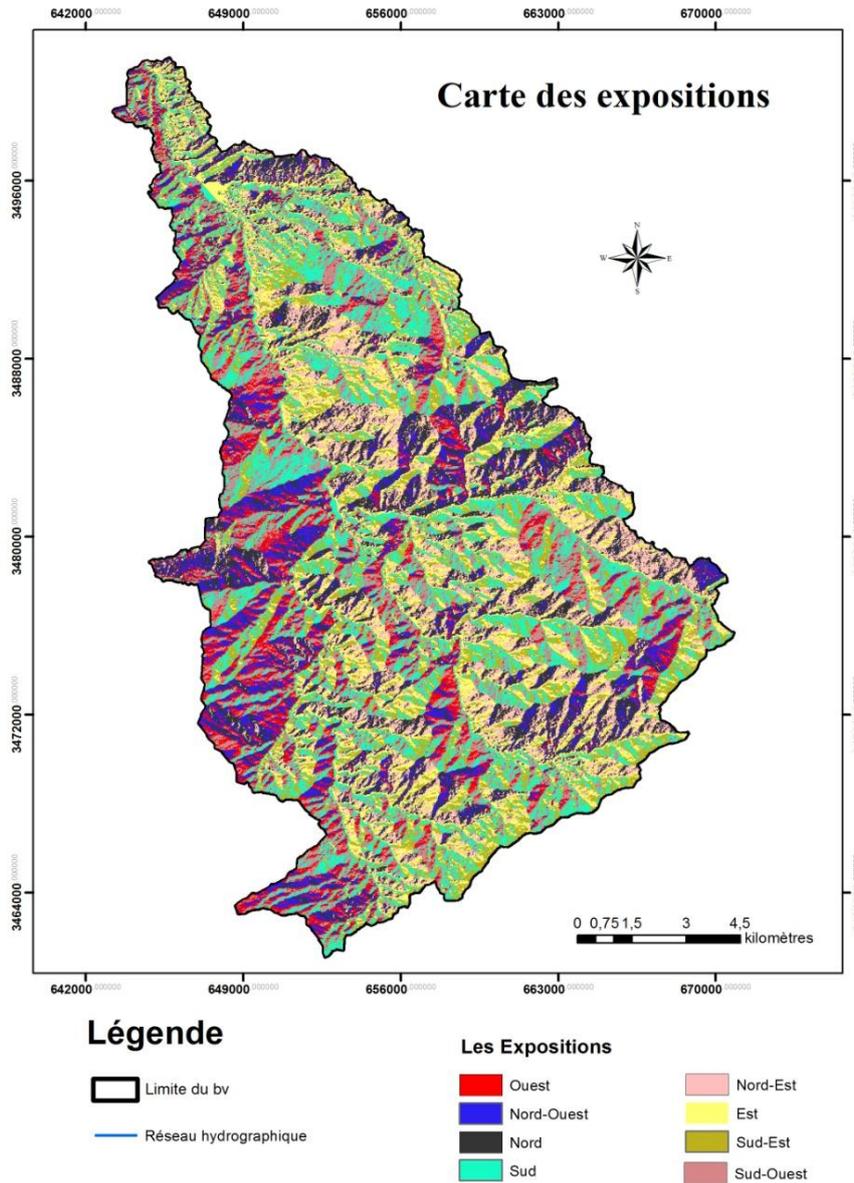


Figure 36: Carte des expositions au bassin versant du Rdat

En milieu semi-aride, les régions montagneuses constituent souvent la principale source d'eau pour les populations vivant en aval. Il concentre plus de la moitié de la ressource en eau douce de la planète (Klemes, 1988 ; Rodda, 1944 ; Weingartner et al., 2003). Le manteau neigeux constitue un stock d'eau pour le printemps et l'été, il persiste jusqu'au mois de Juin sur les altitudes de 3000m, surtout en exposition Nord (J. Celerier, A. Charton), son évolution peut être considérée comme un indicateur des changements environnementaux (Bloschl, 1999, Liston 1999, Dennis, 2002), et sa fonte, à potentiel érosif, permet de dégager une réserve d'eau importante qui explique les valeurs de débits enregistrés en absence de précipitations.

Ces dernières jouent un rôle capital dans les zones arides et semi arides, or leur nature irrégulière, typique du climat méditerranéen, accompagnée d'une évapotranspiration importante, donnent un aspect extrême aux phénomènes observés dans ces milieux physiques.

3. Fluctuations annuelles et saisonnières des précipitations et des crues

Les précipitations sont un facteur qui joue un rôle important dans le processus de génération des crues et de formation des ressources en eau superficielles et souterraines.

La disponibilité des données hydrologiques constitue un souci majeur pour le bassin versant de Rdat en particulier, et pour les bassins versants du Haut Atlas plus généralement, du fait que les données quand elles sont disponibles sont souvent lacunaires et nécessitent des séries chronologiques complètes. Sans oublier que leur acquisition nécessite des réseaux d'observation répartis sur le bassin versant et tenant compte de sa spécificité géographique (hétérogénéité), chose coûteuse sur le plan financier et logistique.

Afin de garantir sa consistance et son homogénéité, l'analyse hydrologique a subi plusieurs phases de traitement avant d'être exploitable, ainsi une série chronologique permet d'analyser, décrire et d'expliquer plusieurs phénomènes au cours du temps et d'en tirer des conséquences pour des prises de décision ultérieures (voir annexe).

Toutefois, il est utile de rappeler que la disponibilité des données ne donne pas des explications sur les fluctuations pluviométriques récentes, mais l'analyse de longues séries de données et à différentes échelles contribueront à approfondir les connaissances sur la dynamique hydrologique du bassin versant de Rdat, qui par la suite va nous donner des indications quand à l'évolution du milieu.

Les données de pluie et de débit ont été collectées et traitées pour le bassin versant de Rdat, notamment pour la série chronologique suivante 1967-2015. Le traitement des données concerne le contrôle, l'homogénéisation, la reconstitution et l'extension des données, suivant différentes méthodes.

A travers des représentations graphiques et l'application de tests de consistance et d'homogénéité, l'analyse a porté sur des totaux pluviométriques, des débits et des coefficients d'écoulements, à différents niveaux ; annuel et interannuels.

3.1. Résultat de l'analyse temporelle et spatiale des précipitations

La représentation graphique de la série chronologique de la pluie annuelle donne une idée sur la tendance pluviométrique et permet de ressortir les excédents et les déficits d'apports pluviométriques (années humides et années sèches) enregistrées en une station donnée.

- **Moyenne arithmétique**

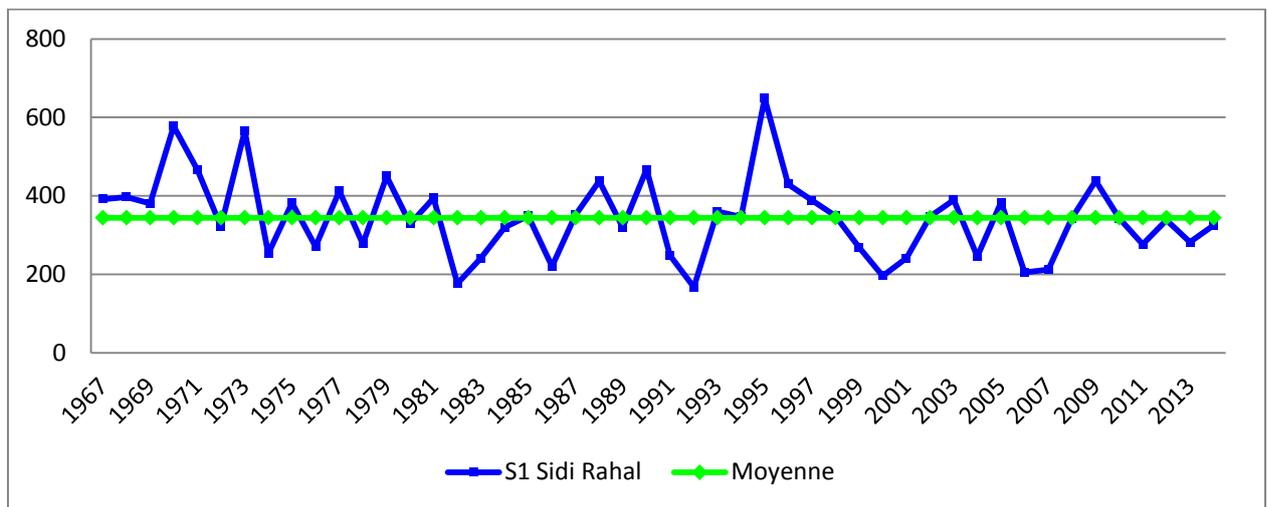


Figure 37: Variation pluviométrique annuelle à la Station Sidi Rahal (1967 – 2015)

- **Moyenne mobile**

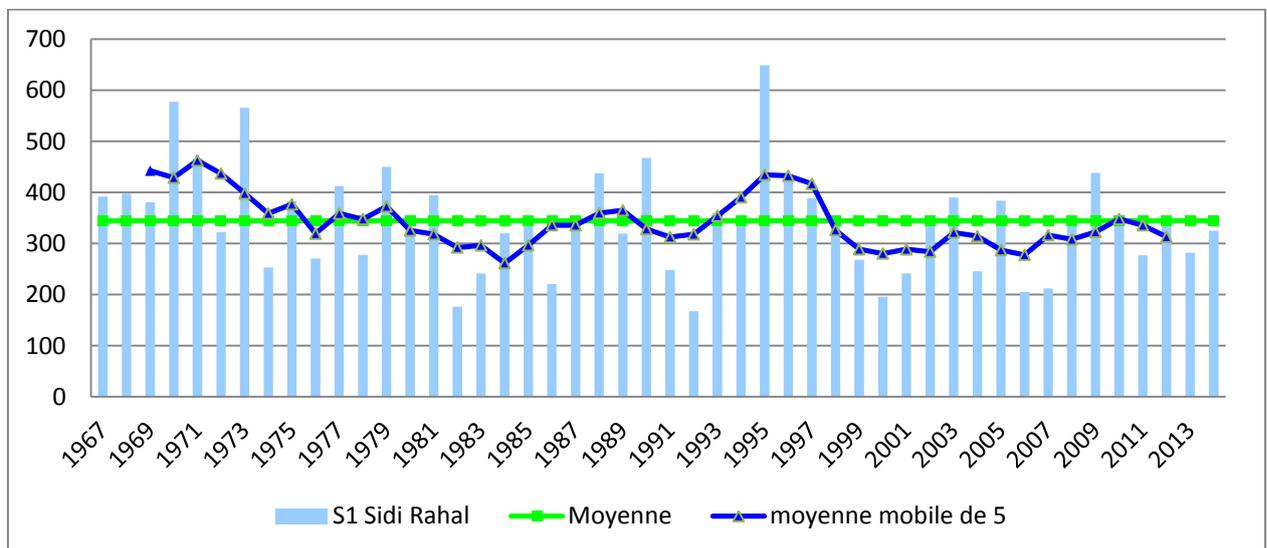


Figure 38: Mise en évidence des tendances pluviométriques dans la station de sidi Rahal (1967 – 2013)
La moyenne fixe est de 344,2 mm.

- **Polygones de Thiessen (ou moyenne pondérée)**

La station de sidi Rahal participe à 2,6% sur la totalité des précipitations du BV, tandis que Toufliht et Taddart participent respectivement avec 29,2% et 68 %.

Tableau 26: Superficie et pourcentage des station de Sidi Rahal

Station	Superficie (km ²)	Pourcentage (%)
Sidi Rahal	14	2,6
Toufliht	158	29,2
Taddart	370	68,3

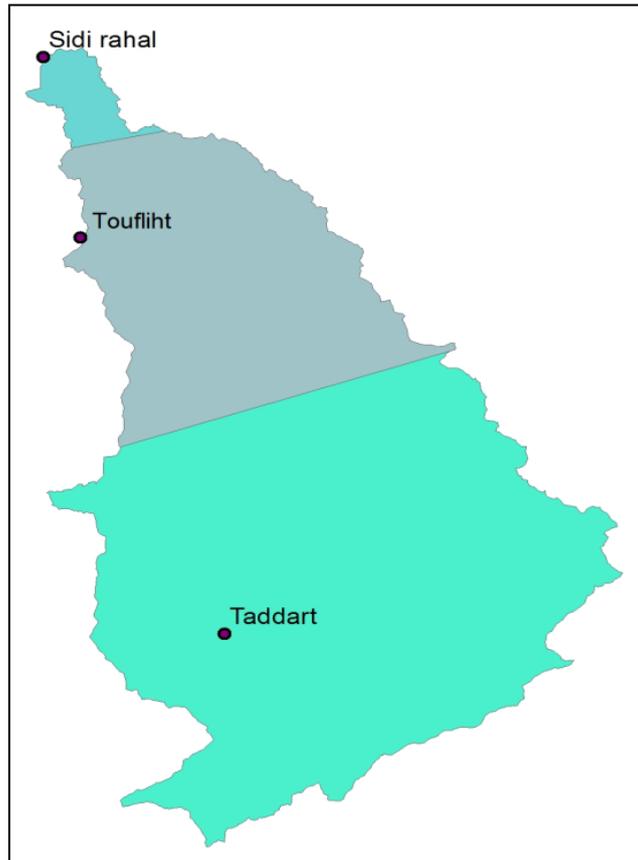


Figure 39: Polygons de Thiessen et calcul de la moyenne pondérée

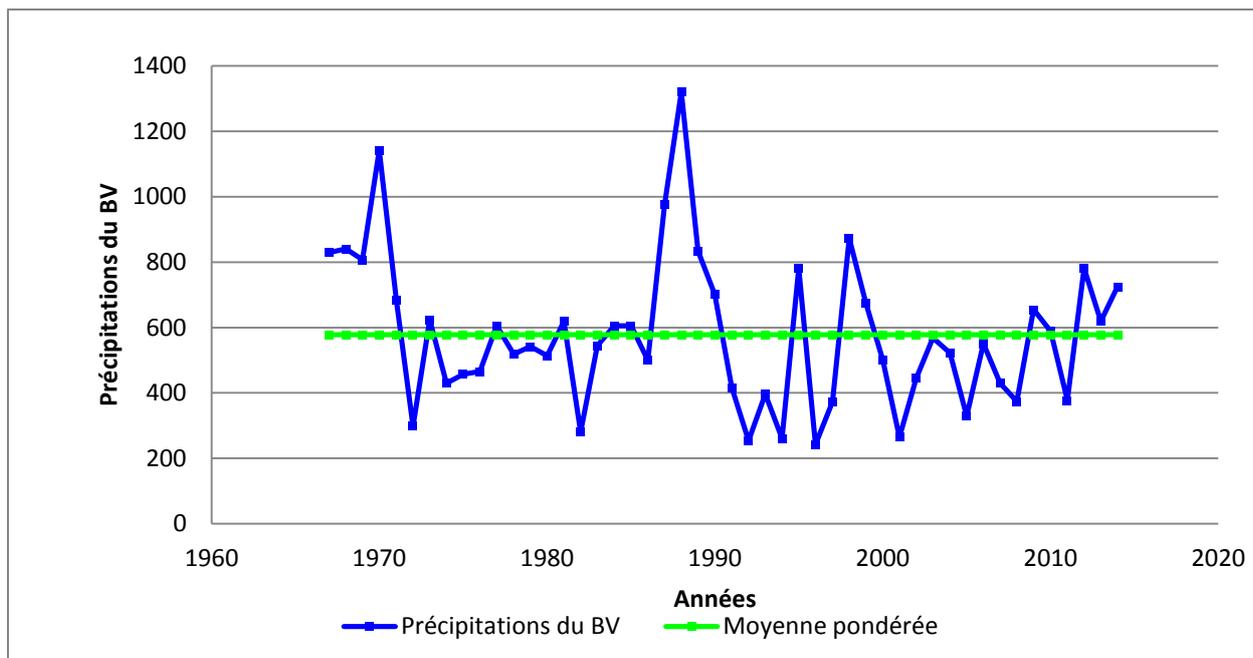


Figure 40: Variation des précipitations du bassin versant de Rdat (1967 – 2013)

D’après l’observation du graphe ci-dessus, on remarque la présence de plusieurs fluctuations de précipitations au fil des années.

Il est aussi remarqué que la série de précipitation présente deux catégories d’années : sèches et humides. Les années sèches sont les plus dominantes. Au cours des années 1970 et 1988, on remarque respectivement deux grands pics de précipitations de valeurs égales à 1150 mm et 1350 mm. Ce sont les années les plus humides de la série. Vers la fin de la série, à partir de l’année 2002, les précipitations ont tendance à augmenter.

La moyenne pondérée est de 578,1 mm.

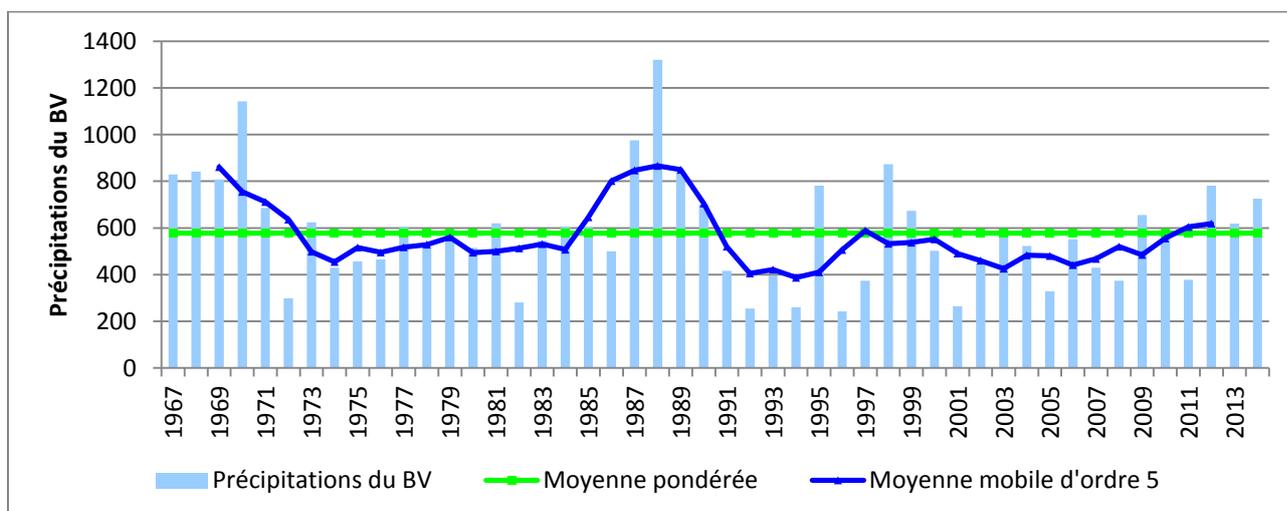


Figure 41: Visualisation des tendances pluviométriques selon une moyenne mobile d’ordre 5 du bassin versant (1967 – 2013)

On peut conclure que la tendance générale du bassin versant est la sécheresse, il y'a de longues phases sèches inter-coupées par de courtes phases violentes de précipitations, qui donnent souvent naissance à des inondations. Ainsi on peut classer deux phases historiques essentielles pour le bassin versant de Rdat :

1. Les longues phases de secheresse : (1972 – 1982) et (1992 – 20011).
2. Les événements extrêmes : (1967 – 1971, (1984 – 1990) et (2012-2015).

Il y'a une sorte de cycle dans ces événement, qui est naturellement établi dans le bassin versant de Rdat, ainsi que la majorité des bassins atlasiques.

3.2. Fluctuation des Débits et corrélation avec les précipitations

3.2.1. Ecoulement superficiel

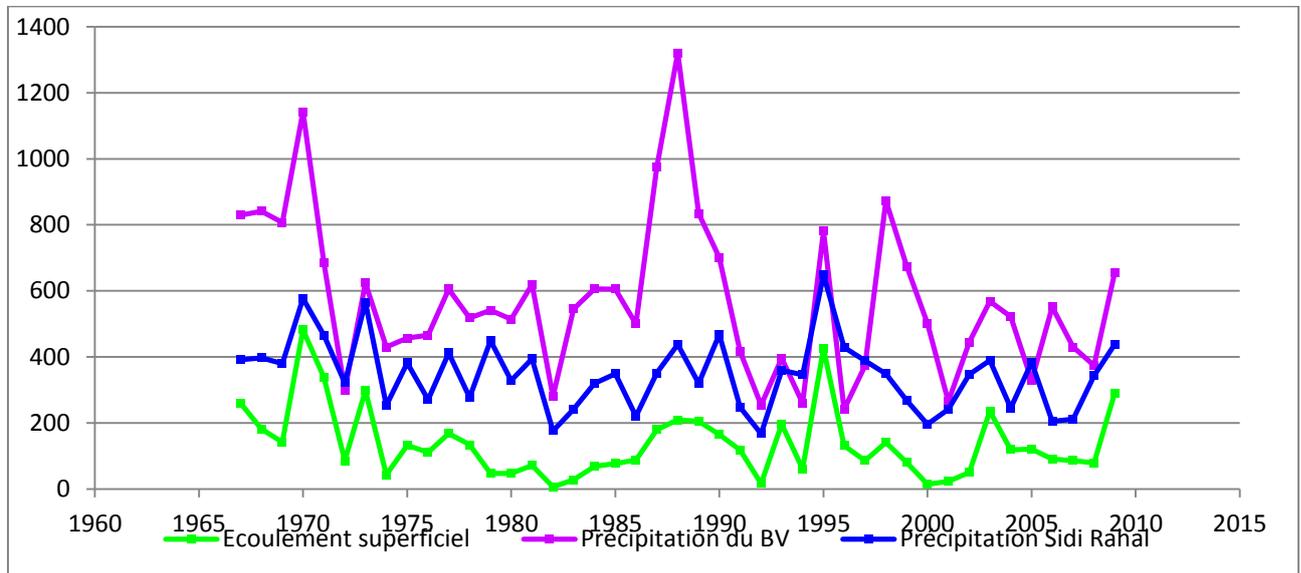


Figure 42: Variation des précipitations et des lames d'eau ruisselées dans le bassin versant de Rdat

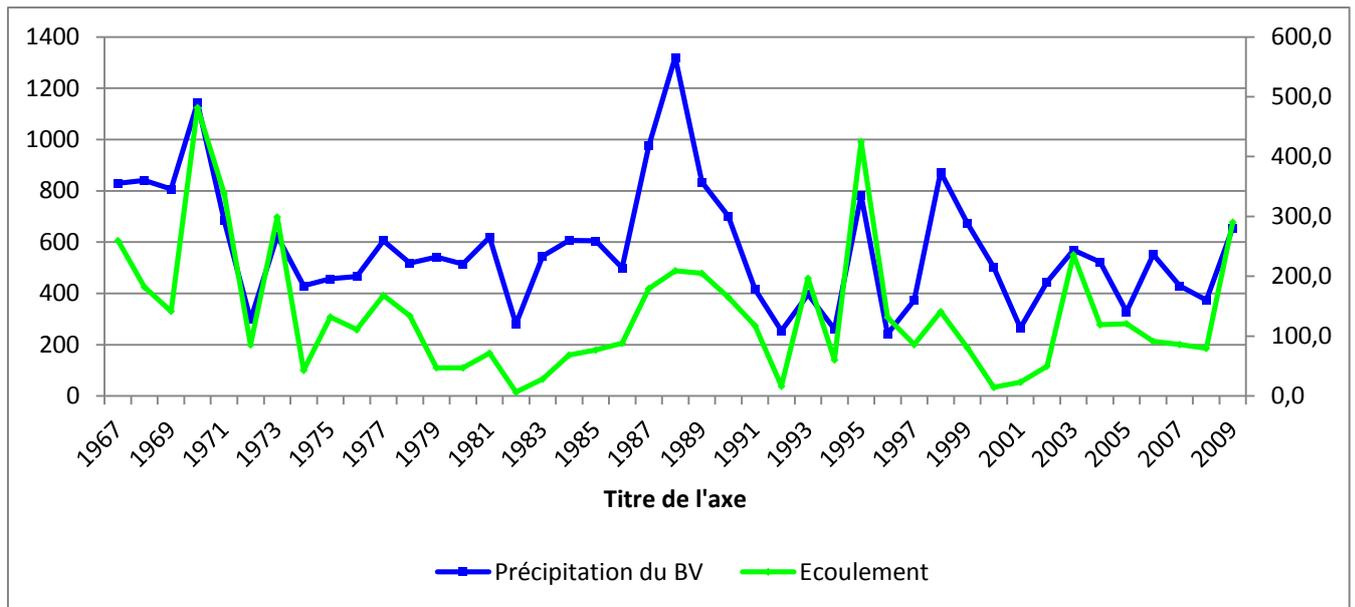


Figure 43: Variation des précipitations et des lames d'eau ruisselées dans le bassin versant de Rdat

3.2.2. Etude de la lame d'eau ruisselée

Durant la période d'étude, il apparaît que la variation interannuelle des lames d'eau écoulées suit celle des précipitations. L'écoulement minimal est observé en 1974, 1982, 1992, 1994 et en 2000 correspondant à des années de sécheresse.

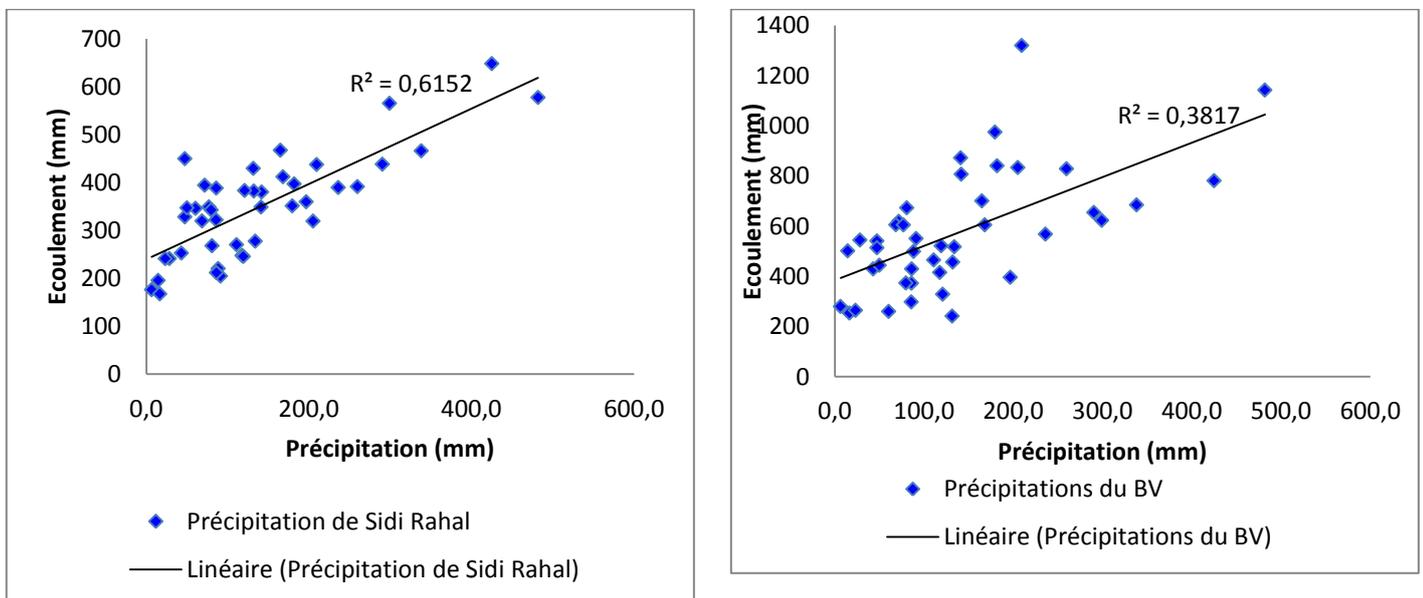


Figure 44: Distribution des lames d'eau ruisselées en fonction de la pluviométrie annuelle 1967 – 2010

Le graphique montrant que la corrélation entre les précipitations à la station Sidi Rahal et les écoulements superficiels est bien établie, laissant à supposer que les précipitations participent avec 60% dans l'explication de la variation de l'écoulement dans le bassin versant de Rdat. Or

en sachant que la station à l'aval (Sidi Rahal) ne participe qu'avec 2,6% de précipitation sur la totalité du BV (d'après les polygones de Thiessen), alors il faut penser à faire la corrélation entre les stations à l'amont (Toufliht) et (Taddart), qui participent avec des valeurs plus importantes à la précipitation du BV, avec l'inconvénient que la corrélation de leurs précipitations avec l'écoulement superficiel qui soit moins évidente, puisqu'elle est réduite à moitié.

En conclusion, on peut dire que les précipitations participent à expliquer uniquement 38% de la variabilité de l'écoulement dans le BV de Rdat.

L'étude de l'écoulement superficiel n'est pas suffisante, ce dernier dépend de la quantité de pluie et de l'état de surface (humidité, évapotranspiration), c'est pourquoi il est utile d'analyser le coefficient de ruissellement qui reflète directement les conditions du bassin versant et qui parle de son état (infiltration, ruissellement).

3.2.3. Coefficient du ruissellement Kr du bassin versant de Rdat

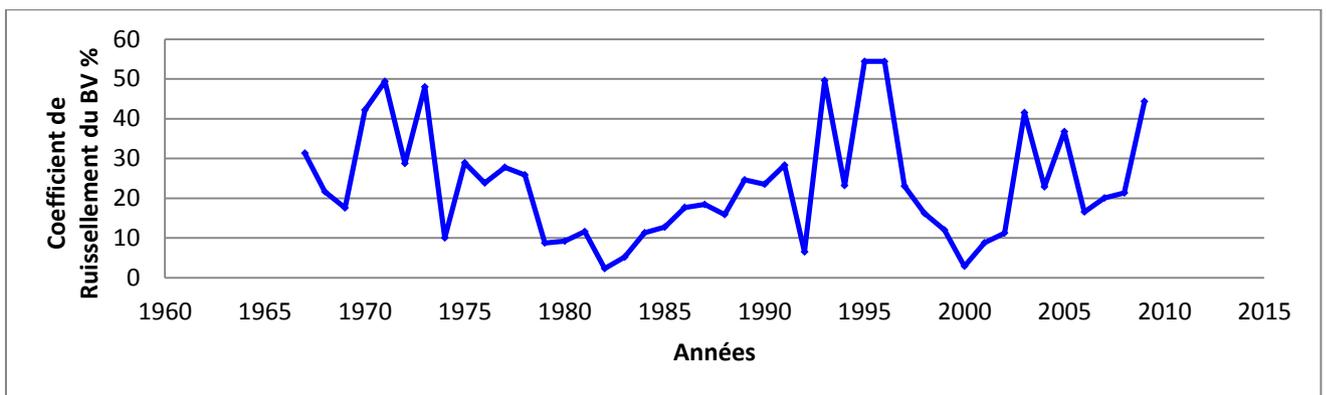


Figure 45: Le coefficient de ruissellement en fonction des années (1967 – 2010)

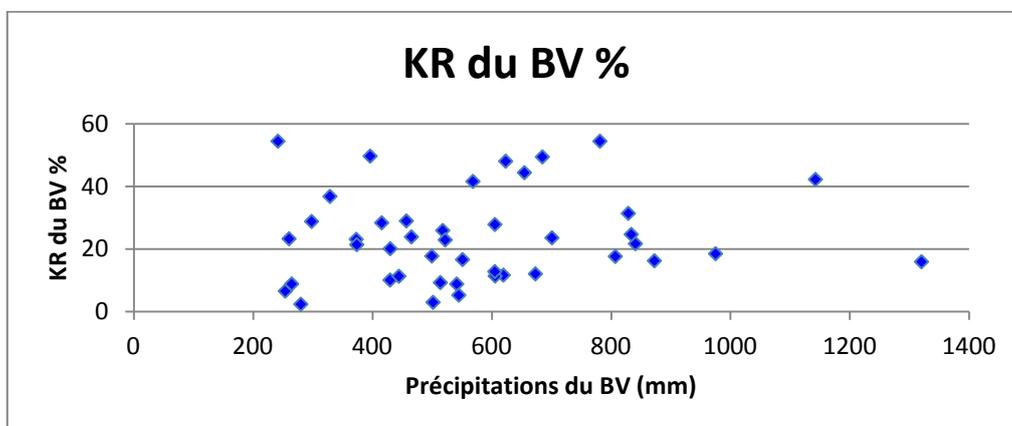


Figure 46: Corrélation entre le coefficient de ruissellement Kr et des précipitations dans le bassin versant Rdat

Le graphe ci-dessus représente la relation entre le ruissellement et les précipitations dans l'ensemble de la surface du bassin versant du Rdat. On remarque que le nuage de points formé par ce graphe ne donne aucune tendance particulière. Ceci veut dire que les précipitations ne sont pas uniformément réparties sur la surface du bassin versant.

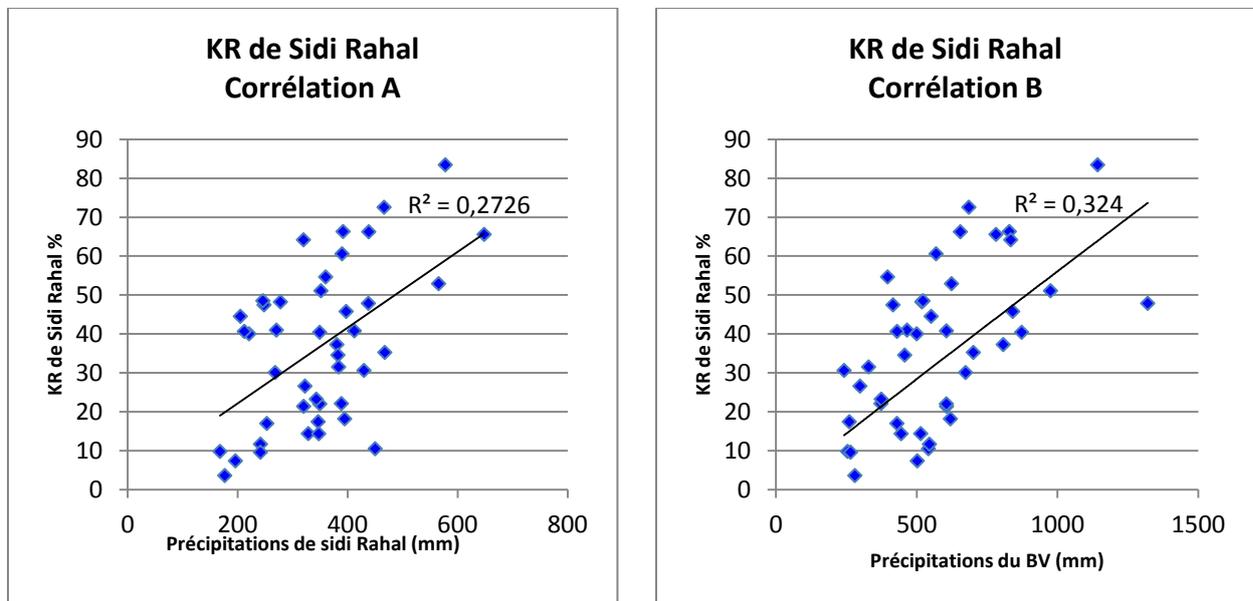


Figure 47: Corrélation entre le coefficient de ruissellement Kr et des précipitations dans le bassin versant Rdat

D'après la relation établie entre les coefficients de ruissellement et les précipitations au niveau de la station de Sidi Rahal (l'exutoire), on remarque que le coefficient de détermination est très faible ($R^2=0,32$) pour être significatif. Cependant il est clair qu'il existe une relation proportionnelle entre les précipitations et le ruissellement.

4. Impact des états des surfaces des terres

4.1. Influence des occupations des terres sur les propriétés hydrologiques

En synthèse du chapitre précédant sur la simulation de pluie, on déduit que le comportement hydrologique du sol est régi par sa teneur en matière organique dans l'horizon de surface, la densité et la compaction de la surface et par sa teneur en limons, responsable de la formation de la battance, et le travail du sol qui permet son ouverture. Le tassement du sol par l'activité pastorale peut réduire sa capacité d'infiltration, en agissant sur la pluie d'imbibition qui est surtout liée à l'état de surface du sol. D'autres paramètres comme la rugosité, la cisométrie, la résistance à la pénétration, permettent de déduire que le comportement hydrologique dans le bassin versant de Rdat favorise le ruissellement sur les occupations de terres comme la

jachère pâturée, la céréaliculture sous bour, tandis que sur les occupations de terre à cultures irriguées et forestières (denses à dégradées) l'infiltration est favorisée, du fait que l'humus est améliorant, et l'ouverture du sol est beaucoup plus importante.

4.2. Effet de la mise en culture sur les propriétés physiques et hydrologiques des sols

Les sols bruns lessivés sur limons peuvent être favorables à la culture intensive, en raison de leur profondeur, et de leur structure ; surtout pour la céréaliculture sur doum, où l'effet a augmenté l'infiltration. L'excès d'éléments fins par rapport aux sables peut être à l'origine d'une certaine instabilité de structure, notamment si le sol est travaillé dans de mauvaises conditions : L'imperméabilisation par « battance », la formation de « soles labour » (Duchaufour, 1977).

4.3. Effet de la végétation sur l'amélioration des propriétés de sol

La végétation exerce incontestablement une action déterminante sur la formation de l'humus, elle joue un rôle intermédiaire entre la roche mère et l'humus, son rôle est déterminant il améliore l'humus. L'horizon (B), s'il existe est encore aéré est bien occupé par les racines dans le cas de la forêt, qui y trouvent des réserves de bases et d'eau en saison sèche.

4.4. Effet du pâturage sur les propriétés physique et hydrologiques des sols

Dans les terrains de parcours, l'état de surface est affecté, à la fois par le prélèvement du matériel végétal (Thurow et al., 1988) et par le compactage du sol (Naeth et al., 1991). Outre que d'autres paramètres comme la nature du sol, le régime climatique et l'état de développement de la végétation.

Le pâturage intense réduit la couverture végétale, tasse le sol en surface et par conséquent son infiltrabilité à l'eau se trouve diminuée (sabir, 1994).

Les forts taux de rugosité dans les terres cultivées sont à cause des mottes qui donnent un micro relief u sol. Les faibles valeurs de résistance à la pénétration et au cisaillement sont dues au travail du sol qui ameubli la surface.

La valeur élevé de détachabilité obtenue pour les parcelles de cultures sont dues au fait qu'il n'ya pas de ruissellement pendant le test de simulation. à cause du travail récent du sol. Le ruissellement a été actif sur les parcelles de jachères et de céréaliculture, à cause du tassement dû au parcours, et de la pierrosité. Contrairement à la parcelle de forêt où la végétation a

favorisé l'infiltration. Au niveau des terrains cultivés avec présence de doum, le ruissellement a été observé avec moins de perte en sol que dans les terrains de jachère ou de sol nu, ce qui témoigne du rôle du tapis herbacé et de la litière dans la protection des sols contre l'érosion hydrique.

Les activités humaines sont en majeure partie derrière ces changements des états de surface, ils sont d'autant plus importants si la pression exercée est grande. Dans le prochain chapitre nous exposeront le facteur anthropique pour tenter d'expliquer l'évolution du milieu ancienne et actuelle.

Chapitre 7. Facteur anthropique

1. Aperçu historique

Le haut Atlas a toujours fasciné les empires. Son histoire est ancienne et remonte au Paléozoïque. Ses grandes forêts denses avaient abrités une faune et une flore importante. On le retrouve évoqué dans les littératures antiques de Homère, de Hannon et de Strabon, qui l'ont représenté avec fascination et intrigue. Le 2^{ème} siècle, l'époque de la paix romaine, correspondait à l'exploitation coloniale intensive. Ces zones de montagne abritaient une population autochtone majoritairement amazigh.

Plutard avec l'arrivée de l'Islam au 8^{ème} siècle, le pays a été engendré par un processus de transformations touchant les divers aspects de la vie, donnant naissance à quatre dynasties de culture arabo-islamique:

- Les Idrissides (788-959).
- Les Almoravides (1073-1147).
- Les Almohades (1130-1276).
- Les Mérinides (1258-1420).

Œuvrant dans le sens de l'état concentrateur et bâtisseur, c'était l'âge d'or de la culture au Maroc, avec tout les changements qu'il a pu apporter à l'esprit tribal de l'homme marocain, le rayonnement de leur civilisation arrivait jusqu'en Espagne. Leurs constructions ne sont pas passées inaperçues, laissant imaginer les coupes de bois réalisées pour leurs grands travaux (ponts, artisanat, toitures, décorations, tannerie, etc.). (Omar Mhirit, Philippe Blero, 1999).

Cette phase représente un début de transition entre l'homme amazigh qui vit en harmonie au sein de sa petite tribu, localité, avec les ressources qu'il a en possession, et un homme qui s'ouvre sur des pratiques étrangères qui mettent en confrontation le rapport exploitation – ressource.

Les littératures rapportent que l'arrivée de certaines tribus arabes nomades au *Maghreb*, notamment les *Bani Hilal* et *Bani Sulaym*, était catastrophique sur l'avenir des ressources, (dans un contexte général d'affaiblissement du pays au temps des derniers *Almohades*), ils ont préféré s'installer dans la plaine, poussant ainsi la population locale vers la montagne. Comparés à des sauterelles par *Ibn khaldoun*, d'autres commentateurs voient en eux une cause valable de la dégradation de certaines zones forestières au Maroc, leur mode de vie et leur rapport avec la forêt était étranger aux rituels harmoniques que prônait la population locale.

Au 15^{ème} siècle, temps des *Saâdiens* (1509-1641) et des *Alaouites* depuis 1668, le pays pouvait se replier sur ses ressources et consolider une gestion plus efficace, sauf que les

conquêtes poursuivirent sur le pays, l'occupation des Portugais en 1415 des côtes atlantiques, a nécessité de concentrer les efforts en vue d'une lutte contre l'invasion, les arbres ont été abondamment coupés pour bloquer les navires envahisseurs, comme le raconte *Léon l'Africain*.

Une partie de l'histoire des rapports de l'homme avec la forêt coïncide avec l'histoire des *Zawiya (Marabout)*, certains nombres de *Zawiya* ont été nommées par les noms des arbres caractéristiques de la région ou les noms des sources, et ont permis, par la propriété de leur « sainteté », une préservation de la végétation, on découvre encore que l'Islam incite à planter des arbres, considérant cela comme un acte de charité.

En général, on peut distinguer trois périodes phares qui ont transformé le sort du haut Atlas occidental, et notamment la région du bassin versant du Rdat.

1.1. Temps du Glaoui.

La famille *Glaoui* a gouverné le bled des *Glaoua*. Elle a connu son apogée en 1858, à travers Thami Glaoui, reconnu comme le Pacha de Marrakech et le plus grand chef du sud par le Marechal Lyautey en 1918, dont la politique a renforcé l'emprise féodale en lui fournissant les moyens modernes de contrôle. Le temps du Glaoui a bien marqué l'histoire de la région. Le reste de son château dans les hauts sommets de la montagne, permettant une vue sur toute l'étendue de la forêt *Glaoua Nord*, témoigne de son emprise sur le milieu. Cette dernière a servi de refuge, dans les temps de sécheresse. Les habitants y ont trouvé une zone humide où s'abriter en été, et une source de bois de feu en hiver. Le travail de la terre en micro parcelles a été intense dans cette période qui correspondait à un développement économique de la région. Actuellement plusieurs parcelles ont été abandonnés, et d'autres alternatives ont vu le jour comme les périmètres irrigués dans les plaines, la création de micro bassins de collecte d'eau pluviales, l'emploi dans les villes qui attire de plus en plus les jeunes, ainsi le savoir vivre en montagne, basé sur les valeurs ancestrales se dégrade, laissant manifester l'érosion par endroit malgré les efforts d'aménagement.

Glaoua est un nom d'origine Amazigh (*Iglaoua*), déjà mentionné dans le livre d'*Ibn khaldoun*. Ils sont originaires du sud et considérées comme descendantes d'une communauté religieuse. Leur territoire est dominé par la forêt, qui porte le nom de *Glaoua Nord* dans le bassin versant du Rdat. Elle s'étale sur huit fractions qui regroupent 124 douars, tous usagers de cet espace forestier. Ces fractions appartiennent à la tribu *Glaoua* et une partie de la fraction des Ait Tighdouine qui relève de la tribu des Mesfioua.



Photo 12 : Restes du château du Glaoui, photo prise en 2014 dans la commune de Zrekten



A

B



C

**Photos groupées 13 : Aménagement et abandon des terres par la population locale, à la commune Zrekten
A-B : Parcelles abandonnées; C: Parcelles aménagées (en Face du château du Glaoui)**

Les lois qui concernaient la gestion du domaine de la forêt s'inspiraient des principes islamiques, basés sur « la vivification de la terre morte », ainsi toute personne qui répare une

terre et la sauvegarde devient son propriétaire. Dans le *Chraâ* (légifération islamique), la forêt est une terre à utilité générale, par conséquent, son appropriation n'obéit pas à la règle.

Mais d'un point de vue coutumier, la forêt était considérée, dans la structure tribale (*la Jmaâ*), comme un bien collectif, dont l'appropriation est réglementée par des règles coutumières complexes (*Ôrf*), intégrant la dimension éco-sociale et environnementale.

La coutume a été mise à l'épreuve par l'émergence du pouvoir personnel caïdal, qui va adopter des stratégies de conflit pour fragiliser la structure tribale de « *Jmaâ* », le chef de la tribu sera élu par le sultan comme « *Caïd* » et non par l'assemblée locale à sa base, devenant ainsi un porte parole du *Makhzen* (pouvoir étatique central), ce qui va faire muter la trame tribale. (S. Boujrout, 2005).

1.2. Temps du protectorat

Le 1^{er} novembre 1912, le circulaire du *Grand Vizir* aux gouverneurs, *Caïds* et *Cadis*, fondé sur les principes de droit musulman, déclarent que les forêts qui sont dans toute l'étendue de l'Empire appartient au *Makhzen*.

On peut diviser cette période en trois phases :

- **La phase de la guerre (1914-1919), ou dite la phase militante**

Dans laquelle de grands changements structuraux ont touché l'équilibre population-environnement :

Le protectorat cherchait à soumettre la population de la montagne qui se montrait hérétique suite à la mutilation de son mode de vie, le protectorat a fait en sorte qu'elle soit isolée et marginalisée, en lui imposant une nouvelle situation, ainsi les lois coutumières ancestrales de l'utilisation de la forêt qui marquait la relation entre l'homme de la montagne et les ressources ont été interrompu.

La population de la montagne pratiquait une vie de nomadisme montagnard avec tout ses dérivés allant du semi-nomadisme à la fixation intégrale, à la recherche de terre capable d'accueillir les troupeaux, l'environnement imposé par le protectorat raccourcit ses mouvements. En diminuant l'espace de vie de la population, celle-ci qui pratiquait son activité pastorale dans les plaines, suivant un calendrier de migration saisonnières complexe, réparti selon les périodes climatiques sévères, combinant à la fois la migration humaine, animale, agricole et pastorale, se retrouve devant une nouvelle situation où la forêt est le seul refuge qui reste pour continuer leur mode de vie.

L'équilibre qui marquait jadis la relation entre la population et la forêt ne tient plus, la pression démographique et les changements climatiques ainsi que l'orientation de l'état marocain vers un Maroc agricole (Maroc utile), et un Maroc inutile (la montagne) va intensifier le déséquilibre.

Plusieurs lois étatiques ont vu le jour durant cette période :

- Dahir du 7 juillet 1914 sanctionne définitivement la domanialité des forêts.
- Dahir 3 janvier 1916, porte sur la délimitation du domaine de l'état, fixe une procédure de délimitation administrative.
- Dahir 10 octobre 1917, constitue la loi forestière marocaine, sur la conservation et l'exploitation des forêts, adopte les droits et les pénalités, et laissant aux cahiers de charges et aux arrêtés visiriel l'occasion de l'enrichir.

- **La phase de pacification (1919-1926), ou phase de modernisation**

Dans le but de maîtriser et d'exploiter les ressources la pacification était un choix indispensable, qui a permis une modernisation du territoire, par un processus de « francisation », axé sur le principe de l'état nation, créant ainsi un dualisme administratif dans le pays, les approches et les structures de gestion et d'organisation étaient en confrontation.

Dès lors, on a vu la création d'un service forestier chargé de la gestion des ressources forestières, dans une orientation vers un Maroc agricole, dénommé « Maroc utile » par le Maréchal *Lyautey*.

Les Dahirs réglementaires se succèdent pour organiser ce secteur, et le Dahir 1917 a finalement rompu avec les anciennes pratiques d'exploitation de la forêt, en envisageant le principe de domanialité des forêts, celle-ci repose sur la possession qui est une apparence de propriété. (*Boudy, P*).

- **La phase de la stabilisation (1926-1940)**

Le service forestier a pu développer sa pénétration et pousser son organisation sur place, après avoir établis les bases juridiques, administratives et financières solides.

- Dahir 5 avril 1949 : soumet au régime forestier les terrains reboisés, ou à reboiser, et éventuellement les terres de parcours à améliorer par l'administration des eaux et forêts, appartenant aux collectivités, après accord du conseil de tutelle.

- Arrêté viziriel 14 novembre 1949, fixe les modalités de soumission au régime forestiers des bois, forêts et terrains non domaniaux.

Pendant la période 1939-45, la quasi-totalité des forêts a été exploitée ; c'est ainsi que l'ensemble des taillis est jeune en moyenne (50ans). Le rythme d'exploitation qui a été imposé à la forêt durant cette période ne pouvait être perpétué, car la capacité du capital ligneux et les conditions climatiques, édaphiques et anthropiques étaient telles qu'elles ne permettaient plus la reconstitution de la forêt. Actuellement la méthode de régénération continue à être la seule voie utilisée pour rajeunir les peuplements. (*HCEFLD,1999*)

1.3. Temps post-colonial

Ce temps est marqué par l'émergence de nouveaux principes de participation et de concertation, la notion de l'état concentrateur s'est dissipée pour donner lieu à une régionalisation affectant aussi le corps du service des eaux et forêts, qui se sont délocalisés sous forme de directions régionales afin de mieux cerner les zones forestières. D'autres lois ont été ajoutées :

- Dahir relatif à l'organisation de la participation des populations au développement de l'économie forestière - 1976.
- Décret portant attributions et organisation du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification.

Actuellement, la forêt des Glaoua Nord est entièrement délimitée et homologuée respectivement en date de 03-02-1937 et 05-08-1938. Sa délimitation fut ordonnée par arrêté viziriel du 14-09-1928. Elle comprend près de 1333 bornes qui la délimitent.

2. Augmentation de pression anthropique

2.1. Evolution des effectifs

La population qui occupe les communes rurales du bassin versant Rdat, a connu une évolution croissante depuis plusieurs décennies. Elle est passée de 24.815 habitants en 1971, puis à 29.691 en 1982 et 32.395 habitants en 1994, avant d'atteindre 33.562 en 1998, et dépasse les 56.263 habitants en 2014. Soit une évolution de 731 hb/an correspondant à un taux d'accroissement de 2,9% par an.

Le nombre des ménages moyen par commune est de 2000 à 3400. Les habitants sont des marocains majoritairement, avec un effectif qui arrive jusqu'à 19926 habitants, enregistré comme le plus élevé à la commune de Zrekten.

Densité communale de la population : sur sidi rahal : 501 à 1000 habitants/ km², alors que sur les autres communes rurales la densité ne dépasse pas 51 à 100 habitants /km².

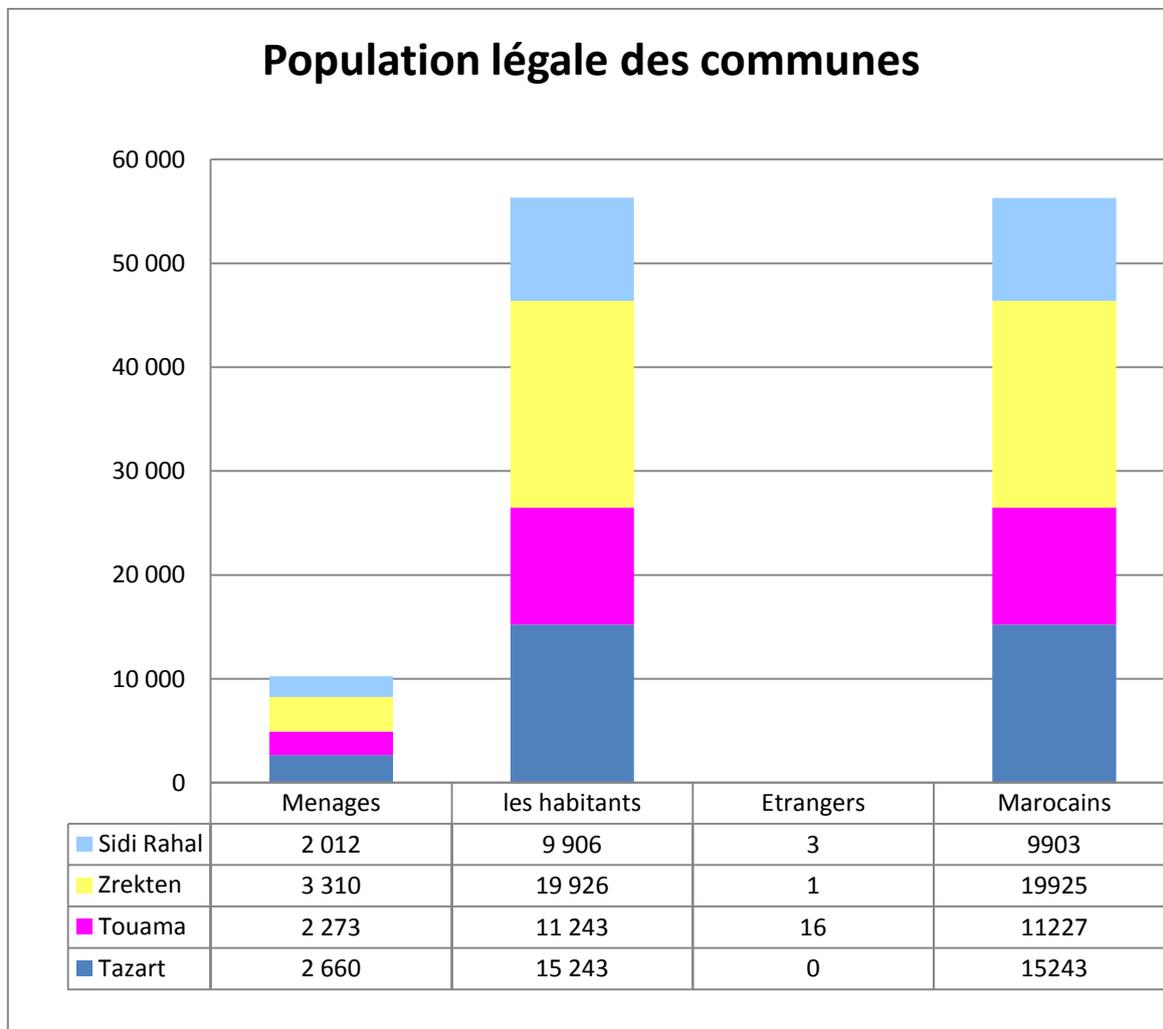


Figure 48: Population légale par commune
Source : RGPH, 2014

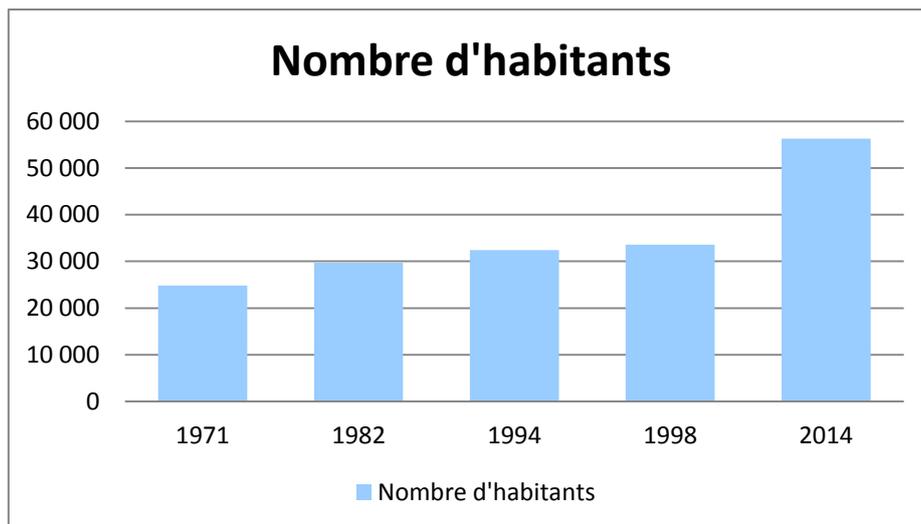


Figure 49: Evolution des effectifs
 Direction régionale des statistiques, Archives, RGPH 2014

Bien que la population a augmenté en nombre entre 1995 et 2014 dans les communes du bassin versant Rdat, dans la commune de Touama, on remarque une stabilité.

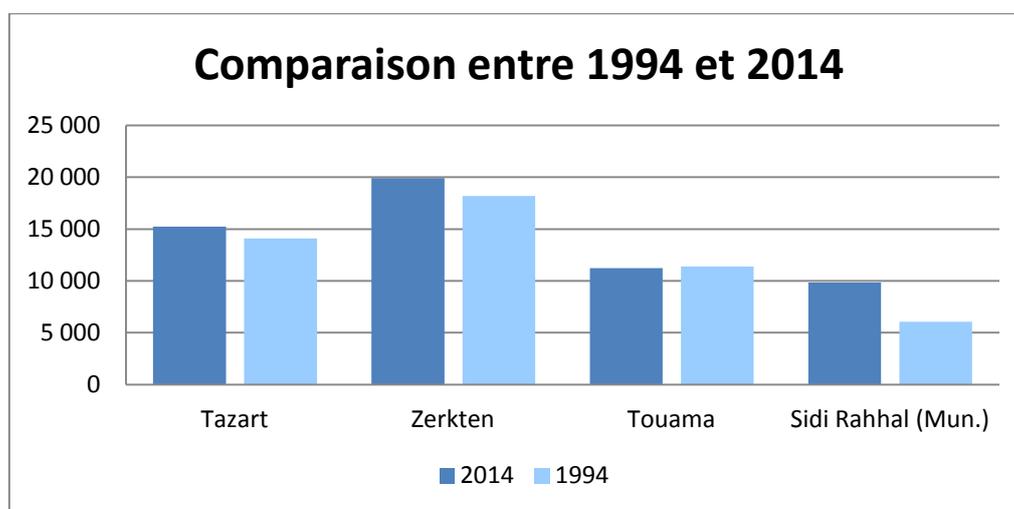


Figure 50: Comparaison entre 1994 et 2014 par commune

La population jeune peut atteindre jusqu'à 25% par commune, se situant dans les tranches d'âge entre [5-19], alors que la population avec la tranche d'âge entre [40 et 50 ans] représente 10%. Le reste de la population correspondant à la tranche vieille, entre [70 et plus] représente seulement 3%.

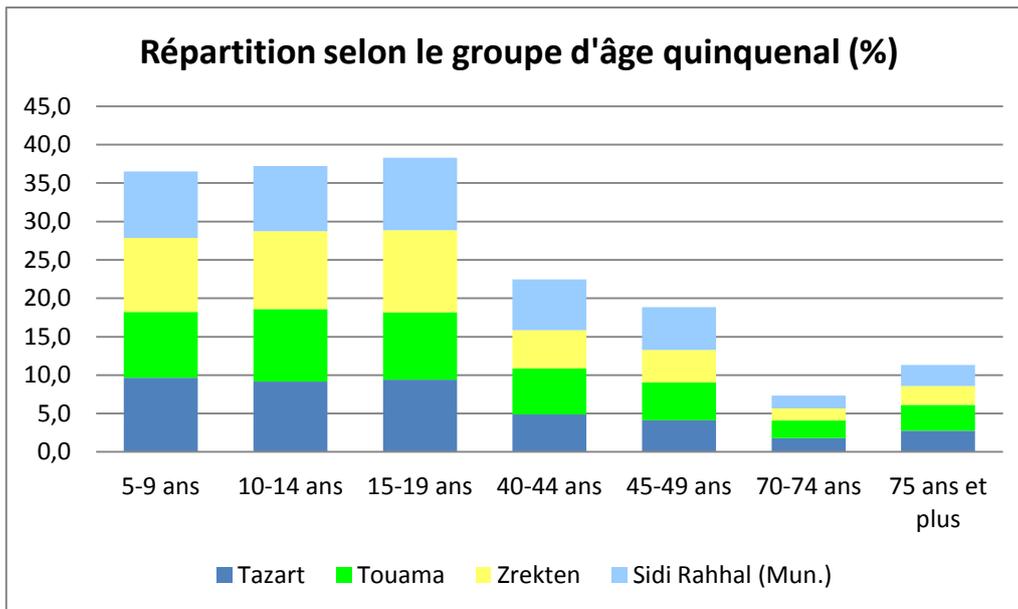


Figure 51: Répartition selon le groupe d'âge Source : RGPH, 2014

2.2. Genre et équilibre social

La population est à environ 50,5% masculine, dominée par la tranche d'âge très jeune avec respectivement 33% et 44% pour les féminins et les masculins.

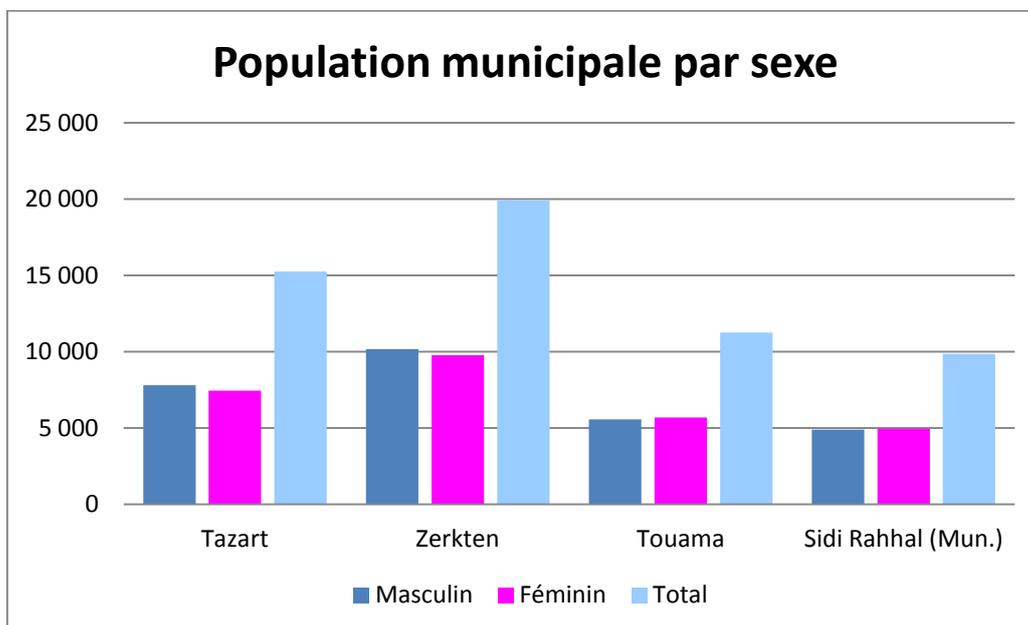


Figure 52: Population municipale par sexe Source : RGPH, 2014

2.3. Scolarisation

L'analphabétisation est un problème répandu dans les zones de montagne et qui touche essentiellement les femmes, malgré les efforts déployés pour encourager la scolarisation des

enfants, les pourcentages recensés en 2014, indiquent que 40% des hommes et 60% de femme sont en état d'analphabétisme.

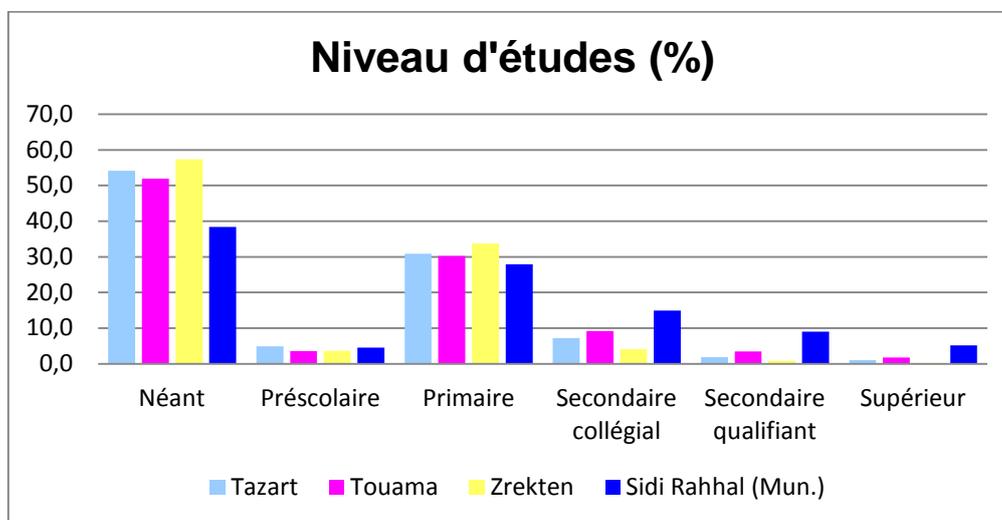


Figure 53: Niveau d'études Source : RGPH, 2014

Ceux qui ont étudié, ont un niveau d'étude primaire avec un pourcentage de population qui dépasse 30%. Pour les autres, le niveau scolaire des habitants ne dépasse pas 10%, sauf pour la commune de sidi Rahal où le pourcentage du niveau d'étude secondaire collégial dépasse 15%. Ceci peut être expliqué par le développement de cette commune, devenue actuellement commune urbaine.

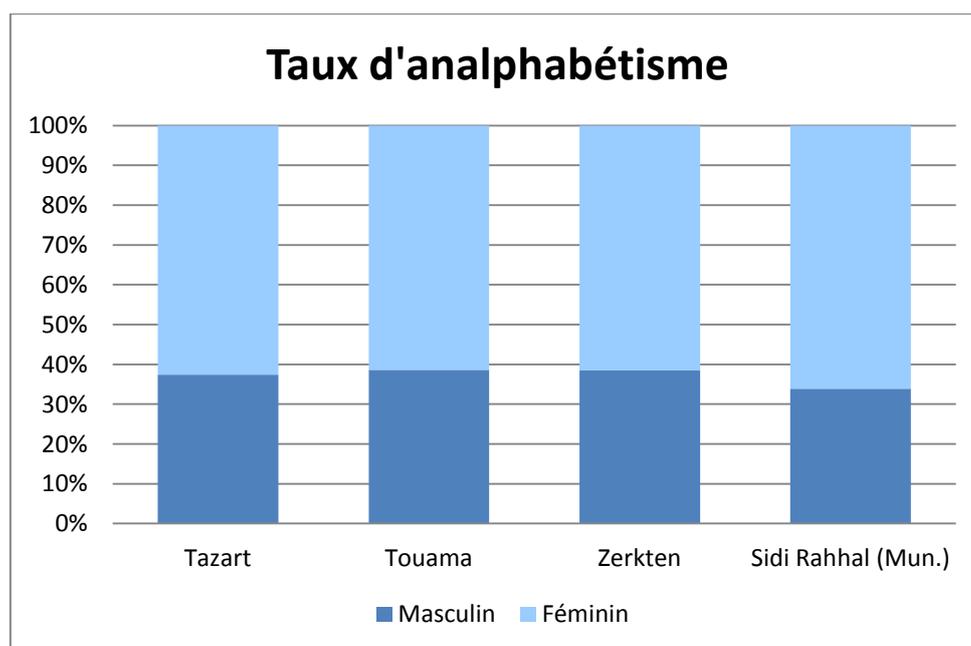


Figure 54: Taux d'analphabétisme Source : RGPH, 2014

3. Vocation des terres agricoles et organisation

Le fractionnement de la forêt Glaoua Nord recouvre une disposition bien précise dans l'espace, il s'agit essentiellement d'une exposition verticale. La circulation des troupeaux des alpages de l'amont vers l'aval n'est pas régie par des pactes pastoraux, elle relève de la simple tradition. Les grands groupes de Glaoua Nord ont un territoire allongé en bandes remontant le long des pentes jusqu'au sommet des crêtes.⁴

L'enquête menée en 1999 par l'HCEEF informe que la taille des exploitations est dominée par les petites superficies :

- 14,8% des exploitations ont moins d'un ha.
- 61,4% ont une SAU située entre 1 et 4ha.
- Les exploitations ayant plus de 8 ha représentent 8%.

Ce qui signifie que les habitants auront besoin de sources complémentaires pour arriver à satisfaire leurs besoins.

3.1. Statut juridique des terres

Les terrains agricoles ont la propriété de l'exploitant (Melk) et dégagent la contrainte de la parcellisation. Le nombre de parcelles par exploitation varie de 4 à plus 7, c'est un cas presque général dans le bassin versant du Rdat.

Tableau 27: Statut juridique des terres Source : RGA, 1996 pour les communes Zrekten, Touama et Tzart. Et ORMVA, 2016 pour la commune de Sidi Rahal

Commune rurale	Statut juridique des terres								
	Melk		Collectif		Habous		Guich	Domaine	
	%	ha	%	ha	%	ha		%	ha
Tazart	16,3	4 772	0,02	1	0	0	0	65,7	775
Touama	14	4 090	0	0	10,41	5	0	2,4	28
Zrekten	7,2	2 117	0	0	4,2	2	0	0,6	7
Sidi Rahal	62,5	18 274	99,97	3 978	85,4	41	0	31,3	369

3.2. Superficies consacrées aux différentes cultures pratiquées (en Ha)

Dans le bassin versant de Rdat, différentes types d'agriculture sont pratiqués dans les vallées, en profitant des cours d'eau, et des micro-ravines (chebaa ; affluent de petite taille) pour irriguer les cultures. L'agriculture sur les versants est une forme d'organisation répandue, souvent en terrasse ou terrassette, le savoir faire local, quand il est bien pratiqué aide à fixer le

⁴ Etude d'aménagement de la forêt de Glaoua Nord, Procès verbal d'aménagement, Mai 1999.

sol et à lutter contre l'érosion. D'autres formes d'agricultures en bour sont pratiquées dans les endroits éloignés des oueds, ils sont souvent dans les limites tribales ou à côté des zones de parcours, et peuvent aussi être organisés en forme de terrasse.

3.3. Aspect production agricole et irrigation

3.3.1. Système de production agricole

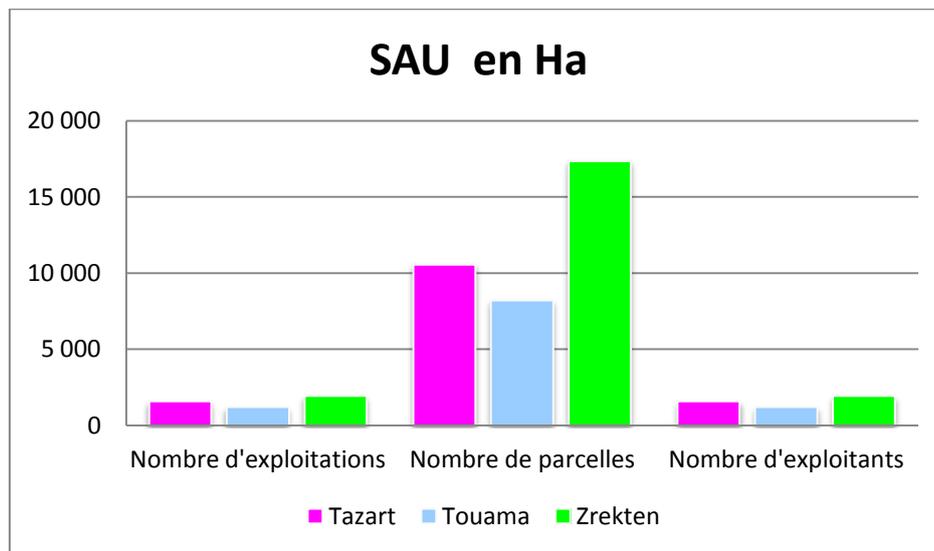


Figure 55: Comparaison de SAU entre les 3 communes de montagne. Source : RGPH, 2014

Les jachères occupent 39,4% de la superficie totale de la SAU, alors que le reste est répartie comme suit ;

- 46,3% : Blé dur.
- 45,3% : Orge.
- 8,4% : Blé tendre.

L'agriculture traditionnelle reste soumise à un système traditionnel qui connaît les transformations suivantes ;

- Le morcellement des terres.
- La dispersion des parcelles ;
- L'abandon des terrasses non irriguées ;
- Le développement de l'arboriculture.

L'arboriculture fruitière a une place privilégiée dans la définition des composantes de développement du milieu rural en général, et de l'économie de l'exploitation agricole en particulier. Plus de 72% des exploitations possèdent des arbres fruitiers dominés par l'amandier, dont le nombre de pieds dépasse 38500 arbres.

3.3.2. Répartition des terrains irrigués et bour sur la SAU des communes du bassin

Les superficies irriguées sont de l'ordre de 301 277 ha, ce qui montre la contribution importante du bassin versant dans la région.

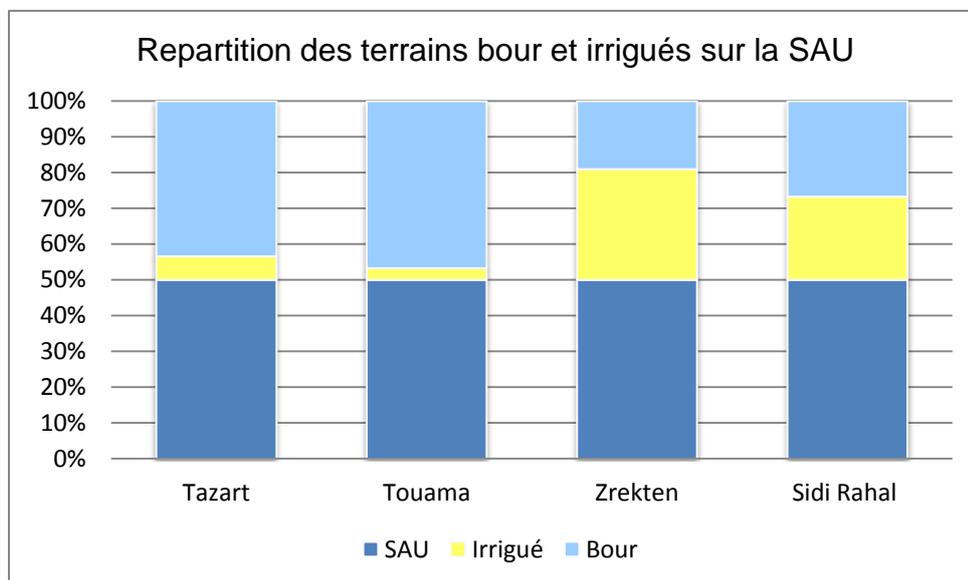


Figure 56: Répartition des terrains bour et irrigués sur la SAU

Tableau 28: Taux d'accès à l'eau potable (DPE Al Haouz, Décembre 2009)

Commune rurale	Localités	Pop. Totale	Pop. Desservie	Taux d'accès à l'eau potable
Zerkten	15	19 154	6 492	34%
Touama	14	11 458	10 428	91%
Tazert	14	14 583	6 527	45%

Il s'agit de la part des ménages ayant accès à l'eau potable (borne fontaine, etc.), y compris les ménages raccordés au réseau de distribution d'eau potable, par rapport à l'ensemble des ménages de la province. Le reste de la population utilisent les eaux des puits et des sources d'eau, et d'autres constructions traditionnelles de collecte d'eau pluviale, comme Laghdir, Tamda, Matfia, etc. qui sont utiles également pour abreuver le bétail.

3.4. Filières agricoles à valeurs ajoutée

La caractéristique de la vocation agricole dans le bassin versant Rdat est à dominante agro-sylvo-pastorale.

Du point de vue occupation des sols, les cultures céréalières prédominent avec près de 45% de la SAU. Cette contribution du bassin versant Rdat à la production céréalière nationale demeure importante, viennent ensuite, loin derrière, les plantations fruitières, les fourragères et maraîchères. La part des terres en jachère est relativement importante 0.05% de la SAU.

En 2008, le Ministère de l'Agriculture et de Pêche Maritime (MAPM) a prévu dans le Plan Maroc Vert (PMV) la concentration des efforts d'investissement et de développement agricole sur onze filières phares ; à forte valeur ajoutée.

La déclinaison de cette stratégie nationale au niveau de la région de Marrakech-Safi s'est focalisée sur des filières végétales et animales ayant fait l'objet des signatures des contrats-programmes avec les interprofessionnels, notamment ;

- Animales: viandes rouges et blanches, production laitière (et apiculture, cuniculture, etc.).
- Végétales selon les filières suivantes :
 - Les oliviers : La plus grande superficie au niveau national revient à la région de Marrakech Tensift Al Haouz.
 - les agrumes, l'amandier, le pommier, l'abricotier, le figuier, le caprier, le caroubier, outre que les légumineuses, maraichage, cultures fourragères et céréales.

La production agricole a un impacte directe sur la croissance économique, de par sa valeur ajoutée, mais aussi indirecte, par la création d'emplois.

3.5. Production animale

L'élevage est la principale activité du secteur agricole dans le bassin versant de Rdat, il est souvent associé à la production végétal, du fait des fortes interactions existantes entre ces deux types d'activités (Houry, 2014). Il a connu une évolution dans ses effectifs. C'est une activité complémentaire à l'exploitation et joue un rôle important dans l'économie rurale. Elle s'articule autour de l'exploitation agricole, et dépend des composantes du milieu naturel, avec une dominance des troupeaux de petite taille avec la répartition suivante⁵:

- 21,1% des éleveurs ont moins de 10 PUB ;
- 31,2% des éleveurs ont entre 10 et 20 PUB ;
- 28,8% des éleveurs ont entre 20 et 50 UPB ;
- 13,9% ont plus de 50 UPB.

⁵ Pv d'aménagement de la forêt Glaoua Nord, 1999

3.6. Défrichements et mise en culture

Les indices de défrichement dans le bassin versant de Rdat sont évidents, prennent parfois les formes de parcelles abandonnées ou mal entretenues.

3.7. Prélèvements de bois de feu

Les habitants utilisent les perches prélevées dans la forêt pour la construction des maisons, surtout dans les plafonds, où on retrouve des poutres de Genévrier, et de Peuplier, par contre le Chêne vert est utilisé surtout pour la carbonisation et le feu. La coupe de bois est une pratique fréquente, plusieurs fois nous avons rencontrés les femmes de douars dans les bois de forêts, souvent en nombre de deux femmes, la fréquence de coupe étant de deux fois jusqu'à trois fois par semaine, d'après l'enquête effectuée dans les douars de Tazliyda (voir chapitre 8).

3.8. Le surpâturage

Les déplacements s'effectuent de façon régulière et fréquente dans des espaces assez lointains, mais actuellement ils se limitent aux rayons proches du lieu de résidence, au maximum 4 à 5km. Il s'agit donc des forêts les plus proches du douar, ce qui conditionne une approche de gestion cernée dans l'espace et précise par la même occasion le cadre global de la gestion spatiale (parc pastoral).

L'alimentation complémentaire est une pratique courante chez tous les éleveurs. Elle permet de combler le déficit fourrager local : L'orge, la paille, la pulpe de betterave et autres produits industriels.

Le calendrier fourrager met en évidence la place fondamentale qu'occupe la forêt dans l'alimentation du cheptel et ce principalement pour les ovins et les caprins. Pendant l'été la forêt est plus ou moins soulagée, mais elle est fortement fréquentée pendant les mois allant de septembre à décembre où plus de 70% du cheptel y séjourne.

De ce fait, le bilan fourrager permet de dégager un coefficient de surpâturage de 56%⁶:

- Charge apparente : 2,96 UPB /ha.
- Charge réelle : 2,34 UPB /ha.
- Charge d'équilibre : 1,03 UPB /ha.

Bien que les terrains à vocation de parcours ne soient pas délimités, sur le bassin versant de Rdat, cette activité est très présente, du haut de la montagne vers l'aval de façon longitudinale, son intensité dépend de la charge animale, qui se voit réduite à travers le temps.

⁶ Pv d'aménagement de la forêt Glaoua Nord, 1999

Tableau 29: RGA, 1996 pour les communes Zrekten, Touama et Tzart. Et ORMVA, 2016 pour la commune de Sidi Rahal

Commune rurale	Effectif du Cheptel (nombre de tête)						
	Bovins	Ovins	Caprins	Camelins	Chevaux	Mulets	Anes
Tazart	2 574	14 018	9 927	5	85	509	1 280
Touama	1 694	10 677	3 861	0	5	0	28
Zrekten	3 842	17 145	16 247	10	19	741	369
Sidi Rahal	640	3 800	450	Pas d'information			

3.9. L'ampleur de la migration dans le bassin versant du Rdat

D'après le résultat du recensement de 2004, effectué par le Haut commissariat du plan (HCP). Entre l'année 1999 et 2004, des mouvements de migration importants sont observés de la ville de Marrakech vers la périphérie et inversement. La plus grande migration est celle de la province Tensift vers la ville de Marrakech, avec une estimation de 3001 à 10000 migrants. La migration inverse a été estimée à seulement 501 à 1000 migrants de Marrakech à la province de Tensift.

Le développement démographique a transformé la vie dans ces zones. Selon la plupart des agriculteurs enquêtés, l'agriculture traditionnelle dans la zone a subi un recul remarquable par rapport à 2003. La recherche de nouvelles activités, complémentaires à l'agriculture est une actualité inévitable, plusieurs ont préféré migrer vers des centres urbains à la recherche de nouvelles sources de revenu autre que le secteur agricole. Ceci est le résultat direct de la faiblesse des rendements agricoles qui poussent la plupart des agriculteurs à exercer d'autres activités, pour compléter le manque. Avec le temps ces activités tendent à devenir principales pour eux.

La migration et la recherche de nouveaux travaux, autre que l'agriculture peut être expliqué par le fait que les agro-pasteurs eux-mêmes, de par leur ouverture sur le monde extérieur, prennent de plus en plus conscience de la nécessité d'introduire de nouvelles activités en vue de répondre à leurs besoins croissants. Ceci est d'autant plus facile que le monde rural dispose, aujourd'hui, d'un réseau de moyens de communication dont la densité augmente jour après jour : de nouvelles pistes sont ouvertes dans le cadre de la promotion nationale, le nombre de camions en circulation augmente, aidé en cela par les travailleurs émigrés qui investissent une partie de leurs économies dans l'achat de camions ou de camionnettes.

3.10. Vulnérabilité et enjeu du développement rural

Le taux de pauvreté et de vulnérabilité dans la commune de Zrekten, est le plus important dans toute la région du Haouz, tandis que pour les autres communes de Rdat, notamment Tazart et Touama, les taux représentent des valeurs moyennes.

Les approches pragmatiques et transactionnelles du plan Maroc vert, dans le cadre du plan Emergence 2 du Plan Maroc vert (Pilier I et II), prévoit d'animer de 1000 à 1500 projets de développement concrets, avec des investissements à objectif de 10Md DH par an autour d'une offre Maroc ciblée, ce qui peut créer une dynamique régionale et une opportunité pour l'agriculteur. Cependant la vulnérabilité caractéristique des zones rurales, notamment les communes du bassin versant de Rdat, menacent de mettre à échec le plan de développement rural prévu. Il est important de faire participer la population locale, consciente de son sort, afin de s'orienter vers une approche de développement territorial.

Entre 2004 et 2014, l'incidence de la pauvreté a baissé dans toutes les régions du royaume. Le classement des régions en 2014 indique que la moitié des régions enregistrent un taux de pauvreté supérieur à la moyenne nationale (8,2%). La région la plus pauvre du Maroc est Béni Mellal-Khénifra (13,4%), suivie de Marrakech-Safi (11,3%). Cette dernière abrite le plus grand nombre des pauvres au Maroc. Sa contribution relative à la pauvreté à l'échelle nationale atteint 18,5%⁷.

⁷ HCP. Principaux résultats de la cartographie de la pauvreté multidimensionnelle 2014, Paysage territorial et dynamique, octobre 2017

Chapitre 8. Efforts d'adaptation des agriculteurs (Gestion paysanne des ressources ; cas du Tazliyda)

Le bassin versant Rdat a connu une grande évolution à la fois sociale et économique, se reflétant dans le mode de vie de la population. Il est soumis à une action anthropozoogène, qui peut être périlleuse en cas de mauvaise gestion, et peut modifier la relation équilibrée entre l'homme et son environnement. Ce rapport de l'homme avec la ressource naturelle a toujours été présent dans le passé, le danger actuel réside dans le contexte socio-économique, et climatique qui encadre une dynamique accélérée depuis la dernière décennie, faisant parfois rupture avec le savoir faire ancestral pratiqué depuis bien longtemps dans les montagnes Haut Atlas.

Dans le but d'illustrer les changements observés dans ce bassin versant, nous avons pris l'exemple d'un micro bassin afin de faire un diagnostic participatif et pouvoir relever les facteurs pouvant expliquer le changement. A travers des ateliers reposant sur un diagnostic participatif en focus groupe dans les douars de Tazliyda, ainsi qu'un questionnaire adressé aux ménages.

Quatre unités ont été délimitées correspondant à une délimitation tribulaire ancestrale et géographique, ce qui nous a permis de mettre en relief les différents changements survenus dans le temps au micro bassin de Tazliyda.

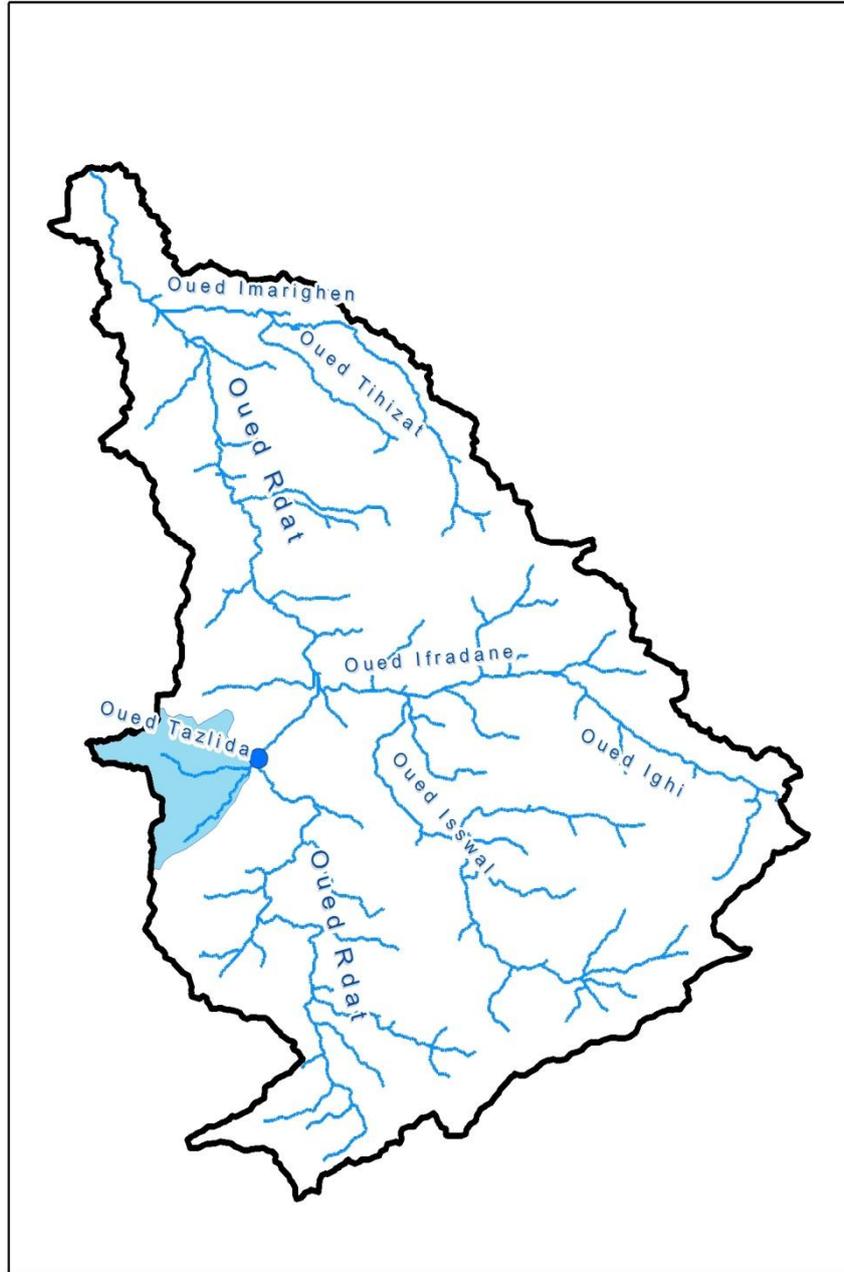


Figure 57: Carte de situation du micro bassin de Tazlyda

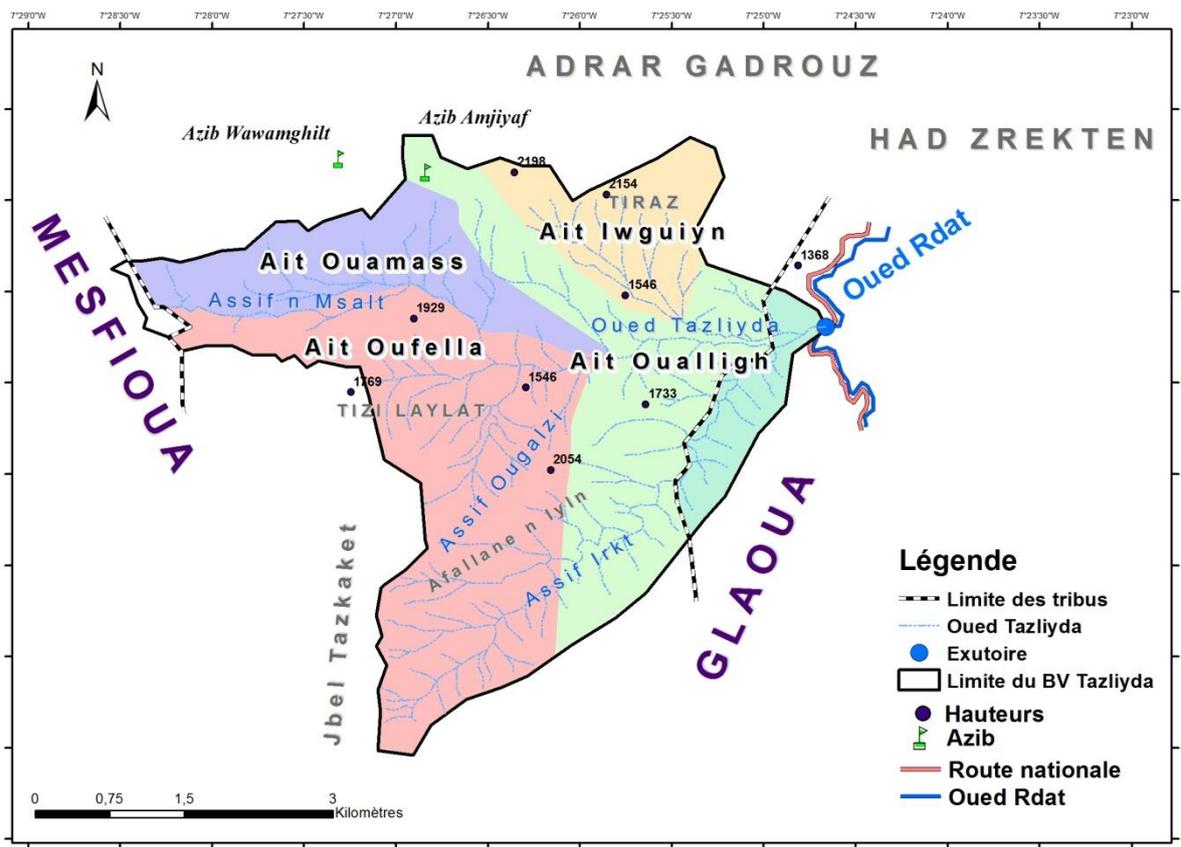


Figure 58: Carte des unités socio-territoriales (UST) dans le micro bassin de Tazliyda

1. Approche paysagère et émergence de la notion du territoire

La notion de paysage est variable selon les auteurs et peut présenter des controverses. Alors que les géographes ont critiqué cette notion, d'autres auteurs la trouve encore utile, notamment Littré (1863-1873), défini le paysage comme étant l'étendue du pays que l'on voit d'un seul aspect. D'après Forman & Godron, 1986 ; Un paysage est défini comme une portion de territoire hétérogène composé d'un ensemble d'écosystèmes en interaction dont l'agencement se répète de manière similaire dans l'espace.

Jean Tricart affirme que: «Certes le paysage est essentiel en Géographie, mais la Géographie-Paysage a fait long feu. En effet on ne peut fonder une science seulement sur des descriptions et des apparences». Ainsi en géographie, la notion de territoire a pris une importance croissante et semble servir mieux l'approche géographe, qui relie les terres à leurs vocations, et aux Hommes. Selon la définition du géographe Claude Raffestin, le territoire est un espace transformé par le travail humain.

Ainsi dans ce chapitre nous allons nous concentrer sur la notion du territoire, et principalement le niveau de l'unité socio-territoriale (UST), pour décrire le rapport de l'Homme avec son environnement, et pouvoir expliquer les impacts survenus dans le temps.

2. Notion de l'unité socio-territoriale (UST)

L'Unité socio-territoriale (UST) peut être définie comme étant un domaine spatial exploité par un même groupement humain, caractérisé par des affinités ethniques, culturelles et historiques. Elle est l'espace coutumier dans lequel une même entité humaine (correspondant à un douar, une ethnie, etc.) puise ses ressources naturelles (Qarro et al., 2011).

Il est pas toujours évident de dissocier ces unités socio-territoriales du fait qu'il faut connaître au préalable les mouvements de la population et des troupeaux pour la recherche des ressources.

2.1. Unités socio-territoriales composants la Tazliyda

La région de Tazlida Mesfioua rejoint la commune de Zrekten en 1992. Cette dernière a été créée en 1959, par le Dahir qui régleme les communes territoriales au Maroc. Historiquement elle a été occupé par la tribu de Glaoua Nord.

Le Caidat de Zrekten contient mechiakhat suivantes ;

- Machiakhat Tazliyda
- Machiakhat Ighi
- Machiakhat Oued Ighi
- Machiakhat Isswal
- Machiakhat Rdat
- Machiakhat Tafka

Les UST définies au niveau de la Machiakhat de Tazliyda sont au nombre de 4 avec un nombre de douars variant de 1 à 4 par UST, sauf pour Ait Oualigh qui contient 9 douars. Le tableau n°81 résume les fractions tribales avec leurs douars correspondants et le nombre de ménages.

Tableau 30: Les UST de Tazliyda

Commune	Machiakha (Tribu)	Numéro UST	Fraction tribale	Nom des douars	Nombre des ménages
Zrekten	Zrekten (Glaoua)	--	Tabahagant	Tabahagant	40
	Tazliyda (Mesfioua)	1	Ait Iwguiyn	Iwguiyn	45
			Ait Oualigh	Tafrawt	12
				Ait Khabar	12
				Tignoutine	26
				Assegawer	16
				Ait Ouaarab	13
				Lakwach	14
				Iattaren	8
				Ait Kerkaou	9
				Amdai	4
	3	Ait Ouamass	Tinfiguine	25	
			Imoula	27	
			Myzane	18	
			Ighrem	8	
	4	Ait Oufella	Ait Iminy	28	
			Ait Moussa	54	
Azrif			10		

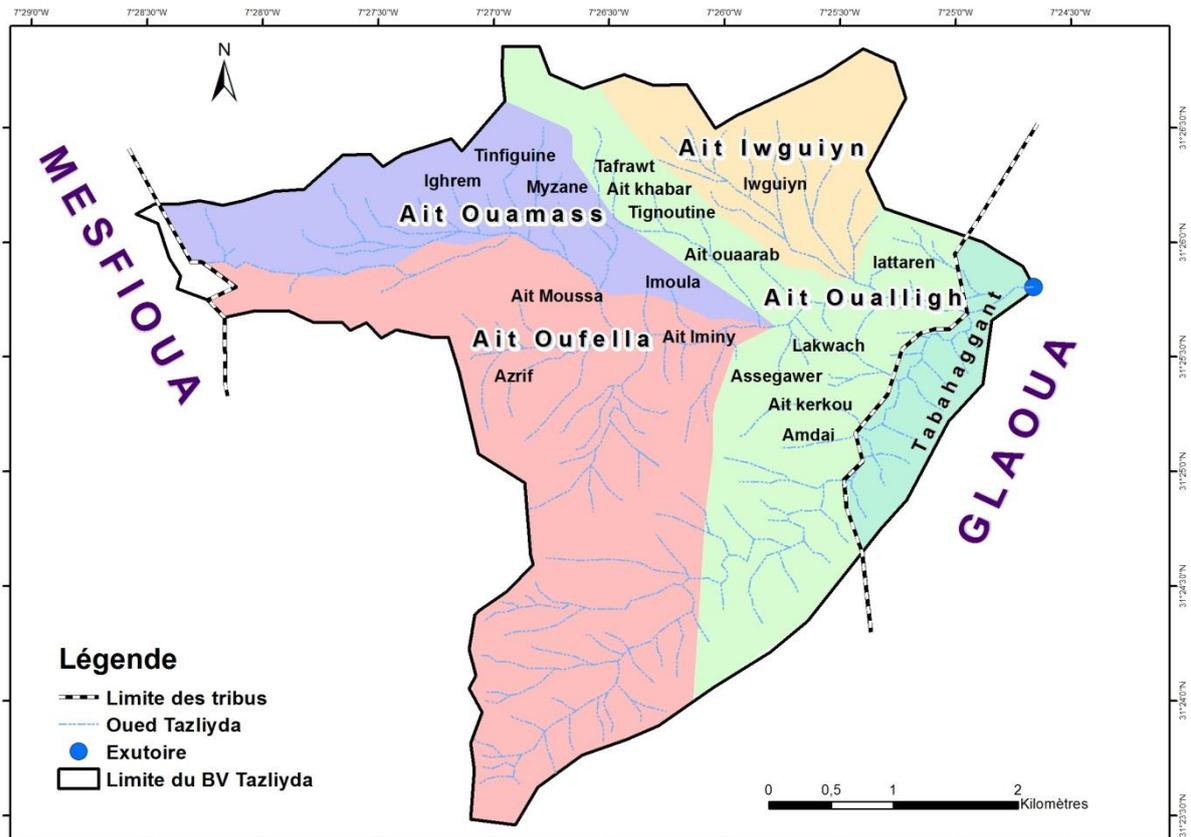


Figure 59: Carte des UST avec les noms de douars recensés

2.2. Caractérisation des UST

L'étude de la population est réalisée sur la base des résultats de l'enquête de terrain, à travers le questionnaire destiné aux douars, et par les ateliers participatifs. L'établissement des UST, a facilité le recueil des données. Dans le Tazliyda, quatre UST ont été la base de l'organisation spatio-territoriale ;

- UST 1 : Ait Iwguiyn
- UST 2 : Ait Oualigh
- UST 3 : Ait Ouamass
- UST 4 : Ait Oufella

Il est à signaler que les populations de toutes les UST sont à la base des agriculteurs-éleveurs d'origine de Tighidwine (tribu de Mesfioua), avant de se rattacher administrativement à la commune de Zrekten, qui est essentiellement constituée des tribus de Glaoua. Les limites des UST (Ighs), a été établie sur le terrain par l'orientation des habitants des douars, qui ont informés que ses limites sont anciennes et arbitraires pour garder les spécificités et coutûmes

propres de chaque groupements de population, notamment les coutumes liés à « Tahwacht » ; les danses traditionnelles, et des célébrations de mariages.

Plusieurs niveaux d'organisation sont observés dans ce territoire, notamment :

- La structure tribale « Jmaâ » ; nommant un chef de la tribu, porte parole et décideur au nom de tous. Il est à la base élu par une assemblée locale à la base, mais peut aussi être un représentant de l'état. Cette coutume a été mise à l'épreuve par l'émergence du pouvoir personnel caïdal. Le rôle fondamentale de la Jmaâ consiste à organiser la vie des habitants comme les travaux collectifs, règlements d'irrigation, fixation de la cueillette des noix, organisation des fêtes collectives, voire religieuses, à garantir l'ordre dans les différents territoires ou à résoudre les conflits de droits de pâturage (Lafuente, 1968). En ce qui concerne la Jmâa, cette institution qui avait comme rôle de régler les problèmes naissant entre les membres du douar, aujourd'hui, son rôle est très affaibli et tous les conflits sont généralement traités au niveau du caïdat.
- Le Orf ; représente un système établi par la population locale, afin de gérer les ressources de façon non conflictuelle entre eux, se sont des règles coutumières complexes qui garantie la vie en communauté.
- Le Charaâ ; ou légiférations islamique, représente des règles inspirées de la religion de l'Islam, approuvées par la communauté locale, elle peut abroger le Örf ou le consolider.

2.3. Echelles d'organisation tribale

2.3.1. Le foyer (kanoune) ou Takkat

Regroupe le père, la mère, les enfants. Le chef du Kanoune est en principe celui qui pourvoit à ses besoins et ceux de sa famille. L'aïeul ou de l'un des frères (qui n'est pas nécessairement l'aîné), semble aujourd'hui encore assurer la gestion effective et le partage plus ou moins solidaire des ressources (Cheylan, 2012).

Famille ou groupe familial comportant un foyer ou plusieurs (kanoun), séparées ou vivant ensemble dans le même local, qui s'occupent d'assurer plusieurs tâches quotidiennes, en groupe ou de façon individuelle.

2.3.2. Ighs ou Fakhda ou Adm (Os)

Il s'agit d'une identité historique réelle ou mytique à qui fait référence une famille ou un groupe familial, semblant appartenir à un encêtre commun. C'est un niveau d'organisation élevé reposant sur une filiation réelle ou supposée et qui tente de remonter aux ancêtres fondateurs du village (Cheylan, 2012).

2.3.3. Takbilt

La takbilt, habituellement traduite dans la littérature francophone par la fraction de tribu, peut contenir plusieurs douars pouvant avoir une origine commune dans le passé et une identité reconnu par le collectif.

2.4. Transformation socio-économiques

2.4.1. Population

Le Maroc, comme le reste du monde, a connu un accroissement dans sa population. Ainsi des mutations d'ordre social et économique, ont affectés le mode de vie de ses populations, le traduisant parfois en une forme de crise. Cette relation dylemmique entre l'homme et son milieu, est d'ampleur dans les zones de montagnes. Le cas du Tazliyda, appartenant au Haut Atlas occidental, les habitants des villages ont développé un mode de vie centré autour d'activités d'agriculture, et du sylvopastoralisme, qui de nos jours est confronté à de multiples enjeux.

La relation entre les occupations des terres et la dynamique de surface, est façonnée par l'homme, qui change le territoire en fonction de ses besoins. Ces populations ont souvent quitté leur environnement habituel, à la recherche de nouveaux environnements pouvant assurer leurs besoins.

La dégradation comme la restauration, est très liée aux dynamiques de la population locale, cette dernière a connu une évolution démographique importante et des mutations sociales, notamment la migration des jeunes vers des centres urbains, et la diminution du nombre de cheptel en conséquence. L'agriculture pratiquée est limitée par la nature du relief et sa sensibilité à l'érosion, les terres sont fragmentées et individualisées en parcelles, avec le type de melk qui domine. Cependant elle est pratiquée de façon optimale, montrant une certaine stratégie paysanne pour lutter contre les dégâts de l'érosion.

2.4.2. Evolutions sociales

Les communautés agropastorales traditionnelles, en particulier celles de montagne, ont mis en place au cours des siècles toute une panoplie de pratiques intégrées qui permettent la mise en repos des terres: la valorisation et la «séquentialité d'usage» des étages d'altitude, la

complémentarité des activités agricoles et d'élevage, la mobilité des troupeaux ou encore des systèmes complexes d'échange et de réciprocité (Hervé et al., 1994; Gibon, 1997; Tulachan et al., 2000).

Par exemple, dans le Haut Atlas occidental (Mahdi, 1992, 1999), le système agraire fonctionne grâce à la combinaison de deux éléments: la famille, qui gère les exploitations agricoles et les troupeaux, et la communauté villageoise, la Jmaâ, unité sociologique privilégiée qui gère collectivement les espaces pastoraux (les agdals) en leur appliquant un système de mise en défens. Ces pratiques traditionnelles efficaces de gestion des ressources dans la montagne, qui ont réussi à se maintenir jusqu'à aujourd'hui avec une certaine vigueur, commencent à subir les effets des transformations du système d'activité amorcées depuis quelques années.

L'individualisation des ménages et l'affaiblissement des institutions coutumières sont les plus grandes transformations des zones de montagnes. La gestion collective et la cohésion du groupe tendent à s'éroder (Lasvergnas, 2004). Les modes de gestion traditionnels et les institutions coutumières ont été fortement désorganisés au cours du 20^e siècle (Faouzi, 2011). Plusieurs associations ont vu le jour dans la zone, avec des acteurs différents, et l'organisation sociale est transformée. Les chefs de famille, même s'ils gardent leur statut symbolique n'ont pas la même influence sur les jeunes, qui préfèrent migrer vers de nouveaux territoires à la recherche d'une source de revenu autre que l'agriculture.

2.4.3. Mutations économiques

L'économie traditionnelle dans la zone du Tazliyda, comme c'est le cas pour la grande partie du Haut Atlas, semble ne pas suffire pour garder la population locale sur place. La production agropastorale toute seule, ne satisfait pas les besoins des habitants de ces zones. En raison de la croissance démographique, le rendement agricole est exigé, ainsi l'arboriculture fruitière a connu un développement important en faveur des terrasses d'agriculture en bour, ce qui a réduit l'érosion.

Nous avons remarqué le développement de l'agriculture qui a pris de l'ampleur, avec de nouvelles orientations vers les plantations à intérêt économique, et la question reste posée sur la durabilité de ces pratiques, dans une optique d'un plan Maroc vert, à l'horizon 2020.

2.4.4. Migration

Ce phénomène est très important dans la zone, puisque beaucoup de jeunes âgés de plus de 15 ans quittent leur famille pour trouver un travail dans les centres urbains à proximité (Cerle

d'Ait Ourir, Marrakech), et parfois même très loin (ville de Casablanca, Meknes), dans le but d'assurer à eux même et à leurs parents une source de revenu différente que l'agriculture. Le nombre des migrants a été évalué à 50% de la population, correspondant à des classes d'âge entre 15ans et 30ans. Ce mouvement de migration a été important dans la zone, et bénéfique parcequ'il a donné une source de revenu additionnel aux ménages. Seulement deux cas de migration inverse a été observés. L'interview avec ces deux revenants a montré qu'ils ont migré à la recherche de nouvelles source de revenus, et que leur décision de migration inverse s'est faite pour des raisons de santé pour le premier cas souffrant de l'azme, tandis que le deuxième interviewé informe qu'il revient après la mort de son père pour s'occuper des terres agricoles et reprendre les activités.

2.4.5. Le rôle de la femme

La femme s'implique dans toutes les activités entreprises par l'homme notamment dans le domaine de l'élevage (le pacage des ovins, caprins et bovins), la collecte du bois du feu pour l'usage domestique, elle effectue la cueillette des bois de forêt pour le feu et la nourriture du bétail, surtout dans la forêt Guedrouz et Toufliht, qui sont dans un état conservé. Cependant ce n'est pas le cas pour toutes les forêts, qui sont sujettes à une forte pression. D'après l'enquête socio-economique, les femmes peuvent se déplacer jusqu'à deux kilomètres pour collecter jusqu'à 50kg de bois/femme et 100kg/animal en moyenne, tout les deux jours. Et aide même dans les travaux agricoles.

2.5. Infrastructure socio-économique

L'infrastructure sociale de proximité notamment les écoles et les centres de santé est insuffisante. Une seule école primaires existe au niveau de Tazliyda. Les mosquées sont au nombre de deux, une pour chaque Iwguiyn, et une autre pour les autres UST. Les habitants se déplacent pour aller au Souk à Larbaa Tighdiwine à 30km, ou à Had zrekten, à 5 Km. Pour se soigner à l'hôpital une heure de route au moins est nécessaire avant d'arriver sur la Nationale 9. La population utilise le puit. Ce dernier a été installé grâce au travail des associations, mais il n'est plus utilisé pour des raisons de conflits entre les habitants. Les habitants des douars utilisaient les Matfias, les Tamda et les seguya pour boire et pour abreuver le bétail. Sur le plan d'électrification, 10 % des maisons de l'unité qui profite de l'électricité à cause des coûts chers d'installation du compteur électrique.

2.6. Caractéristiques des systèmes de production

Les systèmes de production reposent sur la combinaison de l'agriculture irriguée, relativement intensive sur les terrasses alluviales de fond de vallée, et de l'élevage extensif des ovins et caprins valorisant les parcours d'altitude. Comme dans de nombreux systèmes agraires basés sur la complémentarité verticale en montagne, l'usage combiné des différents étages de végétation est ce qui permet une bonne productivité, poussant les habitants des douars à définir les conditions d'accès à ces ressources complémentaires (Cresswell, 1987).

L'élevage est d'une grande importance pour les habitants du Tazlyda, il permet de compenser le manque de revenu enregistré en cas de sécheresse. En outre, le petit élevage constitue également une source de revenu, c'est le cas pour l'apiculture et l'aviculture.

La pratique de l'apiculture n'est pas répandue sur la zone Tazlyda, un seul agriculteur qui la pratique depuis 1980, ayant 10 ruches traditionnelles, il témoigne que la faible productivité, qui atteint 10kg/an dans des conditions optimales, ainsi que des maladies qui fait des ravages dans sa population d'abeille, sans disposer d'aides aux médicaments et d'un savoir faire solide, témoigne-t-il.

2.6.1. Composition du cheptel

La caractéristique générale de l'activité élevage est la dominance des caprin, mais on trouve aussi les ovins, les bovins. L'élevage des bovins dans la zone est récent, l'introduction de la vache a été bénéfique pour l'agriculteur, cette expérience peut être généralisée. Le cheptel est constitué de 2 à 10 têtes en moyenne d'ovins, 1 à 3 Bovin, et 2 à 10 têtes d'ovins en moyenne. Alors que dans le passé, et précisément si on remonte à 50ans, d'après les anciens habitants des douars, les ovins avait un nombre de tête arrivant à 100 en moyenne, 8 bovins et 100 caprins par foyer en moyenne.

Il y'a 50ans les ovins partent au Azib (lieu de gardiennage) à Tafrawt, ainsi que le reste du bétail. Actuellement le nombre de cheptel a diminué et par conséquent ils ne partent plus au Azib.

2.6.2. Gardiennage du troupeau

Le gardiennage du troupeau est confié à un membre de la famille surtout le père et ses enfants. Les femmes et les filles ne le font que dans des cas exceptionnels où le chef de l'exploitation et ses enfants sont pris par d'autres activités. Le recrutement d'un berger est une pratique très peu fréquente dans la zone.

2.6.3. Petit élevage

Le petit élevage constitué par l'apiculture et l'aviculture est aussi présent dans la plupart des exploitations, seulement il reste peu valorisé, traditionnel et peut être qualifié principalement comme activité d'autoconsommation, mais parfois les exploitants ont recours à la vente au souk des produits de cette activité pour s'approvisionner en produits alimentaires.

Tous les ménages possèdent un effectif de volailles variant de 3 à 12 composées de poulets et de dindes. L'aviculture est une activité principalement féminine, c'est la femme qui est responsable de la nutrition des volailles. Elle est une activité récente dans la zone, un seul agriculteur la pratique, en profitant des forêts abondantes. Cependant ce savoir faire est pas maîtrisé dans la région et risque d'être abandonné.

2.6.4. Produits de la forêt

La population du Tazliyda dépend énormément de la forêt. En effet, la forêt est une source de bois de feu utilisés pour le chauffage hivernale et la cuisson des aliments.

Les ménages prélèvent le bois mort gisent sur le sol ou par ébranchage ou écimage.

Tous les membres de la famille participent à cette activité, pendant les moments difficiles.

3. La gestion paysanne des ressources naturelles

Au Maroc, comme dans de nombreux autres pays du pourtour méditerranéen, les modes de gestion traditionnels des ressources naturelles et les institutions coutumières ont été fortement désorganisés tout au long du 20e siècle.

Mais dans le Haut Atlas occidental, qui fait figure à bien des égards un environnement conservateur, les institutions coutumières intervenant dans la gestion collective des ressources, protégées par un isolement relatif et une histoire singulière, se maintiennent encore avec une certaine vigueur.

Les populations rurales sont en interaction étroite avec leur environnement naturel à travers des droits d'usage et systèmes de propriété du foncier. Ces relations sont définies sur la base d'un système, plus ou moins sophistiqué, de règles de gestion et d'exploitation des ressources disponibles (El Wahidi, 2014).

Il est désormais reconnu que le fonctionnement des institutions coutumières, hérité de pratiques séculaires, présente une grande flexibilité permettant aux agro-pasteurs de s'adapter aux changements et aux contraintes du milieu. À différentes échelles socio-territoriales, ces institutions annoncent les règles d'accès et d'usage des ressources communes, désignent au besoin des représentants ou des gardiens rétribués par la communauté et chargés de veiller au respect des décisions collectives et sanctionnent les contrevenants (Romagny et al, 2008).

Dans certaines vallées du Haut Atlas occidental quelle que soit la ressource considérée, sa gestion met en jeu des acteurs variés, aux préoccupations divergentes, et dans un contexte souvent marqué par la raréfaction, voire la pénurie on distingue plusieurs niveaux d'organisation socio-territoriale ; Takkat, Ighs, Jmaâ et Taqbilt.

3.1. Gestion paysanne de la forêt (Inssaf)

Les habitants des douars ont initié une action pour protéger la forêt, il s'agit d'une loi votée par les chefs de tribus pour interdire la coupe du bois et le pâturage dans la forêt depuis les années 1950. Avant cette date, notamment la période entre 1945 à 1948, les versants de la forêt Amdane, ont été dans un état de dégradation avancée, comme le témoigne la population locale enquêtée.

Les ateliers participatifs avec les personnes âgées, ont montré que la forêt Ourgouz a été dégradée par les tribus de Mesfioua, elle a été deux fois coupée. Le pâturage a dû trouver une nouvelle destination à Azib Ifrawn. Depuis 30 ans, le bétail descend pour pâturer à la forêt Ourgouz, sans effectuer la moindre action de coupe. Les habitants appellent cette action « Azayn » ce qui signifie « droit ou justice ».

Actuellement cette forêt est constituée de 80% de chêne vert et 20% de genévrier.

3.2. Gestion paysanne de l'eau par le système des Tamda

Les terrains agricoles sont irrigués à travers un réseau d'objets techniques liés à l'eau (réseau de Seguia; canaux traditionnels d'irrigation, et de Tamda; bassin de collecte d'eau), établi depuis plusieurs générations par les acteurs locaux.

Ces canaux d'irrigation ; Seguia et tuyaux, permettent de connecter les usagers entre eux, dans un système de partage des eaux ancestrale et non conflictuel. Chaque ménage reçoit sa part, par le « Orf » établi depuis des générations. Les Tamda, ou bassin de collecte d'eau pluvial, permettent le stockage de l'eau et participent à l'irrigation des parcelles agricoles dans une harmonie réglée par des horaires reconnus et approuvés par la population locale.

Les agriculteurs de Tazliyda ont fourni un travail considérable et laborieux pour construire des terrasses aptes à recevoir des cultures auxquelles ils ont associé un certain nombre d'ouvrages techniques soigneusement construits composés de séguia(s), de canaux secondaires et de rigoles. Cette infrastructure hydraulique permet d'assurer l'irrigation des cultures.

Hier comme aujourd'hui, les coutumes ancestrales relatives à l'organisation de l'eau d'irrigation n'ont jamais cessé de s'exprimer.

Depuis longtemps, la forme de distribution d'eau d'irrigation chez les agriculteurs n'a pas vraiment connu de transformations remarquables.

Chaque ayant-droit dispose d'un tour d'eau dont la durée et la fréquence sont en fonction de la superficie qu'il irrigue et du nombre des bénéficiaires qui compose chaque lignage. Le tour de rôle varie entre 8j à 14j. Parfois quand il n'y a pas beaucoup d'héritier, une demi journée est accordé à l'ayant droit, vu la taille petite des parcelles.

3.2.1. Technique de distribution d'eau

Le tour de rôle de l'eau, pour vider le bassin (tamda) ou bien le remplir est fait selon le calcul de pieds (7pieds dans l'ombre selon le Orf). Les horaires d'ouverture et de fermeture des bassins dépendent des heures de prières et du déplacement de l'ombre solaire.

Les agriculteurs de Tazliyda ont fourni un travail considérable et laborieux pour construire des terrasses aptes à recevoir des cultures auxquelles ils ont associé un certain nombre d'ouvrages techniques soigneusement construits composés de séguia(s), de canaux secondaires et de rigoles. Cette infrastructure hydraulique permet d'assurer l'irrigation des cultures.

Hier comme aujourd'hui, les coutumes ancestrales relatives à l'organisation de l'eau d'irrigation n'ont jamais cessé de s'exprimer.

Depuis longtemps, la forme de distribution d'eau d'irrigation chez les agriculteurs n'a pas vraiment connu de transformations remarquables.

Chaque ayant-droit dispose d'un tour d'eau dont la durée et la fréquence sont en fonction de la superficie qu'il irrigue et du nombre des bénéficiaires qui compose chaque lignage.

3.2.2. Efficience de la technique

Cette technique bien qu'elle assure une gestion non conflictuelle entre les usagers des douars, partageant la même ressource, elle présente des aspects de non efficience, vu le gaspillage observé sur le terrain, et témoigné par les habitants. Cette technique peut présenter des erreurs de calcul, quant à la méthode de répartition des parts entre les usagers. La forme des parcelles varie, cependant seulement la longueur de ce dernier est pris en considération pour effectuer la répartition des parts. Dans un contexte de changements socio-économiques et climatique, les ressources naturelles sont sujettes à un double fardeau : la surexploitation et la raréfaction.

Dans l'absence d'une politique de gestion conservatoire, ceci pourrait mettre en péril l'équilibre socio-naturel.

3.3. Gestion forestière et aménagement anti-érosif

Le droit d'usage est défini comme étant « la jouissance coutumière et ancestrale d'un produit de la forêt consommé sur place et dans la limite des besoins familiaux, étant précis que l'exercice du droit d'usage ne peut excéder la possibilité de la forêt ni nuire à sa conservation ».

Ces droit de jouissance appartiennent uniquement aux membres des tribus et fractions traditionnellement usagères et reconnus par le Orf de la Jmaâ.

Afin de renforcer ce rapprochement des usagers à la forêt dans un souci de la conserver, le Dahir de 19 juin 1957 a vu le jour. L'arrêté du 25 juin 1957 a fixé 20% sur la vente du bois et 50% des amodiations. Enfin, le Dahir de 20 Septembre 1976 a été promulgué dans un but de faire participer la population rurale au développement de l'économie forestière. Cette disposition fait profiter les communes rurales de 80% des recettes forestières afin d'assurer le développement du milieu rural et forestier à travers l'investissement de 20% des de ces recettes dans des projets forestiers tel que l'amélioration sylvo-pastorales et reboisement (Article 15 des dispositions financières du Dahir de 20 Septembre 1976).



Photo 14: Fixation des versants par le Cactus dans la vallée de Tazliyda

3.4. Stratégie paysanne de lutte contre l'érosion hydrique

La Jmaâ du Tazlyda a assuré depuis des générations la gestion des eaux, en utilisant des tours d'eau calculés sur la base de la superficie des parcelles et du nombre des ménages. Depuis le début des années 2000, différents canaux d'irrigation et séguia ont été installé ou restauré. Chaque agriculteur doit respecter la distribution tribale des eaux effectuée par les ancêtres, et doit l'utiliser selon le Orf, qui est un système traditionnel qui calcule le nombre de litre d'eau permis par foyer. Les tamda traditionnelles et aménagées, permettent une meilleure économie de l'eau, cependant certaines tamda sont en mauvais état et doivent être entretenues.



Photo 15: Cordons en pierres sèches dans la commune de Zrekten

3.5. Effort des instances étatiques



Photo 16 : Aménagement anti-érosif pour correction torrentielle



A



B

Photos groupés 17 : A – B : Reboisement par le pin d'Alep sur la commune de Zrekten (Valée oued Ighi)

L'expérience cumulée par le Maroc en matière de développement rural est importante. La plupart des projets de développement effectués dans les milieux ruraux marocains n'ont pas abouti d'une manière satisfaisante aux objectifs souhaités.

Bien qu'ils soient qualifiés de sectoriels, plusieurs projets, programmes et stratégies de développement dans différents secteurs ont vu le jour, et ont eu un impact positive sur les populations, notamment ;

- Les programmes entrepris en matière d'éducation (charte nationale d'éducation et de formation 2000-2013, programme des aides financières «Tayssir» ; « Vision stratégique 2030 »).
- Le programme de santé (plan national de la promotion de santé en milieu rural, stratégie sectorielle de la santé 2012-2016) ;
- Le programme d'approvisionnement groupé en eau potable des populations rurales (PAGER) ;

- Le programme d'électrification rurale global (PERG), le programme national des routes rurales (PNRR et PNRR2).
- La stratégie 2020 du développement rural fin des années 90 ;
- La stratégie de développement rural, partie agricole non incluse, en 2011 ;
- Le PMV lancé en 2008 ;
- La « Vision 2020 du Tourisme » ;
- La « Vision 2015 de l'Artisanat » ;
- La stratégie du développement de l'espace rural et des zones de montagne validée en juillet 2015 ;

Bien que le cadre juridique qui définit les grandes orientations et plans d'action est encore absent, Il y'a eu un changement en 2013 avec la création d' une Commission Interministérielle Permanente de Développement de l'Espace Rural et des Zones Montagneuses. Son rôle est d' assurer le suivi des actions en matière de développement de l'espace rural et des zones de montagne. Avant cette date les affaires du développement du monde rural sont gérées d'une manière partagée entre plusieurs départements ministériels chacun selon ses missions, ses priorités et son plan de financement.

L'émergence de nouvelles approches de développement s'inscrivent dans une perspective de durabilité ont vu le jour dans un processus historique. Le développement intégré a fait suite aux stratégies sectorielles, pour prendre en compte les interdépendances qui existent entre les diverses actions de développement. Sa nouveauté c'est qu'il met en avant les démarches de participation, concertation et coordination entre différents acteurs et instances gouvernementale et non gouvernementale, dans une optique de subsidiarité et de bonne gouvernance.

Cette démarche n'aurait pas été efficace sans la création d'une dimension d'application propre, qui est le territoire. Le processus de territorialisation se base sur une programmation locale et spécifique au contexte du territoire en question, qui peut être un douar, une commune ou plusieurs communes. Et à ce niveau là, il est important de rappeler les efforts de décentralisation et de régionalisation avancée déployés par le Maroc pour réussir ces changements d'approche et leur application à différentes échelles territoriales. Ainsi les convergences de politiques publiques recommandées par la Stratégie 2020 reprennent les approches principales que doit contenir tout développement rural à savoir ;

- L'intégration et l'approche holistique ;
- La territorialisation et la décentralisation ;
- La participation et la responsabilisation ;
- Le partenariat, la négociation et la contractualisation.

Le plan national d'aménagement des bassins versants a été réalisé en deux phases ; d'abord une étude des état des lieux des interventions de l'Etat consacrées à la lutte contre l'érosion et ses effets , ensuite une deuxième phase qui consiste à fixer les axes du plan National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV).

La recommandation qu'il en sort, c'est la nécessité de modifier l'approche de planification impérative et autoritaire (exemple du projet DERRO), qui travaille à grande échelle et sur courte période par une approche de planification stratégique qui travaille à petite échelle (démarche de micro-planification) et sur longue période.

Il est important de s'orienter vers une nouvelle approche, basée sur la responsabilisation et l'implication des communautés villageoises dans la gestion de leur territoire, est d'une grande priorité, pour planifier et suivre le développement dans ces zones de montagnes. Bien que l'attachement culturel, historique et économique de la population locale à leurs milieux soit évident, ils peuvent le quitter suite à une rupture d'équilibre pour chercher des alternatives de compensation du manque ressenti.

L'approche de développement rural, pour réussir dans les zones de montagne, doit prendre en considération les volontés de la population locale, ainsi que leur attente. Pour éviter l'échec d'une telle approche, il faut faire participer la population locale à définir leur propre modèle de développement ; ce qui peut constituer les assises d'un développement territorial réussi. Cette nouvelle approche est basée sur la responsabilisation accrue et la participation de la population au processus de développement de leur espace de vie auquel elle est attachée.

Elle a trois objectifs ;

- Contribuer à un développement qui prenne en compte tous les habitants, les initiatives, les attentes des femmes comme des hommes et qui se donne des orientations à moyen et long terme;
- Permettre l'intégration raisonnée de projets individuels ou collectifs dans leur contexte socio-économique et favoriser la participation des porteurs de projet à la vie locale;
- Faire émerger de nouveaux projets à partir des ressources et des besoins non satisfaits du territoire.

Conclusion générale

Dans un contexte de mutations sociales, et de fragilité naturelle, le bassin versant du Rdat a connu de grands changements à travers le temps. L'homme avec ses activités habituelles, agropastorales en particulier, contribue à la modification de son environnement.

Ce travail de recherche s'intéresse à l'évaluation et la quantification des changements observés dans ce bassin versant, depuis les années cinquante du siècle dernier. Une grande partie de ce travail a été consacrée à la mise au point de méthodologie permettant de fournir aux décideurs des outils d'aide à la décision, en vue de faciliter l'aménagement de ces zones.

Les résultats d'un diagnostic qui a combiné entre plusieurs disciplines de façon opérationnelle et pratique, ont été décrits dans chaque chapitre. On rappelle les principales constatations.

Les cartes d'occupations obtenues par télédétection et missions de terrain montrent une dynamique changeante à travers le temps, sur une période de 31 ans (1984-2015). Les changements observés, montrent une progression dans les cultures irriguées (CI) et la forêt dense à moyennement dense (FDM), avec un taux de changement de 12,5% et 81,2% par rapport aux années 80. Les cultures sèches et/ou sols nus (Cs/Sn) ont changé de 15,4%, et la forêt claire à dégradée (FCD) de 20,9%. Les fruticées (Fru) n'ont pas beaucoup changé dans le temps, ils ont régressé de seulement 1,3%. Ces changements observés ont concerné seulement 41% du bassin versant, tandis que 49% du bassin versant est resté inchangée. Leur répartition spatiale indique que les zones dégradées sont généralement peu couvertes par la végétation, tandis que les zones abritant une forêt dense sont restées stables et protégées. Ce bilan positif, est localisé en termes de régénération de la forêt, dans la moyenne montagne, où des actions d'aménagement par l'aménagement de la forêt ont été entreprises en 1999, ce qui a contribué positivement au maintien de la stabilité du milieu.

Le système d'information géographique de la carte des formes d'érosion combiné à l'équation universelle des pertes en sol (RUSLE) indique que 80% des zones instables se concentrent sur le substrat permotriasique et schisteux respectivement à la moyenne montagne et à l'amont du bassin versant. Tandis que 20% des zones stables constituent des cuvettes ou des zones de faibles pentes. La dynamique spatio-temporelle des zones instables indique une progression de l'instabilité de 17% avec une grande dominance des zones instables, avec un pourcentage

de progression de 11% à elle seule, correspondant à une perte en sol équivalente à 12 à 20t/ha/an. Les zones stables ont régressé de 2%. Ce qui indique que l'état de dégradation est dans un sens de développement.

La surface des zones extrêmement instables a augmenté de 3% en passant de 29% à 32%, la surface des zones très instables a également augmenté de 3%, en passant de 23% à 26%. Les zones instables ont augmenté de 11%, en passant de 12% à 23%, sur 31ans.

Les zones très stables représentant 6% du bassin versant n'ont pas connu de changement, cependant les zones stables ont régressé de 2%, témoignant d'une évolution spatio-temporelle de l'instabilité dans le bassin versant Rdat.

Les pertes en sol estimés indiquent des valeurs en hausse variant entre 12t/ha/an et dépassant les 50t/ha/an selon le degré de l'instabilité. Les zones dominantes qui représentent 80% du bassin versant, sont des zones instables, correspondant à une superficie de 43300 ha en 2015.

Les résultats du Césium 137 montrent que les taux d'érosion moyens obtenus sont variables selon l'occupation des terres, ce qui permet de déduire que pour les sites de cultures l'érosion est toujours présente avec des taux variés selon l'occupation de terre. Pour les sites forestiers nous remarquons deux cas de figure : L'érosion pour les forêts dégradées ; l'exemple des fruticées et des parcours pâturés. Le deuxième cas de figure est l'accumulation ; l'exemple des forêts denses à moyennement denses. Les résultats des pertes en sol à long terme (~ 50 ans) montrent que la majorité des sédiments arrachés proviennent des terrains cultivés. Ces terrains présentent des taux d'érosion variant de 2 à 74 (t/ha/an), alors que les sites du parcours pâturé et de la forêt présentent des taux d'érosion nettement plus faibles, ne dépassant pas 8 (t/ha/an).

Les résultats des tests de simulation indiquent que la parcelle de la forêt dense a le plus faible Coefficient de ruissellement ; 3.13% suivi de fruticées qui représentent une forêt claire à dégradée avec un taux de 16.5%. parcontre la jachère et/ou sol nu a le plus haut taux de ruissellement arrivant jusqu'à 45,13. Les résultats montrent que le coefficient de ruissellement peut diminuer dans des parcelles de céréaliculture colonisées par du doum céréaliculture, et peut passer de 21,63% dans le cas d'une parcelle de céréaliculture seule à 9% en association avec du doum. Cette étude a confirmé les effets positifs de la couverture végétale, notamment forestière, sur la fixation du sol et par conséquent la diminution de l'érosion, sur une pente de

0 à 20%. Globalement, on peut conclure que les terres forestières, assurent un bon comportement hydrodynamique contrairement aux terres mis sous cultures ou surpâturés.

Cette forêt, Glaoua Nord, qui s'étend sur plusieurs versants de ce bassin versant, a été et reste une oasis pour les piémonts et plaines à tendance aride. Il a depuis toujours constitué un refuge aux éleveurs pendant les années sèches (les azibs). C'est pour cela qu'elle a été choisie par le Pacha du Sud Glaoui comme une zone de résidence, ce qui correspondait à une période de forte exploitation de ses ressources, donnant par la suite naissance à une dégradation intense dans le passé. Après indépendance, le Maroc a consacré beaucoup d'effort d'industrialisation, mais essentiellement de l'aménagement des périmètres irrigués. Dès lors, la montagne commence à perdre son rôle socio-économique et politique au profit des nouvelles dynamiques porteuses de changement. Ainsi plusieurs terres ne sont plus bien travaillées, voir délaissées et se sont par conséquent dégradées. Pour illustrer ce propos nous avons étudié de près, le microbassin Tazlyda qui nous a donné quelques éléments de réponses sur la dynamique du changement.

Dans les années 50 les habitants de Tazlyda se rendent compte de l'ampleur de la dégradation, et cherchent à se protéger contre les inondations qui mettent en danger leurs biens. Connaissant le rôle primordial de la forêt, ils essaient de la protéger à travers le « Örf » ; la coutume ancestrale, sous le nom de « Inssaf », une sorte de retour vers les valeurs tribales de législation, pour se protéger localement contre les aléas liés aux changements du milieu. Cette initiative a pu stabiliser un versant ou deux et n'était pas suffisante. Devant les efforts de l'aménagement des bassins versants, le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, incité par la volonté nationale a mené des campagnes de reboisement. En 1994 l'état intervient de façon stratégique dans une opération de reboisement qui va toucher de grandes étendues de terres dans la région, et dans l'ensemble du pays, avec une intervention sous le nom de du plan directeur du reboisement. qui va avoir des effets bénéfiques sur la forêt (la régénération partielle), et stabilisation des sols par endroit. Ce qui explique le maintien de l'équilibre grâce au reboisement dans ce bassin malgré les phases d'érosions intense.

Toutefois cette opération n'a pas suffi toute seule pour régler le déséquilibre hérité du temps caïdo-protectoral, et la mutation socio-économique résultante d'un contexte de mondialisation général. Bien que la restitution de la forêt s'est faite dans une optique de protection, et donc a

pas intégré, dans un premier temps, l'exploitation agricole sur versant. Ce qui a contribué également à l'abandon du travail de terre sur les versants. La population locale délaisse progressivement ce savoir faire local et s'intéresse à de nouvelles activités génératrices de revenus dans les zones urbaines, avoisinantes et parfois éloignées de leur localité. Plusieurs parcelles agricoles ont été abandonnées, et le risque d'érosion est d'actualité. Cependant malgré l'émigration vers les centres urbains et les bassins offrant l'emploi et le travail, la pression anthropique n'a pas réellement diminuée dans le bassin versant. C'est ainsi que l'érosion continue à porter atteinte aux terres.

Ce travail est une contribution à l'étude la dynamique complexe de dégradation et de changement dans le bassin versant de Rdat, avec comme résultat principal une estimation de l'ampleur de la dégradation des terres dans le bassin versant de Rdat, et une tentative de comprendre les facteurs de changements dans cette zone, notamment le facteur anthropique.

Références bibliographiques

Alifriqui, M. (1986). Contribution à l'étude du milieu et de la végétation dans le Haut Atlas occidental d'Amizmiz (massif de l'Erdouz, Igdat). Thèse. Marrakech, Université Cadi Ayyad.

Benabid, A. (1987). Les grands écosystèmes terrestres et leur préservation. In M. Fennane, éd. La grande encyclopédie du Maroc: flore et végétation. Rabat, G.E.I.

Benali EL GASMI, (1987): Piémont du haut-atlas de Midelt "Maroc" : phénomène de désertification et perspectives d'aménagement.

Bernard C, Mabit L, Laverdière MR, Wicherek S. (1998). Césium 137 et érosion des sols. Cahiers Agricultures, 7 : 179-86.

Bonn F. (1998). La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et des SIG: possibilités, erreurs et limites. *Sécheresse*; 9 : 185-92.

Bonn F., Rochon G., (2007). Précis de Télédétection – Vol. 1 Principes et méthodes, l'Université du Québec/ AUPELF, 485 p.

Boudhar, A. (2009). Télédétection du manteau neigeux et modélisation de la contribution des eaux de fonte des neiges aux débits des oueds du haut atlas de Marrakech. Thèse, Marrakech, Université Cadi Ayyad.

Boudy, P. (1958) : Economie forestière nord-africaine, I, II, III. Paris, Larose.

Boujrouf, S. (2005) : Innovation et recomposition territoriale au Maroc une mise en perspective géo-historique.

Boulli, A. (1994) : Diversité de la végétation et conditions écologiques dans le bassin versant de l'Oued Rdat (Haut Atlas de Marrakech, Maroc).

Chaker M. (1998). Le massif de Boukhouali et la plaine d'El Aioun (Maroc Oriental) : dynamique actuelle de la surface, fragilité naturelle et la pression anthropique, quelles tendances et quelles stratégies ? Thèse de géographie. Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Mohammed V. Rabat, 287 p.

Chaponnière A. (2005). Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi aride. Cas du bassin versant du Réhaya (Haut Atlas marocain). Thèse, Institut National Agronomique de Paris Grignon (INA P-G), Paris, France, 268 pp.

Cheggour A., Simonneaux V., Samia A., Yéni Y., Errouane S., Sabir M., Roose E. Recherche d'indicateurs de ruissellement et de risques d'érosion au moyen de tests d'infiltrométrie dans le bassin versant du Rhéraya (Haut Atlas Occidental, Maroc). Revue des Sciences de l'Eau (accepté). 194 p.

Descroix L. (1989). La mesure de l'érosion actuelle dans les terres noires des Préalpes du Sud ; recherches sur petites parcelles expérimentales, Bull. Lab Rhodanien de Géomorphologie, Lyon, p. 11-29.

Dresch J. (1941). Recherches sur l'évolution du relief dans le massif du grand Atlas: le Haouz et le Souss. Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad Marrakech.

Dresch J. (1979). Un géographe au déclin des empires. Ivrea, Italie.

Emberger, L. (1939). Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 500000e, Bern, Veröffentlichungen Geobotanischen Institutes Rübel.

FAO (1977). Assessing soil degradation. Soils Bulletin, vol.34, 83p.

FAO (1980). Conservation des ressources naturelles en zones arides et semi-arides.

FAO : conservation des sols, vol.3, 135.

FAO (1983). Garder la terre en vie : L'érosion des sols, ses causes et ses remèdes. Bulletin pédologique, vol. 50, 62p.

FAO (1990). Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides. Bulletin pédologique 57: 182 p.

FAO (1996). Mesures de terrain de l'érosion et de l'écoulement des eaux de surface. Bulletin pédologique 68 : 153p.

Fischer J-C. (1976). Ecologie et aménagement du territoire, Bull. Ecol. T.7, 2, pp.221-232, Service de Conservation de la Nature, Muséum National d'Histoire Naturelle.

Gentil L. (1917) : Notes sur les régions volcaniques du Maroc Central, L. Martinet, 1917 - 218 pages.

Ghiotti S. (2001): La place du bassin versant dans les dynamiques contemporaines du développement territorial. Les limites d'une évidence. Approches comparées en Ardèche et dans les Hautes-Alpes.

Haloui B. (1986). Contribution à l'étude du milieu et de la végétation du bassin versant de l'oued Rhéraya (Haut Atlas de Marrakech). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad Marrakech, Maroc.

Heusch B. (1970). L'érosion du Pré Rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique. Ann de la Recherche Forestière du Maroc 12 : 9-176.

Huet K., Lamazou T. (1988). Sous les toits de terre. Belvisi Al Madariss, éd. Publi-Action. Casablanca, Belvisi Al Madariss.

King C., Delmont G. (1993). Spatial assessment of erosion: contribution of remote sensing, a review. *Remote Sensing Review* ; 7 : 223-32.197p.

Lamotte M., Blandin P. (1984). Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire, collection *Ecologie appliquée et Sciences de l'environnement*, Maison Paris, P.175.

Laouina A. Chaker M. Naciri R. et Nafaa R. (1993). L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc Septentrional. *Bull. Assoc. Des géographes français*, N° 5, p. 384-398.

Leveau R. (1985). *Le Fellah marocain défenseur du trône*. 2e édition revue et augmentée. Paris : Presse de la Fondation nationale des sciences politiques, 318 p. (1re édition 1976).

Le Houerou, H.N. (1994). Arbres et arbustes à usages multiples pour le contrôle de l'érosion et la réhabilitation des terres arides et semi-arides d'Afriques ; critères du choix des espèces. *Reseau Erosion. Bull. n°14*.

Maurer G. (1996). L'homme et les montagnes atlasiques au Maghreb. *Ann. Géo.*, n°587. Col. Armand Colin.

Mabit L., Laverdière M. R., Bernard C. (2002). L'érosion hydrique : méthodes et études de cas dans le Nord de la France. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*. Volume 11, Numéro 3, 195-206.

MCEF. (1998). Programme forestier national - Phase 1 : Situation du secteur, problématique-défis. Rabat : Ministère chargé des Eaux et Forêts ; Montpellier : CIRAD-Forêt/ONFI/Agroconcept, 1998. 153 p.

MCEF. (1999). Programme forestier national - Rapport final. Rabat : Ministère chargé des Eaux et Forêts, 1999. 209 p.

Moret, L. 1931 : *Recherches géologiques dans l'Atlas de Marrakech*. impr. Allier père et fils.

Morsli B., Mazour M., Mededjel N., Hamoudi A., Roose E. (2004). Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nordouest de l'Algérie. *Sécheresse*. Volume 15, Numéro 1, 96-104.

Moufaddal K. (2002). Les premiers résultats des parcelles de mesure des pertes en terre dans le bassin versant de oued Nakhla dans le Rif occidental (Nord du Maroc). *Bulletin Réseau Erosion* 21, p. 244-254.

Nafaa R. (1993). Mesure de l'érosion superficielle sur les versants de la Maamora. *Trav. Labor. Géomorph. Fac. Des lettres Rabat*, p.20-28.

Nafaa R. (1997). Dynamique du milieu naturel de la Mamora et ses bordures. Thèse doctorat d'état en Géographie. Université Mohamed V, Rabat, 275 p.

Neltner, L. (193). *Études géologiques dans le sud marocain (Haut-Atlas et Anti-Atlas)*, Imprimerie Officielle, 298 pages.

Ouhammou, A. (1986). Recherches sur l'étagement de la végétation dans le bassin versant de l'oued Ourika (Haut Atlas, Maroc). Thèse. Marrakech, Université Cadi Ayyad.

Peyre C. (1983). Etagement de la végétation et gradients climatiques dans le système atlasique marocain. Le bassin de l'oued Rdat et le versant sud de l'Atlas au méridien du Tizin-Tichka. Bulletin de la faculté des sciences de Marrakech, 2: 87-139.

Procès verbal d'aménagement de la forêt de Goundafa, (1998), par le Haut Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Direction Régionale du Haut Atlas – Marrakech.

Procès verbal d'aménagement de la forêt de Glaoua Nord, (1999), par le Haut Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Direction Régionale du Haut Atlas - Marrakech.

Roch E. (1950) : Histoire stratigraphique du Maroc, notes et mémoires n°80, les frères DOULADOURES, Toulouse.

Roose E. (1984). Érosion et conservation des sols: place de la recherche française en régions tempérées et tropicales. In : Livre jubilaire du cinquantenaire de l'Association française pour l'étude du sol. 331-3.

Roose E., Arabi M., Brahamia K., Chebbani R. Mazour M., Morsli B. (1993). Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Cahier ORSTOM, série pédologie, 28(2) : 289-308.

Roose E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique FAO 70 (Rome)* : 420 p.

Roose E. (1996). Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. Bulletin Réseau Erosion 16, p. 87-97.

Roose E., De Noni G. (2004). Research on water erosion in Africa. Review and perspectives. Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 15, Number 1, 121-9.

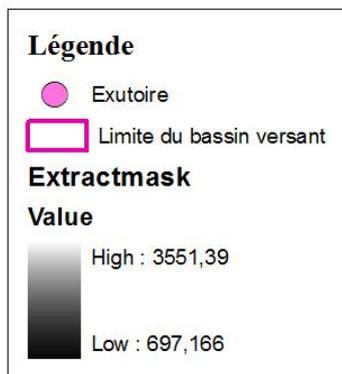
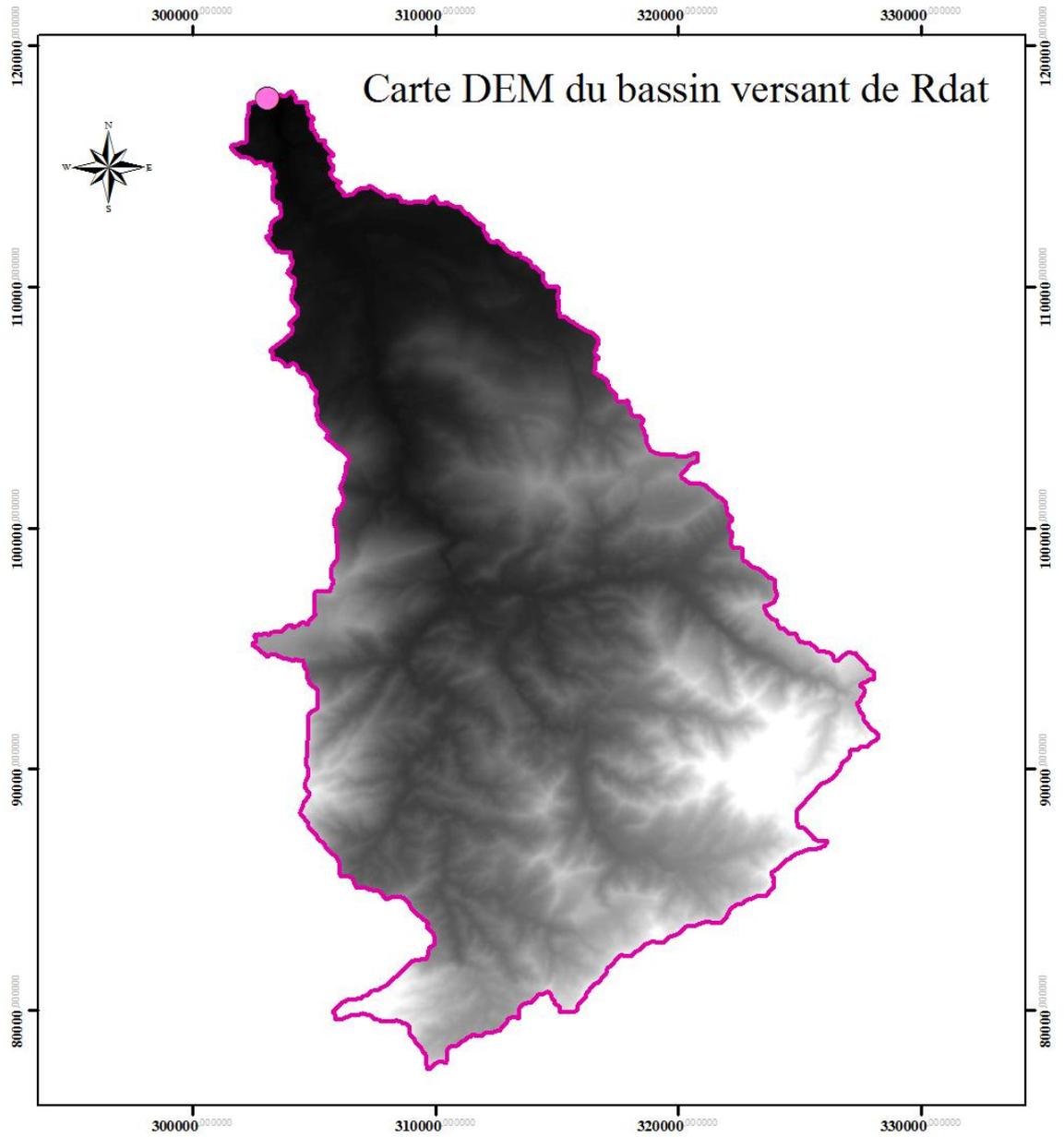
Roose E., Sabir M. & Laouina A., (2010). Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc : valorisation des techniques méditerranéennes. Editeur IRD. Paris, France. 275p.

Sabir M, Maddi M, Naouri A, Barthès B, Roose E. (2002). Runoff and erosion risks indicators on the main soils of the mediterranean mountains of occidental Rif (Marocco). Proceedings ISCO XII, Beijing (China), 2: 370-5.

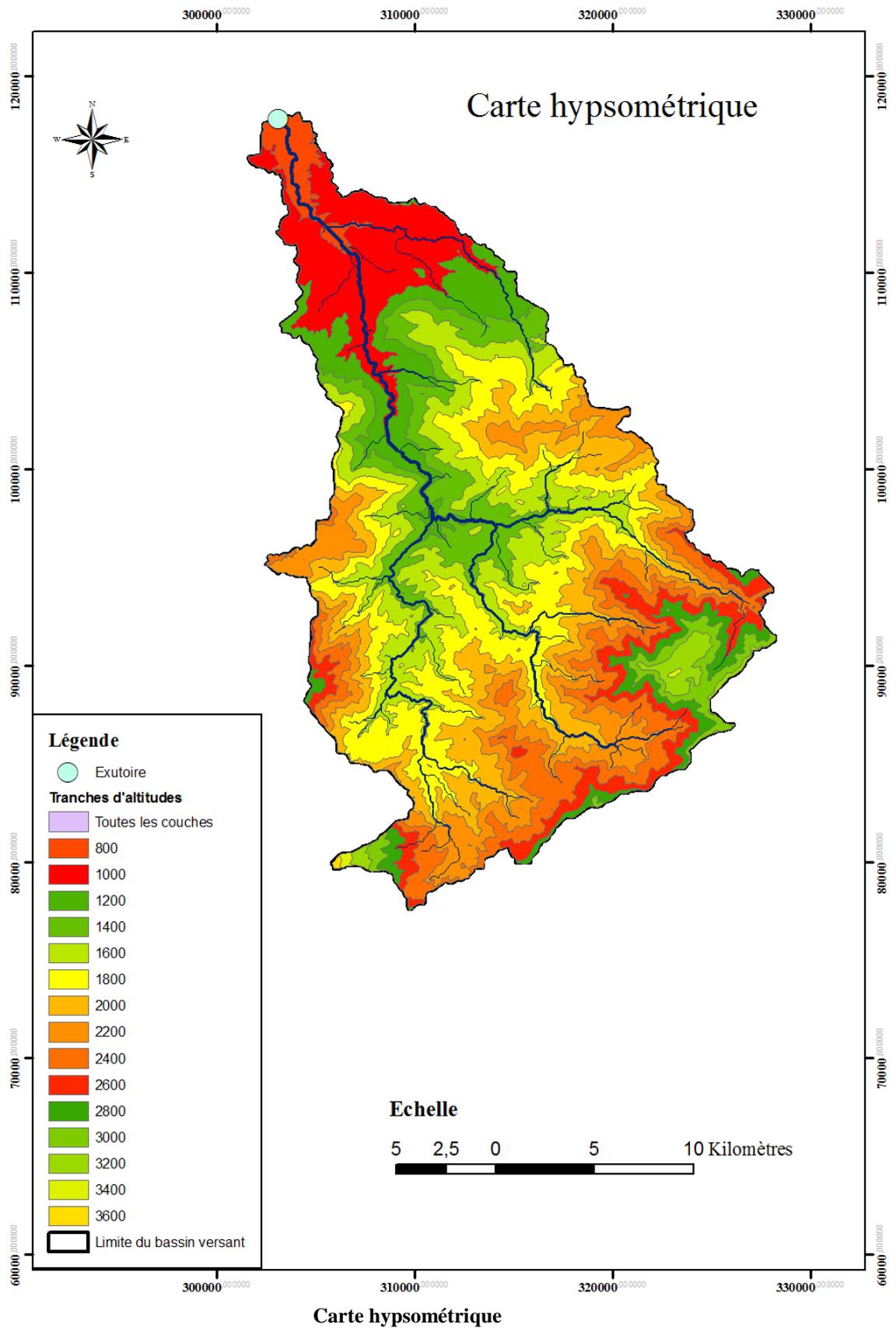
Sabir M. (2019). Méthodologie d'élaboration des cartes des zones à risque d'érosion au niveau des bassins versants. Identification des sous bassins d'intervention. Atlas cartographique. Guide méthodologique, Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Rabat. Royaume du Maroc Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts.

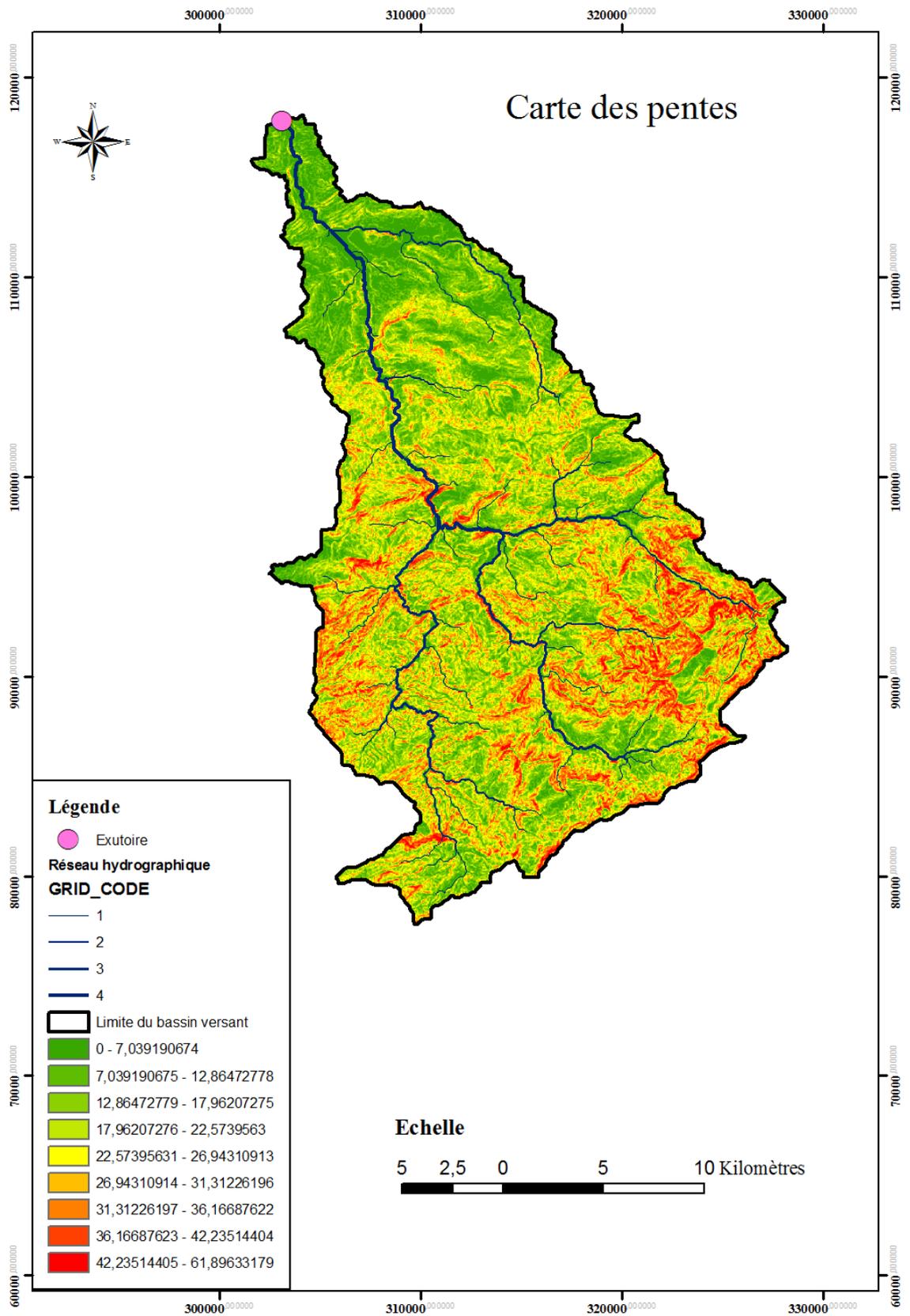
Wischmeir W.H. and Smith D.D. (1960). A Universal Soil Loss Estimating Equation to Guide Conservation Farm Planning. Proc. HT ISSS. Vol. 1, p. 418-425.

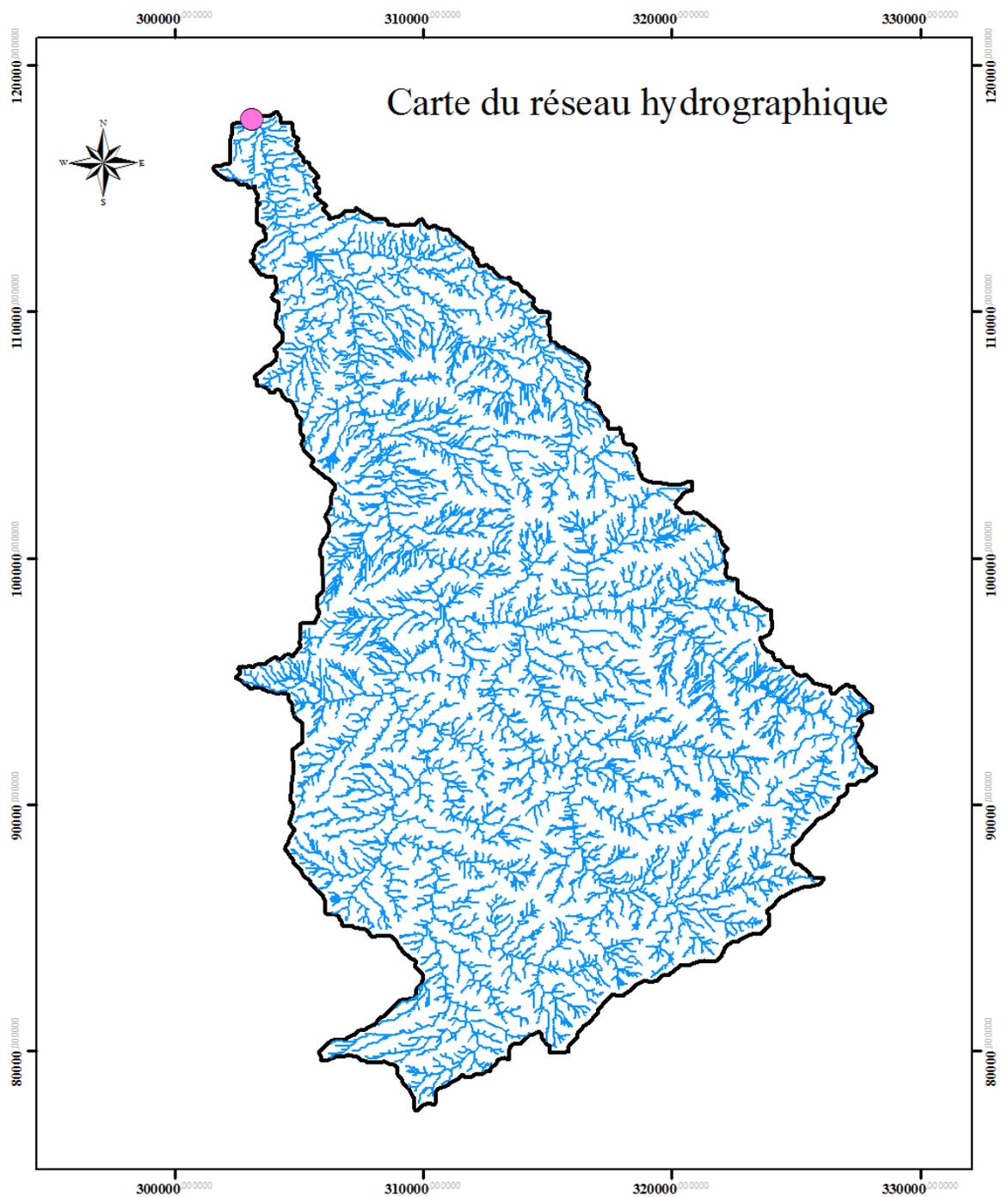
ANNEXE



Carte du M.N.T (Modèle Numérique de Terrain)

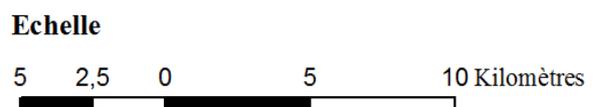




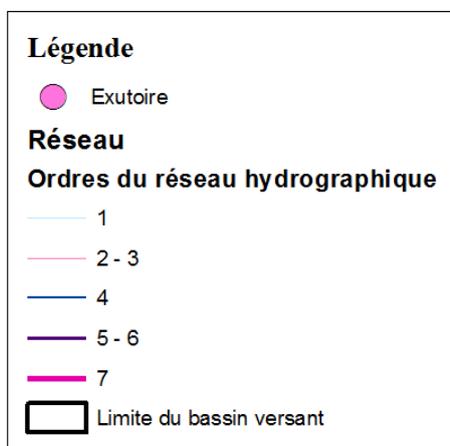
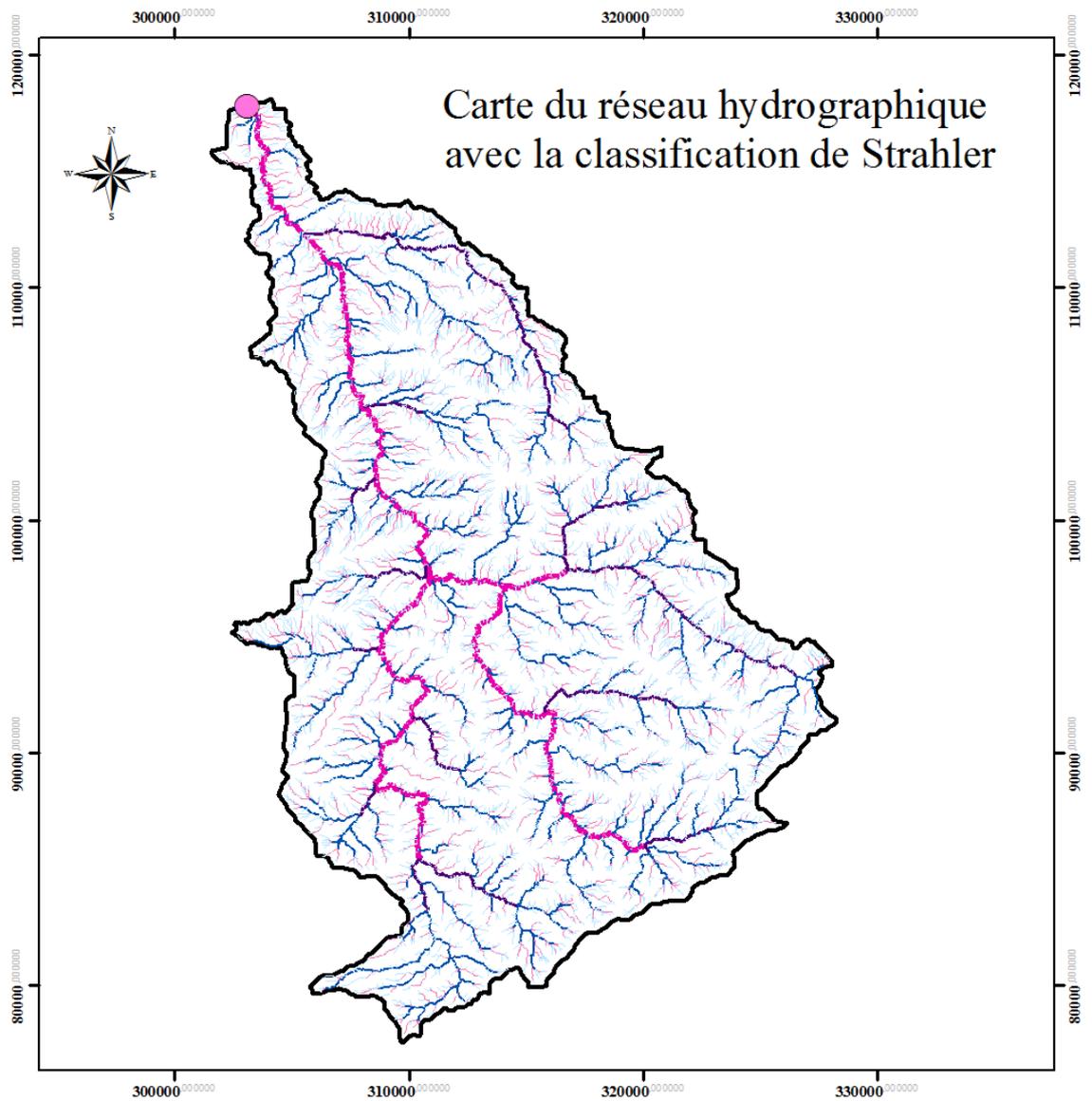


Légende

- Exutoire
- Réseau
- Limite du bassin versant



Carte du réseau hydrographique



Carte du réseau hydrographique avec la classification de Strahler

- **Analyse hydrologique, traitement des données**

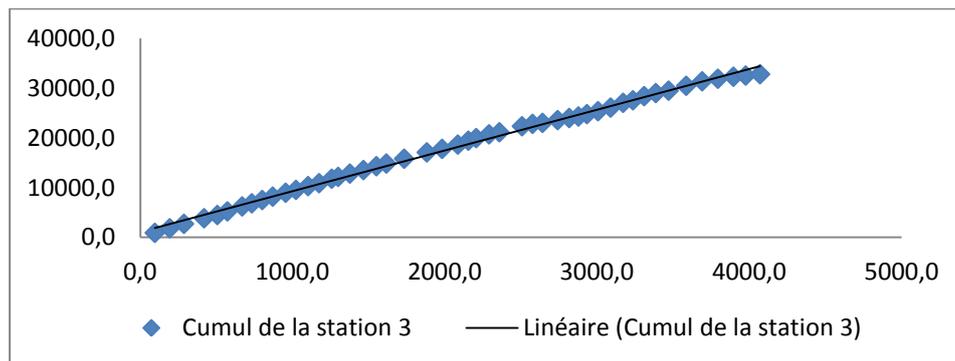
- 1. **Méthode du double cumul (double mass curve)**

Il s'agit de comparer la tendance de la station étudiée par rapport à celle de la station témoin, en traçant le graphe des données cumulées à la station étudiée par rapport aux données cumulées de la station témoin.

La méthode est fondée sur le principe suivant: En l'absence d'anomalie, deux stations A, B, voisines mesurent chaque année une pluviométrie annuelle dans un rapport sensiblement constant d'une année à l'autre, que l'année soit sèche ou humide.

En conséquence les points M(i) de coordonnées les pluies cumulées calculées à chaque station A et B jusqu'à l'année i sont pratiquement alignés. En revanche, si une erreur systématique à la station étudiée s'est produite alors la droite des doubles cumuls présenterait une cassure de sa pente à l'année de l'introduction de l'erreur.

- **Redressement des cassures de courbe et correction des données**

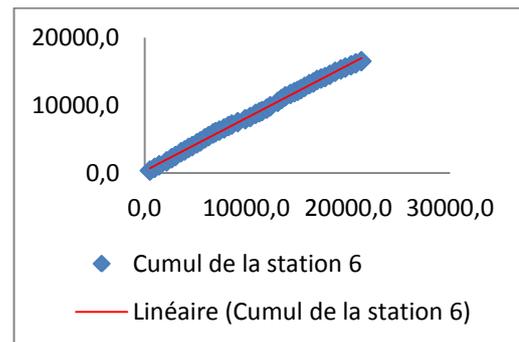
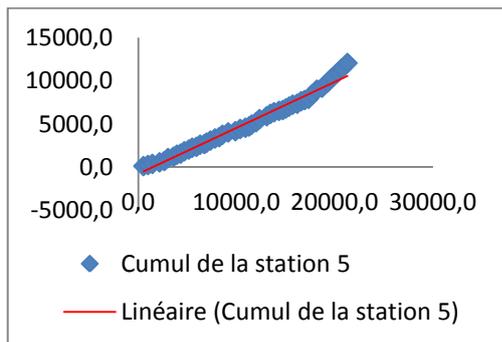
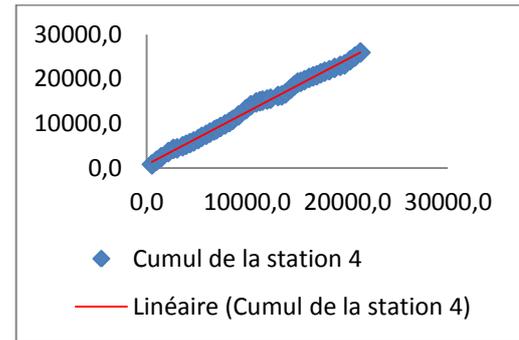
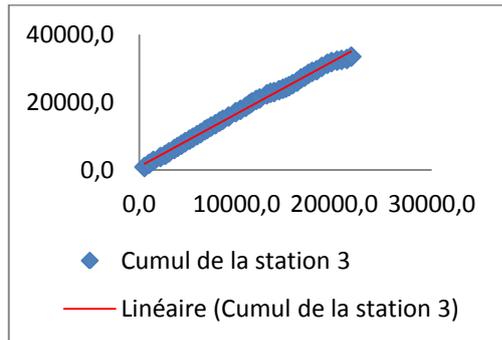
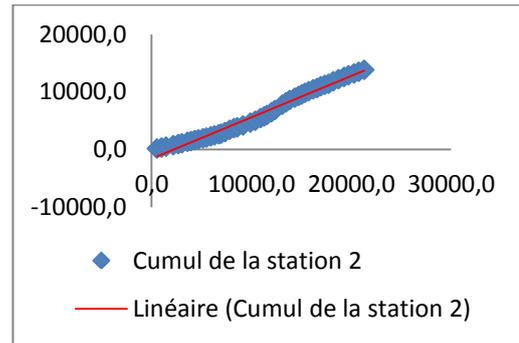
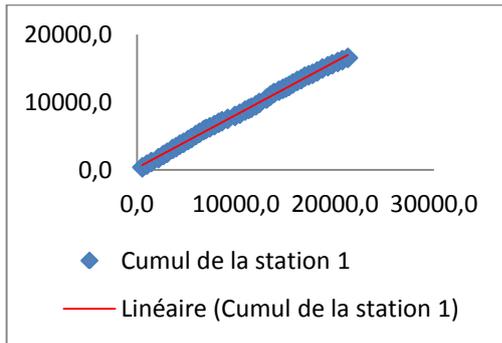


Exemple de calcul pour la station 3 (Toufliht)

Pour la station 3, la courbe montre que l'année de perturbation est 2011, on doit donc corriger les données de précipitations à partir de cette date.

$P(2011) \text{ corrigée} = P(2011) \text{ observée} \times a/b$ avec a et b des valeurs de pente.

- **Correction des données pour les autres stations :**



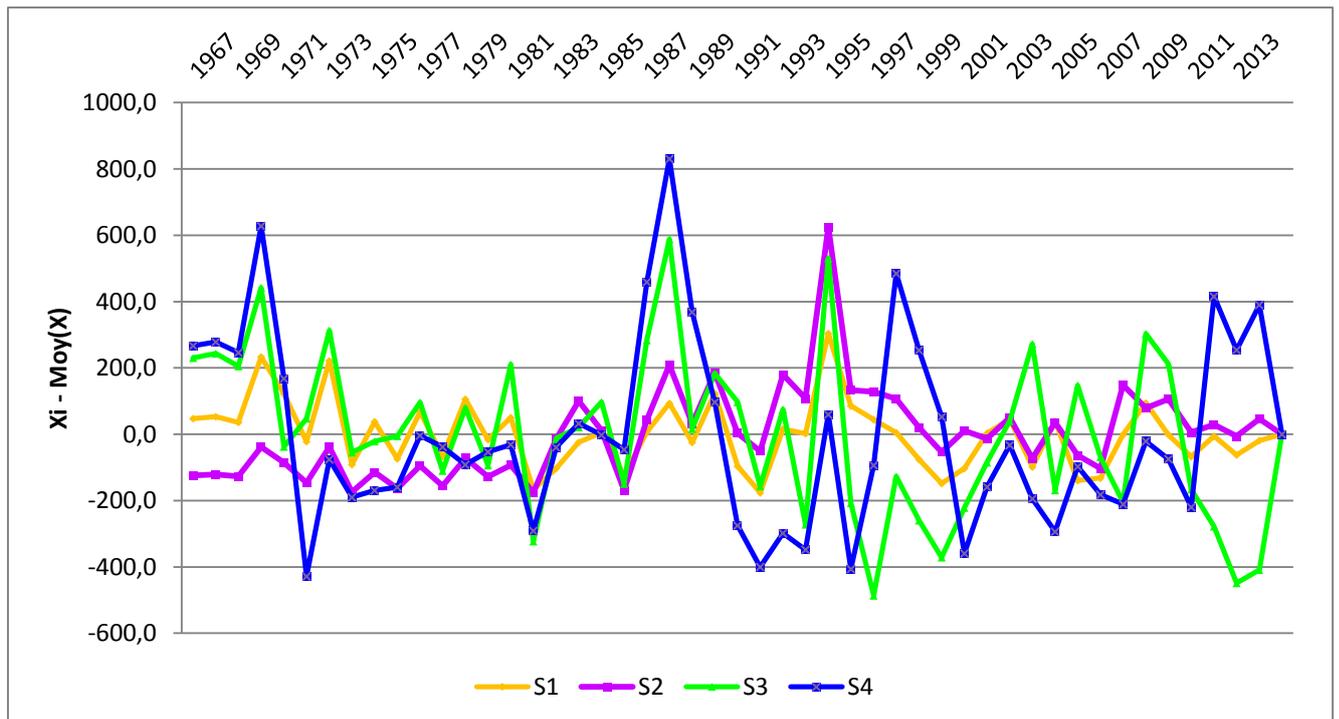
Correction des données pour les autres stations

2. Méthode graphique (Contrôle par cumul des écarts à la moyenne)

La grandeur $Z_i = \sum(X_i - \bar{X})$ sur les pluies annuelles observées (X_i), de moyenne arithmétique \bar{X} , peut donner une première appréciation sur l'état de nos données.

En portant sur un graphique la variation de Z_i en fonction des années i , on peut clairement voir les fluctuations des précipitations par rapport à la moyenne arithmétique.

Lorsque la courbe Z_i n'oscille pas régulièrement autour de la moyenne générale et s'y écarte beaucoup en une année ou en une période donnée, ceci peut être un indice d'une anomalie ou d'une fluctuation accidentelle, ce n'est toutefois pas une preuve, mais un indice pour attirer l'attention sur un changement dans la série statistique étudiée.



Représentation de la grandeur Zi : Ecart entre la pluie annuelle (P en mm) et la moyenne interannuelle (Pm en mm) sur la période 1967 – 2015

Il ressort de la figure que Zi fluctue d'une manière irrégulière et s'écarte souvent beaucoup de la moyenne suivant les stations et les années.

On remarque que les courbes suivent la même allure à peut près, sauf dans quelques périodes de temps précises.

D'abord pour la station 1 (Sidi Rahal), Les fluctuations sont irrégulières, selon une période ou une autre, les écarts sont très importants soit très proches de zéro. Les années 1970, 1973 et 1995 sont des années humides, contrairement aux années : 1982, 1992, 2000, 2004, 2006 qui sont sèches.

Pour la station 2 (Taferiat), les valeurs de Zi fluctuent d'une manière plus ou moins régulière pour la période allant de 1967 à 1983, (qui est une période relativement sèche), et sont proches de zéro, avant que les fluctuations ne deviennent irrégulières et que les écarts soient plus importants jusqu'à l'année 2000 ; les fluctuations ont commencé à partir de 1984, 1988, 1990, 1993 et 1995 puis un retour à la stabilité depuis cette date ; où les fluctuations de Zi retrouvent un rythme régulier et tournent autour de la valeur nulle.

S3 et S4 : sont des stations où les fluctuations sont très irrégulières avec des écarts énormes, ceci peut être dû à des événements accidentels ou rares qui sont enregistrés sur les stations, ou alors des erreurs de calculs, c'est ce qu'on va examiner en comparant avec les stations précédentes.

Si on remarque bien les deux courbes de S1 et S2 sont presque régulières, alors que celles de S3 et S4 sont très éloignées de la valeur nulle, ceci peut être expliqué par les enregistrements différents au niveau des stations à la montagne et à l'exutoire.

De très grandes fluctuations ont été enregistrées pour S3 en 1970, 1973, 1981, 1988, 1995, 2002, 2009 correspondant à des années humides. Alors que 1982, 1994 et 1997, 2000 et 2012, 2013, 2014 sont des années sèches.

Pour S4 : les valeurs sont souvent nulles ou déficitaires, ce qui veut dire que les précipitations liquides n'atteignent pas la moyenne (344mm), sauf par moment ou l'écart dépasse beaucoup les valeurs habituelles. Le graphique illustre que 1970, 1988, 1998, 1999, 2012 et 2014 ont enregistrées de grandes fluctuations correspondant à des périodes humides. La période allant de 1973 à 1981, les fluctuations sont régulières et les valeurs de Zi sont proches de zéro. La station 4 (Taddart) est marquée par des variations importantes des écarts dans l'ensemble. Là encore, cette station a connu des périodes pendant lesquelles les enregistrements ont été très éloignés de l'habituel, cette vérification nous pousse à se demander s'il s'agit-il d'un événement accidentel, ou d'une anomalie.

Sur la base de ces vérifications les graphiques de fluctuations des précipitations ont été dressés, permettant de voir l'évolution spatio-temporelle des précipitations dans le bassin versant de Rdat.

- **Situation des cantons de la forêt Glaoua Nord**

Situation des cantons de la forêt de *Glaoua Nord*

Triage	Commune Rurale	Canton	Superficie (ha)
Toufliht	Tazart	Anzel	350.00
		Tamaoucht (1)	2880.50
		Taguergoust (1)	7765.00
		Ait Izal	37.00
		Oumar	18.00
	Touama	Taguergoust (2)	749.00
	Had Zrekten	Tamaoucht (2)	3997.75
	Arbaa Tighdwine*	Taguergoust (3)	1215.50
Sous total			10012.75
Taddart	Had Zrekten	Ait Rebaa	20964.50
		Ourgouz	4654.00
Sous total			25618.50
Total			35631.25

*La Commune rurale Arbaa Tighdwine est non incluse dans la zone d'étude.

Source : Procès verbal de l'aménagement de la forêt Glaoua Nord, 1999

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie Dieu, pour m'avoir donné le courage et la force de continuer ce travail de recherche dans le meilleur et le pire des moments.

D'un cœur sincère je tiens à remercier tous ceux, qui, de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce projet de thèse.

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de thèse, **Miloud Chaker**, professeur à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Rabat, pour sa grande disponibilité, sa rigueur scientifique, son suivi attentif, et ses conseils avisés. Je lui dois de m'avoir appris à être plus autonome tout au long de ce travail de recherche, en rectifiant constamment ma méthodologie du travail, il m'a permis d'améliorer mes questions de recherche. Son esprit éveillé et son expérience académique m'a beaucoup poussé à donner le meilleur de moi-même. Puisse-t-il trouver ici l'expression de ma gratitude et de ma reconnaissance.

Je tiens à remercier le professeur **Mohamed Sabir**, professeur à l'Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, qui a été ma source d'inspiration durant ces années de recherche. Parler du Professeur Sabir est comme écrire un poème, cela prendrait des pages et des pages sans jamais finir d'exprimer ma grande reconnaissance et mon admiration profonde pour toutes ses qualités humaines et professionnelles. Généreux d'âme et attentif au développement de mes idées, il a su redresser mon esprit évasif et curieux, grâce à lui j'ai pu garder la motivation tout au long du chemin.

J'aimerais remercier un être très cher à mon cœur, mon professeur et parrain de géographie, **Elgasmi BENALI**, professeur à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Marrakech, pour avoir été le premier à me transmettre l'amour de la géographie, je suis heureuse de pouvoir lui dédier ce travail et de renouveler mes remerciements inachevés à son égard.

J'adresse mes remerciements et ma sincère admiration au professeur **Abdellah Laouina**, ma référence en géographie des montagnes, le rencontrer et écouter ses remarques et conseils académiques m'a donné la bonne orientation vers un bon diagnostic scientifique.

Je n'oublie pas de remercier le professeur **Eric Roose**, pour m'avoir accompagné au terrain, ses remarques et recommandations m'ont été bénéfiques tout au long de ma recherche.

Je remercie infiniment le professeur **Asmae Nouira**, pour son aide précieuse à la réalisation des traitements sur le Cs-137. Sans elle je n'allais pas m'en sortir.

Je souhaite aussi remercier le professeur **El Mehdi Saidi**, professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech pour m'avoir donné les bons conseils pour les traitements des données hydrologiques. Son apport, son énergie et sa confiance ont été des éléments moteurs pour moi. J'ai pris un grand plaisir à discuter avec lui.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur le Doyen Mr. **Jamal Eddine El Hani** de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Rabat, pour ses efforts et son enthousiasme contagieux afin de transformer la faculté en un espace lumineux de savoir et d'échange fertile.

Mes remerciements sincères vont à l'administration de l'Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs «ENFI», pour avoir accepté de m'accueillir pour un stage au sein du Laboratoire Conservation des Eaux et des Sols. Je remercie également le Professeur **Hassan Benjelloun**, pour

m'avoir facilité l'analyse de mes échantillons de sol, ainsi que tous les professeurs de l'Ecole qui m'ont permis l'avancement des travaux de recherches dans une ambiance sereine et conviviale.

J'adresse tous mes remerciements aux membres du Jury, Mme **Rachida Nafaa**, Mr. **Driss Chahou**, Mme **Asmae Nouira** et Mme **Nadia Machouri**, Mr. **Mohammed Aderghal**, Mr. **Mohamed Sabir** et Mr. **Miloud Chaker** pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.

Je remercie infiniment mes collègues du laboratoire de la conservation des eaux et des sols; **Nassima Arrebei**, et **Julien Djidjoho Houndode** pour tout ce qu'on a partagé comme expérience professionnelle et échange interdisciplinaire.

Je n'oublie pas de remercier mes très chères amies Mmes **Rabha Abed**, **Souad Lamssayah**, **Naima Bouhsane**, **Loubaba Benslimane**, **Lamya Khalloufi** et **Roufaïda Laamrabet** pour m'avoir fait confiance et soutenu dans ma dernière ligne droite de rédaction. Votre grand cœur m'a donné beaucoup de motivation pour finir.

Je n'oublie pas de remercier Mr. **Mohamed El youssefi** et Mr. **Serge Castro Saka** pour leur aide précieuse durant la réalisation des mesures sur le terrain.

Je remercie infiniment toute l'équipe des laboratoires de l'Institut National de la Recherche Scientifique (INRA), spécialement Mr. **Said Harati** du laboratoire des analyses granulométrique, pour ses explications et assistance technique.

A la fin je voudrais remercier mes chers parents, pour avoir cru en moi, pour leur patience et soutien infini. Mon cher père **Boujemaa Khafaoui** ; ma source de persévérance et d'endurance, et ma chère mère **Fatima Rouggani** ; ma source d'inspiration lumineuse.

Je remercie chaleureusement toute ma famille, grands et petits, qui ont attendu avec moi, parfois avec inquiétude la date de la soutenance de ce travail de recherche. Particulièrement mon petit frère **Hakim Khafaoui** qui a beaucoup attendu mon retour à la maison, et mon frère **Lokman Khafaoui** qui me donnait toujours la motivation et les bons conseils.

Mes derniers remerciements vont à mes chers amis, pour toute la sympathie et l'encouragement qu'ils ont su me donner, malgré que j'évitais de les rencontrer parfois de peur qu'ils me reposent encore la fameuse question : « quand est ce que tu vas soutenir ? ». Puissent-ils trouver ici ma gratitude et ma considération.

Résumé

Dans un contexte où les changements socio-économiques ont pris le dessus, l'équilibre environnemental a été menacé dans le bassin versant du Rdat, affluent du Tansift, qui prend source des sommets du Haut Atlas Occidental du Maroc. En effet ce bassin versant objet de notre étude, a connu une régression intense de la couverture végétale protectrice dans les années cinquante suite à une forte pression anthropique.

Très peu de recherches ont été effectuées dans cette zone concernant l'érosion hydrique et l'impact de l'homme dans cette dynamique. Ainsi le présent travail vise à contribuer à l'étude de l'évolution de ce milieu naturel, ainsi qu'à identifier et quantifier les changements survenus dans le temps dans le bassin versant de Rdat à travers les occupations de terre, afin de prévoir son évolution et pouvoir contribuer positivement à sa gestion. La démarche adoptée a combiné d'une part, l'apport de la télédétection sur la classification des images satellitaires et la modélisation par l'équation universelle de perte en sol révisée (RUSLE, Renard 1997) et d'autre part, les estimations du ruissellement et de l'érosion à travers les tests de simulations sur parcelles expérimentales, et les analyses de Césium 137. Ce qui a permis de caractériser et de suivre la dynamique spatiale des occupations de terre, des formes d'érosion et de prévoir leur évolution spatio-temporelle. Ceci combiné à une approche géographique d'enquête dirigée, qui nous a permis de ressortir l'impact du facteur humain sur la dynamique du changement dans le bassin versant du Rdat.

L'analyse spatio-temporelle du bassin versant Rdat indique une progression de l'instabilité de 17% avec une grande dominance des zones instables, avec un pourcentage de progression de 11% à elle seule, correspondant à une perte en sol équivalente à 12 à 20t/ha/an. Les zones stables ont régressé de 2%. Ce qui indique que l'état de dégradation est dans un sens de développement.

La surface des zones extrêmement instables a augmenté de 3% en passant de 29% à 32%, la surface des zones très instables a également augmenté de 3%, en passant de 23% à 26%. Les zones instables ont augmenté de 11%, en passant de 12% à 23%, sur 31ans.

L'analyse spatio-temporelle des occupations de terre a révélée leurs grand changement sur une période de 31ans, notamment la progression des cultures irriguées (CI) et de la forêt

dense à moyennement dense (FDM), respectivement avec les pourcentages suivants 0,8% et 7,6% par rapport aux années 80. Les cultures sèches et/ou sols nus (Cs/Sn) ont régressé de 1,6%, et la forêt claire à dégradée (FCD) de 6,2%. Les fruticées (Fru) n'ont pas beaucoup changé dans le temps, ils ont régressé de seulement 0,6%. Ces changements observés ont concerné seulement 41% du bassin versant, tandis que 49% du bassin versant est resté inchangée. Leur répartition spatiale indique que les zones dégradées sont généralement peu couvertes par la végétation, tandis que les zones abritant une forêt dense sont restées stables et protégées. Ce bilan positif, est localisé en termes de régénération de la forêt, dans la moyenne montagne, où des actions d'aménagement ont été entreprises, ce qui a eu un retour positif sur la stabilité du milieu. Les résultats des tests de simulation sur parcelles expérimentales, ainsi que les mesures de Césium 137 ont confirmé le rôle de la forêt dans la fixation du sol.

Ces méthodes combinées ont permis de mieux comprendre l'évolution du milieu, et ainsi permettre un outil d'aide à la décision en vue de cibler les zones les plus vulnérables qui nécessitent la priorité d'intervention, dans une optique participative qui tient en considération la perception des paysans de leur milieu, le terroir de Tazliyda a servi de cas d'étude pour cette démarche.

Mots clés: Dégradation des terres, Perte en sol, Formes d'érosion, RUSLE, Détection du changement d'occupation des terres, Dynamique du milieu naturel, aménagement, Bassin versant de Rdat, Cs-137, simulation de pluie.

Sommaire

Introduction générale.....	1
PARTIE 1. ASPECTS DE DEGRADATION ET DE CONSERVATION.....	3
Chapitre 1. Introduction.....	4
1. Présentation de la zone d'étude.....	5
1.1. Situation géographique et administrative.....	7
1.2. Topographie et géomorphologie.....	10
1.3. Climat.....	11
1.4. Géologie et lithostructure.....	11
1.5. Sols.....	12
2. Problématique.....	12
2.1. Objectif principal de l'étude.....	14
2.2. Objectifs spécifiques.....	14
3. Approches méthodologiques.....	15
3.1. Choix de l'approche adéquate.....	15
3.1.1. L'approche spatio-temporelle et historique.....	15
3.1.2. L'approche descriptive et déductive.....	16
3.1.3. L'approche analytique et expérimentale.....	16
3.2. Matériel de base et outils.....	17
3.3. Démarche opérationnelle.....	17
3.3.1. Les missions du terrain.....	17
3.3.2. La phase du bureau.....	18
Chapitre 2. Techniques d'évaluation des états de dégradation des terres dans le bassin versant du Rdat.....	19
1. Techniques et méthodes.....	20
1.1. Enquêtes de terrain.....	21
1.2. Télédétection et Modélisation.....	23
1.2.1. Principe de télédétection.....	23
1.2.2. Choix de classification et réalisation des cartes d'occupation des terres.....	24
1.2.3. Schéma de classification et Elaboration des ROIs.....	26
1.2.4. Matériels et outils.....	27
1.2.5. Principe de modélisation.....	28
1.2.6. Facteurs utilisés pour l'établissement des cartes de l'érosion hydrique.....	29
1.3. Techniques empiriques.....	36
1.3.1. Stratégie d'échantillonnage.....	36
1.3.2. Test de simulation de pluie sur parcelle expérimentale.....	38
1.3.3. Dispositif utilisé.....	40
1.3.4. Mesures sur parcelles expérimentales.....	41
1.3.5. Mesure du Cesium 137.....	43
1.3.6. Dispositif utilisé pour le prélèvement.....	44
1.3.7. Site de référence.....	48
1.3.8. Les sites de prélèvement.....	50
Chapitre 3. Les aspects de la dégradation et de la conservation du milieu.....	53
1. Aspects qualitatifs de changements.....	53
1.1. Formes de dégradation du couvert végétal.....	53
1.2.1. Dynamique des occupations des terres.....	57
1.2.2. Evolution spatio-temporelle des principales occupations de terres dans le bassin versant Rdat.....	59
1.2. Formes d'érosion hydrique des sols.....	64
1.2.1. Dynamique de l'érosion dans le bassin versant du Rdat.....	66

1.2.2.	Evolution spatio-temporelle des zones instables.....	67
1.2.3.	Changement spatio-temporel de la stabilité.....	71
1.3.	Les aspects quantitatifs du changement.....	73
1.3.1.	Dynamique du changement durant la période entre 1984 et 2003.....	73
1.3.2.	Dynamique du changement durant la période entre 2003 et 2015.....	73
1.3.3.	Dynamique du changement durant la période entre 1984 et 2015.....	74
1.3.4.	Les superficies des terres affectées par le changement.....	74
1.3.5.	Analyse des superficies des terres susceptibles à l'érosion (aspects positifs et négatifs).....	76
Chapitre 4. Apport de la technique du Cesium-137 pour l'estimation des pertes en sol.....		78
1.	Mesures des inventaires.....	79
1.1.	Site de référence.....	79
1.2.	Sites de culture.....	80
1.3.	Sites forestiers.....	80
2.	Mesure de l'activité du Cesium-137 dans les sites étudiés.....	81
3.	Analyse quantitative des résultats.....	83
Chapitre 5. Impact des occupations des terres sur le comportement hydrologique.....		84
1.	Les sites d'évaluations.....	86
2.	Effet des occupations des terres sur la capacité d'infiltration (résultats du test de simulation de pluie).....	87
3.	Effet des états de surface et des propriétés physico-chimiques du sol sur l'infiltration finale.....	89
4.	Analyse des échantillons de sol.....	96
PARTIE 2. FACTEURS DE CHANGEMENT.....		99
Chapitre 6. Facteurs naturels.....		100
1.	Fragilité du substrat.....	100
2.	Caractéristiques climatiques.....	104
2.1.	Diagrammes ombrothermiques - quotient pluviothermique d'Emberger.....	104
2.2.	Facteurs géographiques du climat.....	107
2.3.	Les expositions du bassin versant Rdat.....	108
3.	Fluctuations annuelles et saisonnières des précipitations et des crues.....	110
3.1.	Résultat de l'analyse temporelle et spatiale des précipitations.....	110
3.2.	Fluctuation des Débits et corrélation avec les précipitations.....	114
3.2.1.	Écoulement superficiel.....	118
3.2.2.	Étude de la lame d'eau ruisselée.....	119
3.2.3.	Coefficient du ruissellement K_r du bassin versant de Rdat.....	120
4.	Impact des états des surfaces des terres.....	121
4.1.	Influence des occupations des terres sur les propriétés hydrologiques.....	121
4.2.	Effet de la mise en culture sur les propriétés physiques et hydrologiques des sols.....	122
4.3.	Effet de la végétation sur l'amélioration des propriétés de sol.....	122
4.4.	Effet du pâturage sur les propriétés physique et hydrologiques des sols.....	122
Chapitre 7 : Facteurs anthropiques.....		123
1.	Augmentation de pression anthropique.....	123
1.1.	Evolution des effectifs.....	123
1.2.	Genre et équilibre social.....	125
1.3.	Scolarisation.....	126
2.	Vocation des terres agricoles et organisation.....	127
2.1.	Statut juridique des terres.....	128
2.2.	Superficies consacrées aux différentes cultures pratiquées (en Ha).....	128
2.3.	Aspect production agricole et irrigation.....	129
2.3.1.	Système de production agricole.....	129

2.3.2.	Répartition des terrains irrigués et bour sur la SAU des communes du bassin.....	131
2.4.	Filières agricoles à valeurs ajoutée.....	131
2.5.	Production animale.....	132
2.6.	Défrichements et mise en culture.....	133
2.7.	Prélèvements de bois de feu.....	133
2.8.	Surpâturage.....	133
2.9.	L'ampleur de la migration dans le bassin versant du Rdat.....	134
2.10.	Vulnérabilité et enjeu du développement rural.....	137
Chapitre 8 : Efforts d'adaptation des paysans		
(Gestion paysanne des ressources ; à travers le terroir du Tazliyda)		139
1.	Approche paysagère et émergence de la notion du territoire.....	141
2.	Notion de l'unité socio-territoriale (UST)	142
2.1.	Unités socio-territoriales composants la Tazliyda.....	142
2.2.	Caractérisation des UST.....	144
2.3.	Echelles d'organisation tribale.....	145
2.3.1.	Le foyer (kanoune) ou Takkat.....	145
2.3.2.	Ighs ou Fakhda ou Adm (Os)	145
2.3.3.	Takbilt.....	146
2.4.	Transformation socio-économiques.....	148
2.4.1.	Population.....	148
2.4.2.	Evolutions sociales.....	148
2.4.3.	Mutations économiques.....	149
2.4.4.	Migration.....	149
2.4.5.	Le rôle de la femme.....	150
2.5.	Infrastructure socio-économique.....	150
2.6.	Caractéristiques des systèmes de production.....	150
2.6.1.	Composition du cheptel.....	151
2.6.2.	Gardiennage du troupeau.....	151
2.6.3.	Petit élevage.....	151
2.6.4.	Produits de la forêt.....	152
3.	La gestion paysanne des ressources naturelles.....	152
3.1.	Gestion paysanne de la forêt (Inssaf)	153
3.2.	Gestion paysanne de l'eau par le système des Tamda.....	153
3.2.1.	Technique de distribution d'eau.....	154
3.2.2.	Efficiéce de la technique.....	154
3.3.	Gestion forestière et aménagement anti-érosif.....	155
3.4.	Stratégie paysanne de lutte contre l'érosion hydrique.....	156
3.5.	Effort des instances étatiques.....	156
Conclusion générale.....		160
Références bibliographiques.....		163
ANNEXE.....		167

Résumé

Dans un contexte où les changements socio-économiques ont pris le dessus, l'équilibre environnemental a été menacé dans le bassin versant du Rdat, affluent du Tensift, qui prend source des sommets du Haut Atlas Occidental du Maroc. En effet ce bassin versant objet de notre étude, a connu une régression intense de la couverture végétale protectrice dans les années cinquante suite à une forte pression anthropique.

Très peu de recherches ont été effectuées dans cette zone concernant l'érosion hydrique et l'impact de l'homme dans cette dynamique. Ainsi le présent travail vise à contribuer à l'étude de l'évolution de ce milieu naturel, ainsi qu'à identifier et quantifier les changements survenus dans le temps dans le bassin versant de Rdat à travers les occupations de terre, afin de prévoir son évolution et pouvoir contribuer positivement à sa gestion. La démarche adoptée a combiné d'une part, l'apport de la télédétection sur la classification des images satellitaires et la modélisation par l'équation universelle de perte en sol révisée (RUSLE, Renard 1997) et d'autre part, les estimations du ruissellement et de l'érosion à travers les tests de simulations sur parcelles expérimentales, et les analyses de Césium 137. Ce qui a permis de caractériser et de suivre la dynamique spatiale des occupations de terre, des formes d'érosion et de prévoir leur évolution spatio-temporelle. Ceci combiné à une approche géographique d'enquête dirigée, qui nous a permis de ressortir l'impact du facteur humain sur la dynamique du changement dans le bassin versant du Rdat.

L'analyse spatio-temporelle du bassin versant Rdat indique une progression de l'instabilité de 17% avec une grande dominance des zones instables, avec un pourcentage de progression de 11% à elle seule, correspondant à une perte en sol équivalente à 12 à 20t/ha/an. Les zones stables ont régressé de 2%. Ce qui indique que l'état de dégradation est dans un sens de développement.

La surface des zones extrêmement instables a augmenté de 3% en passant de 29% à 32%, la surface des zones très instables a également augmenté de 3%, en passant de 23% à 26%. Les zones instables ont augmenté de 11%, en passant de 12% à 23%, sur 31ans.

L'analyse de la dynamique des occupations de terre a révélée leurs grand changement sur une période de 31ans, notamment la progression des cultures irriguées (CI) et de la forêt dense à moyennement dense (FDM), respectivement avec les pourcentages suivants 0,8% et 7,6% par

rapport aux années 80. Les cultures sèches et/ou sols nus (Cs/Sn) ont régressé de 1,6%, et la forêt claire à dégradée (FCD) de 6,2%. Les fruticées (Fru) n'ont pas beaucoup changé dans le temps, ils ont régressé de seulement 0,6%. Ces changements observés ont concerné seulement 41% du bassin versant, tandis que 49% du bassin versant est resté inchangée. Leur répartition spatiale indique que les zones dégradées sont généralement peu couvertes par la végétation, tandis que les zones abritant une forêt dense sont restées stables et protégées. Ce bilan positif, est localisé en termes de régénération de la forêt, dans la moyenne montagne, où des actions d'aménagement ont été entreprises, ce qui a eu un retour positif sur la stabilité du milieu.

Les résultats des tests de simulation indiquent que la parcelle de la forêt dense a le plus faible Coefficient de ruissellement ; 3.13% suivi de fruticées qui représentent une forêt claire à dégradée avec un taux de 16.5%. parcontre la jachère et/ou sol nu a le plus haut taux de ruissellement arrivant jusqu'à 45,13%. Les résultats montrent que le coefficient de ruissellement peut diminuer dans des parcelles de céréaliculture colonisées par du doum céréaliculture, et peut passer de 21,63% dans le cas d'une parcelle de céréaliculture seule à 9% en association avec du doum. Les résultats du Césium 137 vont dans ce même sens et consolident l'idée que les taux d'érosion moyens obtenus sont variables selon l'occupation des terres, ce qui permet de déduire que pour les sites de cultures l'érosion est toujours présente avec des taux variés selon l'occupation de terre. Les résultats des pertes en sol à long terme (~ 50 ans) montrent que la majorité des sédiments arrachés proviennent des terrains cultivés. Ces terrains présentent des taux d'érosion variant de 2 à 74 (t/ha/an), alors que les sites du parcours pâturé et de la forêt présentent des taux d'érosion nettement plus faibles, ne dépassant pas 8 (t/ha/an). Cette étude a confirmé les effets positifs de la couverture végétale, notamment forestière, sur la fixation du sol et par conséquent la diminution de l'érosion, sur une pente de 0 à 20%. Globalement, on peut conclure que les terres forestières, assurent un bon comportement hydrodynamique contrairement aux terres mis sous cultures ou surpâturés.

Ces méthodes combinées ont permis de mieux comprendre l'évolution du milieu, et ainsi permettre un outil d'aide à la décision en vu de cibler les zones les plus vulnérables qui nécessitent la priorité d'intervention, dans une optique participative qui tient en considération la perception des agriculteurs de leur milieu, le terroir de Tazliyda a servi de cas d'étude pour cette démarche.

Mots clés: Dégradation des terres, Perte en sol, Formes d'érosion, RUSLE, Détection du changement d'occupation des terres, Dynamique du milieu naturel, aménagement, Bassin versant de Rdat, Cs-137, simulation de pluie.

Abstract

In a context where socio-economic changes have taken over, the environmental balance has been threatened in the watershed of the Rdat, a tributary of the Tensift, which originates from the peaks of Morocco's Western High Atlas. Indeed, this watershed, which is the subject of our study, experienced an intense regression of the protective plant cover in the 1950s following a strong anthropic pressure.

Few research has been carried out in this area concerning water erosion and the impact of man in this dynamic. Thus the present work aims to contribute to the study of the evolution of this natural environment, as well as to identify and quantify the changes that have occurred over time in the catchment area of Rdat through land occupations, in order to predict its evolution and be able to contribute positively to its management. The approach adopted has combined on the one hand, the contribution of remote sensing on the classification of satellite images and modelling by the revised universal soil loss equation (RUSLE, Renard 1997) and on the other hand, the estimates of runoff and erosion through simulation tests on experimental plots, and Cesium 137 analyses. This made it possible to characterize and monitor the spatial dynamics of land use and forms of erosion and to predict their spatio-temporal evolution. This combined with a geographical approach of directed investigation, which allowed us to highlight the impact of the human factor on the dynamics of change in the catchment area of the Rdat.

The spatio-temporal analysis of the Rdat watershed indicates a 17% increase in instability with a great dominance of unstable areas, with a percentage increase of 11% alone, corresponding to a soil loss equivalent to 12 to 20t/ha/year. Stable areas decreased by 2%. This indicates that the state of degradation is in a direction of development.

The surface of extremely unstable areas increased by 3%, from 29% to 32%, the surface of very unstable areas also increased by 3%, from 23% to 26%. Unstable areas increased by 11%, from 12% to 23%, over 31 years.

The analysis of land use dynamics revealed the major changes over a 31-year period, notably the increase in irrigated crops (CI) and dense to medium dense forest (FDM), respectively with the following percentages 0.8% and 7.6% compared to the 1980s. Dry crops and/or bare soil (Cs/Sn) decreased by 1.6%, and clear to degraded forest (CDF) by 6.2%. Fruits (Fru) did not change much over time, they decreased by only 0.6%. These observed changes affected

only 41% of the catchment area, while 49% of the catchment area remained unchanged. Their spatial distribution indicates that degraded areas are generally poorly covered by vegetation, while areas with dense forest have remained stable and protected. This positive balance is localized in terms of forest regeneration, in the middle mountains, where management actions have been undertaken which have had a positive return on the stability of the environment.

Simulation test results indicate that the dense forest plot has the lowest Runoff Coefficient; 3.13% followed by fruit trees which represent open to degraded forest with a rate of 16.5%. fallow and/or bare soil has the highest runoff rate reaching up to 45.13%. The results show that the runoff coefficient can decrease in cereal plots colonized by cereal dum, and can go from 21.63% in the case of a cereal plot alone to 9% in association with dum. Cesium 137 results are along the same lines and consolidate the idea that the average erosion rates obtained are variable according to land occupation, which allows us to deduce that for cropping sites erosion is always present with varying rates according to land occupation. The results of long-term soil losses (~ 50 years) show that most of the sediments removed come from cultivated land. These lands show erosion rates ranging from 2 to 74 (t/ha/year), while rangeland and forest sites show much lower erosion rates, not exceeding 8 (t/ha/year).

This study confirmed the positive effects of vegetation cover, especially forest cover, on soil fixation and consequently the reduction of erosion, on a slope of 0 to 20%. Overall, it can be concluded that forest land, unlike land under cultivation or overgrazed, ensures good hydrodynamic behaviour.

These combined methods have enabled a better understanding of the evolution of the environment, and thus provide a decision-making tool to target the most vulnerable areas that require priority intervention, in a participatory approach that takes into consideration the farmers' perception of their environment. The land of Tazliyda served as a case study for this approach.

Key words: Land degradation, Soil loss, Forms of erosion, RUSLE, Detection of land use change, Natural environment dynamics, development, Rdat watershed, Cs-137, rain simulation

The Cesium 137 results show that the average erosion rates obtained are variable according to land occupation, which allows us to deduce that for crop sites erosion is always present with varying rates according to land occupation. The results of long term (~ 50 years) soil losses

show that the majority of the sediments removed come from cultivated land. These lands have erosion rates ranging from 2 to 74 (t/ha/year), whereas rangeland and forest sites have much lower erosion rates, not exceeding 8 (t/ha/year).

These combined methods have enabled a better understanding of the evolution of the environment, and thus provide a decision-making tool to target the most vulnerable areas that require priority intervention, in a participatory approach that takes into consideration the farmers' perception of their environment. The land of Tazliyda served as a case study for this approach.

Key words: Land degradation, Soil loss, Forms of erosion, RUSLE, Detection of land use change, Natural environment dynamics, development, Rdat watershed, Cs-137, rain simulation.

ملخص

في سياق سوسيواقتصادي متغير ، يصبح التوازن البيئي مهددا لاسيما في المناطق الجبلية حيث يعتمد سكان القروية على التدفئة، يعزز الموارد الطبيعية كمصدر عيش رئيسي. إن إزالة الغابات وزراعتها ، والرعي الجائر ، واستخراج حطب تدهور البيئة الطبيعية ويؤدي إلى دينامية تعرية مذهلة في هذه المناطق.

تهتم هذا الدراسة بالحوض النهري لغذات، أحد روافد حوض تانسيفت، الذي ينبعث من قمم الأطلس الكبير الغربي للمغرب، وليصرف على مساحة قدرها 540 كلم². ويمتد على أربع جماعات من بينها: زرقطن ، تازارت ، توامة وسيدي رحال ، التابعة لإقليمي الحوز و قلعة السراغنة، جهة مراكش-آسفي. الذي عرف تراجعاً مهماً في غطاءه النباتي. قليلة هي الأبحاث التي اهتمت بمشكل التعرية المائية في هذا الحوض النهري، و بالتالي تهدف هذه الدراسة إلى المساهمة في دراسة ورصد أشكال التعرية في مقارنة تطورية عبر الزمن، ثم رصد المجالات الأكثر حساسية للتعرية، التي تستدعي التدخل في المستقبل.

هذه المقاربة تجمع بين مساهمة الاستشعار عن بعد والنمذجة من خلال المعادلة العالمية المنقحة لخسارة التربة (RUSLE، Renard، 1997) من جهة و تكميم التعرية عبر تقنية المقلد المطري في المشارات التجريبية المختارة، و تقديرات تحليل السيزيوم المشع C137 من جهة أخرى. بهدف توصيف ورصد لديناميات المجالية لوصف التطور المجالي و الزماني في هذا الحوض النهري، مما سمح بتقدير خسائر التربة حسب شكل التعرية. في نسق جغرافي عبر خرجات ميدانية من أجل تسليط الضوء على تأثير العامل البشري في تغير الدينامية المجالية في الحوض النهري لواد غذات.

تم استخدام ثلاث صور القمر الصناعي Landsat لسنوات (1984 و 2003 و 2015)، والتي تبين دينامية متغيرة مع مرور الوقت على مدى 31 عاما (1984-2015). وتبين التغيرات الملاحظة من تطور كثيفة لكثافة معتدلة 81.22٪ مقارنة مع عام 1984، بالتوازي مع انخفاض في تدهور غابة في ترتيب 20.89٪. نمت الزراعات المسقية أيضا من 12.47٪ وظلت مناطق الغابة مستقرة تقريبا مع تغيير 1.25٪ فقط ، لكن المحاصيل الجافة و / أو التربة العارية انخفضت بنسبة 15.37٪. يتموقع هذا التغير الإيجابي في منطقة الجبال المتوسطة الارتفاع، من الحوض النهري لواد غذات.

يشير التحليل المكاني والزماني للحوض المائي إلى زيادة في عدم الاستقرار بنسبة 17 ٪ مع هيمنة عالية للمناطق غير المستقرة ، مع نسبة تقدم تبلغ 11 ٪ ، بما يعادل 20 طن / هكتار / سنة من التربة المفقودة.

كشف التحليل المكاني الزماني لمهن الأراضي عن تغير كبير على مدار 31 عامًا ، لا سيما تطور المحاصيل المروية (CI) والغابات الكثيفة إلى متوسطة (FDM) ، على التوالي مع النسب المئوية التالية 0.8 ٪ و 7.6 ٪ مقارنة بالعام 1980. انخفضت التربة الجافة و / أو العارية (Cs / Sn) بنسبة 1.6 ٪ ، والغابات المتدهورة (FCD) بنسبة 6.2 ٪ Frutics (Fru). لم تتغير كثيرا في الوقت المناسب ، فقد انخفضت بنسبة 0.6 ٪ فقط. تتعلق هذه التغييرات المرصودة بـ 41٪ فقط من الحوض المائي، في حين أن 49٪ من الحوض المائي في حالة استقرار. يشير توزيعها المكاني إلى أن المناطق المتدهورة عادة ما تكون مغطاة بالغطاء النباتي، حيث ظلت المناطق ذات الغابات الكثيفة مستقرة ومحمية. يعود ذلك إلى التدخل الإيجابي عبر عمليات التشجير في الجبال الوسطى للحوض المائي منذ سنوات 1999، حيث تم تنفيذ إجراءات مهمة للحفاظ على الغطاء النباتي، والتي كان لها عائد إيجابي على استقرار البيئة. أكدت نتائج محاكاة السلوك المطري و تكميم التعرية وكذلك قياسات السيزيوم 137 دور الغابة في تثبيت التربة.

مكنت هذه الطرق المدمجة من فهم تطور البيئة بشكل أفضل، وبالتالي توفير أداة مساعدة على اتخاذ القرار باستهداف المناطق الأكثر ضعفاً التي تتطلب أولوية التدخل ، من منظور تشاركي يأخذ في الاعتبار تصور الفلاحين لبيئتهم ، كان تازليدة بمثابة دراسة بمثابة دراسة حالة لهذا النهج.

الكلمات المحورية: الكشف عن تغير استعمال الأراضي، ديناميات البيئة الطبيعية، التدبير ، تدهور الأراضي، فقدان التربة، السيزيوم 137 أشكال التعرية، RUSLE ، محاكاة السلوك المطري، الحوض النهري لواد غذات، بالمغرب.