



معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة الرباط

INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II
RABAT

**Travail de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur
d'Etat en Agronomie**

Option : Management des Ressources en Sols et en Eaux

**EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES SOLS ET DE L'EROSION
DANS LE BASSIN VERSANT TLETA
(RIF OCCIDENTAL, MAROC).**

Présenté et soutenu publiquement par :

M^{lle} Nora HAMMOUDA

Devant le jury composé de :

Président :	Pr. M. SABIR	ENFI/ SALE
Rapporteur :	Pr. M. NAIMI	DERNE/IAV HASSAN II
Rapporteur :	M. P. ZANTE	IRD/ IAV HASSAN II
Examineur:	Pr. M. BOUHALOUA	DERNE/IAV HASSAN I
Examineur:	M.M. YASSIN	CRF/ RABAT

- Septembre 2010 -

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II-B.P. 6206 Madinat Al Irfane, 10101 Rabat
Tel : (05) 37 77 17 58/59/45 ou 77 07 92 – Fax (05) 37 77 81 35 ou 77 58 38
Site Web : www.iav.ac.ma

Dédicace

Au nom du Dieu le puissant le miséricordieux, je dédie ce travail:

Au plus aimant et compréhensif des pères HAMMOUDA Mohamed,

Mon gardien spirituel, ma source de soutien moral et matériel. Tu étais toujours près de moi pour m'encourager et me conseiller.

Je ne trouve pas les mots pour t'exprimer mon amour, ma gratitude pour tes sacrifices et surtout mon grand respect.

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

Puisse le tout puissant te procurer du bonheur de la bonne santé et très longue vie.

A ma merveilleuse et douce mère EL IDRISSE Hafida,

Affable, honorable, aimable : Tu représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et

L'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A ma très chère sœur Loubna,

Ma chère sœur qui m'est la sœur et l'amie, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour toi.

Mon ange gardien et ma fidèle compagnante dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse.

Je te dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

Que le tout Puissant nous garde toujours ensemble.

A ma grande mère maternelle TALHA Rqia,

Une dédicace particulière à la grande dame qui a tant sacrifié pour nous tous. Que Dieu vous garde toujours en bonne santé.

A tous les membres de la famille HAMMOUDA et de la famille TALHA,

*Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie
professionnelle et personnelle.*

Veillez trouvez dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

Aux plus magnifiques et fidèles des amies : Simsima, Dija, Afouf et Itimad

A une amie si spéciale : Mouna, malgré la distance tu es toujours dans mon cœur

A Sanae et Loubna mes colocataires avec qui j'ai vécu mon quotidien.

A la clique des fofolles : que Dieu nous garde toujours ensemble.

A tous mes amies de l'IAV HASSAN II

A la 40ème promotion de Management des Ressources en Sol et en Eaux.

A ceux que j'ai omis de citer

**Ce modeste travail vous est dédié
Nora HAMMOUDA**

Remerciement

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon encadrant **Pr. Mustapha NAIMI** professeur chercheur pour ses efforts déployés, ses qualités humaines et scientifiques, son soutien et ses recommandations au cours de la réalisation de mon travail de fin d'étude. Aucun mot ne saurait exprimer ma très haute considération et ma grande admiration pour son ardeur au travail.

Mes remerciements sincères à mon co-encadrant Monsieur **Patrick ZANTE** pour son aide précieuse et minutieuse, et pour la disponibilité permanente qu'il m'a prodigué tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens également à remercier Monsieur **Jean Marie LAMACHERE** et Monsieur **YANNIK PÉPIN** pour leurs précieux conseils, leur aide et leur disponibilité durant toute la période de réalisation de ce travail. Qu'ils trouvent ici le témoignage de mon profond respect.

Mes sincères remerciements vont également à **Mohamed SABIR** pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence du jury.

Mes vifs remerciements vont également à **Mohammed BOUHALOUA** et **Mohammed YASSIN** qui m'ont honorée en acceptant d'examiner ce travail.

Résumé

Au Maroc, le problème de l'érosion hydrique se pose avec acuité, surtout dans la zone rifaine où des jeunes montagnes aux pentes raides, caractérisées par des formations lithologiques friables, sont particulièrement exposées à l'érosion hydrique. Sous la pression démographique, les milieux forestiers, qui occupent les pentes les plus fortes, sont peu à peu cultivés et n'assurent plus leur rôle environnemental de protection des sols. L'érosion devient alors spectaculaire et les barrages s'ensavent.

Cette étude a porté sur la recherche des causes de la diminution des taux d'envasement du barrage Ibn Batouta au cours des périodes récentes (1993-2000 et 2000-2003).

Le présent travail expose les résultats d'une étude cartographique analysant l'évolution spatio-temporelle de l'occupation des sols du bassin versant Tleta. Il est basé sur une prospection du terrain et la photo-interprétation de photographies aériennes des missions 1992, 1993 et 1994 et d'une image GeoEye.

Notre étude fait le point sur l'état actuel de la dégradation du couvert végétal dans le bassin versant du barrage Ibn Batouta. Elle a produit deux cartes d'occupation des sols montrant que le matorral clair et le matorral dense ont régressé respectivement de 35% et 8% entre les années 1992 et 2009, tandis que les terrains cultivés se sont accrus de 8% par rapport à la superficie qu'ils occupaient en 1992. Cette évolution dans l'occupation des sols de ce bassin versant est moins importante que celle enregistrée entre 1963 et 1992. Sur cette période, le matorral dense avait régressé de 68% et les terrains cultivés avaient progressé de 30% par rapport aux superficies qu'ils occupaient en 1963.

Ce travail cartographique du suivi de l'occupation des sols d'un bassin versant de la région de Tanger sur la période 1992-2009 montre que les cultures continuent à s'étendre au détriment du matorral mais avec un taux d'accroissement (0,47 % par an) nettement plus faible qu'au cours des trois décennies précédentes (1 % par an). La diminution du taux d'envasement du barrage Ibn Batouta peut donc vraisemblablement être en partie attribuée à une réduction des superficies défrichées.

<p>Mots clés : Erosion hydrique, occupation des sols, la pression démographique, envasement, photo-interprétation, bassin versant Tleta, Rif, Maroc</p>
--

Abstract

The problem of water erosion is acute in Morocco, especially in the Rif's zone where young mountains with steep slopes, which are characterized by brittle lithologic formations, are exposed to erosion problems. Because of population pressure, forest landscapes are grown and no longer ensure their environmental roles, the erosion becomes spectacular and the Silting threatens the life of many Moroccan dams.

This study focused on the justification of the lower rate of the Ibn Batouta dam siltation during recent periods (1993-2000 and 2000-2003).

Indeed, this work presents the results of our study on mapping the spatiotemporal evolution of land use in the Tleta drainage basin, with the photo-interpretation of aerial photographs (Mission 1992.1993 and 1994), GeoEye image and a survey of the land.

The study examined the current state of vegetation's degradation in the drainage basin and produced two maps of land use showing that clear and dense matorral decreased from 1992 to 2009 by 35% to 8%. While the croplands have won 8% of their original size (1992). This development is less than that recorded between 1963 and 1992. For example, the dense matorral decreased by 68% and croplands gained 30% compared to the area recorded in 1963.

The result of this work is that the decrease in the rate of siltation is partly attributed to a reduction of the land cleared increase.

Key words : Water erosion, land use, population pressure, siltation, photo-interpretation, drainage basin Tleta, Rif, Morocco

Table des matières

<i>Dédicace</i>	I
Remerciement	IV
Résumé	V
Abstract	VI
Table des matières	VII
Liste des tableaux	XI
Liste des figures	XIII
Liste des annexes	XV
Liste des photos	XV
<i>Chapitre 1 : Revue bibliographique</i>	1
1.1- L'érosion hydrique	2
1.1.1 Introduction	2
1.1.2 Origine et mécanismes de l'érosion hydrique	2
<i>1.1.2.1 Effet de la goutte de pluie sur le sol</i>	3
<i>1.1.2.2 Effet du ruissellement</i>	4
1.1.3 Formes de l'érosion hydrique	4
<i>1.1.3.1 L'érosion en nappe ou "sheet erosion"</i>	4
<i>1.1.3.2 L'érosion linéaire (micro-channel ou rill erosion)</i>	5
<i>1.1.3.3 Erosion par ravinement "Gully erosion"</i>	5
1.1.4 Facteurs de l'érosion hydrique	8
<i>1.1.4.1 Les chutes de pluies</i>	8
1.1.4.2 Topographie du terrain	11
1.1.4.3 Le sol	12
1.1.4.4 Les activités anthropiques	13
1.2- Problématique de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Tleta (Tangé rois)	18

1.3-	Effet du couvert végétal sur l'érosion hydrique	19
1.3.1	Les mécanismes d'action de la végétation.....	19
1.3.1.1	<i>Rôle de la végétation contre l'ablation</i>	19
1.3.1.2	<i>Rôle de la végétation en faveur de la sédimentation</i>	21
1.3.1	Efficacité des différentes formations végétales.....	22
Tableau 4 : Effet de l'occupation des terres sur la perte en terre (Echehab, 1990).		23
1.3.2	L'effet de l'utilisation des terres	23
1.3.2.1	<i>Rôle de la litière et les débris végétaux</i>	23
1.3.2.2	<i>L'effet de l'apport du fumier et des éléments fertilisants</i>	24
1.3.2.3	<i>L'effet de la jachère</i>	24
1.3.2.4	<i>L'effet du labour</i>	25
1.3.2.5	<i>Rôle du type de culture</i>	26
1.3.2.6	<i>La rotation des cultures</i>	27
1.3.2.7	<i>L'effet d'utilisation des terres sur les caractéristiques des sols</i>	27
1.3.3	L'effet de l'architecture des plantes.....	29
Chapitre 2 : Matériels et Méthodes		31
2.1-	Présentation de la zone d'étude.....	32
2.1.1	Localisation géographique.....	32
2.1.2	Découpage administratif.....	33
2.1.3	Population.....	36
2.1.4	Géologie	36
2.1.4.1	<i>Les nappes de charriage</i>	37
2.1.4.2	<i>Nappe de Melloussa</i>	37
2.1.5	Topographie.....	39
2.1.6	Géomorphologie.....	40
2.1.6.1	<i>Montagnes</i>	40
2.1.6.2	<i>Collines marneuses</i>	40

2.1.6.3	<i>Plaines alluviales</i>	40
2.1.7	Sols	42
2.1.8	Hydrologie, Hydrographie	46
2.1.8.1	<i>Eaux de surface</i>	46
2.1.8.2	<i>Eaux souterraines</i>	46
2.1.9	Climat	48
2.1.9.1	<i>Températures</i>	50
2.1.9.2	<i>Vents</i>	53
2.1.9.3	<i>Ensoleillement</i>	53
2.1.9.4	<i>Evaporation</i>	54
2.1.9.5	<i>Pluviométrie</i>	56
2.1.10	Occupation du sol	63
2.1.10.1	<i>Végétation naturelle</i>	63
2.1.10.2	<i>Agriculture</i>	64
2.2	Matériels et méthodologie	65
2.2.1	Matériel	66
2.2.1.1	<i>Documents de base et éléments cartographiques</i>	66
2.2.1.2	<i>Logiciels et outils utilisés</i>	67
2.2.1.3	<i>Préparation et traitement des données</i>	67
2.2.2	Méthodologie	69
2.2.2.1	<i>Evaluation de la régression du couvert végétal</i>	69
2.2.2.2	<i>Mesure des envasements</i>	74
2.2.2.3	<i>Exploitation des données de la commune Jouamâa</i>	74
Chapitre 3 : Résultats et discussions		80
3.1.	Résultats et discussion	81
3.1.1	Résultat de l'étude multidates du couvert végétal (1992-2009) du bassin versant Tleta	

3.1.1.1	<i>Carte d'occupation du sol en 1992 du bassin versant Tleta</i>	81
3.1.1.2	<i>Planimétrie de la carte d'occupation du sol de 1992 du bassin versant Tleta</i>	83
3.1.1.3	<i>Carte d'occupation du sol en 2009 du bassin versant Tleta</i>	84
3.1.1.4	<i>Planimétrie de la carte d'occupation du sol de 2009 du bassin versant Tleta</i>	85
3.1.1.5	<i>Description des unités cartographiques</i>	86
3.1.1.6	<i>Evaluation du changement intervenu dans l'occupation du sol entre 1992 et 2009</i> 91	
3.1.2	Résultat de l'étude multidates du couvert végétal (1992-2009) de la commune rurale Jouamâa	95
3.1.2.1	<i>Occupation des sols de Jouamâa en 1992 et 2009</i>	96
	Conclusion et recommandations	105
	Références bibliographiques	108
	Annexes	116
	ملخص.....	120

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs du facteur C (Sadiki & al., 2004)	14
Tableau 2 : Réponse de la détachabilité du sol (g/m ² /h) au pâturage ovin pour différentes charges animales (BHA) dans la station expérimentale d'Aarid en Haute Moulouya, par type de saison et sur une période de 4 ans (Sabir & al., 1994)	15
Tableau 3 : Influence de la coupe des arbres sur le ruissellement et l'érosion en forêt du Nord Mexique (Descroix & al., 2000).	17
Tableau 4 : Effet de l'occupation des terres sur la perte en terre (Echehab, 1990).	23
Tableau 5 : Effet de la fumure organique et minérale sur l'érosion (Heusch, 1970b)	24
Tableau 6 : Effet du travail du sol sur le taux d'agrégats stables à l'eau (IS en %) (Mrabet & al., 2004).....	25
Tableau 7 : Influence de la rotation des cultures sur le ruissellement et les pertes en terre (Barhmi, 1980).....	27
Tableau 8 : Répartition administrative des communes rurales sur le bassin versant Tleta depuis 1995. (El Kamoune, 2009)	34
Tableau 9 : Population par commune rurale (en 1994 et 2004) et taux d'accroissement	36
Tableau 10 : Classes de sols rencontrés dans le bassin versant de Tleta (Inypsa, 1987).	44
Tableau 11 : Importance relative des sols rencontrés sur le bassin versant de Tleta (El Kamoune, 2009).....	45
Tableau 12 : Températures moyennes mensuelles sur la période 1980-1998 aux stations de Tétouan et Tanger.....	50
Tableau 13 : Températures maximales mensuelles sur la période 1980-1998 aux stations de Tétouan et Tanger.	50
Tableau 14 : Températures minimales mensuelles sur la période 1980-1998 aux stations de Tétouan et Tanger.....	50
Tableau 15 : Températures moyennes, maximales et minimales mensuelles à la station Kalaya pour la période 1984 –2004.	51
Tableau 16 : Vitesse du vent en m/s enregistrée à la station de Kalaya sur la période 1984-1998.....	53
Tableau 17 : Durées journalières moyennes mensuelles en heures d'ensoleillement pour la période 1962–2003 aux stations de Tanger et Tétouan.	53

Tableau 18 : Valeurs mensuelles interannuelles de l'ETP Penman aux stations de Tanger et Tétouan	54
Tableau 19 : Moyennes mensuelles évaporées au bac Colorado à la station Ibn Batouta (mm).	54
Tableau 20 : Pluies annuelles moyennes, maximales, minimales et écart-types des pluies annuelles aux postes de Ibn Batouta, Kalaya, Romane et Béni Harchane sur la période 1979-2008.	56
Tableau 21 : Statistique des pluies journalières aux postes de Kalaya et Ibn Batouta (janvier 1979 à juin 2010)	57
Tableau 22 : Données statistiques des pluies mensuelles et annuelles au poste de Kalaya sur la période 1969-2010.	60
Tableau 23 : Tableau d'assemblage	67
Tableau 24 : Valeur d'envasement du barrage Ibn Batouta (1997-2003)	74
Tableau 25 : SAU (RGA 1996)	75
Tableau 26 Structure des exploitations agricoles (RGA 1996)	75
Tableau 27 : Emblavement des cultures de la commune Jouamâa entre 1990 et 2010.....	77
Tableau 28 : L'effectif du cheptel de la commune Jouamâa entre 1990 et 2010	78
Tableau 29 : Planimétrie de la carte d'occupation élaborée à partir des photographies aériennes	83
Tableau 30 : Planimétrie de la carte d'occupation élaborée à partir de l'image GéoEye	85
Tableau 31 : Pourcentage de la superficie de la végétation régressée entre 1963-1993 et 1992-2009 .	94
Tableau 32 : Résultat de la superposition de la carte des zones dégradées et la carte pédologique de la commune Jouamâa.....	99
Tableau 33 : Classes d'érodibilité des unités sur lesquelles sont localisées les extensions	99
Tableau 34 : Demande fourragère du cheptel de la commune Jouamâa en 2009.....	101
Tableau 35 : Production fourragère en UF par faciès pastoral au niveau de la commune rurale Jouamâa en 2009	101

Liste des figures

Figure 1: Typologie des ravines (Roose & <i>al.</i> , 1999).....	7
Figure 2 : Relation entre la vitesse des gouttes en fonction de leur diamètre pour une hauteur de chute de 1m,.....	10
Figure 3 : Influence de l'angle de chute de la goutte de pluie (Benkhelil & <i>al.</i> , 2004).	10
Figure 4: Influence de l'état hydrique des sols sur l'infiltrabilité, la pluie d'imbibition et le ruissellement (Al Karkouri & <i>al.</i> , 2000)	13
Figure 5: Piégeage de sédiments par une barrière végétale dans un lit de ravine (Rey & <i>al.</i> , 2004). .	21
Figure 6: Dynamique végétale après piégeage de sédiments par une barrière végétale (Rey & <i>al.</i> , 2002).....	22
Figure 7 : Quantités de terre érodée dans des parcelles labourées et non labourées (Boli Baboule & Roose, 2004).....	26
Figure 8: Effets de l'utilisation des terres sur l'état de surface du sol, la stabilité des agrégats et l'infiltrabilité (Rif occidental, Maroc) (Sabir & <i>al.</i> , 2007)	28
Figure 9: Effets de l'utilisation des terres sur la matière organique, la résistance à la pénétration et la pluie d'imbibition des sols (Rif occidental, Maroc) (Sabir & <i>al.</i> , 2007)	28
Figure 10: Situation du BV Tleta par rapport au découpage administratif	33
Figure 11: Provinces et communes rurales couvrant le bassin versant de Tleta.....	35
Figure 12 : Géologie du bassin versant de Tleta. (Zante, 2009).	38
Figure 13 : Vue latérale en 3 dimensions du bassin versant de Tleta (El Kamoune, 2009).....	39
Figure 14: Carte des pentes du bassin versant de Tleta.	41
Figure 15 : Pédologie du bassin versant Tleta (El Kamoune, 2009)	43
Figure 16: Réseau hydrographique du bassin versant de Tleta. (El Kamoune, 2009).....	47
Figure 17 : Stations météorologiques du bassin versant Tleta	49
Figure 18 : Variation des températures moyennes mensuelles maximales et minimales à Tanger et à Tétouan.	52
Figure 19 : Evaporations mensuelles au bac Colorado à la station Ibn Batouta.	55
Figure 20 : Variations des pluies annuelles sur la période 1979-2008 aux postes de Béni Harchane, Dar Chaoui, Ibn Batouta, Kalaya et Romane.	58

Figure 21 : Variations des pluies mensuelles sur la période 1979-2008 aux postes de Béni Harchane, Dar Chaoui, Ibn Batouta, Kalaya et Romane.	59
Figure 22 : Ajustements de lois statistiques à un échantillon de valeurs annuelles à la station Kalaya sur la période 1969-2010	62
Figure 23 : Sites d'observation sur terrain du bassin versant Tleta	72
Figure 24 : Situation de la commune rurale Jouamâa par rapport au découpage administratif	75
Figure 25 : Carte d'occupation du sol de bassin versant Tleta en 1992	82
Figure 26 : Carte d'occupation du sol de bassin versant Tleta en 2009	84
Figure 27 : Répartition des strates d'occupation du sol élaborées à partir des photographies aériennes de 1992	92
Figure 28 : Répartition des strates d'occupation du sol élaborées à partir de l'image GéoEye de 2009	92
Figure 29 : Variations des pluies annuelles moyennes du bassin versant Tleta sur la période 1979-2008	95
Figure 30 : Occupation des sols de Jouamâa en 1992 et en 2009	96
Figure 31 : Zones dégradées de la commune Jouamâa entre 1992 et 2009 par l'agriculture et le surpâturage	97
Figure 32 : Effectif du cheptel de la commune Jouamâa entre 1992 et 2010	100
Figure 33 : Emblavements des cultures de la commune de Jouamâa entre 1990 et 2010	102

Liste des annexes

Annexe 1 : Légende de la carte géologique	116
Annexe 2 : Variations des pluies annuelles sur la période 1979-2008 aux postes de Béni Harchane, DarChaoui, Ibn Batouta, Kalaya et Romane.	117
Annexe 3 : Paramètre de la projection Lambert conformal conic	118
Annexe 4 : Planche de pourcentage de recouvrement	119

Liste des photos

Photo 1 : Matorral.....	87
Photo 2 : Matorral dense oléastraie	87
Photo 3 : Erme	88
Photo 4 : Matorral dense reboisé.....	89
Photo 5 : Reboisement du Pin d'Alep.....	90
Photo 6 : Terrain de culture	91

Introduction générale

Dans le monde, l'érosion hydrique est une menace environnementale majeure pour la durabilité et la capacité productive de terres agricoles. Elle constitue le processus de dégradation des terres le plus actif et elle dégrade également la ressource la plus importante pour la survie de l'humanité : l'eau. L'érosion par ruissellement provoque, en particulier, une perte irréversible des surfaces cultivables, une perte de la capacité de stockage des lacs naturels et artificiels et une pollution de l'eau par les matériaux transportés au cours des crues. Les fortes pluies sont également à l'origine d'évènements chroniques, parfois catastrophiques, les inondations de zones situées à proximité des cours d'eau par des crues turbides. De fait, ces 40 dernières années, pratiquement un tiers des terres cultivables du monde ont été perdues par érosion hydrique et continuent à l'être au rythme d'environ 10 millions d'ha/an (Corbane, 2006).

Au sein de ce décor fâcheux, les régions méditerranéennes sont considérées comme les plus sensibles à l'érosion hydrique. Les sols de ces régions, tels qu'ils se présentent aujourd'hui, résultent des interactions entre les processus naturels de la pédogenèse, de l'érosion et des activités des sociétés humaines, qui sont parmi les plus anciennes au monde à pratiquer l'agriculture. Dans les régions méditerranéennes, rares sont les sols qui ont pu se développer sans être marqués, plus ou moins profondément, par l'action directe ou indirecte de l'homme.

Au Maroc, l'érosion hydrique constitue la principale menace à l'égard du capital sol. D'après les estimations de la FAO, 12,6 millions d'hectares de terres cultivées et pâturées sont menacés par ce phénomène et les deux tiers des terres cultivées nécessitent de sévères mesures de conservation (FAO, 1977). La sédimentation dans les retenues de barrages provoque une perte en eau équivalente à 700 millions de m³, soit une diminution de l'ordre de 0,5 % par an de la capacité totale des barrages, qui est de 14 milliards de m³, ce qui se traduit par une perte de surface irrigable de 600 ha/an (Boutaib, 1987 ; Moukhchane, 2002).

L'érosion hydrique prend ses dimensions les plus désastreuses dans les montagnes et les collines du Rif qui ne couvrent que 6 % du territoire national mais produisent plus de 60 % des sédiments mobilisés chaque année sur l'ensemble du Maroc (Heusch, 1970a). Le risque d'érosion dans le Rif est très élevé, car cette zone est caractérisée par des pluies abondantes et agressives, par des formations lithologiques friables telles que les marnes, les marno-calcaires

et les schistes (Sadiki & al., 2004) sur des pentes fortes à très fortes (jusqu'à plus de 60 %). En outre, depuis le début du 19^{ème} siècle, la colonisation espagnole a exploité abusivement les ressources ligneuses du Rif où le couvert forestier a été sévèrement dégradé. Sous la pression démographique, les paysages forestiers ont été également surpâturés ou transformés en une mosaïque de parcelles céréalières imbriquées dans un matorral dégradé. Le rôle protecteur de la forêt contre l'érosion des sols n'étant plus assuré, la stabilité structurale des sols se dégrade, le ruissellement s'accroît considérablement, une érosion souvent spectaculaire se développe avec cet accroissement du ruissellement et l'eau se charge en matières solides, provoquant l'envasement des barrages.

Les relations entre les types de sols, leurs couvertures végétales, les différents modes d'utilisation des terres et leurs comportements hydrologiques ont été étudiés par de nombreux chercheurs. Un couvert végétal est d'autant plus efficace pour réduire l'érosion qu'il dissipe l'énergie des gouttes de pluies, qu'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). Le surpâturage, par la réduction du couvert végétal et le tassement de la surface du sol, réduit la porosité superficielle des sols et l'infiltration. Il augmente ainsi les risques de ruissellement et d'érosion. La mise en culture et le labour des terres réduit radicalement le couvert végétal au cours de la période la plus pluvieuse. Elle modifie la structure et la perméabilité des sols en accroissant temporairement la porosité et la capacité de rétention des sols mais elle réduit également leur résistance à l'érosivité des pluies jusqu'à ce que la culture soit suffisamment couvrante. La période au cours de laquelle les sols cultivés sont les plus vulnérables à l'érosion hydrique se situe entre les semis et la date à laquelle le recouvrement végétal atteint une valeur de 50 % de la superficie des parcelles. Cette période est en général celle des fortes pluies.

Le présent travail traite de l'évolution de l'occupation des sols et de son influence sur l'érosion des sols dans le bassin versant de Tleta (Rif Occidental, Maroc). En effet, ce bassin versant est sujet à une dynamique érosive intense dont les modalités sont très variées. Les pertes en terres y sont, par conséquent, énormes et alarmantes : 18% des terres sont ravlinées et 2,5% sont des bad-lands, avec une perte potentielle en sol moyenne de 254 t/ha/an dans les bad-lands (Merzouk & al., 1996). Les conséquences de cette situation sur le bassin versant amont se font nettement sentir en aval et la capacité de rétention du barrage Ibn Batouta (Source d'eau potable de la ville de Tanger) ne cesse de diminuer. L'envasement annuel du

barrage est d'environ de 0,42 million de m³/an, ce qui représente 1 % de sa capacité de rétention.

Une étude récente, menée par des chercheurs de l'IAV Hassan II et de l'IRD, basée sur une analyse des levés bathymétriques et topographiques de la retenue d'Ibn Batouta effectués depuis la construction du barrage par la Direction de l'Hydraulique du Maroc, a permis d'établir un suivi de l'envasement du barrage sur 5 périodes successives de 1977 à 2000, les périodes récentes (1994-2000 et 2000-2003) étaient caractérisées par des taux d'envasement nettement plus faibles que les périodes antérieures (1983-1989 et 1989-1994).

Le présent travail a pour objectif de vérifier si cette tendance est confirmée ou infirmée par les changements intervenus dans l'occupation des sols, la pluviométrie et le comportement hydrologique du bassin versant. Cela est réalisé à travers :

- L'élaboration des deux cartes d'occupation des sols datées de 1992 et de 2009 ;
- La collecte de données permettant d'expliquer les modifications du comportement hydrologique du bassin versant ;
- L'analyse des données pluviométriques du bassin versant Tleta sur la période 1977-2009.

Dans le présent travail, nous faisons usage d'un système d'information géographique (SIG) pour la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol à partir de l'interprétation de photographies aériennes, d'une image GéoEye et d'observations du terrain. Cette étude portera sur une période de 17 ans (1992-2009). Les résultats obtenus doivent permettre l'identification des causes de la réduction de l'érosion à l'échelle du bassin et des interventions nécessaires pour limiter et maîtriser les processus de dégradation des sols sur ce bassin versant.

Ce mémoire de fin d'étude s'articule autour de 3 chapitres qui représentent les étapes de la démarche progressive que nous avons suivie :

- Dans le premier chapitre, après une introduction générale, nous présenterons dans une première partie les mécanismes, les formes et les facteurs de l'érosion hydrique, tandis que la deuxième partie sera consacrée l'exposition de la problématique de l'érosion

dans la région étudiée et que la troisième partie traitera de l'effet du couvert végétal sur l'érosion hydrique ;

- Le deuxième chapitre sera réservé à la présentation de la zone d'étude, du matériel utilisé pour la réalisation de ce travail et de la méthodologie suivie pour répondre aux objectifs visés ;
- Le quatrième chapitre restitue les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations ;
- Enfin la conclusion présentera le bilan du travail effectué avec quelques recommandations.

Chapitre 1
Revue bibliographique

1.1- L'érosion hydrique

1.1.1 Introduction

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol (Hamma, 2004). La pluie, la nature des sols, l'utilisation du sol et le relief sont des facteurs du ruissellement et de l'érosion qui interagissent de façon complexe dans une série de processus qui peuvent intervenir successivement ou simultanément par l'action des gouttes de pluie (détachement et rejaillissement), l'infiltration des eaux de pluie, la détention superficielle et le ruissellement, l'érosion diffuse (nappes ruisselantes), l'érosion linéaire (griffes, rigoles, ravines, ravins), le dépôt et l'atterrissement de matériaux transportés par les cours d'eau.

L'érosion hydrique se développe plus particulièrement lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (ruissellement « Hortonien ») ou lorsque la pluie tombe sur une surface saturée (ruissellement par saturation). Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux. Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : l'érosion diffuse par ruissellement en nappe, l'érosion linéaire en griffes, en rigoles parallèles ou concentrées dans les talwegs.

1.1.2 Origine et mécanismes de l'érosion hydrique

La pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine du détachement des particules de sol, de leur transport et de leur dépôt. Le détachement est dû à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement. Le transport des particules est assuré presque exclusivement par le ruissellement.

La pluie est l'agent principal de l'érosion hydrique car elle est génératrice du ruissellement dans des conditions d'humectation des sols et d'état de surface favorables au ruissellement. Son aptitude à provoquer de l'érosion est appelée érosivité, elle dépend surtout de son intensité et de l'énergie cinétique qui en résulte. Cependant l'érosivité ne suffit généralement pas à expliquer l'érosion, notamment sur les sols cultivés : le cumul pluviométrique depuis le travail du sol qui modifie l'état de surface du sol, l'humectation du sol qui modifie sa

structure, la pluie des jours précédents qui accroît l'humidité superficielle au début de l'averse sont à prendre en considération avec les caractéristiques de l'évènement pluvieux considéré.

1.1.2.1 Effet de la goutte de pluie sur le sol

Par l'énergie cinétique d'une goutte de pluie, des particules du sol peuvent être déplacées. Ainsi, les éléments fins jaillissent tandis que des particules grossières, d'un diamètre allant jusqu'à 2 cm, peuvent glisser et subir un mouvement de reptation. Parfois les phénomènes de rejaillissement ou de saltation sont favorisés par la présence d'une mince couche d'eau à la surface du sol. Dans d'autres cas, sa présence amortit l'énergie cinétique de la goutte et contrarie donc le jaillissement.

Lorsque le sol s'humidifie, trois processus se développent simultanément : la désagrégation du sol, la formation d'une pellicule de battance et l'érosion par rejaillissement (effet splash).

- i. Les processus responsables de la désagrégation sont :
 - L'éclatement, qui correspond à la désagrégation par la compression de l'air piégé lors de l'humectation et l'intensité de l'éclatement dépend du volume d'air piégé, donc de la teneur en eau initiale des agrégats et de leur porosité ;
 - Le gonflement différentiel, qui intervient suite à l'humectation et la dessiccation des argiles, entraînant des fissurations dans les agrégats et l'importance de ce mécanisme dépend en grande partie de la teneur en argile des sols ;
 - La dispersion physico-chimique, qui correspond à la réduction des forces d'attraction entre les particules colloïdales lors de l'humectation et qui dépend de la taille et de la valence des cations pouvant lier les charges négatives dans le sol ;
 - La désagrégation mécanique qui dépend de l'énergie cinétique de la goutte de pluie.
- ii. La formation d'une pellicule de battance est une conséquence de la désagrégation de la surface du sol et du rejaillissement des particules les plus fines qui, en se déposant, ferment la porosité superficielle du sol ;
- iii. L'érosion par rejaillissement provoque le déplacement des particules fines de sol sur de faibles distances autour du point d'impact de la goutte de pluie, elle est à l'origine de la formation des pellicules structurales à la surface du sol et de la désagrégation des mottes de labour.

1.1.2.2 Effet du ruissellement

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Dans un type de ruissellement Hortonien, celui-ci apparaît lorsque la capacité du sol à l'infiltration ayant diminué, elle parvient en dessous de l'apport en eau créé par la chute des pluies. L'eau excédentaire commence alors à couler à la surface du sol. Horton (1940) a expliqué la réduction de l'infiltration par les facteurs suivants :

- la tension capillaire qui diminue avec l'augmentation de la teneur en eau du sol due à l'infiltration ;
- le gradient de la tension capillaire qui diminue au fur et à mesure de l'épaississement de la couche superficielle humectée ;
- le développement, à la surface du sol, d'un horizon mince qui devient moins perméable que le sol sous-jacent par le gonflement des argiles à l'humectation et par le compactage dû à la force cinétique des gouttes de pluie.

Le ruissellement par saturation apparaît dans des situations où les capacités de stockage et de drainage de l'eau sont réduites à une certaine profondeur. Si cette capacité de stockage est dépassée par la chute des pluies, un horizon saturé en eau peut s'établir à partir de la zone dont les capacités de drainage et de stockage sont très réduites. Le sommet de cette nappe aquifère suspendue peut alors monter jusqu'à la surface du sol et le ruissellement commence. Mais il est possible également que la percolation, venant de plus haut sur la pente, cause la saturation complète du sol et l'affleurement de la nappe aquifère. Ce type d'écoulement par saturation se produit dans des zones de contribution partielle au ruissellement situées le long des rivières, dans les fonds des vallées et dans les concavités des pentes.

1.1.3 Formes de l'érosion hydrique

1.1.3.1 L'érosion en nappe ou "sheet erosion"

L'érosion en nappe est le stade initial de la dégradation des sols, elle se produit sur des pentes faibles. Elle est définie comme étant le détachement des matériaux de la surface du sol par l'action de la pluie et du ruissellement. Elle entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de l'horizon superficiel. Les énergies des gouttes de pluie et du ruissellement s'appliquent à toute la surface du sol induisant ainsi le transport des particules du sol selon leurs tailles et en

fonction de l'intensité et de la durée de la pluie et en fonction de la pente du terrain. L'érosion en nappe se manifeste sur le terrain par la présence de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés et les plus agressés des champs (sommets de collines et rupture de pentes).

1.1.3.2 L'érosion linéaire (micro-channel ou rill erosion)

L'érosion linéaire est observée lorsque les filets d'eau acquièrent une énergie propre qui va créer une érosion limitée dans l'espace le long des lignes d'écoulement. Cette énergie n'est plus dispersée sur l'ensemble de la surface du sol, mais elle se concentre sur des lignes de plus forte pente (Roose, 1994). Les rigoles observées sont généralement de petites tailles et peuvent être éliminées par le travail du sol et elles ne se reproduisent pas au même endroit (Vandaele & al., 1996). L'érosion linéaire est donc un indice que le ruissellement s'est organisé, qu'il a pris de la vitesse et acquis une énergie cinétique capable d'éroder le sol à un rythme plus rapide que l'érosion en nappe (Blanco & Lal, 2008).

1.1.3.3 Erosion par ravinement "Gully erosion"

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). Suite à plusieurs séquences pluviales, l'érosion linéaire crée de profondes incisions, appelées ravines lorsqu'elles atteignent au moins 0,3 m de largeur et 0,3 m de profondeur. L'ampleur des dégâts causés par ces ravines dépend de la durée et l'intensité des précipitations, du type de couvert végétal, des caractéristiques du sol et des pratiques culturales (Woodward, 1999).

Il y a trois processus de ravinement (Figure 1, Roose et al., 1999).

- *Les ravines en « V »* se développent sur des matériaux homogènes comme les altérites d'argilite, de schiste et de marne. Une fois la couverture pédologique décapée, le ravinement progresse en deux temps. Durant une première période, la roche se détend et s'effrite sous l'effet de l'alternance de périodes sèches et humides et libère des particules de la taille des sables grossiers. Ces particules peu cohérentes migrent vers le fond de la ravine. Dans un deuxième temps, à l'occasion d'une averse abondante tombant sur un sol déjà humide, le fond de la ravine est décapé par le ruissellement venant de l'impluvium qui peut circuler dans la

ravine sous la forme de lame torrentielle très dangereuse ou d'un ruissellement plus classique sur pentes plus faibles.

- *Les ravines en « U »* se développent sur matériaux hétérogènes comme les couvertures pédologiques (formes juvéniles) sur croûtes calcaires. Les rigoles qui naissent à la surface des champs, si elles ne sont pas effacées par les techniques culturales, s'approfondissent verticalement en décapant le sol jusqu'à rencontrer une couche cohérente qui la force à s'élargir pour évacuer les débits de pointe, augmentant ainsi la largeur des incisions et la dégradation physique du milieu.

- *Les ravines en tunnel* se forment dans des matériaux riches en argiles gonflantes ou en sels solubles (cas des marnes gypseuses). Les eaux circulant dans la masse du sol emportent les argiles ou les sels solubles en formant des cavités linéaires qui grandissent progressivement jusqu'à l'effondrement du toit des tunnels. Ce sont les ravines les plus dangereuses car leur évolution est imprévisible et leur stabilisation est difficile. Le travail grossier mais répété du sol permet de transformer la zone en un ravineau évasé bien drainé superficiellement.

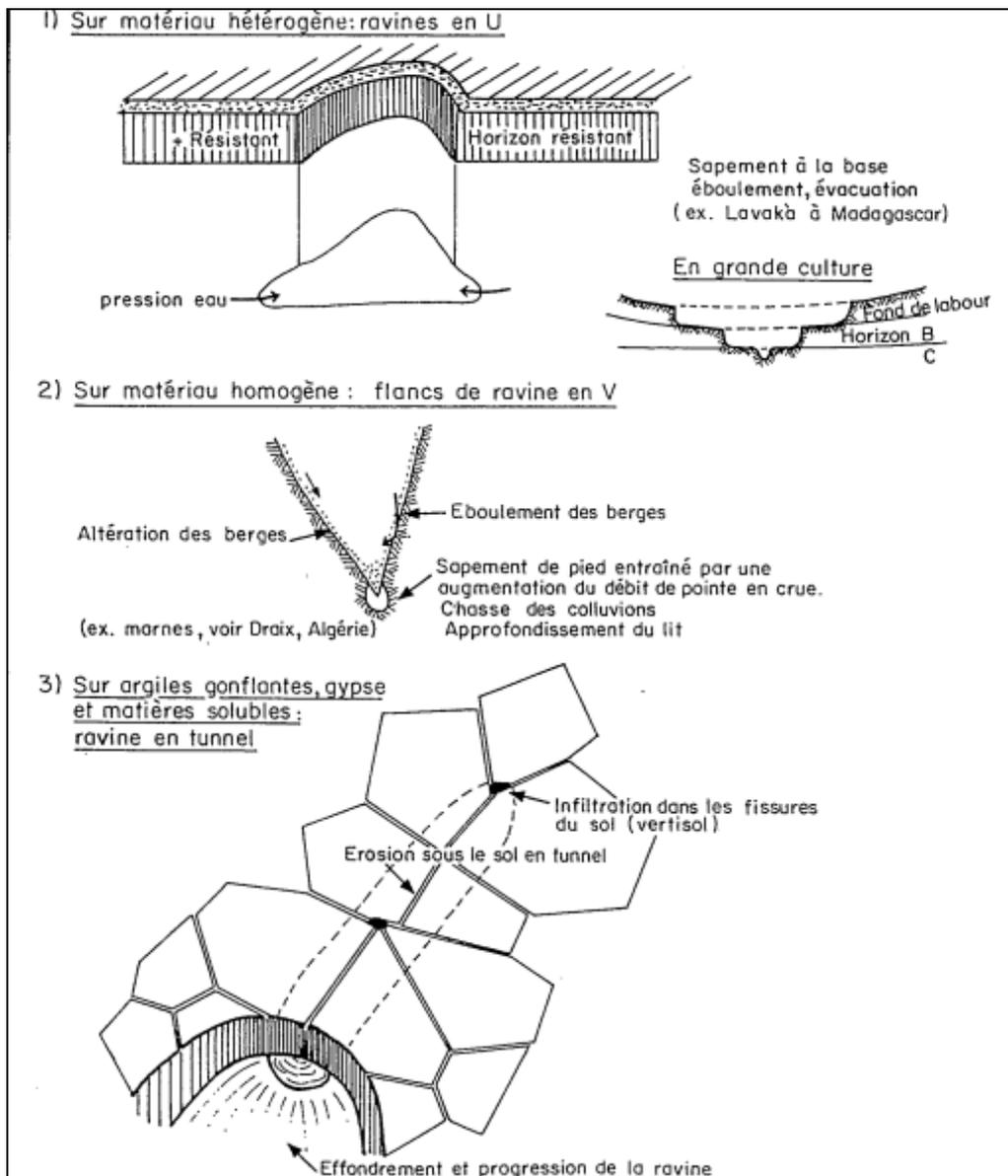


Figure 1: Typologie des ravines (Roose & *al.*, 1999).

1.1.4 Facteurs de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique est causée principalement par la pluie, mais l'ampleur de ce phénomène est régie par d'autres facteurs tels que le type de sol, la topographie du terrain, le couvert végétal et les activités humaines (Wischmeier & Smith, 1978 ; King & Le Bissonnais, 1992).

1.1.4.1 Les chutes de pluies

La pluie est source d'énergie érosive (Ellison, 1947 ; Ekern, 1950). Salles & al. (2000) et Erpul & al. (2002) ont relié l'ampleur de l'érosivité de la pluie à son intensité et aux caractéristiques des gouttes de pluie (taille, vitesse, forme de la goutte et direction de la chute) et à la fréquence des averses.

i. Intensité de la pluie

L'érosion des sols est fortement corrélée à l'intensité de la pluie (Le Bissonnais & Papy, 1997). En effet, avec une certaine intensité, les gouttes de pluie acquièrent une certaine énergie cinétique, qui est absorbée brusquement par la surface du sol, provoquant ainsi le détachement des particules. Ekern (1950) a conclu qu'approximativement 10 T/ha de sable fin peuvent être transportés sous l'effet de l'impact des gouttes de pluie pour une averse dont l'intensité de 100 mm/heure durant 5 minutes.

Ellison (1947) relia le détachement du sol à l'intensité de la pluie par la l'équation suivante :

$$E = k \cdot v^{4,33} \cdot d^{1,07} \cdot I^{0,65}$$

E : quantité relative de sol perdue par splash en 30 minutes ;

k : constante relative au sol ;

v : vitesse de la goutte en pieds/sec ;

d : diamètre de la goutte en mm ;

I : Intensité de la pluie en pouces/h.

Avec cette équation, Ellison a montré que le détachement est 7,2 fois plus important avec une pluie de 6 pouces/h qu'avec une pluie de 1 pouce/h.

Wischmeier & Smith (1978) ont confirmé l'existence d'une corrélation étroite entre le taux de sédiments déplacés à l'échelle de la parcelle et l'intensité des pluies tombant en 30 minutes. Ils ont trouvé une équation liant l'énergie cinétique de la pluie à son intensité, de la forme :

$$E_c = 210 + 89 \log_{10} * I$$

E_c : Energie cinétique de la pluie exprimée en tonnes. mètre/ha/cm de pluie ;

I : intensité exprimée en cm/h.

Mein & Larson (1973) ont résumé l'effet de l'intensité de pluie (I) sur le ruissellement en fonction de la vitesse d'infiltration (f_c) en 3 cas :

1^{er} cas : $I < f_c$:

Lorsque la vitesse d'infiltration (f_c) est supérieure à l'intensité de la pluie (I), il n'y a pas formation de lame d'eau à la surface du sol, le ruissellement est complètement absent.

2^{ème} cas : $I = f_c$:

Les apports en eaux instantanés (I) sont en équilibre avec la vitesse d'infiltration (f_c), le ruissellement reste absent.

3^{ème} cas : $I > f_c$:

Lorsque l'intensité de la pluie est supérieure à la vitesse d'infiltration, les flaques d'eau commencent à apparaître à la surface du sol, suivies par un mouvement de l'eau sur un terrain en pente.

ii. Caractéristiques des gouttes de pluie

Le détachement est induit par l'énergie cinétique produite par le choc des gouttes de la pluie à la surface du sol. Cet impact dépend des caractéristiques de la goutte qui arrive au sol, à savoir sa vitesse, sa direction par rapport à la pente du terrain et sa forme. La vitesse des gouttes de la pluie augmente avec le diamètre (Figure 2), il en résulte que l'énergie cinétique des gouttes a tendance à croître exponentiellement avec leurs dimensions (Benkhelil & al., 2004).

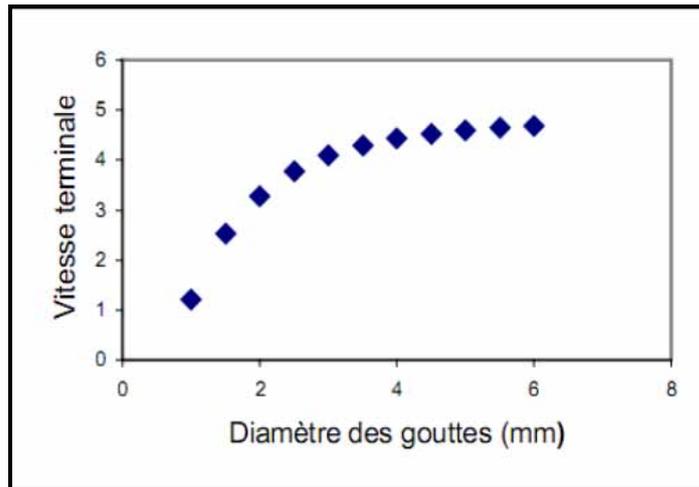


Figure 2 : Relation entre la vitesse des gouttes en fonction de leur diamètre pour une hauteur de chute de 1 m, (Benkhelil & al., 2004).

Dans des conditions normales (terrain de pente α), les gouttes de pluie tendent généralement à chuter sur le sol suivant une inclinaison α par rapport à la verticale due aux effets du vent. La figure 3 illustre ce phénomène.

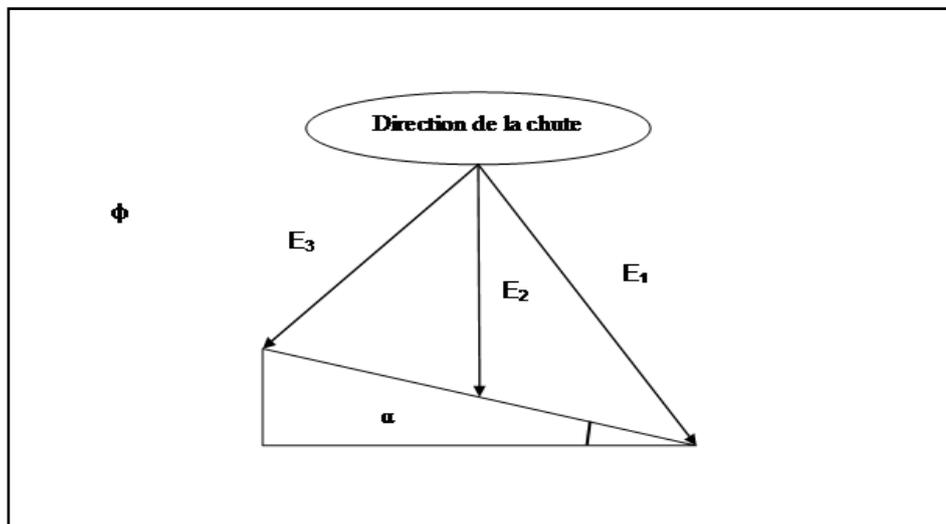


Figure 3 : Influence de l'angle de chute de la goutte de pluie (Benkhelil & al., 2004).

L'impact de la pluie sera plus important en amont de la pente (E3) que vers l'aval (E1). Le changement de la forme des gouttes de la pluie affecte le sol différemment car il induit une variation de la vitesse de chute et aussi une variation d'impact par unité de surface de sol.

iii. Fréquence des averses de la pluie

La fréquence des averses est un facteur très important dans l'étude des phénomènes d'érosion. En effet, dans les pays méditerranéens et tropicaux, les pluies sont irrégulières et la presque totalité des pluies est concentrée sur une période très courte de l'année. En conséquence, le sol africain souffre d'une dégradation qui a lieu pendant une période de temps extrêmement courte (Fournier, 1967).

1.1.4.2 Topographie du terrain

A l'échelle de la parcelle, la perte en sol est fortement affectée par deux paramètres : l'inclinaison de la pente et sa longueur.

i. L'inclinaison de la pente

Les formes d'érosion changent selon l'inclinaison de la pente. Ainsi, pour des pentes inférieures à 4%, ce sont les particules fines qui migrent. Pour des pentes supérieures à 7 %, des rigoles apparaissent. Des particules grossières sont transportées à l'intérieur de ces griffes. Enfin, au delà d'une pente de 20 %, les rigoles se creusent et deviennent de plus en plus profondes (5 à 20 cm), ce qui se traduit par une surface très accidentée (Roose, 1994). Au Maroc, Heusch (1970a) a montré que sur les marnes du Prérif, l'érosion et le ruissellement diminuent lorsque la pente augmente. Il a expliqué cette réduction du ruissellement et de l'érosion par la présence de drainage oblique dans les sols fissurés (vertisols).

ii. La longueur de la pente

La longueur de la pente est définie comme étant la distance du point d'origine de l'écoulement superficiel à un autre point considéré comme limitant pour la majeure portion du lieu en question et qui est :

- soit le point où la pente diminue à tel point que le dépôt commence ;
- soit le point où le ruissellement entre dans un canal bien défini, le canal étant une portion du système de drainage dont la taille ne peut être corrigée par les pratiques culturales (Wischmeier & Smith, 1957).

Plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule, prend de la vitesse, acquiert une énergie propre qui se traduit par une érosion en rigoles puis en ravines plus importantes (Roose, 1994). La topographie intervient aussi par sa forme, selon que le versant est concave

ou convexe. Sur les versants de forme convexe, le ruissellement et l'érosion sont très minimes en haut du versant, mais augmentent très rapidement vers l'aval, alors que sur les pentes de forme concave, le ruissellement et l'érosion sont très élevés en amont puis diminuent graduellement en aval (Mayer & Harmon, 1992).

1.1.4.3 Le sol

i. Le pourcentage de limons, de sable et d'argile

Un sol devient moins érodible lorsque la fraction limoneuse diminue et ceci quelque soit l'augmentation correspondante des autres fractions (sable et argile). Ceci est dû au fait que cette fraction granulométrique du sol est la plus sensible à l'érosion et à la battance.

ii. L'agrégation du sol

Une bonne agrégation augmente l'infiltration du sol et entraîne une diminution de l'érodibilité. Une étude menée par Merzouk & Blake (1991) sur l'indice d'érodibilité des sols au Maroc a montré que la variation de l'érodibilité des sols est expliquée par la résistance des agrégats à la dispersion et au transport en nappe.

iii. La structure du sol

L'érodibilité d'un sol à structure plate, angulaire, subangulaire ou en blocs est plus importante qu'un sol à structure granulaire très fine ou fine. Cependant la structure du sol reste une propriété difficile à apprécier et aussi à quantifier.

iv. La teneur en matière organique

L'augmentation de la teneur en matière organique favorise l'agrégation des particules, et l'infiltration des eaux à la surface du sol. Elle diminue donc le ruissellement.

v. L'état hydrique du sol

Au début d'une averse, l'eau commence à humecter le sol et à remplir progressivement les pores. Les eaux de pluie ont tendance à s'infiltrer complètement dans le sol, d'autant plus rapidement que le sol est sec. Au cours de cette phase appelée aussi phase d'imbibition, il n'y a pas de ruissellement à la surface (Albergel, 1987 ; Abdellaoui, 2005). Par contre, sur un sol humide proche de la saturation, quand la capacité d'infiltration est approximativement égale à la conductivité hydraulique à saturation, le ruissellement peut être déclenché rapidement si

l'intensité de précipitation est supérieure à la capacité d'infiltration. La figure 4 montre l'importance des effets de l'état hydrique préalable des sols sur l'infiltrabilité et le ruissellement.

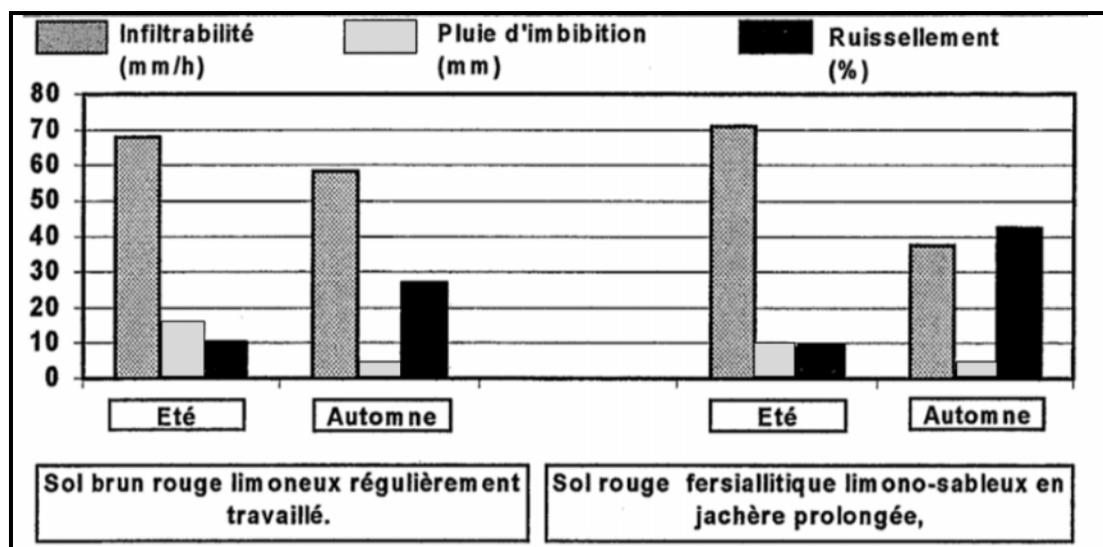


Figure 4: Influence de l'état hydrique des sols sur l'infiltrabilité, la pluie d'imbibition et le ruissellement (Al Karkouri & al., 2000)

1.1.4.4 Les activités anthropiques

Quand l'homme exerce des pratiques culturales inadaptées sur les versants, il peut modifier profondément le comportement hydrologique des sols. Il peut donc être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion. Les défrichements qu'il opère sur les forêts, le surpâturage, les pratiques culturales de labour et de semis sont des actions qui modifient l'état de surface et peuvent aggraver l'érosion avec des effets indésirables sur l'environnement et sur l'économie.

i. Les techniques culturales

L'évolution récente des techniques de culture, vers une forte mécanisation des travaux agricoles, a des conséquences à court, à moyen et à long terme. L'effet des techniques culturales est lié au travail du sol et aux multiples opérations requises par l'agriculture moderne. Les façons culturales interviennent surtout par le biais d'un émiettement excessif de la terre. Certaines cultures sont de ce fait qualifiées d'agressives, parce que les semis exigent une terre très fine, donc très sensible à la battance. Les opérations qui s'échelonnent des semis à la récolte (labour, semis, traitements phytosanitaires, récolte) nécessitent des passages

répétés de tracteurs qui tassent et compactent le sol, réduisant ainsi les possibilités d'infiltration. Le labour le long de la pente est également une pratique très courante qui favorise le ruissellement des eaux et par conséquent augmente le détachement des particules du sol et son érosion. Au Maroc, dans la région du Prérif occidental, les pertes en terre sur un sol labouré au tracteur sont de l'ordre de 543 T/km², alors qu'elles ne sont que de 112 T/km² sur un sol labouré à l'araire (Heusch, 1970a).

ii. Le défrichement

La pression démographique entraîne le défrichement des forêts pour l'installation des cultures. Au niveau du bassin versant de Tleta, dans la région de Tanger, les cultures ont envahi, sur une période de 12 ans, presque 1600 ha de forêt et de matorral, essentiellement par le biais de défrichement (Merzouk, 1996). Sur les parcelles cultivées, le sol est périodiquement mis à nu et fragilisé par les labours et les sarclages successifs. Le tableau 1 présente quelques valeurs du facteur cultural ou facteur d'occupation des sols utilisé dans l'équation de pertes en terres de Wischmeier. Pour un sol nu toute l'année, ce facteur est égal à 1. Plus le couvert végétal est dense, plus ce facteur est faible. Pour un même type de sol, l'érosion est ainsi 10 à 20 fois plus faible sous forêt que sur un sol nu.

Tableau 1: Valeurs du facteur C (Sadiki & al., 2004)

Type du couvert végétal	Facteur C
Reboisement dense	0,058
Forêt moyennement dense	0,13
Matorral dégradé, parcours dense	0,17
Reboisement clair	0,18
Matorral clair	0,20
Matorral très dégradé	0,22
Steppes à Alfa	0,32
Céréaliculture	0,70
Sol nu	1

Il ressort de ce tableau qu'un couvert forestier réduit fortement l'érosion et que la céréaliculture, comme toutes les cultures vivrières, sont 3 à 4 fois moins efficaces que les formations végétales naturelles pour protéger les sols de l'érosion hydrique.

iii. Le pâturage

L'espace pastoral se dégrade suite au surpâturage qui induit un déséquilibre de la dynamique des peuplements forestiers. Le surpâturage cause la disparition de la couverture végétale, laissant ainsi des surfaces importantes du sol exposées aux effets érosifs des pluies et du ruissellement. Sabir & al. (1996) ont montré que la densité du couvert végétal passe d'un état initial de 33 % de recouvrement à 30, 28, 25, 21 puis 19 %, respectivement pour des niveaux de charge animale égaux à 1, 2, 4, 8, et 12 brebis/ha/an. D'autre part, le passage répété des animaux entraîne un tassement du sol qui provoque une diminution de l'infiltration à la surface du sol, augmentant ainsi les risques de ruissellement et de ravinement.

Dans les régions méditerranéennes, le pâturage était autrefois saisonnier et le bétail devait se déplacer sur des distances considérables pour assurer son alimentation. Actuellement, les éleveurs sont devenus sédentaires. Ils exercent donc une forte pression sur les terrains de parcours proches des villages. La charge animale supportée par les parcours est couramment supérieure à ce qu'elle devrait être. Cela se traduit par une modification des caractéristiques hydrologiques du sol et une augmentation de la perte en terre (Tableau 2).

Dans les régions rifaines, l'utilisation des ressources sylvo-pastorales et des résidus de culture assurent respectivement 80 à 85 % et 15 à 20 % des besoins en fourrage des caprins (M'hirit & al., 1995). Cette espèce animale est très appréciée par les paysans rifains en raison de sa rusticité, de son adaptation au relief accidenté et des possibilités offertes par son alimentation sur les parcours forestiers. Cependant les caprins consomment les jeunes pousses en grimpant aux arbres et accentuent la baisse de productivité de la végétation arborée ou arbustive en dégradant les terrains de parcours.

Tableau 2 : Réponse de la détachabilité du sol ($\text{g/m}^2/\text{h}$) sur un pâturage ovin pour différentes charges animales (BHA) dans la station expérimentale d'Aarid en Haute Moulouya, par type de saison et sur une période de 4 ans (Sabir & al., 1994)

Date d'observation	Type de saison	Charge animale (BHA)				
		0	1	2	4	8
Avril 1989	Humide	89,1	90,1	107,0	116,2	127,4
Septembre 1989	Sèche	197,9	194,8	253,8	348,7	298,9
Mai 1990	Humide	100,5	90,7	102,2	108,7	298,9
Octobre 1990	Sèche	272,8	283,7	338,8	411,7	478,8
Mai 1991	Humide	89,2	100,7	95,0	116,0	130,7
Octobre 1991	Sèche	394,1	402,4	388,9	430,6	463,1
Mai 1992	Humide	85,4	83,8	92,6	103,6	125,0

BHA : brebis/ha/an

Niveau de charge animale :

0 BHA : témoin (sans pâturage) ;

1 BHA : léger (5 brebis/0,72 ha, 2 jours sur 15) ;

1 BHA : modéré (5 brebis/0,36ha, 2 jours sur 15) ;

4 BHA : fort (10 brebis/0,36 ha, 2 jours sur 15) ;

8 BHA : très fort (20 brebis/0,72 ha, 2 jours sur 15).

Le tableau montre que la détachabilité du sol présente une variabilité saisonnière assez importante. Elle est plus élevée après les saisons sèches qu'après les saisons humides. Ceci est dû à l'effet de pulvérisation de la surface du sol sous l'action du piétinement, qui est beaucoup plus prononcé durant les saisons sèches que durant les saisons humides.

iv. Le bois de feu

Les prélèvements de biomasse sous la forme de bois de feu au niveau des écosystèmes naturels sont, par endroits, largement supérieurs aux quantités produites par les écosystèmes. Au Maroc, le bois représente la deuxième source d'énergie. L'analyse de la production de bois de feu à l'échelle nationale fait apparaître un grave déficit entre la production et les besoins. Ces derniers sont estimés à 10,5 millions de m^3 , alors que la production naturelle de la forêt marocaine ne dépasse pas 3 millions de m^3 (FAO, 1983). Pour combler ce déficit, les prélèvements se font au détriment du capital végétal. Cela fragilise les écosystèmes et expose le sol à l'érosion (Tableau 3).

Tableau 3 : Influence de la coupe des arbres sur le ruissellement et l'érosion en forêt du Nord Mexique (Descroix & al., 2000).

Parcelle de 50 m ²	Sans arbre	Sans arbre mais avec litière	Sous arbre
Coefficient de ruissellement en %	23	8,5	2,8
Erosion en T/Km ²	133	30,5	1,11

Il ressort de ce tableau qu'à l'échelle de la parcelle, le déboisement accroît considérablement l'érosion et le ruissellement.

v. L'incendie

Les incendies de forêt menacent de plus en plus les forêts marocaines. Ils ravagent de vastes étendues d'écosystèmes forestiers. Les feux de forêt sont relativement rares dans le Sud et le Centre du pays, mais sont assez fréquents dans le Rif et, dans la plus grande majorité des cas, ils prennent naissance et s'étendent dans les périmètres de reboisement à base de conifères. Durant les années de sécheresse, l'ampleur des incendies de forêt augmente par rapport à la moyenne. Ainsi, en raison de la sécheresse, la superficie ravagée par le feu au cours de l'année 1995 a atteint 6 824 ha dont 5 800 ha dans la région du Rif occidental (MEMEE, 2001, Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement).

Les études quantitatives montrent que l'érosion est forte immédiatement après l'incendie, car les sols deviennent très sensibles à l'érosion hydrique, en particulier lorsque cette période coïncide avec la saison des pluies torrentielles (Gimeno & al., 2007). Dans le premier mois après un incendie, la perte en sol peut être 40 fois plus grande que sous la protection d'une forêt et l'écoulement peut être 80 fois plus grand (Sala, 2000). Lors de la première année après le feu, l'érosion des sols dépend à la fois du cumul de précipitations et de l'intensité des pluies au pas de 30 minutes (I30). Cependant, la composante qui influence la production de sédiments semble être l'intensité des pluies (I30) et la perte maximale en sol se produit lorsque l'intensité des pluies est supérieure ou égale à 20 mm.h⁻¹. La vulnérabilité des sols après l'incendie est expliquée par la calcination de la végétation, qui agit sur l'érosion en réduisant les taux d'infiltration. L'absence de végétation laisse le sol sans protection contre les effets « splash » et augmente l'écoulement de surface. Ainsi, selon l'extension des aires brûlées, on peut s'attendre à une augmentation de l'envergure des inondations.

vi. L'exploitation minière

Les exploitations minières sont souvent à l'origine d'un accroissement des phénomènes d'érosion et de sédimentation. Les travaux miniers peuvent, dans certains cas, couper le réseau de drainage naturel et modifier les phénomènes de ruissellement et d'érosion dans les bassins fluviaux. Sans prévention adéquate et stratégie de contrôle, cette exploitation peut également entraîner un déversement excessif des sédiments dans les cours d'eau et modifier la qualité de l'eau.

vii. L'urbanisation et la pression démographique

En agglomérant la population dans les villes, chaque civilisation a créé des conditions locales favorables au développement du ruissellement, à l'accélération de l'érosion et de la dégradation de la fertilité des sols. Les villes et les routes sont des milieux peu perméables qui accroissent les volumes ruisselés, accélèrent le ravinement, provoquent des inondations et des dépôts de boues (exemple : inondation du mardi 15 septembre 2009 à Rabat). La demande urbaine en vivres entraîne l'extension des cultures sur des terres situées à la périphérie de l'agglomération, l'intensification des techniques culturales et l'augmentation des risques de dégradation des sols.

1.2- Problématique de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Tleta (Tangérois)

Au Maroc, la zone du Rif a connu une pression importante de l'homme, manifestée par le défrichage, le surpâturage et des pratiques culturales favorisant l'érosion des sols. Cette pression anthropique a intensifié l'érosion hydrique. Ainsi, sur une période de 20 ans, Merzouk (1996) a estimé la régression du matorral au profit de la culture des céréales sur des terrains en pente à 15% de la superficie du bassin versant de Tleta. Cette transformation de l'occupation du sol rend les versants du Tangérois plus exposés à l'action érosive du ruissellement. Ce même bassin a présenté une dégradation spécifique de l'ordre de 24 à 30 T/ha/an de 1976 à 1996. Ces quantités de terres érodées ont réduit la capacité de stockage initiale du barrage d'environ 20% sur cette même période (1% par an).

L'érosion des sols se traduit par des coûts importants en termes de réduction de la productivité des terres agricoles en pente. Dans le cas de bassin versant de Tleta, la perte de fertilité a été estimée à 41, 16 et 20 kg/ha/an respectivement en azote, phosphore total et potassium

assimilable (Merzouk, 1996). Exprimée en termes de coût de remplacement de cette fertilité, perdue à jamais avec les sédiments, elle s'évalue à plus de 1400 DH/ha/an pour les trois éléments N, P et K. On note que le programme économique et social prioritaire intégré des préfectures et des provinces du Nord, élaboré en 1998 par l'agence APDES/PPNR (**A**gence **P**our la **P**romotion et le **D**éveloppement **E**conomique et **S**ocial des **P**réfectures et **P**rovinces du **N**ord du **R**oyaume), identifie l'érosion comme une contrainte majeure au développement durable du Rif et prescrit des actions de conservation des sols.

1.3- Effet du couvert végétal sur l'érosion hydrique

Afin de comprendre la relation entre l'évolution de l'occupation du sol et l'érosion, il est important de rappeler l'effet du couvert végétal sur l'érosion hydrique. En effet, le couvert végétal (mort ou vivant) a des effets directs et indirects sur l'érosion, dont les principaux sont :

- la dissipation de l'énergie cinétique des gouttes de pluie ;
- l'amélioration de l'agrégation et de la porosité du sol par les racines ;
- la diminution de la vitesse de ruissellement et ainsi la réduction de la force de détachement des particules du sol par l'eau qui ruisselle ;
- la contribution à la stabilité structurale du sol par l'apport de matière organique (Echehab, 1990).

Plusieurs études, menées dans différentes conditions environnementales, ont prouvé l'effet positif de la couverture végétale dans la protection du sol contre l'érosion. De ce fait, de nombreux chercheurs ont orienté leurs investigations pour expliquer les mécanismes d'action de la végétation et l'influence des différents types de couvert végétal sur l'érosion hydrique.

1.3.1 Les mécanismes d'action de la végétation

La végétation peut intervenir pour lutter contre l'érosion de deux manières principales : d'une part elle peut empêcher l'érosion de se produire, jouant ainsi un rôle de protection « active » contre l'érosion et d'autre part elle peut piéger et retenir les sédiments érodés à l'amont du versant en jouant alors un rôle « passif » contre l'érosion en piégeant les sédiments à l'amont d'un recouvrement végétal dressé ou couché à la surface du sol (Rey & al., 2002).

1.3.1.1 Rôle de la végétation contre l'ablation

La végétation protège les sols de l'ablation par réduction de l'énergie cinétique des agents érosifs et maintient des sols.

i. Réduction de l'énergie de l'érosion pluviale

La végétation permet de réduire l'énergie de l'érosion pluviale en interceptant des gouttes de pluie grâce aux parties aériennes des plantes. Cette interception est fonction de l'indice foliaire et de la structure du couvert végétal (Cosandey & al., 2000 ; Rey & al., 2004). La capacité d'infiltration des sols, accrue par la matière organique et par l'enracinement du couvert herbacé, diminue le pouvoir érosif de la pluie en limitant le ruissellement. Sur une bande de végétation large de 6 mètres. Le Bissonais & al. (2005) ont relevé une diminution de l'érosion allant de 76 à 98 % à l'aval de cette bande de végétation. En forêt, les précipitations journalières inférieures à 2 mm sont presque entièrement interceptées par le couvert végétal. Au-delà de 2 mm de pluie journalière, l'interception diminue selon une fonction logarithmique lorsque l'intensité de la pluie augmente. Par son couvert, la végétation (morte ou vivante) joue ainsi un rôle de protection mécanique : elle permet de diminuer l'énergie cinétique des gouttes de pluie et de réduire l'effet de splash (Geddes & Dunkerley, 1999), surtout grâce aux litières qui protègent la surface sous-jacente du sol. Il a été montré qu'un minimum de 30% de couverture du sol par les débris végétaux est nécessaire pour réduire de 70% l'érosion par rapport à un sol nu (Corbane, 2006).

ii. Réduction de l'énergie du ruissellement

Au même titre que la rugosité superficielle du sol, le couvert végétal augmente les forces de frottement et constitue un obstacle au ruissellement. Ceci se traduit par un ralentissement des écoulements superficiels et une augmentation de l'infiltration de l'eau. Giordano (1994) rapporte qu'entre des terrains nus et une forêt, le ruissellement diminue et le temps d'écoulement de la pluie augmente jusqu'à 500 fois. De plus, la végétation améliore les propriétés physiques et chimiques des sols. C'est notamment le cas pour la végétation feuillue, considérée comme une formation végétale « améliorante » pour les sols (Rey & al., 2004). La régulation hydrologique jouée par la végétation a ainsi pour effet de diminuer la quantité, la concentration et le débit du ruissellement.

iii. Maintien des sols

La végétation permet de maintenir les sols en place grâce aux systèmes racinaires. Elle améliore la cohésion des agrégats du sol et renforce leurs propriétés mécaniques. Les racines pénétrant à 50 cm dans un sol peuvent doubler la consolidation de ce dernier, permettant ainsi de maintenir le sol et de minimiser la quantité du sol érodé.

1.3.1.2 Rôle de la végétation en faveur de la sédimentation

La végétation exerce un effet favorable sur la sédimentation des particules, grâce à des processus de piégeage et de rétention d'une partie des sédiments érodés à l'intérieur d'un bassin versant (figure 5). Bien que Beuselinck & al. (2000) aient montré que la végétation est d'avantage susceptible de piéger les sédiments fins, d'autres études ont montré que les sédiments grossiers pouvaient également être piégés par des obstacles végétaux (Cammeraat & Imeson, 1999). Sur une zone marneuse en érosion de surface inférieure à 500 m², un obstacle végétal recouvrant 20% de cette zone et situé entièrement à son aval peut permettre de maîtriser complètement la sortie de sédiments de celle-ci (Rey & al., 2004).

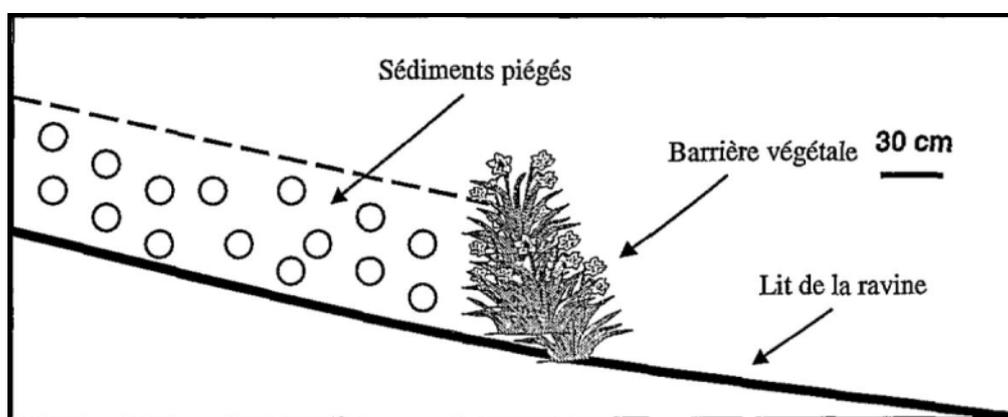


Figure 5: Piégeage de sédiments par une barrière végétale dans un lit de ravine (Rey & al., 2004).

Les végétaux constituent en effet un obstacle au ruissellement. Ils peuvent également se développer au contact des sédiments atterris arrivant au niveau de l'obstacle après chaque phase de ruissellement, colonisant ainsi les sédiments piégés (figure 6). Cette dynamique végétale naturelle peut permettre d'une part de retenir durablement les sédiments piégés, grâce au développement des systèmes racinaires, d'autre part d'augmenter la capacité de piégeage des obstacles végétaux. En conséquence, à l'intérieur des bassins versants, de grandes quantités de sédiments érodés peuvent être piégées par des obstacles végétaux et ne rejoignent pas l'exutoire des bassins.

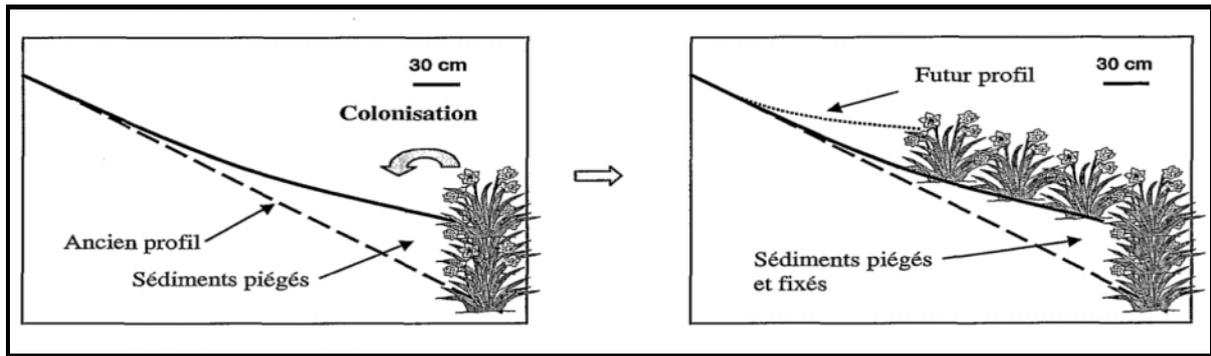


Figure 6: Dynamique végétale après piégeage de sédiments par une barrière végétale (Rey & al., 2002).

1.3.1 Efficacité des différentes formations végétales

L'effet de la végétation peut être différent selon le type de la formation végétale. Certains auteurs affirment que la forêt constitue la meilleure protection contre l'érosion hydrique de surface en montagne. D'autres auteurs ont observé qu'une couverture arbustive ou une végétation basse peut offrir une protection similaire à celle jouée par des arbres (Francis & Thornes, 1990 ; Rey & al., 2004). Ayed & Mohammad (2010) ont démontré que la végétation naturelle dominée par *Spinosa* sp. (Un arbuste) limite les risques de ruissellement et d'érosion des sols. Giordano (1994) rapporte qu'un sol forestier favorise l'infiltration de l'eau dans le sol plus qu'une autre occupation du sol en raison d'une pédogénèse plus poussée sous forêt car la biomasse, l'activité biologique et l'enracinement sont plus importants. Le rôle de la couverture herbacée est souvent dénigré, alors que, bien souvent, elle peut être très efficace pour lutter contre l'érosion hydrique de surface. L'action de l'herbe ou du gazon peut être optimale en mélange avec une formation arborée, les arbres permettant de dessécher les couches profondes, tandis que les herbes minimisent le ruissellement diffus. Toutefois, la couverture herbacée est bien souvent insuffisante pour lutter efficacement contre l'érosion linéaire. Les sols cultivés restent les plus vulnérables à l'action érosive de la pluie et enregistrent les taux d'érosion les plus élevés (Tableau 4) car ils restent nus une partie de l'année et principalement au cours des périodes les plus pluvieuses.

Tableau 4 : Effet de l'occupation des terres sur la perte en terre (Echehab, 1990).

Occupation du sol	Perte en terre en T/km ² /an			
	Pente %			
	0-8	8-20	20-45	>45
Cultures annuelles	80	160	260	360
Parcours naturel	30	60	100	160
Reboisement	5	10	16	24
Forêt naturelle	3	6	8	10

1.3.2 L'effet de l'utilisation des terres

Dans le contexte général de l'utilisation des terres et de son effet sur l'érosion, on intègre souvent l'effet :

1. de la litière et les débris végétaux ;
2. de l'apport du fumier et des fertilisants ;
3. de la jachère ;
4. du labour ;
5. de la rotation des cultures ;
6. du type de culture pratiquée ;
7. des caractéristiques des sols et de leur évolution en fonction des pratiques culturales.

1.3.2.1 Rôle de la litière et les débris végétaux

La litière correspond à toute matière végétale et organique en décomposition. Sa forte concentration due à un transport par le ruissellement de surface fournit une indication sur la présence de dépôts sédimentaires. Grâce à la double action qu'elle joue dans la réduction de l'énergie cinétique de la pluie et dans le ralentissement de l'écoulement, la litière a un rôle important dans la protection de la surface sous jacente de l'impact des gouttes de pluie.

Une litière forestière hétérogène et perméable joue un rôle d'éponge et peut ainsi absorber plus de 10 mm d'eau (Rey & al., 2002). Lorsque les débris végétaux se présentent en forte concentration et couvrent au minimum 30 % du sol, ils réduisent de 70 % l'érosion par rapport à un sol nu (Corbane, 2006). Une parcelle couverte de quelques centimètres de paille (4 à 6 tonnes/ha), protège le sol aussi bien qu'une forêt dense haute d'une trentaine de mètres, même en année très pluvieuse (Barhmi, 1980).

1.3.2.2 *L'effet de l'apport du fumier et des éléments fertilisants*

L'apport de fumier et de fertilisants a un effet notable en matière de conservation du sol. Sur des parcelles expérimentales semées en blé, les pertes en terre enregistrées étaient plus faibles dans les champs qui ont reçu une fumure minérale, alors qu'elles étaient plus importantes dans les parcelles témoins (Heusch, 1970b) (tableau 5).

Tableau 5 : Effet de la fumure organique et minérale sur l'érosion (Heusch, 1970b)

Action	Erosion en T/km ² /an
- Sol nu travaillé	9 636
- Sol nu travaillé + fumure	8 311
- Maïs non fertilisé	896
- Maïs + phosphore + fumier	735

1.3.2.3 *L'effet de la jachère*

La jachère permet une évolution de la matière organique vers sa minéralisation, favorisée par le travail de la terre et elle enrichit les sols en azote. Les terres en repos favorisent la restitution de la matière organique et d'éléments chimiques nécessaires pour stabiliser la structure des sols. Cependant, la pratique de la jachère ne reste pas sans effets négatifs sur l'état des sols. Cependant, la pratique de la jachère ne reste pas sans effets négatifs sur l'état des sols. Les terrains en jachère, dépourvus de toute végétation après leur déchaumage en été, durcissent et se compactent avec la sécheresse estivale qui se prolonge parfois jusqu'au mois de novembre (ce n'est pas le cas des jachères travaillées). Ceci réduit leur capacité d'infiltration et favorise le ruissellement, d'où la naissance de multiples rigoles sur ces terrains lors des premières pluies d'automne qui sont souvent intenses et violentes. Des essais d'infiltration menés à Douar Ali Lafhal situé dans les montagnes du Prérif Oriental (Maroc), montrent que l'infiltration sur des sols issus des marnes et marno-calcaires miocènes, passe de 2,8 cm/h sur une parcelle en jachère non travaillée à 4cm/h sur une parcelle fraîchement travaillée (Tribak & Morel, 2004). Les fentes de dessiccation, très nombreuses sur les jachères à matériel argileux, favorisent l'infiltration en début de pluie. Mais, suite à l'imbibition du sol par des averses successives, ces terrains (en pente) connaissent un ruissellement important lorsque les averses se cumulent sur de longues périodes. De ce fait, les pluies d'automne,

souvent agressives, peuvent engendrer des ruissellements très élevés si les sols sont suffisamment humectés. Sur des jachères continues et sols à texture limono-argileuse, les coefficients de ruissellement sont très forts, compris entre 24 et 61% (Al Karkouri & al., 2000). Il est important de signaler que les terrains en jachère ne se comportent pas tous de la même manière; leur dynamique reste contrôlée par des paramètres liés aux caractéristiques des sols, de la pente et des aspects géomorphologiques des versants.

1.3.2.4 L'effet du labour

Les terrains labourés se comportent différemment vis-à-vis du pouvoir érosif des pluies. Certains auteurs affirment que le labour augmente la porosité des sols et, par conséquent, leur capacité d'infiltration. Il permet de casser les croûtes superficielles et de renforcer la rugosité. De telles conditions contribuent à retarder la naissance du ruissellement, voire à l'empêcher totalement en cas de pluies de faible intensité (Tribak & Morel, 2004). D'autres estiment que si le labour améliore temporairement l'infiltration, il accélère la minéralisation de la matière organique et affaiblit la résistance des agrégats à l'énergie des pluies (Sabir & Roose, 2004). Une expérimentation réalisée sur des paires de parcelles labour/non-labour a démontré que sur l'horizon 0-10 cm, la biomasse microbienne a augmenté de 26 % après 3,5 ans de non-labour et de 47 % après 6,5 ans; la stabilité structurale a augmenté de 7 à 9 % en moyenne après 3 à 5 ans de non-labour. Après 6 ans, une première érosion hydrique est observée sur cette paire : une mesure volumétrique des rigoles en juin sur maïs indique une diminution de 63 % de l'érosion sur la parcelle en non-labour (Delaunois, 2004). Le non labour, en réduisant la minéralisation de la matière organique, favorise l'activité biologique du sol, augmente la stabilité structurale du sol (Tableau 6) ainsi que sa porosité. Ces paramètres permettent d'améliorer l'infiltration et de minimiser le ruissellement et l'érosion (figure 7). Mais le non labour répété favorise la compaction, etc.

Tableau 6 : Effet du travail du sol sur le taux d'agrégats stables à l'eau (IS en %) (Mrabet & al., 2004)

Système de travail du sol	Profondeur en mm		
	0-25	25-70	70-200
Semis direct	59	54	51
Labour conventionnel	58	48	44

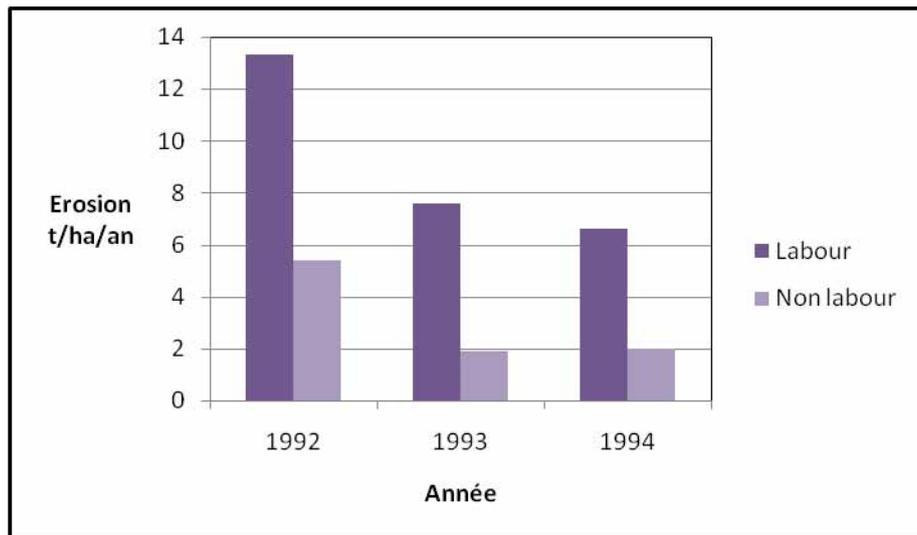


Figure 7 : Quantités de terre érodée dans des parcelles labourées et non labourées (Boli Baboule & Roose, 2004)

1.3.2.5 Rôle du type de culture

Les terres cultivées sont sujettes à des réseaux d'incisions en rigoles qui peuvent causer des pertes en terre impressionnantes sous certaines conditions. Elles ont cependant des comportements différents vis-à-vis des processus d'érosion linéaire en fonction des cultures pratiquées. Le caractère saisonnier des cultures annuelles fait que les risques d'érosion restent très élevés sur la majorité des sols cultivés de cette façon. Les cultures semées à l'automne (céréales, légumineuses) ne commencent à couvrir le sol qu'à partir du mois de janvier, plus tard quand la sécheresse persiste jusqu'au mois de novembre ou décembre, ce qui engendre un retard du recouvrement des sols. Les terrains de culture restent donc nus pendant une bonne partie de l'année et sont directement exposés aux agents dégradants (Tribak & Morel, 2004). Selon Le Bissonais & al. (2005), les cultures ne couvrent pas plus que 20% de la surface du sol pendant la période au cours de laquelle les précipitations sont les plus agressives.

Suite aux énormes dégâts qui se sont manifestés sur les terres agricoles à cause de l'érosion hydrique, plusieurs études ont cherché à comparer l'aptitude de certaines cultures à protéger les sols de l'effet érosif des pluies. L'orge, par exemple, présente un taux d'érosion inférieur de 26% à celui du blé. Cette plus grande aptitude de l'orge à protéger le sol de l'érosion est expliquée par son pouvoir de tallage important et sa meilleure tolérance à la sécheresse. L'orge est donc considérée comme une culture moins érosive que le blé. D'une manière générale les terres cultivées par des céréales sont extrêmement sensibles à l'érosion hydrique. Si les précipitations annuelles sont supérieures à 700 mm, le ruissellement à l'échelle de ces

terres peut dépasser 24% du total des précipitations (García-Ruiz, 2010). Certaines légumineuses, telles que la luzerne, sont considérées comme des cultures couvrantes et conservatrices du sol, mais les variétés doivent être bien adaptées aux conditions locales pour assurer une bonne couverture du sol.

1.3.2.6 La rotation des cultures

La rotation des cultures a toujours été utilisée dans le but d'améliorer la fertilité du sol. Mise à part la fertilité, la rotation des cultures peut être utilisée afin d'arrêter le développement d'une épidémie ou d'une maladie spécifique à un type de culture ou afin de changer la profondeur du sol utilisée par les racines pour améliorer la disponibilité en eau et en éléments nutritifs. Des expériences effectuées à la station de conservation des sols de l'Oklahoma (USA) montrent l'influence favorable de la rotation des cultures sur le ruissellement et les pertes en terre (Tableau 7).

Tableau 7: Influence de la rotation des cultures sur le ruissellement et les pertes en terre (Barhmi, 1980)

Système de culture	Ruissellement en %	Pertes en terre en tonnes/ha/an
Culture continue de coton	14,4	60
Culture de coton en rotation avec d'autres plantes	11,5	13,5

1.3.2.7 L'effet d'utilisation des terres sur les caractéristiques des sols

Le mode d'utilisation des terres a un effet net sur les différentes caractéristiques du sol. Sabir & al. (2007) ont démontré que les valeurs les plus élevées de la teneur en matière organique sont enregistrées sous les couverts forestiers (> 4%), et les valeurs les plus faibles sont observées (< 2,4%) dans les sols remaniés par les labours et cultivés (Figure 8). Ainsi, les sols sous forêts et agroforesterie présentent la plus forte proportion de surfaces ouvertes (> 70%), ceux sous matorral la plus faible proportion (33%), avec des valeurs intermédiaires sous cultures (50 à 60%) (Figure 9). Les modifications intervenues dans les états de surface au niveau des terres de cultures et du matorral provoquent un changement dans les comportements hydrologiques des sols. Les capacités d'infiltration finales (If) les plus élevées ont été observées sous forêt et dans les parcelles d'agroforesterie. Les pluies d'imbibition (Pi) sont plus importantes sous forêts, plantations forestières et agroforêts que sur terres mise en culture.

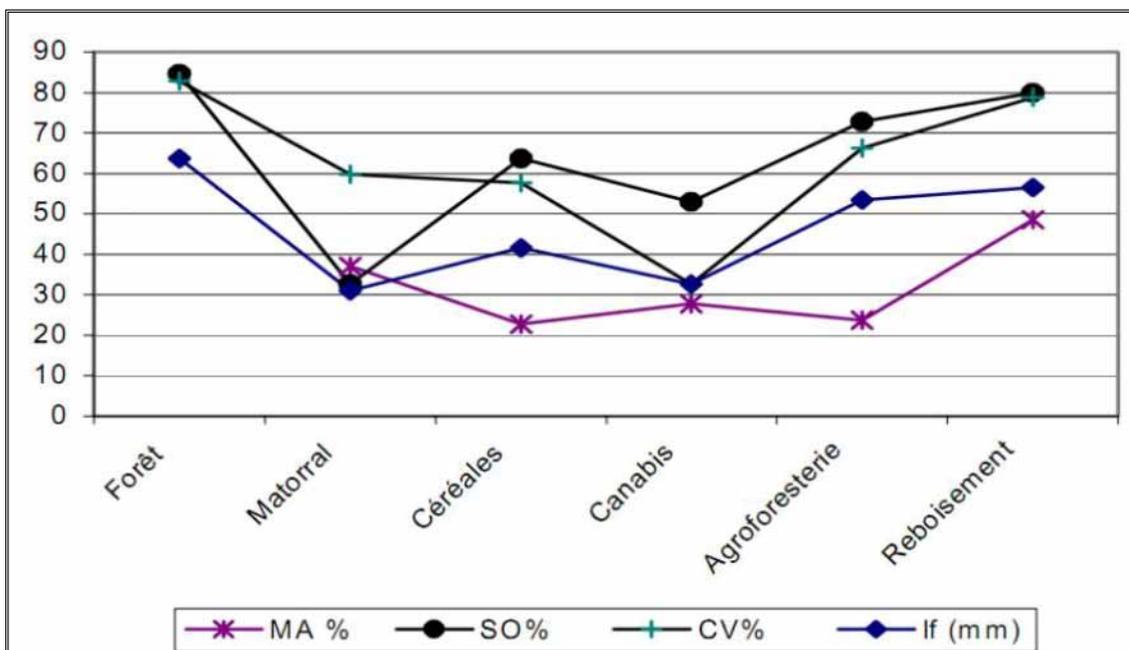


Figure 8: Effets de l'utilisation des terres sur l'état de surface du sol, la stabilité des agrégats et l'infiltrabilité (Rif occidental, Maroc) (Sabir & al., 2007)

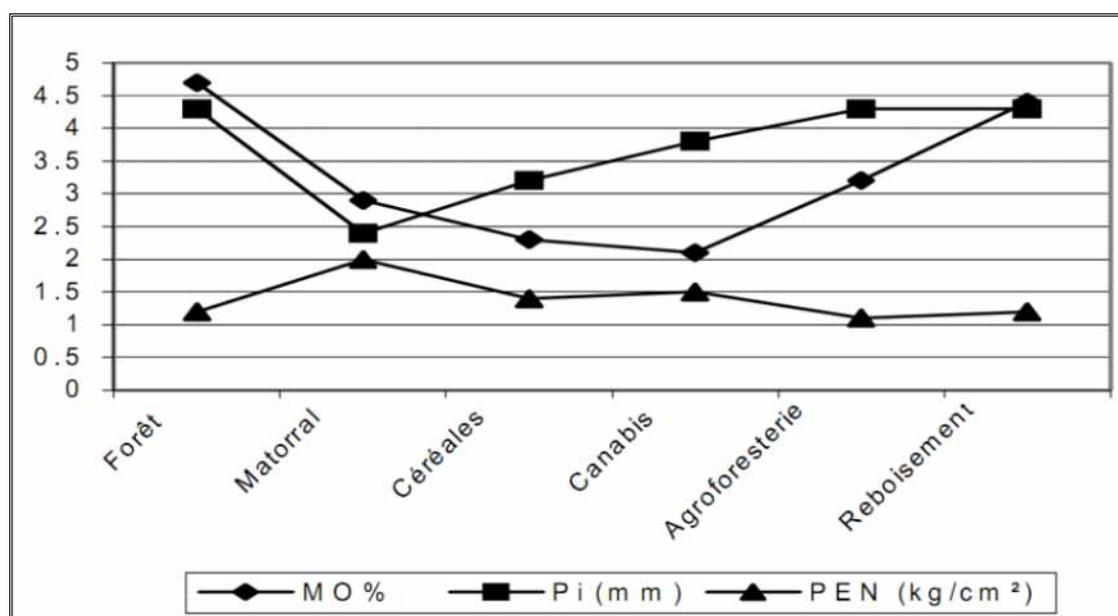


Figure 9: Effets de l'utilisation des terres sur la matière organique, la résistance à la pénétration et la pluie d'imbibition des sols (Rif occidental, Maroc) (Sabir & al., 2007)

MO : Matière organique du sol (de 0 à 10 cm) ;

MA: % de macro-agrégats stables à l'eau ;

SO en % : Surface ouverte (agrégats, fissures, trous biologiques) ;

CV en % : Surface du sol couverte par les cailloux, la litière et les adventices ;

PEN : Résistance (kg/cm²) à la pénétration de la surface du sol sec depuis plus de 5 jours ;

(If) : infiltration finale stabilisée (mm/h) ;

Pi : pluie d'imbibition (mm).

Il ressort de ces résultats que :

- Les forêts naturelles ou plantées couvrent bien le sol, l'enrichissent en MO améliorent l'agrégation et assurent une excellente infiltration ;
- Le matorral surpâturé couvre beaucoup moins bien le sol, il est tassé par l'action de piétinement des animaux et donne beaucoup de ruissellement mais peu de charge solide (érosion minimum);
- Les terres cultivées sont mal couvertes, rapidement appauvries en MO et deviennent instables, d'autant plus vite que les sols sont sableux ; vu leur instabilité, elles se couvrent de croûtes diverses et perdent rapidement leur capacité d'infiltration;
- Les systèmes agroforestiers ont un comportement intermédiaire, leurs sols sont plus riches en MO que les sols cultivés mais ils sont moins cohérents que les sols sous forêt; leur infiltration est donc intermédiaire entre celle des sols de forêt et celle des sols cultivés, elle est fonction de la couverture du sol et des techniques de gestion des résidus organiques.

1.3.3 L'effet de l'architecture des plantes

L'architecture des plantes peut également avoir un impact sur le développement du ravinement et de l'érosion. En effet, les arbres dont les feuilles canalisent les eaux vers le tronc fonctionnent comme un entonnoir et ces eaux, qui se rassemblent à la base du tronc, peuvent être à l'origine d'un cisaillement des billons qui vont drainer ensuite toutes les eaux contenues dans les sillons et provoquer un ravinement. C'est le cas en particulier de l'ananas mais également, dans une moindre mesure, du maïs. L'autre architecture est celle des plantes "parapluie" qui renvoient à l'extérieur les gouttes d'eau et qui dispersent ainsi leur énergie : le bananier et le manioc en sont des exemples. Enfin, on signale l'influence des racines. Les racines superficielles fasciculées retiennent la terre et les racines pivotantes, en augmentant de volume, occupent dans un premier temps les macropores du sol et réduisent l'infiltration, mais, dans un deuxième temps, elles pourrissent et laissent ainsi des tuyaux stabilisés par la matière organique qui favorisent l'infiltration (Roose, 1994).

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par une étude bibliographique pour présenter les mécanismes, les formes et les facteurs de l'érosion hydrique. Ensuite, nous avons détaillé l'effet du couvert végétal sur l'érosion hydrique.

Les nombreuses références bibliographiques présentées dans ce chapitre plaident en faveur d'un rôle important joué par la végétation pour protéger les sols contre l'érosion hydrique. Elles soulignent l'importance, au-delà de la simple prise en compte du couvert végétal total, de la répartition du couvert végétal sur le terrain, du type de couvert et du type d'action de la végétation sur les différents processus érosifs. Cette efficacité de la végétation peut être mise à profit dans la lutte contre les phénomènes érosifs.

C'est dans ce cadre, que nous avons porté notre étude sur l'évolution de l'occupation des sols pour expliquer le changement intervenu dans le taux d'envasement du barrage Ibn Batouta.

Chapitre 2

Matériels et méthodologie

2.1- Présentation de la zone d'étude

Avec la construction de grands barrages comme le barrage Makhazine sur l'oued Loukkos ou comme le barrage El Wahda sur Oued Ouergha, les régions du Nord du Maroc ont bénéficié, depuis une quarantaine d'années, de la réalisation de plusieurs projets de développement, de lutte contre l'érosion hydrique et de conservation des sols. Par ailleurs, le suivi de l'envasement de nombreux barrages, construits au Maroc depuis le début des années 70, a permis de préciser les valeurs moyennes de l'érosion des sols à l'échelle des bassins versants.

Avec une érosion moyenne de 20 à 30 m³/ha/an, le Nord du Maroc apparaît comme la zone la plus fragile et la plus exposée à l'érosion hydrique. Le bassin versant de Tleta, notre zone d'étude, a été choisi dans cette région. Il s'agit d'une zone très anthropisée (urbanisation, mise en culture, etc.) soumise à une forte dégradation du couvert végétal.

2.1.1 Localisation géographique

Le bassin versant Tleta se situe dans le Rif Occidental, à mi-chemin entre les deux grands centres urbains de Tanger et Tétouan. Il est traversé du nord-ouest au sud-est par la route nationale N° 2 qui relie ces deux villes. A mi-chemin, un embranchement conduit à la ville de Larache par la route régionale N°417.

Le bassin versant Tleta couvre une superficie de 17.700 ha (environ 180 Km²) en amont du barrage Ibn Batouta dont la capacité initiale de stockage était égale à 43,6 millions de m³ en 1977, la capacité actuelle (en 2010) étant de l'ordre de 31 millions de m³. Ce bassin versant est drainé par l'oued Kebir formé par la confluence des oueds Sania, Mekabrîyech et Dâhrdâs. A l'aval du barrage Ibn Batouta, l'oued Kebir devient l'oued Marhar après sa confluence avec l'oued Srhir, puis l'oued Tahadart. Avant de se jeter dans l'Océan Atlantique, l'oued Tahadart reçoit l'oued Hachef sur le cours duquel est construit le barrage du 9 avril d'une capacité de stockage supérieure à 300 millions de m³).

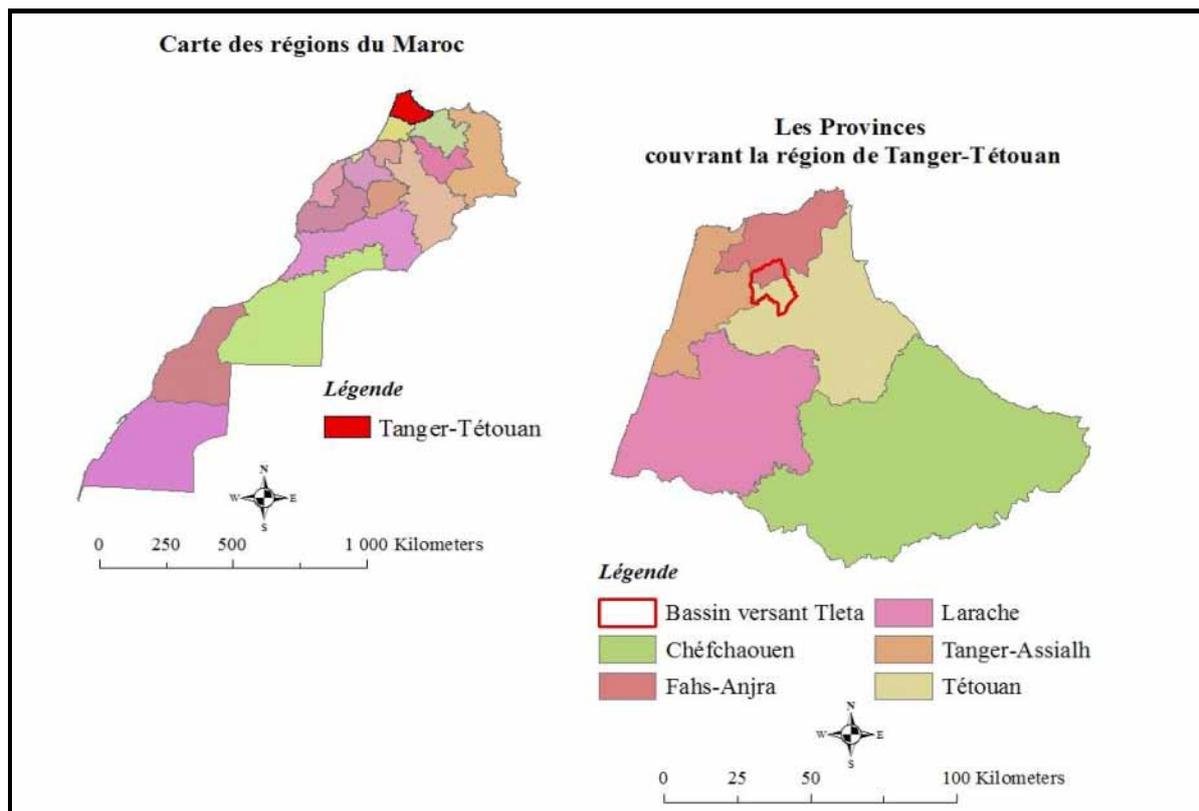


Figure 10: Situation du bassin versant de Tleta par rapport au découpage administratif

2.1.2 Découpage administratif

Le bassin versant de Tleta se situe au cœur de la péninsule Tingitane, sur les derniers flancs nord-ouest de la chaîne rifaine. Il s'étend principalement sur la province de Tétouan et, pour la partie nord du bassin, sur la préfecture de Fahs Anjra (Figure 10). Une petite partie du bassin, sur sa frange ouest, se situe sur la préfecture de Tanger-Assilah. Le bassin versant recoupe les limites administratives de sept communes rurales dont seulement trois couvrent plus de 90% de la superficie du bassin : Jouamaa, Ain Lahsen et Beni Harchen (Figure 11). Le Tableau 8 présente la répartition administrative des communes rurales du bassin versant de Tleta avec les superficies couvertes sur le bassin par chacune de ces communes rurales.

Tableau 8: Répartition administrative des communes rurales sur le bassin versant Tleta depuis 1995. (El Kamoune, 2009)

Province ou préfecture	Communes rurales	Superficie en ha	Pourcentage
Fahs Anjra	Anjra	108	0,16
	Jouamaa	6817	38,53
Tanger-Assilah	Dar Chaoui	302	1,75
Tétouan	Ain Lahsan	5180	26,28
	Bghaghza	13	0,08
	Bni Harchen	4672	26,41
	Souk Kdim	599	3,38
Total		17691	100

Remarque :

Il faut noter qu'un changement est intervenu dans la répartition des communes rurales entre provinces depuis 1995. Avant 1995, les communes de Jouamaa et Anjra étaient rattachées à la province de Tétouan où sont entreposées les archives. Depuis 1995, ces communes sont rattachées à la province de Fahs Anjra (Tanger Sud).

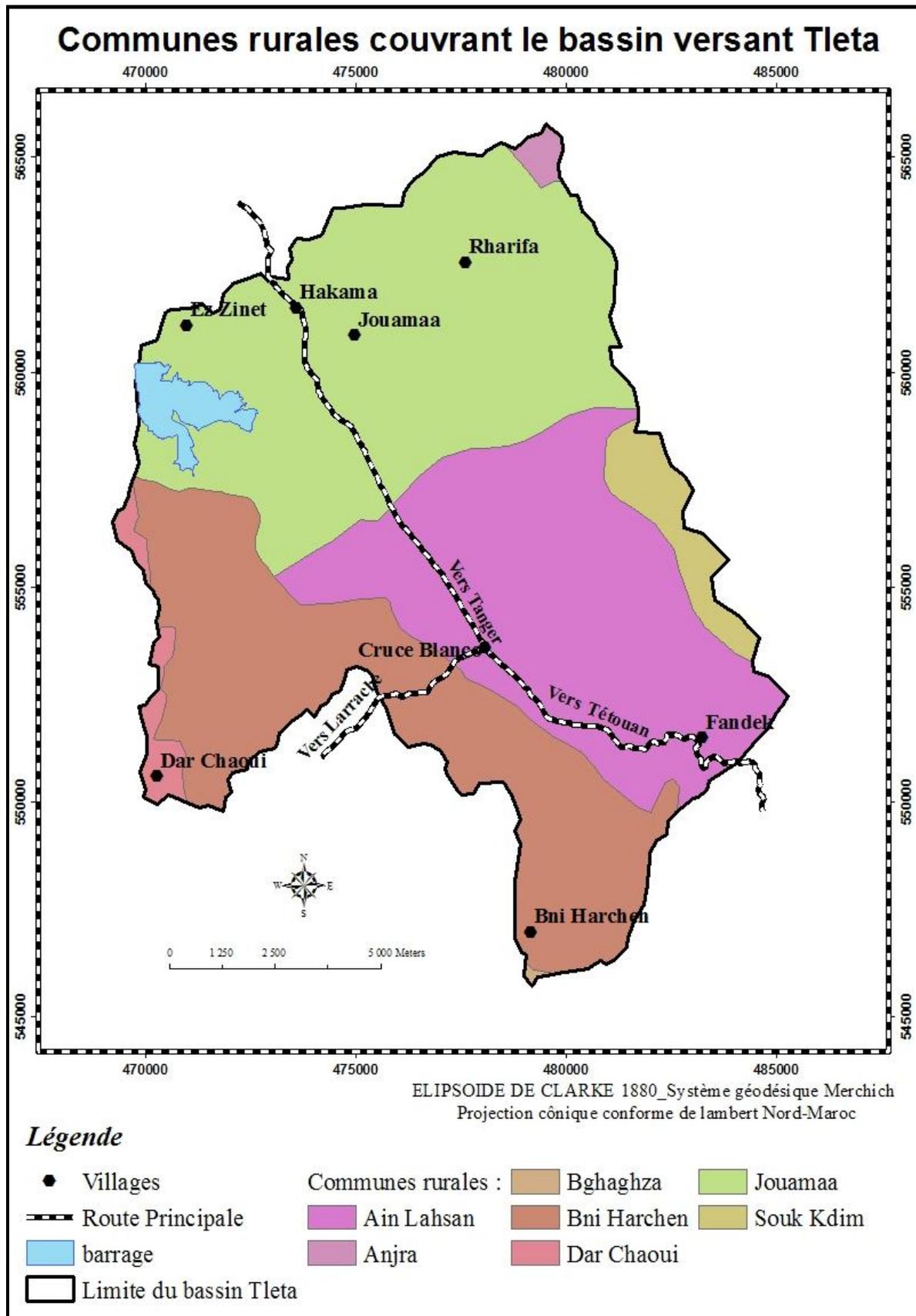


Figure 11: Provinces et communes rurales couvrant le bassin versant de Tleta.

2.1.3 Population

Le tableau 2 présente le nombre d'habitants des communes rurales d'après les résultats des recensements de la population effectués en 1994 et en 2004.

Tableau 9: Populations du bassin versant de Tleta par commune rurale en 1994 et en 2004, avec son taux d'accroissement entre ces deux dates espacées de 10 ans.

Province ou préfecture	Communes rurales	Population		Taux d'accroissement
		1994	2004	
Fahs Anjra	Jouamaa	6 765	7 173	0,6
Tétouan	Ain Lahsan	6 473	6 552	0,1
	Bni Harchen	8 006	7 646	-0,5
Total		52 364	54 792	0,4

Le taux d'accroissement de la population à l'échelle du bassin versant est relativement faible, il est même négatif pour la commune de Béni Harchen. Cependant, le bassin versant Tleta est relativement peuplé, la densité de population y est d'environ 295 habitants/K.m² en 1994 et de 309 habitants/K.m² en 2004.

2.1.4 Géologie

Le bassin versant de Tleta présente les caractères lithologiques et stratigraphiques de la chaîne rifaine dont l'orogénèse est contemporaine de celle des Alpes. Les formations géologiques sont constituées de séries marneuses et schisteuses très tendres. La tectonique du bassin résulte d'un chevauchement par les nappes de charriage à faciès flyshique ou gréseux de l'unité autochtone de Tanger (Maurer, 1968 ; Ezzine, 1998). Le Rif est ainsi subdivisé en trois domaines structuraux (Elhammoudi, 1999 ; El Kamoune, 2009) :

- Le domaine médian ou Rif septentrional ;
- Le domaine interne ou nappe ultra-rifaine ;
- Le domaine externe dont le versant méridional forme la région des collines marneuses.

Dans le bassin versant Tleta, on rencontre presque toutes les formations du Rif Occidental (Elhammoudi, 1999). La carte géologique du bassin est présentée à la figure 12 et la légende de cette carte est présentée dans l'annexe 1.

2.1.4.1 Les nappes de charriage

L'unité de Tanger est surmontée de plusieurs nappes dont la succession, par ordre chronologique de la plus ancienne à la plus récente, est la suivante :

- La nappe de Bni-Idère, constituée d'une base à prédominance marno-calcaire et surmontée d'une série marno-gréseuse épaisse à caractère de flysch, couvre 30% de la superficie totale du bassin ;
- La nappe de Tizirène, formée d'un complexe marno-calcaire surmonté d'un flysch typique, couvre 3% de la superficie du bassin versant ;
- La nappe Numédienne, constituée par une argilite bariolée (verte et rouge) passant au sommet à des grès, couvre 2% de la superficie totale du bassin

2.1.4.2 Nappe de Melloussa

Cette nappe est composée de deux faciès :

- des flyschs pélito-quartzitiques verts avec intercalations de quartzite de couleur rose, d'âge Crétacé moyen, résistants à l'érosion
- de marnes et de flyschs, d'âge Crétacé supérieur, roches tendres et peu perméables, facilement menacées par l'érosion.

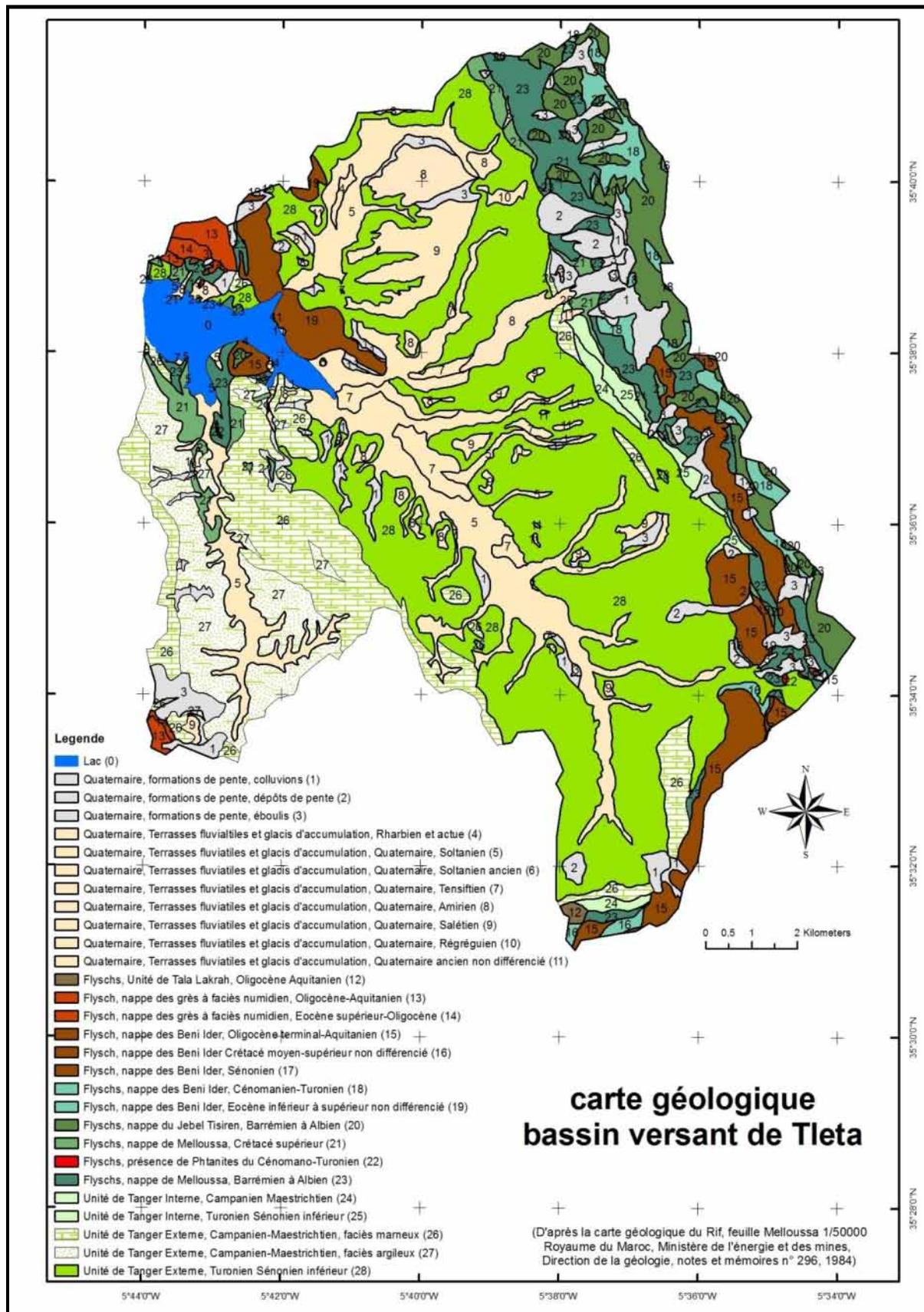


Figure 12 : Géologie du bassin versant de Tleta. (Zante, 2010).

2.1.5 Topographie

Le bassin versant de Tleta est caractérisé par une variation altitudinale importante, allant de 24 m à l'exutoire à 690 m sur le sommet le plus élevé. L'altitude moyenne du bassin est de 171 m, alors que les pentes sont de 16% en moyenne. Deux points culminants dominent le bassin dans sa partie est : les Jbels Rhdir El Haj (690 m) et Mkhaled (627 m), alors que sa partie ouest est nettement moins élevée avec le Jbel Dar Chaoui (477 m) au sud et le Jbel Zinat (360 m) au nord. Les collines qui parsèment le centre du bassin ne dépassent pas 100 à 150 m d'altitude. La majeure partie du bassin versant, c'est-à-dire 60% de sa superficie, se situe au-dessous de 100 m d'altitude (El Kriche, 2009).

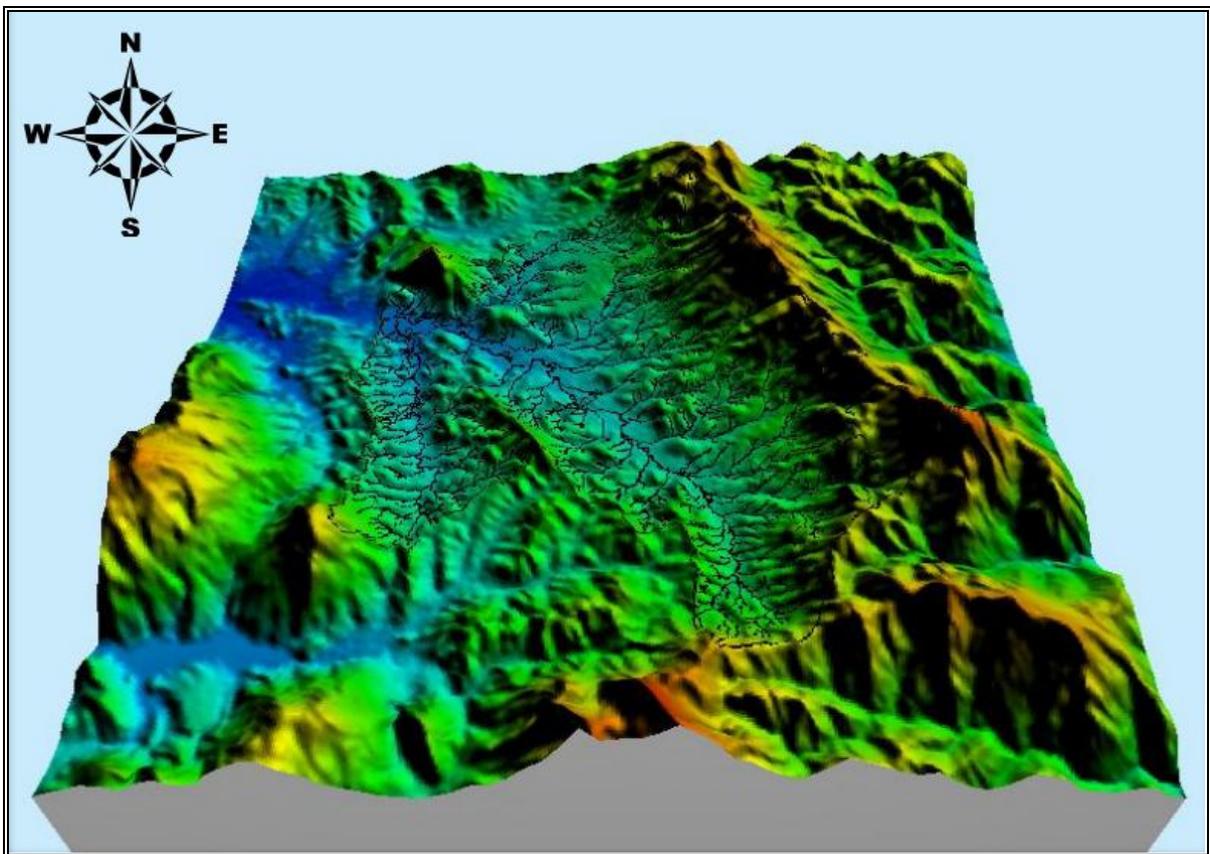


Figure 13 : Vue latérale en 3 dimensions du bassin versant de Tleta (El Kamoune, 2009)

2.1.6 Géomorphologie

Le bassin versant de Tleta est caractérisé par trois unités géomorphologiques : des montagnes dont l'altitude varie entre 400 et 680 m, des collines de 100 à 200 m d'altitude et des plaines alluviales d'altitude inférieure à 100 m. Chaque unité est caractérisée par des pentes nettement différentes : 0 à 10% dans les plaines alluviales, 10 à 30% dans les collines et de 15 à plus de 30% dans les montagnes (Figure 14).

(Figure 14).

2.1.6.1 Montagnes

Elles représentent la zone la plus exhaussée du bassin versant, leur mise en place a pour origine une tectonique complexe. Situées à l'est et au sud du bassin versant Tleta, elles se caractérisent par des pentes très fortes dépassant souvent 30%. Les formes d'érosion telles que les éboulements et la solifluxion y sont assez fréquentes.

2.1.6.2 Collines marneuses

Les collines occupent 50% de la superficie totale du bassin versant. Les pentes sont moyennes à fortes et les versants sont très ravinés essentiellement dans la partie nord et est du bassin versant.

2.1.6.3 Plaines alluviales

Les plaines se situent essentiellement le long des cours d'eau. Les terrasses qui les constituent appartiennent à différents étages du Quaternaire avec, du plus récent au plus ancien : le Gharbien, le Soltanien, le Tensiftien, l'Amirien et le Salétien (Elhammoudi, 1999). Dans cette unité, même si la pente est réduite, les formes d'érosion sont actives avec des sapements de berges qui affectent les rives et plus particulièrement celles qui se trouvent à proximité des méandres.

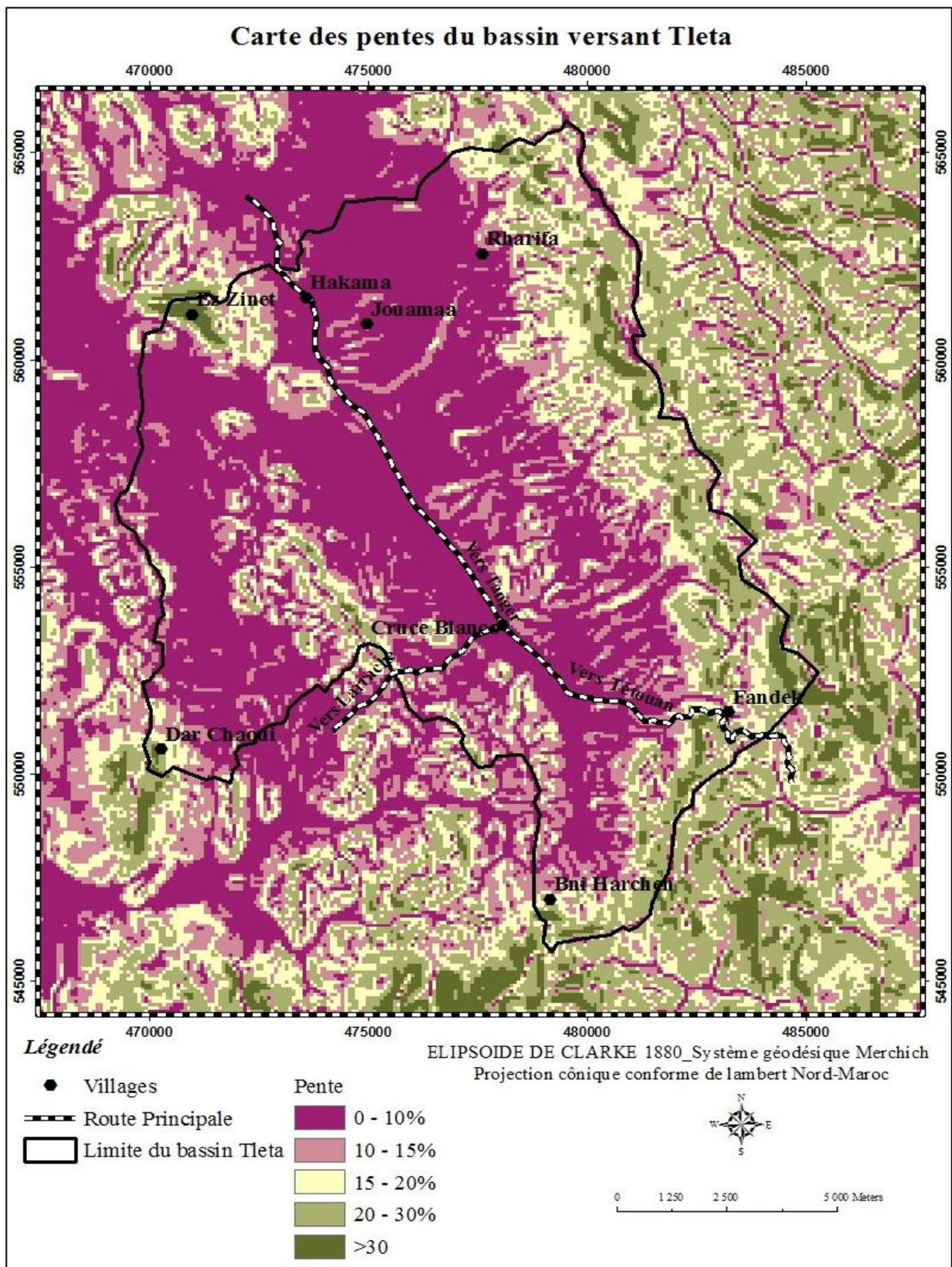


Figure 14: Carte des pentes du bassin versant de Tleta.

2.1.7 Sols

Le bassin versant de Tleta est caractérisé par une mosaïque pédologique où dominent les sols peu évolués (unités 2 à 6), associés à des sols calcimagnésiques dans l'unité 22, à des sols brunifiés dans l'unité 24 ou à des sols minéraux bruts et à des sols brunifiés comme dans l'unité 27. (Figure 15). D'autres classes de sols sont aussi présentes sur le bassin versant (Tableau 10) :

- Des vertisols sur les unités 10 à 14 et 23 totalisant 13,2% de la superficie du bassin ;
- Des sols calcimagnésiques sur les unités 16, 17 et 26 totalisant 9% de la superficie du bassin, ainsi que l'unité 22 couvrant 27% de la superficie du bassin, où ils sont associés aux sols peu évolués;
- Des sols brunifiés sur les unités 18 et 19 totalisant 3% de la superficie du bassin, en association avec des sols minéraux bruts et des sols peu évolués sur les unités 24 et 27 et des sols à sesquioxydes de fer sur l'unité 28; ces associations couvrant près de 30% de la superficie du bassin ;
- Des sols à sesquioxydes de fer et de manganèse qui ne couvrent qu'une très faible superficie du bassin (quelques pourcents);
- Des sols hydromorphes (6,3% de la superficie du bassin).

Les sols issus de l'altération des marnes et des flyschs sont souvent argileux et assez imperméables. Par conséquent, l'eau de pluie s'y infiltre lentement lorsque le sol est bien humecté. Le ruissellement y est alors considérable et la pente accroît la vitesse de l'eau qui se concentre rapidement dans les cours d'eau.

Les sols sur formations alluviales, de fréquence moindre, se présentent différemment selon leur âge. Les plus récents sont calcaires, sableux ou argileux, alors que les plus anciens sont acides, caillouteux et de texture moyenne. Dans les parties hautes des flancs de vallées, on peut rencontrer des dépôts de solifluxion formant un relief plus calme et couvrant des roches plus anciennes. Elles sont souvent caractérisées par une charge plus importante de gros cailloux, une acidité relative et une faible fertilité.

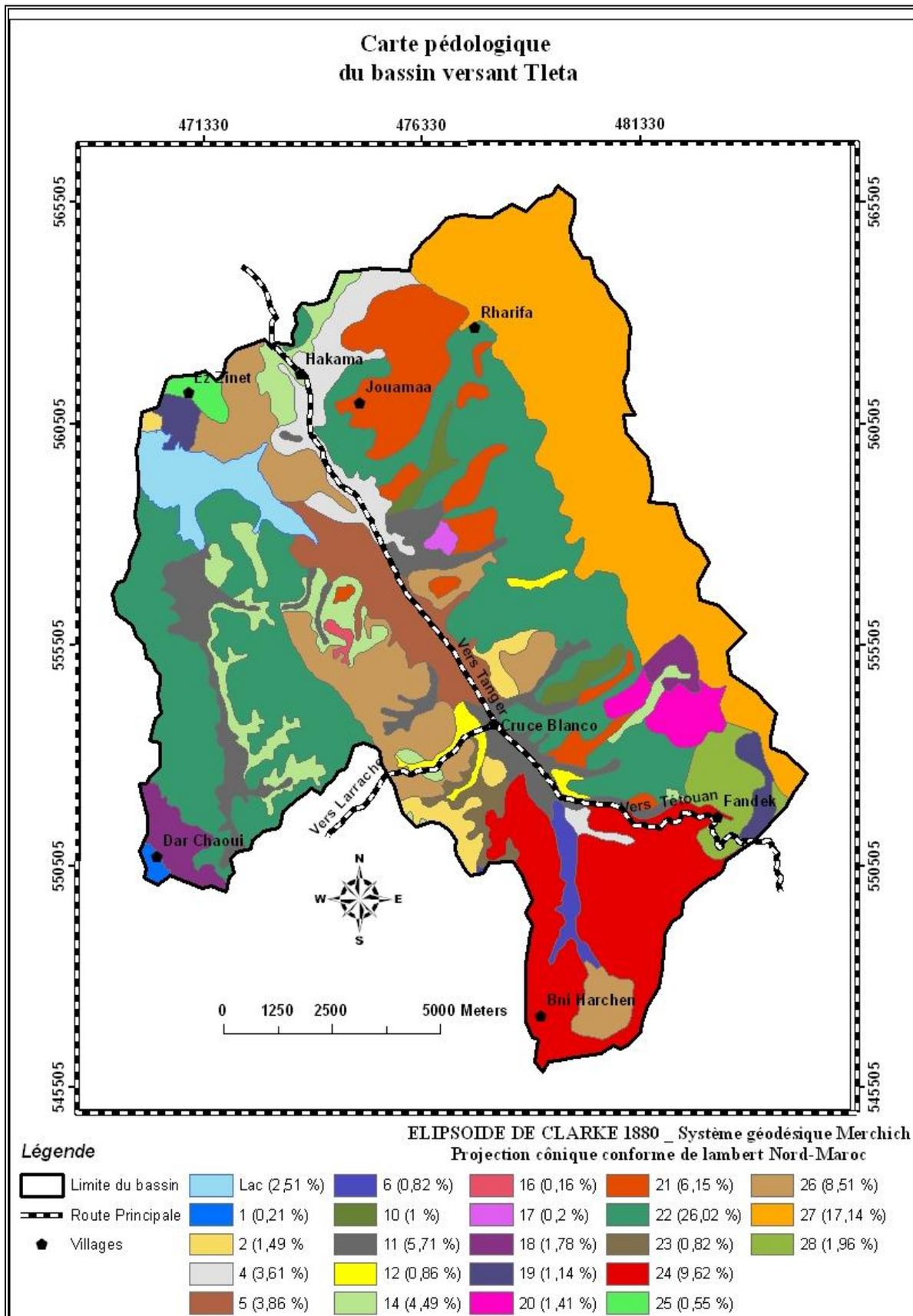


Figure 15 : Pédologie du bassin versant Tleta (Inypsa, 1987 ; El Kamoune, 2009)

Tableau 10 : Classes de sols rencontrés dans le bassin versant de Tleta (Inypsa, 1987).

Unité	Classe	Sous-classe	Groupe	Sous-groupe	Formation géologique	
1	Minéraux Bruts	Non Climatiques	d'érosion	Lithosols	Flysch grésosquartzitique	
2	Peu Evolués	Non Climatiques	d'érosion	Régosoliques	Pélites ou marnes calcaires	
3				Lithiques	Flysch grésosquartzitique	
4			d'apport alluvial	Modaux	à texture hétérogène	
5				Hydromorphes	à texture fine à moyenne	
6				Vertiques	à texture fine	
7				d'apport colluvial	Vertiques	à texture fine
8			Lithohydromorphes		Argiles	
9			Vertisols	Drainage externe nul ou réduit	Structure anguleuse	Modaux
10	Hydromorphes	à texture fine				
11	Drainage externe possible	Structure anguleuse		Modaux	à texture fine	
12				Vertiques	à texture fine	
13				Hydromorphes	à texture fine	
14				Paravertisols	Argiles et colluvions	
15	Calcimagnésiques	Carbonatés		Bruns Calcaires	Modaux	Marnes et calcaires
16					Vertiques	Argiles Calcaires
17			Erodés		Argiles Calcaires	
18	Brunifiés	De climat tempéré humide	Lessivés	Acides	Flysch argilo-gréseux	
19				Hydromorphes	Flysch argilo-gréseux	
20	Sols à sesquioxydes de fer	Ferrugineux tropicaux	Lessivés	Très lessivés	Flysch argilo-gréseux	
21	Hydromorphes	Peu humifères	A Pseudogley	Tâches et concrétions	Alluvions ou colluvions à texture moyenne	
22	Association des Unités 2 et 17					
23	Association des Unités 11, 12, 14					
24	Association des Unités 2 et 18					
25	Association des Unités 1 et 20					
26	Association des Unités 15, 16, 17					
27	Association des Unités 1, 3, 18, 19					
28	Association des Unités 1, 3, 18, 19, 20,					

Tableau 11 : Importance relative des sols rencontrés sur le bassin versant de Tleta (El Kamoune, 2009)

Type des sols	Unité	Superficie absolue (Ha)	Superficie relative %
Minéraux bruts	1	37,13	0,22
Peu évolués	2	263,65	1,53
	4	637,87	3,70
	5	682,2	3,96
	6	144,52	0,84
Total		1728,23	10,02
VERTISOLS	10	176,39	1,02
	11	1009,35	5,85
	12	152,78	0,89
	14	794,35	4,61
Total		2132,86	12,37
Calcimagnésiques	16	27,98	0,16
	17	36,01	0,21
Total		63,99	0,37
Brunifiés	18	315,06	1,83
	19	201,42	1,17
Total		516,48	2,99
Sols à sesquioxydes de fer	20	248,81	1,44
Hydromorphes	21	1088,84	6,31
Unités complexes	22	4603,53	26,69
	23	144,85	0,84
	24	1702,13	9,87
	25	96,66	0,56
	26	1504,69	8,72
	27	3032,5	17,58
	28	347,54	2,01
Total	–	11431,89	66,28
Total général	–	17248,23	100
Lac	–	443,24	–
Total général du bassin versant	–	17691,47	–

2.1.8 Hydrologie, Hydrographie

En étroite relation avec les chutes de pluies le régime hydrologique du bassin versant de Tleta présente une forte irrégularité saisonnière. Le coefficient de ruissellement des sols du bassin dépend principalement de l'état d'humectation des sols, du travail du sol (labours et semis) et du développement du couvert végétal cultivé. Le relief montagneux au substrat fissuré, bien couvert par une végétation arborée ou arbustive, est perméable alors que les terrains qui couvrent plaines et collines sont le plus souvent imperméables en raison de la nature marneuse du substrat. Le ruissellement y est donc important dès que les sols sont bien humectés, soit après un cumul pluviométrique de 200 à 300 mm depuis le début de la saison des pluies. Les cours d'eau peuvent alors générer des crues importantes et violentes.

2.1.8.1 Eaux de surface

Le cours d'eau principal du bassin versant de Tleta est l'oued Sania qui coule du sud vers le nord-ouest au pied de la chaîne montagneuse du Rif Occidental. Il est alimenté en grande partie par des affluents provenant des différents sous bassins orientés est-ouest, à l'exception, de l'oued Dâhrdâs et de l'oued qui draine le bassin de Tnine Beni Harchen qui coulent du sud vers le nord (Figure 16). Ces affluents sont caractérisés par leur régime torrentiel en période de crues et l'importance de leurs débits spécifiques de pointe de crue. Les apports mensuels maxima sont enregistrés entre les mois de décembre et de février sous forme de crues souvent importantes et violentes.

2.1.8.2 Eaux souterraines

La qualité et la quantité des eaux souterraines dépendent de la structure et des faciès géologiques. Les plaines alluviales du bassin, à prédominance argileuse, donnent lieu à des nappes irrégulièrement alimentées et de mauvaise qualité. Les flyschs à dominance gréseuse donnent des aquifères discontinus, généralement de faibles débits (inférieurs à 1 l/s), mais ils constituent l'unique réservoir d'eau de bonne qualité de la zone. Toutes les nappes du bassin ont une extension limitée et une partie non négligeable d'entre elles n'alimentent plus les puits en cas de sécheresse.

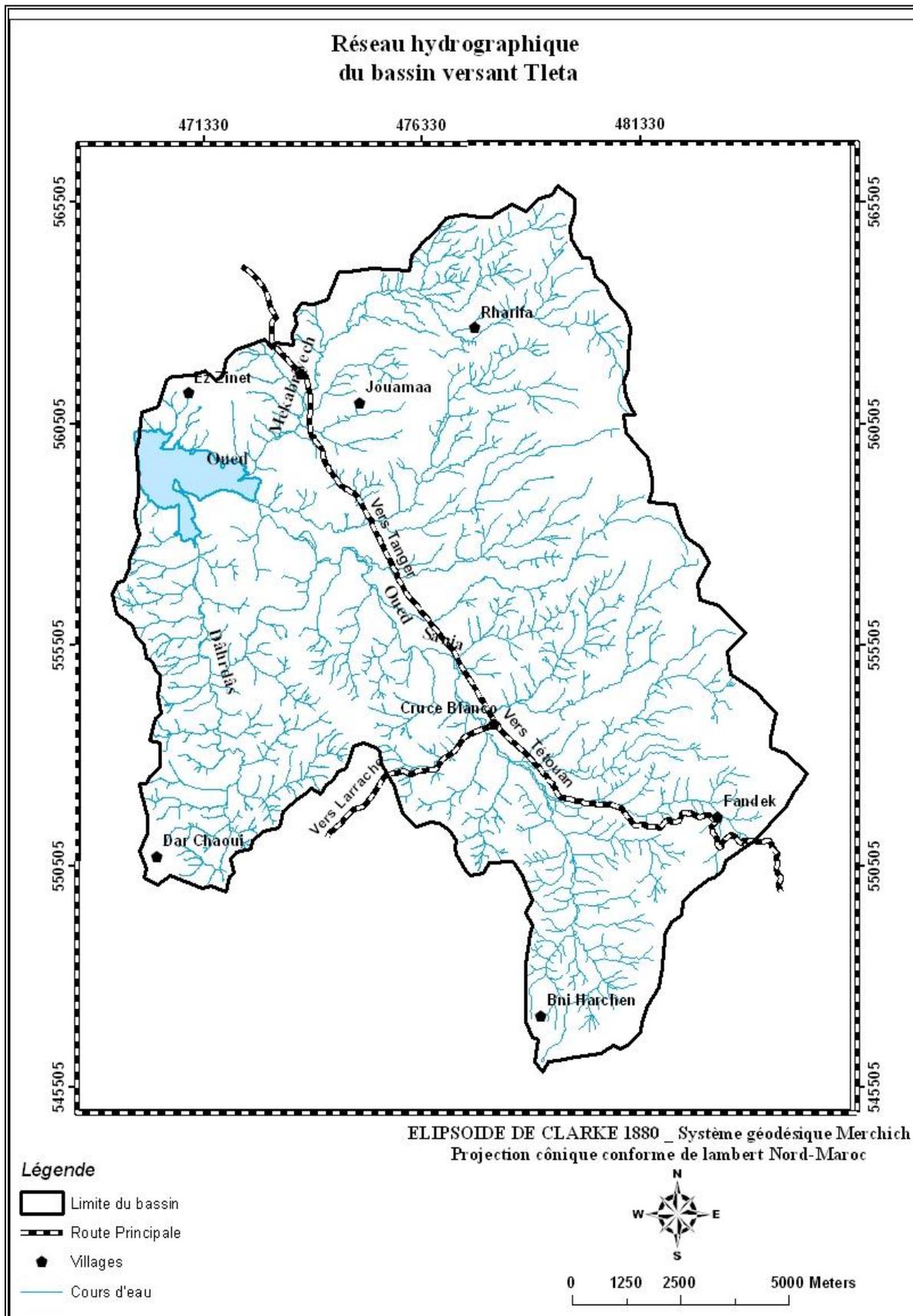


Figure 16: Réseau hydrographique du bassin versant de Tleta. (El Kamoune, 2009)

2.1.9 Climat

Le climat du bassin versant de Tleta est régi essentiellement par la position de l'anticyclone des Açores. C'est un climat de type méditerranéen subhumide à hivers doux, caractérisé par une période sèche entre mai et septembre et une période humide qui s'étale entre octobre et mars (Terras, 2006 ; El Kamoune, 2009).

Afin de déterminer les caractéristiques climatiques qui règnent sur ce bassin, nous avons exploité les données pluviométriques journalières des stations d'Ibn Batouta, de Kalaya, de Romane et de Béni Harchane (Figure 17) et les données mensuelles climatiques des stations météorologiques de Tanger et Tétouan.

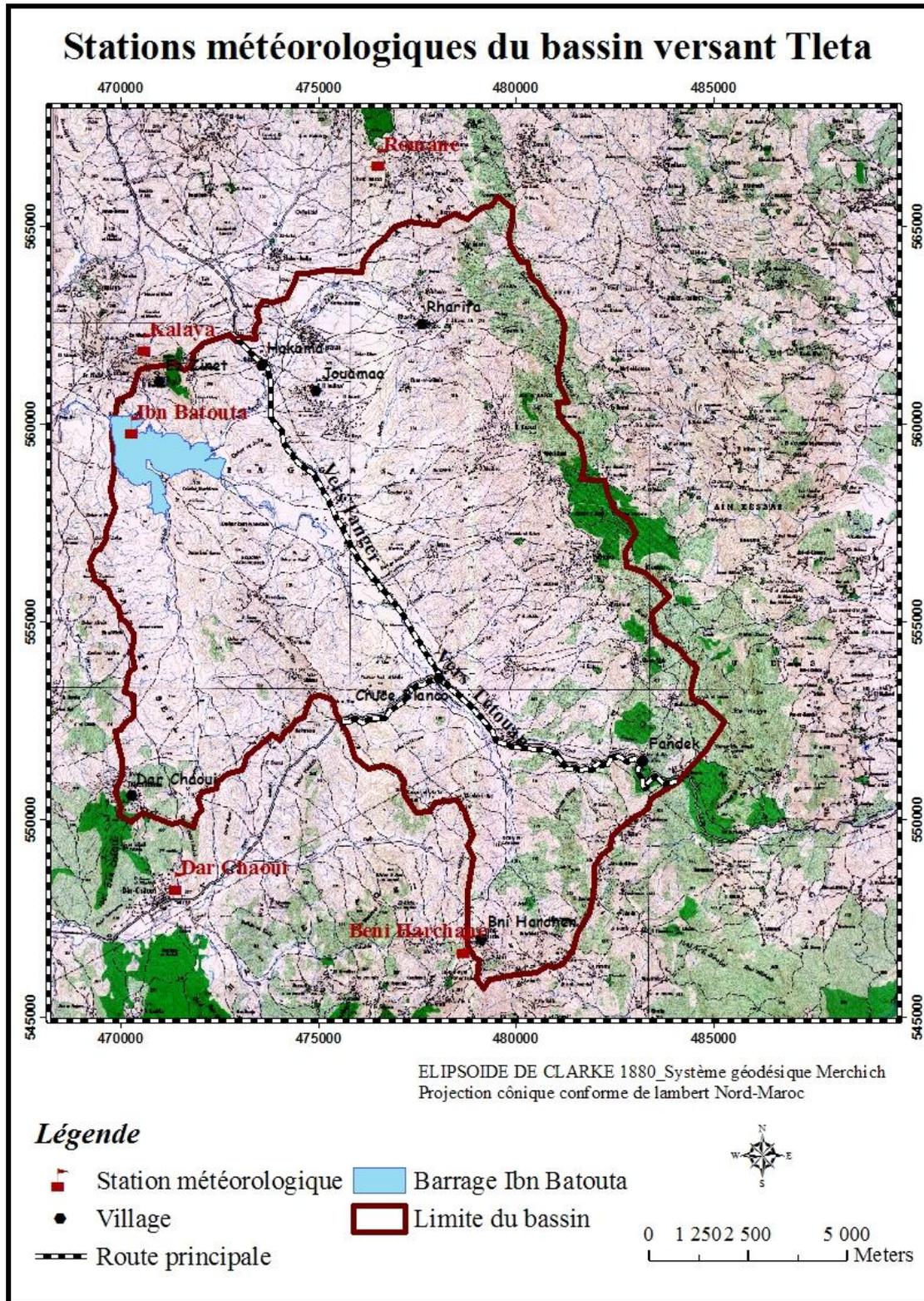


Figure 17 : Stations météorologiques du bassin versant Tleta

2.1.9.1 Températures

Afin de caractériser les températures de la zone d'étude, en raison de l'absence de données à la station d'Ibn Batouta, nous avons utilisé les données de température des stations de Kalaya, Tanger et Tétouan. La station de Kalaya est la plus proche du barrage Ibn Batouta mais elle se situe au nord derrière Jbel Zinet.

Comme le bassin versant de Tleta est situé à proximité de l'océan Atlantique et de la mer Méditerranée, il est soumis à une double influence modératrice. La température moyenne du mois le plus froid (janvier) descend rarement en dessous de 8°C. Au contraire celle du mois le plus chaud (août) peut atteindre 35°C.

Sur la période 1980-1998, la température moyenne annuelle est de 20,7°C pour la station de Tanger, de 18,6°C pour celle de Tétouan. Elle est de 18,1°C pour celle de Kalaya sur la période 1984-2004. Les Tableaux 12, 13 et 14 présentent respectivement les températures moyennes mensuelles, les températures maximales mensuelles et les températures minimales mensuelles aux stations de Tétouan et Tanger pour la période comprise entre septembre 1980 et août 1998.

Tableau 12 : Températures moyennes mensuelles sur la période 1980-1998 aux stations de Tétouan et Tanger.

<i>Station</i>	<i>Jan.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avr.</i>	<i>Mai</i>	<i>juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
Tétouan	13,0	13,7	15,0	16,2	18,7	22,1	24,6	25,2	23,3	19,8	16,8	14,2
Tanger	18,2	18,7	19,5	19,5	20,1	21,3	21,9	22,7	23,1	22,7	21,5	19,1

Tableau 13 : Températures maximales mensuelles sur la période 1980-1998 aux stations de Tétouan et Tanger.

<i>Station</i>	<i>Jan.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avr.</i>	<i>Mai</i>	<i>juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
Tétouan	18,6	19,6	20,6	21,8	24,5	28,2	31,6	31,3	28,8	25,8	22,1	19,6
Tanger	24,3	26,5	26,3	24,9	24,8	26,3	26,4	27,9	28,1	29,2	27,1	24,8

Tableau 14 : Températures minimales mensuelles sur la période 1980-1998 aux stations de Tétouan et Tanger.

<i>Station</i>	<i>Jan.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avr.</i>	<i>Mai</i>	<i>juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
Tétouan	7,6	8,0	10,0	10,7	13,2	16,6	19,0	19,3	18,0	14,8	11,3	8,3
Tanger	14,3	14,8	15,7	16,2	16,7	17,9	18,7	19,3	19,6	19,0	17,7	15,3

Sur la période 1980-1998, les valeurs moyennes mensuelles maximales ont été de 29,2°C à la station de Tanger et de 31,6°C à celle de Tétouan ; tandis que les moyennes minimales ont été de 12,8°C à la station de Tanger et de 6,4°C à celle de Tétouan.

Tableau 15 : Températures moyennes, maximales et minimales mensuelles à la station Kalaya pour la période 1984 –2004.

	<i>Jan.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avr.</i>	<i>Mai</i>	<i>juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>	<i>année</i>
<i>Moy</i>	12,0	13,0	14,6	15,7	17,9	21,4	25,3	25,4	23,3	19,6	15,8	13,7	18,1
<i>Max</i>	14,3	15,5	17,0	19,8	20,2	23,8	26,7	27,3	25,6	22,1	17,8	15,2	18,8
<i>Min</i>	10,0	10,9	12,7	12,6	15,0	18,9	23,7	22,5	20,6	17,5	14,3	12,8	17,7

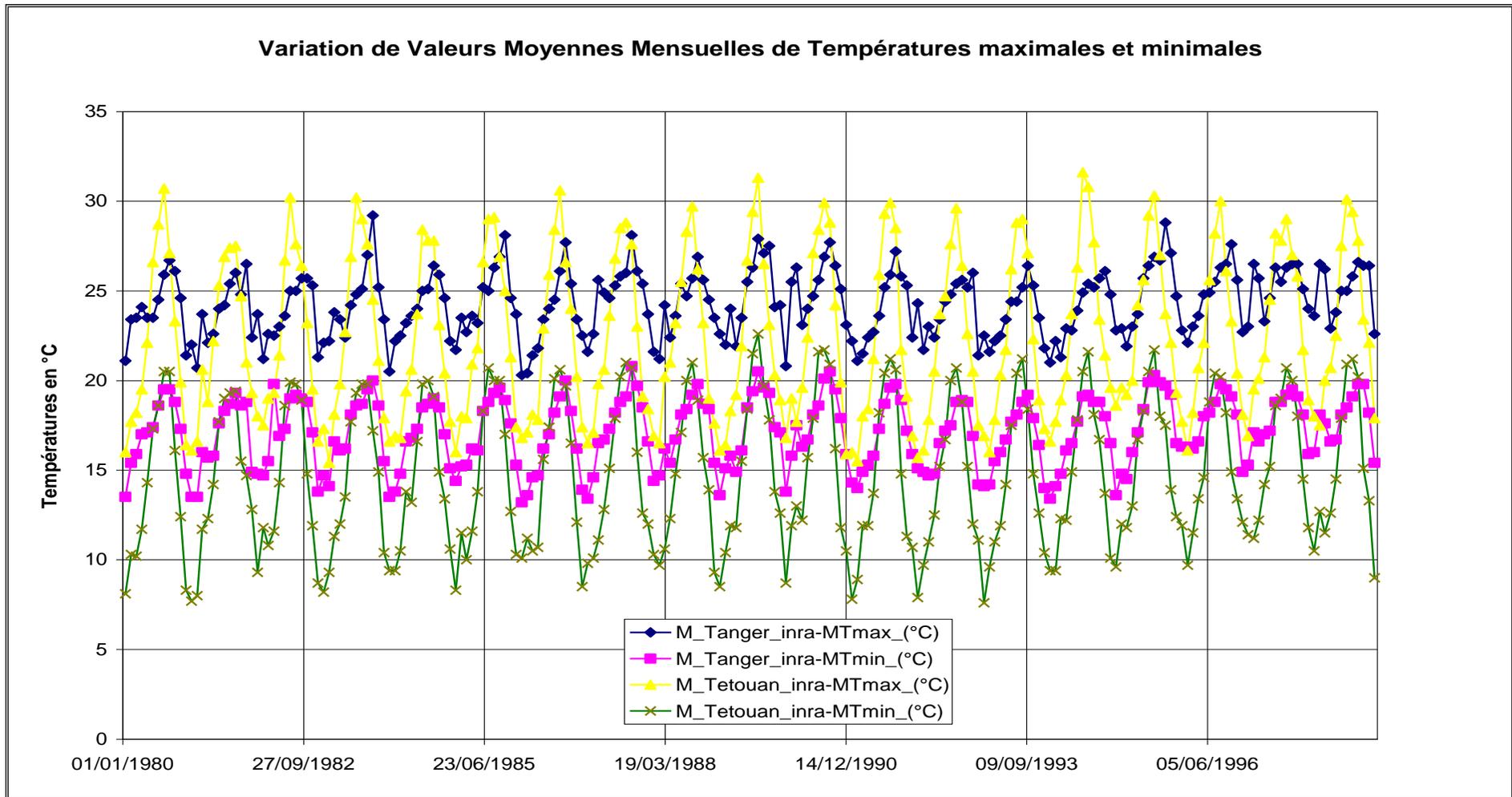


Figure 18 : Variation des températures moyennes mensuelles maximales et minimales à Tanger et à Tétouan.

D'après la figure 18 et les tableaux de 12 à 14, on remarque que le site de Tétouan est caractérisé par un hiver plus froid et un été plus chaud que celui de Tanger. Cela est expliqué par le fait que la ville de Tétouan est plus éloignée de l'océan Atlantique que la ville de Tanger. Elle est donc soumise à des effets océaniques moins marqués.

2.1.9.2 Vents

La zone d'étude est très ventée. L'action du vent est néfaste pour l'agriculture. Le vent peut souffler de la Méditerranée vers l'Atlantique (Charqui) ou l'inverse (Gharbi), mais aussi des montagnes vers la mer ou l'inverse. Avec la température, il est à l'origine du phénomène évaporatoire. Sur la période 1984-1998, les vitesses mensuelles moyennes, minimales et maximales enregistrées à la station climatique de Kalaya sont présentées dans le tableau 16.

Tableau 16 : Vitesse moyennes mensuelles du vent en m/s enregistrée à la station de Kalaya sur la période 1984-1998.

<i>Vent m/s</i>	<i>Jan.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avr.</i>	<i>Mai</i>	<i>juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>	<i>année</i>
<i>Moy</i>	2,31	2,52	2,79	2,53	2,49	2,57	2,77	2,27	2,45	2,55	2,35	2,32	2,53
<i>Max</i>	3,50	3,80	3,70	3,40	3,60	3,20	3,40	3,00	3,90	3,70	3,10	3,70	3,00
<i>Min</i>	1,50	1,70	2,10	1,80	1,50	1,90	1,70	1,70	1,70	1,80	1,70	1,20	2,10

Il ressort du tableau 16 qu'il n'y a pas de mois beaucoup plus venté qu'un autre à la station de Kalaya, les vents prévalent toujours avec plus ou moins d'intensité.

2.1.9.3 Ensoleillement

Sur la période 1962-2003, La durée moyenne mensuelle d'ensoleillement est donnée dans le tableau 17. Les mois de décembre et janvier sont les moins ensoleillés, alors que le mois de juillet est le plus ensoleillé avec une durée quotidienne supérieure à 11 heures à la station de Tanger, à 10 heures pour celle de Tétouan. La durée moyenne annuelle d'ensoleillement est d'environ 8 heures par jour pour Tanger et de 7,5 heures par jour pour Tétouan.

Tableau 17 : Durées journalières moyennes mensuelles en heures d'ensoleillement pour la période 1962–2003 aux stations de Tanger et Tétouan.

	<i>Jan.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avr.</i>	<i>Mai</i>	<i>juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
<i>Tanger</i>	5,5	6,0	7,5	8,5	9,7	10,5	11,2	10,6	9,1	7,5	6,0	5,1
<i>Tétouan</i>	5,7	5,9	6,5	7,7	8,9	9,9	10,2	9,5	7,6	6,6	5,8	5,4

2.1.9.4 Evaporation

Pour caractériser l'évaporation et l'évapotranspiration, nous avons utilisé deux types de données :

- les valeurs mensuelles interannuelles de l'évapotranspiration mensuelle (ETP Penman) pour les stations de Tanger et Tétouan (Tableau 18),
- Les données d'évaporation mesurée à partir d'une surface d'eau libre contenue dans un bac enterré (type Colorado-ORSTOM) pour la station Ibn Batouta (Tableau 19).

L'ETP Penman est probablement plus adaptée au calcul du bilan hydrique des cultures pluviales pratiquées dans le bassin versant de Tleta. Les données d'évaporation mesurées au bac Colorado sont plus adaptées au calcul du bilan hydrologique de la retenue d'Ibn Batouta. Le bac Colorado a une surface de 1 m², une profondeur de 50 cm et une hauteur hors sol de 10 cm, ce qui fait qu'un mm d'eau évaporé correspond à 1 litre d'eau à ajouter. La mesure est faite tous les matins à 8 heures.

Tableau 18 : Valeurs mensuelles interannuelles de l'ETP Penman aux stations de Tanger et Tétouan

ETP	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	année
Tanger	28,8	33,8	44,3	57,8	75,8	102,3	122,1	120,8	98,5	70,2	44,9	30,9	830,1
Tétouan	32,4	37,9	46,7	59,3	82,7	113,5	138,5	118,8	73,3	54,0	34,4	28,1	819,5

D'après le tableau 11, les valeurs annuelles de l'ETP Penman sont assez proches aux stations de Tanger et Tétouan. L'ETP mensuelle maximale se situe cependant entre juin et septembre à Tanger, mai à août à Tétouan, avec cependant des valeurs supérieures à 100 mm uniquement pour les mois de juin, juillet et août.

Pour la station d'Ibn Batouta, la moyenne interannuelle de l'évaporation au bac Colorado a été de 1 710 mm sur la période 1984-2008. Les valeurs varient de 1 570 mm à 1 923 mm selon les années.

Tableau 19 : Moyennes mensuelles évaporées au bac Colorado à la station Ibn Batouta (mm).

Ibn Batouta	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	année
Evaporation	51,6	63,1	104,6	125,3	168,4	230,6	275	250,5	189,6	126	72,4	53,2	1710

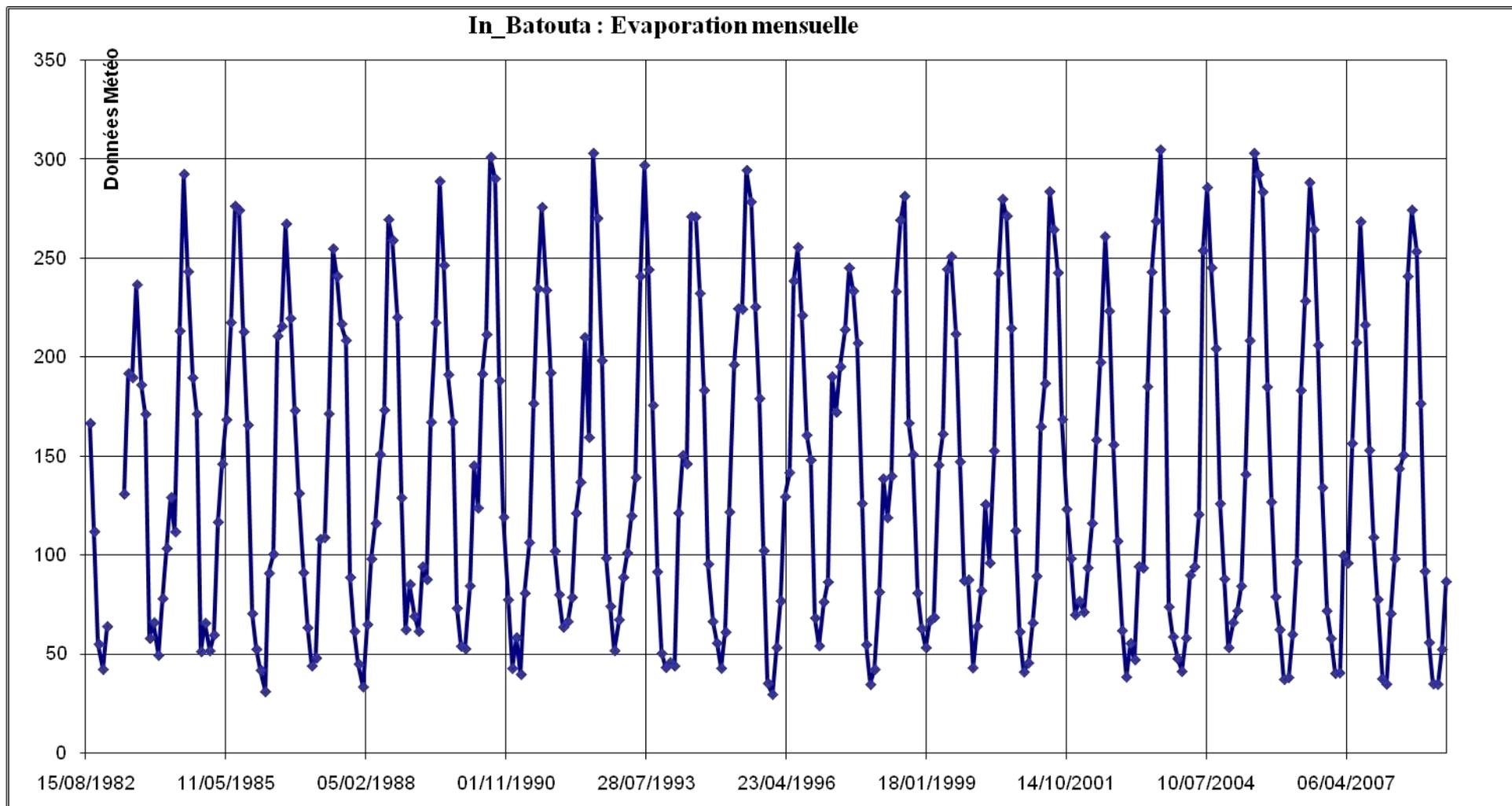


Figure 19 : Evaporations mensuelles au bac Colorado à la station Ibn Batouta.

2.1.9.5 Pluviométrie

Le Tangérois est l'une des régions les plus arrosées du Maroc. Les perturbations atmosphériques sont dues aux dépressions du front polaire qui amènent les pluies par des vents orientés au nord-ouest et à l'ouest. La pluviométrie annuelle correspond à des cumuls de hauteurs d'eau exprimées en mm, calculés du 1^{er} septembre au 31 août de l'année suivante. Ces limites sont celles de l'année hydrologique ou de l'année agricole. Le tableau 20 présente les valeurs annuelles moyennes, maximales et minimales ainsi que l'écart type des précipitations enregistrées aux stations d'Ibn Batouta, Kalaya, Romane et Béni Harchane sur la période allant de septembre 1979 à août 2008.

Tableau 20 : Pluies annuelles moyennes, maximales, minimales et écart-types des pluies annuelles aux postes de Ibn Batouta, Kalaya, Romane et Béni Harchane sur la période 1979-2008.

	Ibn Batouta	Kalaya	Romane	Béni Harchane
Moyenne	649	697	702	824
Ecart Type	207	207	197	267
Maximale	1243	1412	1333	1715
Minimale	307	362	361	367

La valeur maximale a été enregistrée en 1996 aux quatre stations. La valeur minimale a été notée en 1995 à Ibn Batouta, Kalaya, Romane et Béni Harchane, mais une deuxième valeur minimale a été observée en 1999 à Béni Harchane (Figure 20). La figure 21 présente les variations mensuelles des précipitations. Sur cette figure, deux pics de valeurs mensuelles se distinguent pour janvier et décembre 1996 avec des valeurs de 580 mm et 700 mm à la station de Béni Harchane.

Au niveau journalier, on ne possède que les données des deux stations Ibn Batouta et Kalaya, pour la période janvier 1979 à juin 2010. Les périodes de retour des averses sont données dans le Tableau 21.

Tableau 21 : Statistique des pluies journalières aux postes de Kalaya et Ibn Batouta (janvier 1979 à juin 2010)

Fréquence	Récurrence (an)	Ibn Batouta	Kalaya
1,000	1	49	54
0,500	2	57	63
0,200	5	68	75
0,100	10	77	84
0,050	20	85	93
0,020	50	95	105
0,010	100	104	114

Nous remarquons sur les tableaux 20 et 21 que les quantités de pluie mesurées à Kalaya sont supérieures à celles qui sont observées à Ibn Batouta, égales ou supérieures à celles qui tombent à Romane dans le haut bassin de l'oued Kalaya. Cette plus grande pluviosité du site de Kalaya est liée au fait que la station d'Ibn Batouta est protégée des vents du nord et du nord-ouest, porteurs de pluies, par le Jbel Zinet, alors que la station de Kalaya se situe au pied du Jbel Zinet, exposée aux vents qui viennent de l'Atlantique. Par contre Kalaya se situe sous le vent du Jbel Zinet pour les vents qui viennent du sud, du sud-est et du sud-ouest.

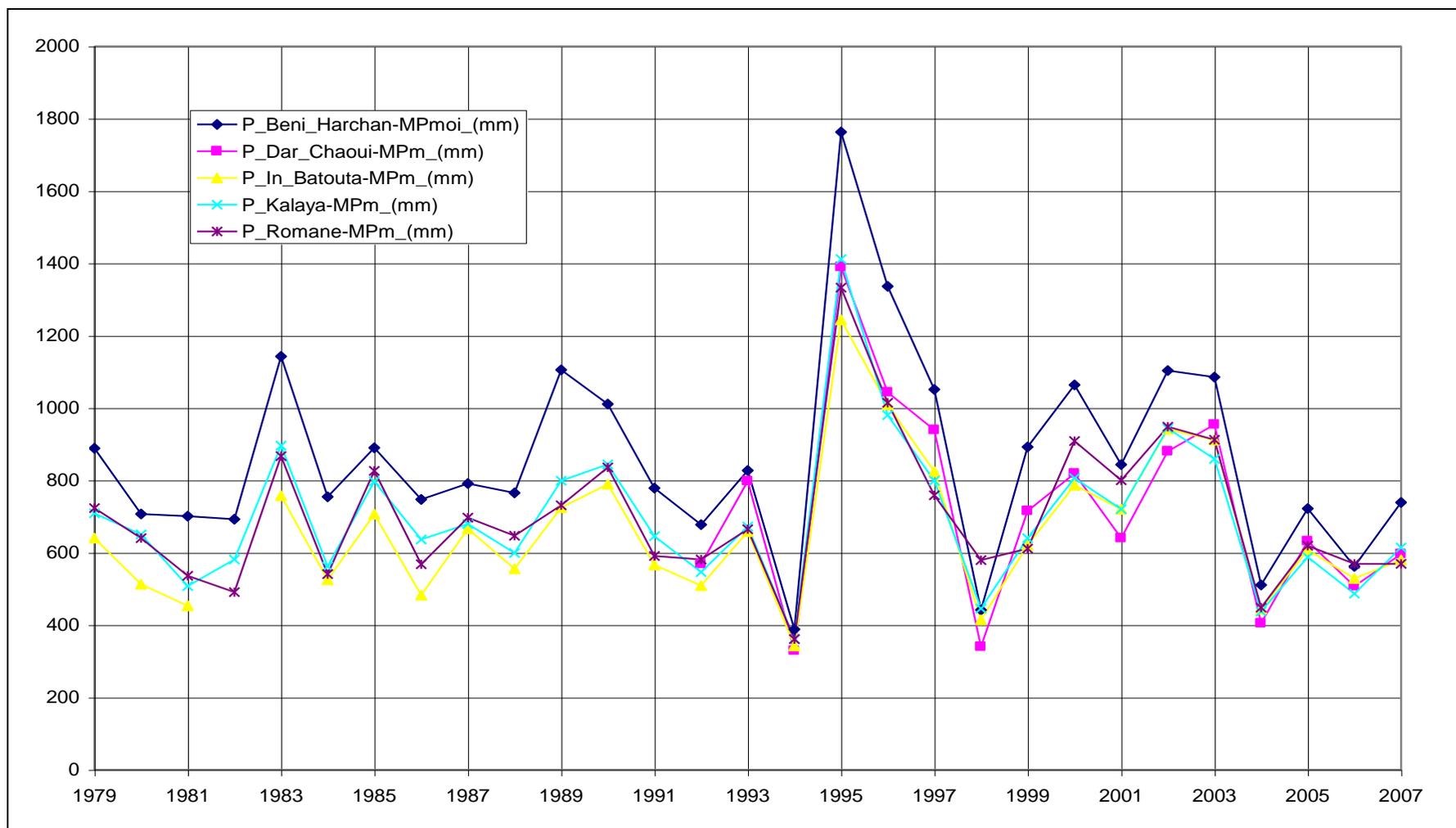


Figure 20 : Variations des pluies annuelles sur la période 1979-2008 aux postes de Béni Harchane, Dar Chaoui, Ibn Batouta, Kalaya et Romane.

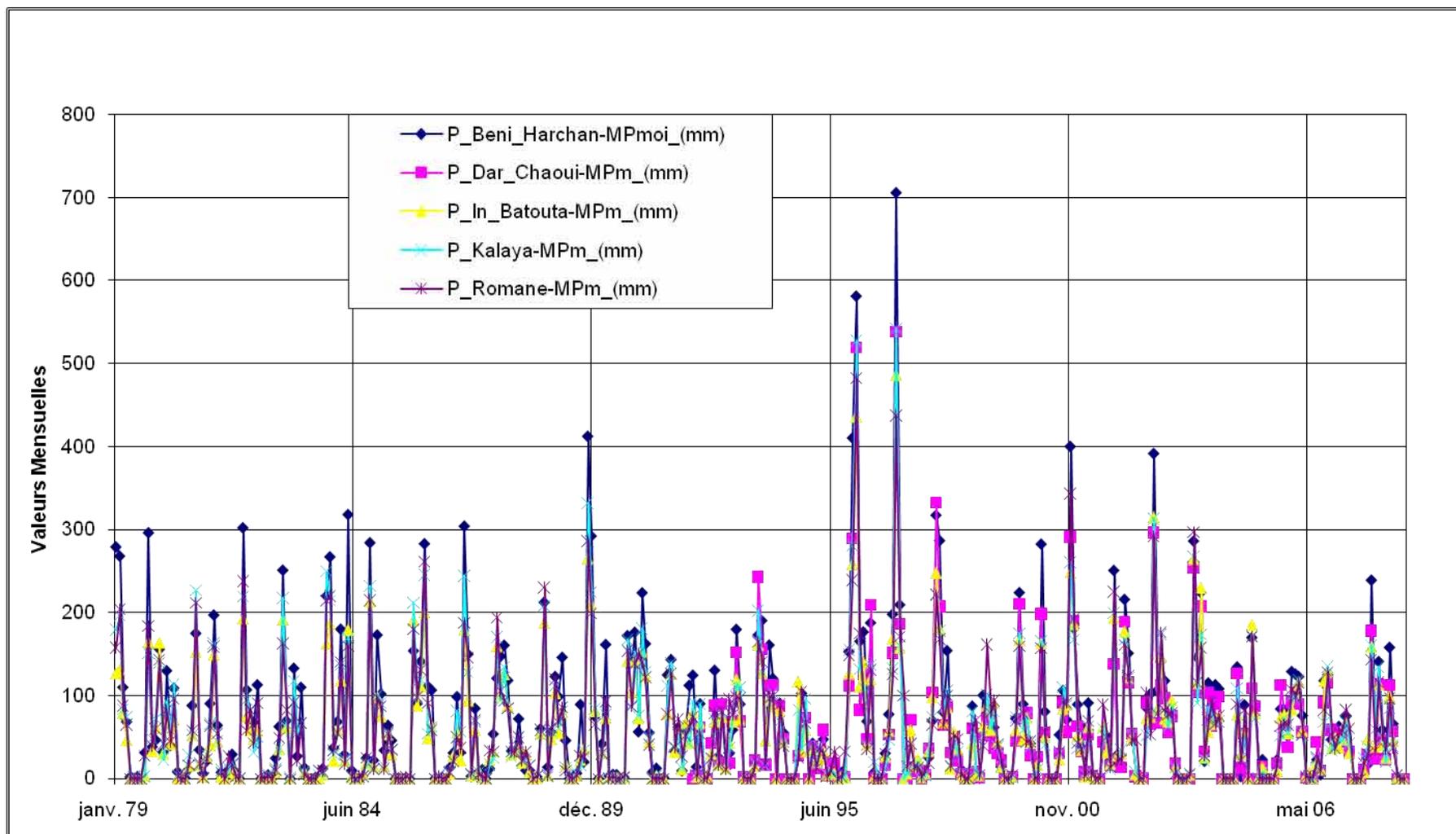


Figure 21 : Variations des pluies mensuelles sur la période 1979-2008 aux postes de Béni Harchane, Dar Chaoui, Ibn Batouta, Kalaya et Romane.

Tableau 22 : Données statistiques des pluies mensuelles et annuelles au poste de Kalaya sur la période 1969-2010.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Année
Moy.	22	76	112	135	108	89	68	71	39	8,4	1,0	2,4	718
Méd.	16	49	89	96	85	85	58	67	23	2,1	0,0	0,0	672
0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	383
0,02	0	0	0	0	0	0	0,0	0,8	0	0	0	0	410
0,05	0,1	0,5	5,6	6,3	5,6	0,8	5,8	10,5	0	0	0	0	452
0,1	0,9	7,1	17,9	18,6	17,1	10,2	13,4	20,1	1,6	0	0	0	495
0,2	2,9	19,0	38,5	40,1	34,1	26,7	25,9	33,1	5,6	0,2	0	0	552
0,5	12,7	57,8	95,9	106	80,7	74,4	59,3	63,8	23,6	2,3	0	0	687
0,8	35,8	123	177	213	162	143	105	105	63,3	11,6	1,2	3,9	869
0,9	55,2	169	228	287	230	188	134	132	96	23	3,5	8,5	989
0,95	75,9	214	275	359	309	228	161	159	129	36,9	5,9	13,1	1105
0,98	105	272	333	451	435	279	194	193	175	60,6	9,0	19,1	1254
0,99	128	315	375	519	551	316	217	218	211	82,0	11,3	23,5	1366
Nb val	40	40	40	40	40	40	40	40	39	39	39	39	39
Nb 0	4	1	1	2	1	3	1	1	3	12	28	25	0
loi	Good	Per3	Fuit	Per3	Frech	Fuit	Fuit	Gum	Good	Good	Fuit	Fuit	Gum

Per3 = loi Pearson III ; Good = loi de Goodrich ou Weibull ; Fuit = loi des Fuites ; Frech = loi de Frechet et Gum = loi de Gumbel

La colonne 1 du tableau 22 donne les fréquences d'apparition des valeurs mensuelles figurant dans les colonnes 2 à 13 et des valeurs annuelles placées dans la colonne 14. Les périodes de retour qui correspondent à ces fréquences sont égales à :

- une année sur 100 pour les fréquences 0,01 (années sèches) et 0,99 (années sèches),
- une année sur 50 pour les fréquences 0,02 (années sèches) et 0,98 (années humides),
- une année sur 20 pour les fréquences 0,05 (années sèches) et 0,95 (années humides),
- une année sur 10 pour les fréquences 0,1 (années sèches) et 0,9 (années humides),
- une année sur 5 pour les fréquences 0,2 (années sèches) et 0,8 (années humides).

Les deux premières lignes correspondent aux valeurs mensuelles et annuelles moyennes et médianes de l'échantillon dont nous disposons. Les autres lignes correspondent aux résultats statistiques obtenus pour une fréquence donnée.

La ligne Nb 0 du tableau 22 correspond au nombre d'années pour lesquelles le mois correspondant a été observé sans aucune pluie.

La dernière ligne du tableau 22 correspond à la loi utilisée pour réaliser les statistiques des pluies de chaque mois. Le choix de la loi est basé sur la formule la plus adaptée. Ce choix peut être réalisé graphiquement en éliminant un par un les graphes d'ajustement qui ne correspondent pas à la distribution des points de l'échantillon ou bien en utilisant les tests proposés par le logiciel utilisé.

La figure 22 montre le résultat des ajustements de différentes lois statistiques aux valeurs annuelles observées à la station Kalaya sur la période 1969-2010. Graphiquement, on peut conclure que plusieurs lois s'ajustent correctement aux valeurs observées. Au-dessus de la fréquence décennale pour les années humides, la loi de Gumbel semble cependant mieux correspondre à la distribution des valeurs les plus fortes, plus particulièrement si on tient compte de la plus forte valeur observée dont la période de retour semble proche de une année sur 150.

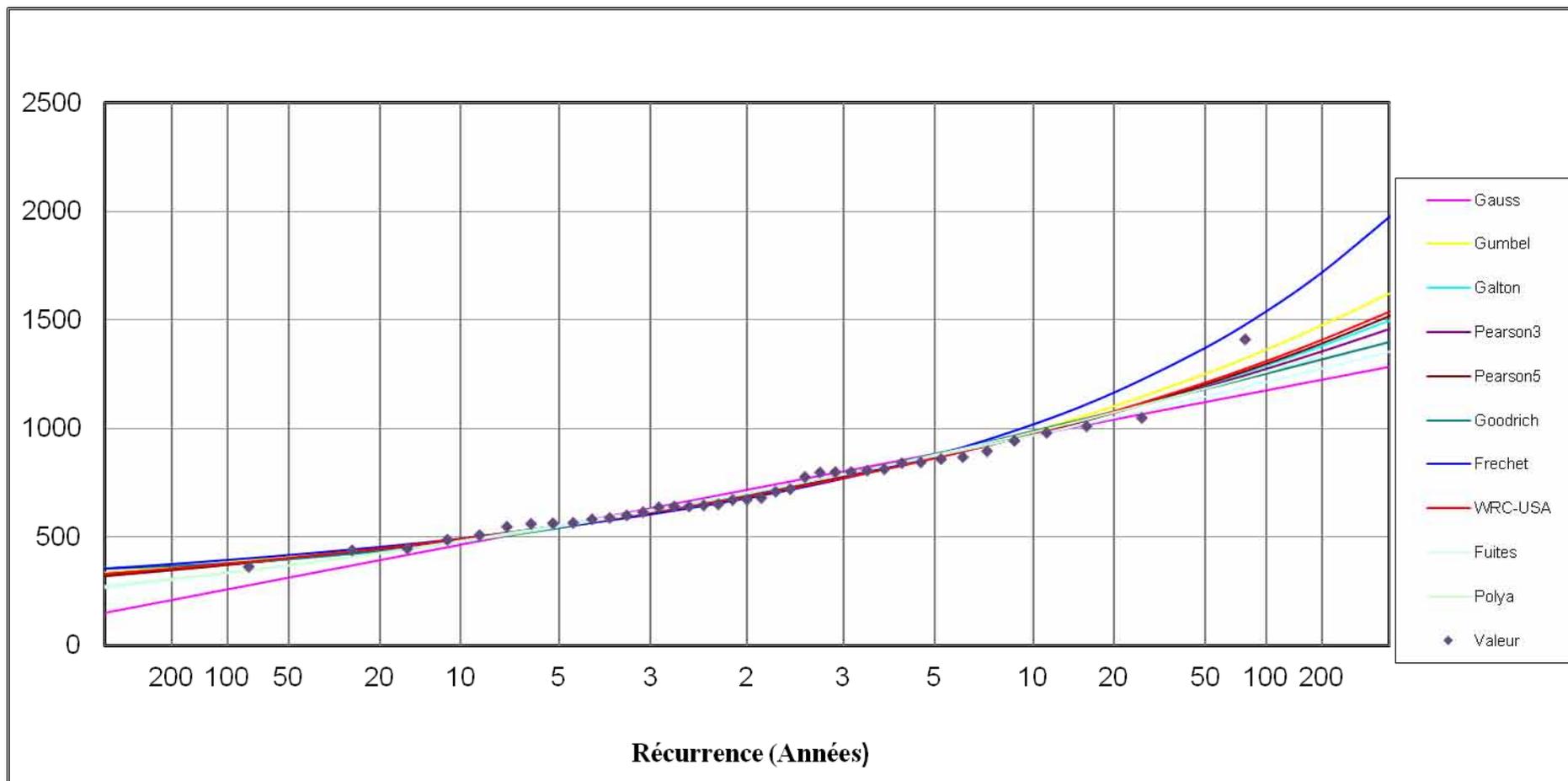


Figure 22 : Ajustements de lois statistiques à un échantillon de valeurs annuelles à la station Kalaya sur la période 1969-2010

2.1.10 Occupation du sol

L'occupation des sols du bassin versant de Tleta est composée d'une végétation naturelle et une végétation transformée. Celle-ci pourrait être classée comme suit :

- Les milieux à végétation ligneuse telles que le matorral ;
- Les milieux à Chamaeropaie telle que l'erme ;
- Les milieux reboisés ;
- Les milieux de culture (Kouraimi, 1997).

2.1.10.1 Végétation naturelle

La végétation actuelle de la zone d'étude est semblable à celle de tout le Rif Occidental. Elle résulte d'une influence humaine très prononcée liée au surpâturage, aux incendies et aux coupes de bois, au cours d'une période de temps considérable. La forêt naturelle est absente dans tout le bassin versant. Le matorral est la seule formation végétale naturelle qui subsiste, sa répartition dépend surtout de la lithologie. Ainsi les principales formations végétales rencontrées en fonction du type de substrat édaphique sont :

- **Sur substrat marneux**

Caractérisé par des sols à texture argileuse, ils sont occupés par des formations à lentisques (Ezzine, 1998) qui ont donné naissance à plusieurs types de matorral reflétant les différents stades de dégradation :

- a- Matorral haut et dense : caractérisé par l'abondance de *Pistacia lentiscus*, *Callicotome villosa* et par l'existence de quelques pieds et parfois des bouquets d'*Olea europa* ;
- b- Matorral bas et clair : marqué par la dominance de *Callicotome villosa* et de *Chamaerops humilis* ;
- c- Erme très clair à *Chamaerops humilis* et à *asphodelus sp.*

- **Sur substrat gréseux**

- a- Formation à *Quercus coccifera*, constituant des matorrals issus de la dégradation la suberaie ;
- b- Formation à *Quercus fruticosa* formant une bande longeant les sommets très humides et ventés des flancs Est.

2.1.10.2 Agriculture

L'agriculture au niveau du bassin versant est principalement à base de céréaliculture. Les céréales représentent 67% de la surface cultivée, les légumineuses 17%, les cultures fourragères 9% et les cultures maraîchères 7% (El Kamoune, 2009).

L'assolement d'hiver est constitué de 60% de blé dur, 30% d'orge et 10% de légumineuse. L'assolement d'été est constitué de 90% de sorgho et 10% de jachère pâturée (Dhman, 1994).

2.2 Matériels et méthodologie

Introduction

Ce chapitre rappelle les données et les outils utilisés pour la réalisation de ce travail. Il relate l'approche suivie pour l'élaboration des cartes d'occupation des sols de la zone d'étude. Cette approche repose sur la comparaison des photos aériennes et de l'image GeoEye à deux dates différentes (1992 et 2009). Pour atteindre cet objectif, les technologies qui visent la visualisation des objets spatiaux en vue d'une analyse globale et multicritère s'imposent.

En principe, deux technologies sont inéluctables pour assurer ce travail : la photo-interprétation caractérisée par sa vision synoptique et les systèmes d'informations géographiques reconnus notamment par leur performance en matière de rapidité d'analyse spatiale.

Dans cette partie, nous détaillons la méthodologie retenue pour la réalisation des objectifs précités. Nous allons d'abord présenter la zone d'étude ainsi les données disponibles. Ensuite, nous discuterons du choix du matériel et logiciel utilisés. Puis, nous exposerons l'enchaînement des phases permettant la réalisation de notre étude et nous terminerons par une conclusion englobant les différents volets discutés dans ce chapitre.

2.2.1 Matériel

Il s'agit d'un inventaire de toutes les données de base et de tous les logiciels informatiques qui ont été nécessaires pour réaliser le présent travail.

2.2.1.1 Documents de base et éléments cartographiques

- Carte topographique de Melloussa 1/50 000^{ème} (Agence de la Conservation Foncière et des travaux topographiques, Division de la carte, Rabat, 1965) ;
- Délimitation du bassin versant Tleta réalisée par tracé sur le fond topographique grâce à l'outil ArcGis (Pépin, 2008) ;
- Carte de l'occupation du sol obtenue par photo-interprétation (1992-1994) (Kouraimi, 1997) ;
- Carte de l'occupation du sol obtenue par photo-interprétation (El Kamoune, 2009) ;
- Une image GeoEye prise en août 2009. Elle a été extraite directement à partir de Google Earth par le logiciel Universal Maps downloader ;
- Neuf photographies aériennes au 1/40 000^{ème} recouvrant la zone d'étude prises en 1992-1993 et 1994 (Agence de la conservation foncière du cadastre et de la cartographie : Direction de la cartographie. Service de la documentation technique) ;
- Données statistiques des emblavements des cultures et du cheptel de la commune Jouamâa (DPA de Tanger et DPA de Tétouan).

Tableau d'assemblage

La reconnaissance des détails (route, pistes, oueds, agglomérations,...) ressortant simultanément sur la carte topographique de Melloussa et sur les photos aériennes, nous a permis de localiser chaque photo sur la carte topographique, de reconstituer les lignes de vol et de les tracer sur la carte topographique. Ainsi nous avons pu élaborer un tableau d'assemblage (Tableau 23).

Tableau 23 : Tableau d'assemblage

Mission	Bande N°	Photo N°	Nombre de photo par bande	Orientation de l'avion
Octobre 1992	5	8 à 10	3	NE-NW
Août 1994	6	8 à 11	4	SW-NE
Mai 1993	7	9 et 11	2	NE-NW

2.2.1.2 Logiciels et outils utilisés

Pour réaliser notre travail, nous avons eu recours aux différents logiciels qui nous permettent d'effectuer la suite d'opérations conçues pour avoir les résultats souhaités.

- Arc GIS 9.3 avec ses multiples extensions pour le géo-référencement et l'élaboration des cartes thématiques ;
- Erdas Imagine 8.5 pour le géo-référencement et le mosaïquage des photographies aériennes ;
- Global Mapper 6.2 pour la visualisation en 3D du bassin versant à partir du MNT ;
- Universal Maps Downloader 5.8 pour extraire l'image GeoEye ;
- GPS portable, utilisé notamment pour le positionnement lors de la vérification des vérités terrain et de l'affinement des limites des unités homogènes.

2.2.1.3 Préparation et traitement des données

Les différentes opérations réalisées pour l'obtention des données de base, indispensables pour l'élaboration de cartes d'occupation des sols du bassin versant Tleta, sont les suivantes :

- Extraction de l'image GeoEye ;
- Géo-référencement de la carte topographique, des photographies aériennes et de l'image GeoEye selon la projection conique conforme de Lambert et calage selon le système de coordonnées de référence de la zone Merchich nord (système du nord du Maroc) ;
- Mosaïquage des photographies aériennes.

i. Extraction de l'image GeoEye

L'extraction de l'image GeoEye est réalisée par le logiciel Universal Maps Downloader 5.8. Elle date d'Août 2009.

ii. Géo-référencement

Cette tâche est réalisée par le logiciel Erdas Imagine. C'est un logiciel de traitement d'images, il accepte comme intrants aussi bien les photographies aériennes et satellitaires que les différents formats d'image et toute autre information vectorielle provenant du SIG, sous différents formats. Ce logiciel permet la correction géométrique et l'ortho-correction ainsi que la visualisation interactive et beaucoup d'autres fonctions.

Le géo-référencement des données dans notre étude est nécessaire pour :

- Préparer les données afin de les intégrer dans un S.I.G ;
- Localiser dans un certain système de projection d'objets visualisés dans la scène ;
- Produire des données de type S.I.G. disposant des mesures terrains ;
- Réaliser la vérité terrain ;
- Créer la mosaïque des photographies aériennes.

En préambule, nous avons géo-référencé la carte topographie, puis nous avons corrigé géométriquement les photographies aériennes.

Correction géométrique photographies aériennes

Une correction géométrique consiste à corriger une image non géo-référencée en utilisant une image de référence. Ce processus permet de placer ou d'ajuster l'image dans un système de projection particulier.

Les techniques de correction géométriques sont basées sur des transformations d'échelles et des projections cartographiques permettant la superposition soit à une carte topographique, ou à une couverture SIG ou enfin à une autre image de référence (géométriquement rectifiée).

La rectification géométrique demande de suivre les étapes suivantes :

- Sélection d'un modèle géométrique ;
- Localisation de points d'appui ;
- Détermination du modèle géométrique adapté à la transformation désirée ;
- Sélection de la méthode de ré-échantillonnage pour générer l'image corrigée.

iii. Mosaïque des photographies aériennes

La mosaïque des photographies aériennes est réalisée dans le but d'avoir toute la scène qui correspond au bassin versant de Tleta, afin de faciliter le travail lors de l'élaboration de la carte d'occupation des sols. La mosaïque demande de suivre les étapes suivantes :

- Affichage des images à mosaïquer ;
- Sélection des images à mosaïquer ;
- Définition des paramètres de l'outil de mosaïquage ;

- Définition de la mosaïque à produire ;
- Lancement du traitement.

2.2.2 Méthodologie

Le bassin versant de Tleta était sujet à une dynamique érosive très intense lors des périodes antérieures (1983-1989 et 1989-1994), tandis que les périodes récentes (1994-2000 et 2000-2003) sont moins érosives. Pour savoir si ce changement est lié à une imbrication des facteurs anthropiques, on a adopté une méthodologie reposant sur l'évaluation du développement des terrains de cultures au détriment des formations végétales naturelles entre 1992 et 2009. Pour réaliser ceci, la superposition des 2 cartes d'occupation réalisées pour les deux dates était nécessaire pour extraire et localiser les extensions des cultures. Mais suite au problème de calage entre l'image GeoEye et la mosaïque résultant des photos aériennes, cette superposition n'a pas été possible à l'échelle de tout le bassin versant.

Pour toutes ces raisons, nous avons adopté une deuxième approche reposant sur le dépouillement et l'analyse des données concernant les emblavements des cultures et l'évolution de l'effectif du cheptel d'une commune qui fait partie du bassin versant Tleta : Jouamâa. Le choix de ce site est justifié premièrement par le fait que sur les deux fonds d'occupation des sols, 3 des sous bassins qui appartenant à la commune rurale de Jouamâa étaient bien calés. Donc, on a pu ressortir les zones d'extensions des cultures. Deuxièmement, la quasi-totalité de la commune appartient au bassin versant Tleta.

2.2.2.1 *Evaluation de la régression du couvert végétal*

La méthode la plus utilisée pour évaluer les changements du couvert végétal dans une région donnée est basée sur la comparaison des photos aériennes ou/et d'images satellitaires à deux ou plusieurs dates différentes. Cette comparaison peut se faire par deux méthodes :

- La première repose sur la confrontation de la cartographie multidates de la végétation ;
- La deuxième se base sur un recensement de points d'une grille tombant dans les différentes strates : le choix de la maille dépend entre autres de la précision voulue (El Haddad, 1993).

Afin de répondre aux objectifs tracés pour la présente étude, il a été opté pour la première méthode. Cependant, la confrontation entre les cartes élaborées a été réalisée dans un système d'information géographique. Le S.I.G est un ensemble puissant d'outils destinés à la

collection, au stockage et à l'analyse des objets et phénomènes où la position géographique est une caractéristique importante ou critique pour les analyses.

Il faut toutefois rappeler que notre but vise une évaluation de l'évolution du couvert végétal entre deux dates : 1992 et 2009 et expliquer si cette évolution a affecté ou non le taux d'érosion à l'échelle du bassin versant Tleta pour la même période. Cette méthode permettrait d'évaluer les changements subis par les différentes strates de végétation durant cette période.

La méthode sera concrétisée par l'élaboration de deux cartes 1/50 000^{ème} qui mettent en relief les changements survenus dans la végétation du bassin versant.

L'étude cartographique repose sur la photo-interprétation de la couverture aérienne qui date de 1992 et de l'image GeoEye qui date de 2009.

i. Réalisation des cartes d'occupation

Pour réaliser les cartes d'occupation des sols on a recours aux étapes suivantes :

- Définition des classes d'occupation des sols

La détermination des classes d'occupation des sols a été basée sur deux critères : le type d'occupation et le recouvrement.

Le type d'occupation a été inspiré des travaux réalisés par El Haddad, 1993 ; Kouraimi, 1997 et El Kamoune, 2009. Le recouvrement a été défini selon les travaux d'El Haddad, 1993 et selon les normes présentées dans l'annexe 4.

- Délimitation de ces classes

Après avoir analysé la texture, la structure et la tonalité et en tenant compte des critères de classification préétablie, nous avons délimité les différentes classes identifiées sur la couverture aérienne et sur l'image GeoEye.

- Sortie sur terrain

La sortie sur terrain a pour objectif :

- La reconnaissance de la zone d'étude, à savoir les types de sols, la géomorphologie, la végétation et les formes d'érosion apparente ainsi que leurs localisations ;
- La vérification des classes d'occupation des sols ainsi que leurs limites préétablies au bureau à partir de l'image GeoEye avec la vérité terrain.

Ce travail nous a permis s'assurer au mieux l'exactitude des informations contenues dans la carte d'occupation des sols élaborée à partir de l'image GeoEye (datée de août 2009) et de corriger certaines informations ou descriptions biaisées.

Les sites visités sont présentés dans la figure 23.

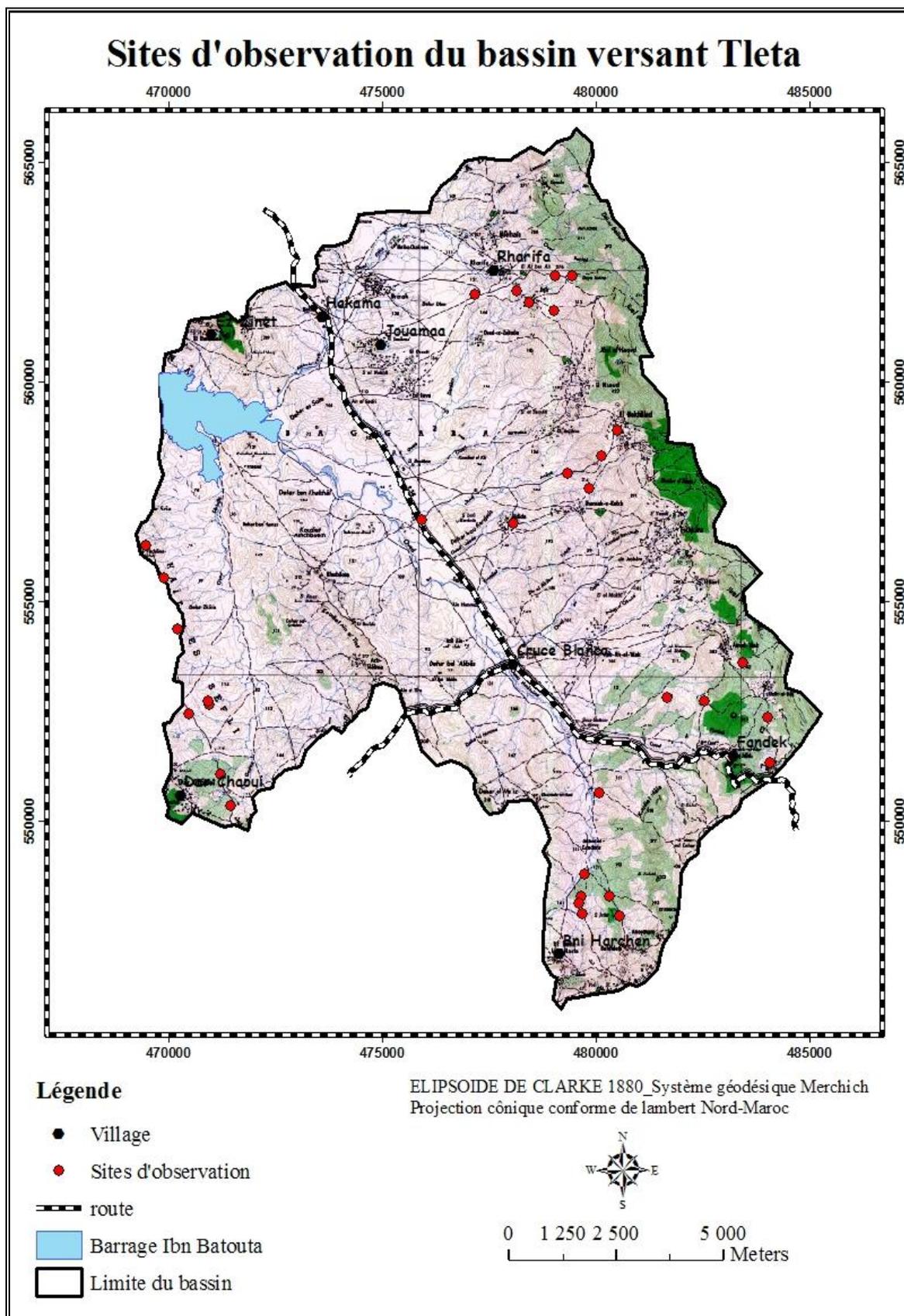


Figure 23 : Sites d'observation sur terrain du bassin versant Tleta

- *Délimitation et classification définitive*

Les observations recueillies sur le terrain ont servi de base pour corriger et préciser les limites préétablies et pour déterminer les classes définitives de l'occupation des sols. D'après les travaux déjà réalisés à l'échelle du bassin versant et la sortie du terrain on a pu définir 11 classes :

- 1- Affleurement rocheux : Il s'agit d'un socle rocheux gréseux-calcaire émergeant à la surface du sol où persiste une végétation à base de *Chamaerops humilis* ;
- 2- Agglomération : Défini comme un ensemble urbain caractérisé par une continuité du tissu bâti ;
- 3- Bocage : Petites parcelles situées à proximité des habitations, elles sont encloses par des haies de cactus ;
- 4- Cultures : Les cultures pratiquées dans le bassin versant sont les légumineuses, les cultures maraîchères, les cultures fourragères, les plantations (principalement l'olivier) et la céréaliculture qui constitue la spéculation dominante ;
- 5- Erme : C'est une formation végétale herbacée, à base de *Chamaerops humilis*, issue d'une dégradation avancée de la végétation ligneuse ;
- 6- Lac
- 7- Matorral clair : On parle de matorral clair lorsque le recouvrement de la strate ligneuse est entre 20 et 50%, la strate herbacée est importante ;
- 8- Matorral dense : On parle de matorral lorsque le recouvrement de la strate ligneuse est supérieur à 50%, la strate herbacée est moins importante que dans le cas précédent ;
- 9- Matorral dense oléastraie : Se distingue du Matorral dense par la présence de l'olivier sauvage (Oléastre) ;
- 10- Matorral dense reboisé : Le matorral est reboisé dans le but d'assurer une meilleure production pastorale et une diminution de la pression sur les espèces autochtones ;
- 11- Reboisement : Il s'agit d'une mesure adoptée pour assurer la protection du sol, les essences utilisées sont le Pin d'Alep, *l'Acacia cyanophylla* et *L'Eucalyptus camaldulensis*.

ii. Planimétrie des cartes multitudes d'occupation du sol

Afin d'évaluer le changement intervenu dans l'occupation du sol du bassin versant Tleta entre 1992 et 2009. Les deux cartes issues de la photo-interprétation des photographies aériennes et de l'image GéoEye ont fait l'objet d'une planimétrie à l'aide du logiciel Arc GIS 9.3.

2.2.2.2 Mesure des envasements

Le contrôle de l'envasement des cuvettes de barrages permet d'une part la surveillance des ouvrages et la décision des mesures de protection à prendre, d'autre part, en intégrant sur une longue période l'accumulation de sédiments, il conduit à une estimation globale des transports solides et des phénomènes d'érosion sur les bassins versants.

Pour une période donnée, la mesure d'envasement est calculée à partir de la différence du volume des transports solides entre le temps final t_1 et le temps initial t_0 .

Des campagnes de mesures ont été entreprises entre 1977 et 2003 à l'échelle du bassin versant Tleta ont permis d'estimer le volume des transports solides totaux ayant pénétré dans la retenue pour 5 périodes successives (Tableau 24).

Tableau 24: Valeur d'envasement du barrage Ibn Batouta (1997-2003)

Période	Envasement (m³/ha/an)
1977-1983	22,7
1983-1989	25,3
1989-1994	30,6
1994-2000	21,9
2000-2003	13,3

2.2.2.3 Exploitation des données de la commune Jouamâa

Pour pouvoir réaliser les objectifs que nous nous sommes fixés, nous avons porté notre choix sur la commune de Jouamâa. Cette commune se situe au nord du bassin versant Tleta (figure 24). Elle s'étend sur une superficie de 6817ha (38,53% de la superficie du bassin versant Tleta), sa surface agricole utile et la structure des exploitations sont présentées respectivement dans les tableaux 25 et 26.

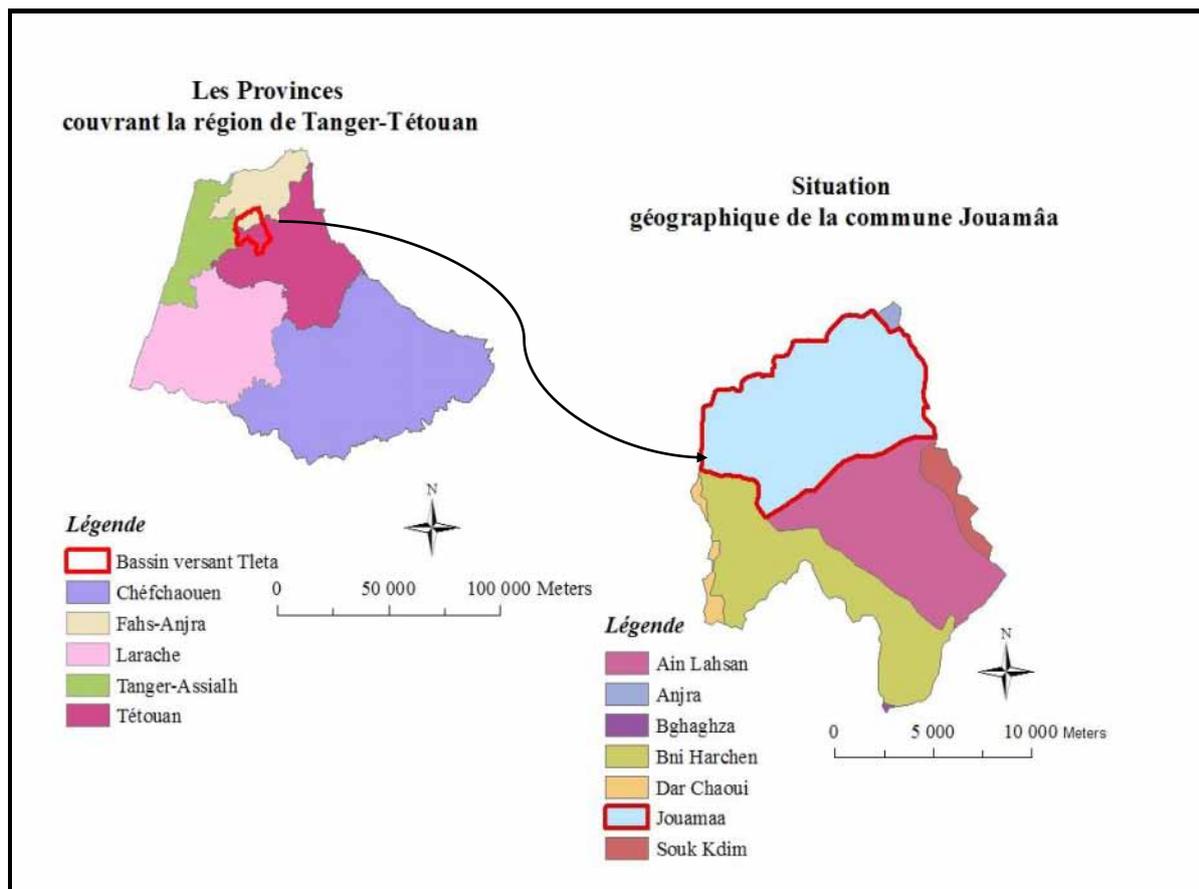


Figure 24: Situation de la commune rurale Jouamâa par rapport au découpage administratif

Tableau 25 : SAU (RGA 1996)

Commune	SAU totale (ha)	SAU (ha)		Nombre d'exploitations
		Irriguée	Bour	
Jouamâa	2802	9	2793	995

SAU : Surface Agricole Utile

Tableau 26 Structure des exploitations agricoles (RGA 1996)

Superficie de l'exploitation	<5ha	10à 20ha	>20ha
Superficie en ha	2272	390	140
Nombre d'agriculteurs	947	31	6

i. Emblavement des cultures de la commune Jouamâa entre 1990 et 2010

La collecte des données concernant les emblavements des cultures entre 2004 et 2010 a été réalisée au près de la Direction Provinciale d'Agriculture de Tanger, Service de Production Végétale. Pour les années antérieures de 1990 à 2004, ces données étaient disponibles dans la Direction Provinciale de l'Agriculture de Tétouan, Service de Production Végétale.

Tableau 27: Emblavement des cultures de la commune Jouamâa entre 1990 et 2010

Année	Emblavements des cultures en ha					
	Céréales	Légumineuses	Cultures Maraich.	Cultures Fourrag.	Plantations Fruitières	Jachère
2010-2009	1270	560	100	750	14	116
2009-2008	1140	285	78	590	14	703
2008-2007	1540	180	50	380	14	646
2007-2006	1320	220	30	900	14	326
2006-2005	1500	320	81	590	14	305
2005-2004	1150	470	82	245	14	849
2004-2003	1286	320	204	497	13	481
2003-2002	904	371	215	518	13	781
2002-2001	1503	446	209	259	13	373
2001-2000	1452	446	194	301	13	396
2000-1999	1526	440	187	320	13	316
1999-1998	1554	446	182	245	10	366
1998-1997	1585	459	181	245	10	323
1997-1996	1481	408	161	275	7	471
1996-1995	1584	456	71	246	5	440
1995-1994	1403	465	69	184	5	676
1994-1993	1579	529	115	295	4	281
1993-1992	1579	526	110	271	4	311
1992-1991	1579	560	116	233	4	310
1991-1990	1579	529	83	226	4	382

ii. L'effectif du cheptel de la commune Jouamâa entre 1990 et 2010

La collecte des données concernant le nombre de cheptels entre 2006 et 2010 a été réalisée auprès de la Direction Provinciale de l'Agriculture de Tanger, Service de Production Animale. Pour les années antérieures de 1990 à 2006, ces données étaient disponibles dans la Direction Provinciale de l'Agriculture de Tétouan, Service de Production Animale et Division des Statistiques.

Tableau 28 : L'effectif du cheptel de la commune Jouamâa entre 1990 et 2010

Année	Bovins	Ovins	Caprins	total
2009-2010	3670	3940	7245	14856
2008-2009	3466	4014	7066	14546
2007-2008	3470	3726	6850	14046
2006-2007	3626	3893	7158	14678
2005-2006	3495	3845	6751	14091
2004-2005	3076	3562	6270	12907
2003-2004	3155	4110	6663	13927
2002-2003	3416	3796	6853	14066
2001-2002	3141	3610	6301	13053
2000-2001	3344	3841	6415	13601
1999-2000	3317	3996	6602	13914
1998-1999	2731	3223	4801	10755
1997-1998	2673	4219	4343	11236
1996-1997	2712	5270	3449	11431
1995-1996	2452	4734	3102	10288
1994-1995	2508	3914	3454	9876
1993-1994	2477	3488	4444	10409
1992-1993	2494	3356	4664	10514
1991-1992	2058	3944	4213	10214
1990-1991	1967	3540	4506	10013

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans un premier lieu la zone d'étude, dans un deuxième lieu les méthodes et les outils informatiques utilisés pour répondre aux objectifs tracés. Ensuite, nous avons décrit les différentes étapes à suivre pour l'élaboration des cartes d'occupation des sols. Finalement, nous avons présenté les données relatives aux emblavements des cultures et à l'effectif du cheptel entre 1990 et 2010 de la commune rurale Jouamâa.

Les documents dont on dispose à savoir les photos aériennes, la carte topographique ont été fournis par IRD/IAV HASSAN II. L'acquisition des données concernant la commune de Jouamâa a été faite auprès de la Direction Provinciale de l'Agriculture de Tanger et de Tétouan.

La saisie et le traitement des fichiers, présentés sous différents formats, nous ont permis d'avoir une base de données nécessaire pour réaliser notre travail.

Une fois la présentation du matériel et de la méthodologie sont terminés, nous proposons de présenter les résultats obtenus avec leur discussion. C'est l'objet du prochain chapitre.

Chapitre 3

Résultats et discussions

3.1. Résultats et discussion

Introduction

La méthodologie adoptée, telle que présentée dans la partie précédente, nous a permis d'une part d'élaborer deux cartes d'occupation des sols du bassin versant Tleta et d'autre part d'avoir un ensemble de données (emblavement des cultures et effectif du cheptel) dont l'interprétation peut conduire à plusieurs résultats.

Ce chapitre sera consacré en premier lieu : à la présentation et la discussion des résultats issus de la photo-interprétation des photographies aériennes datant de 1992 et d'une image GéoEye de 2009. En deuxième lieu : à la présentation des zones dégradées par l'activité anthropique et à l'analyse des données qui correspond à la commune rurale de Jouamâa.

3.1.1 Résultat de l'étude multidates du couvert végétal (1992-2009) du bassin versant Tleta

3.1.1.1 Carte d'occupation du sol en 1992 du bassin versant Tleta

Carte d'occupation du sol du bassin versant Tleta en 1992

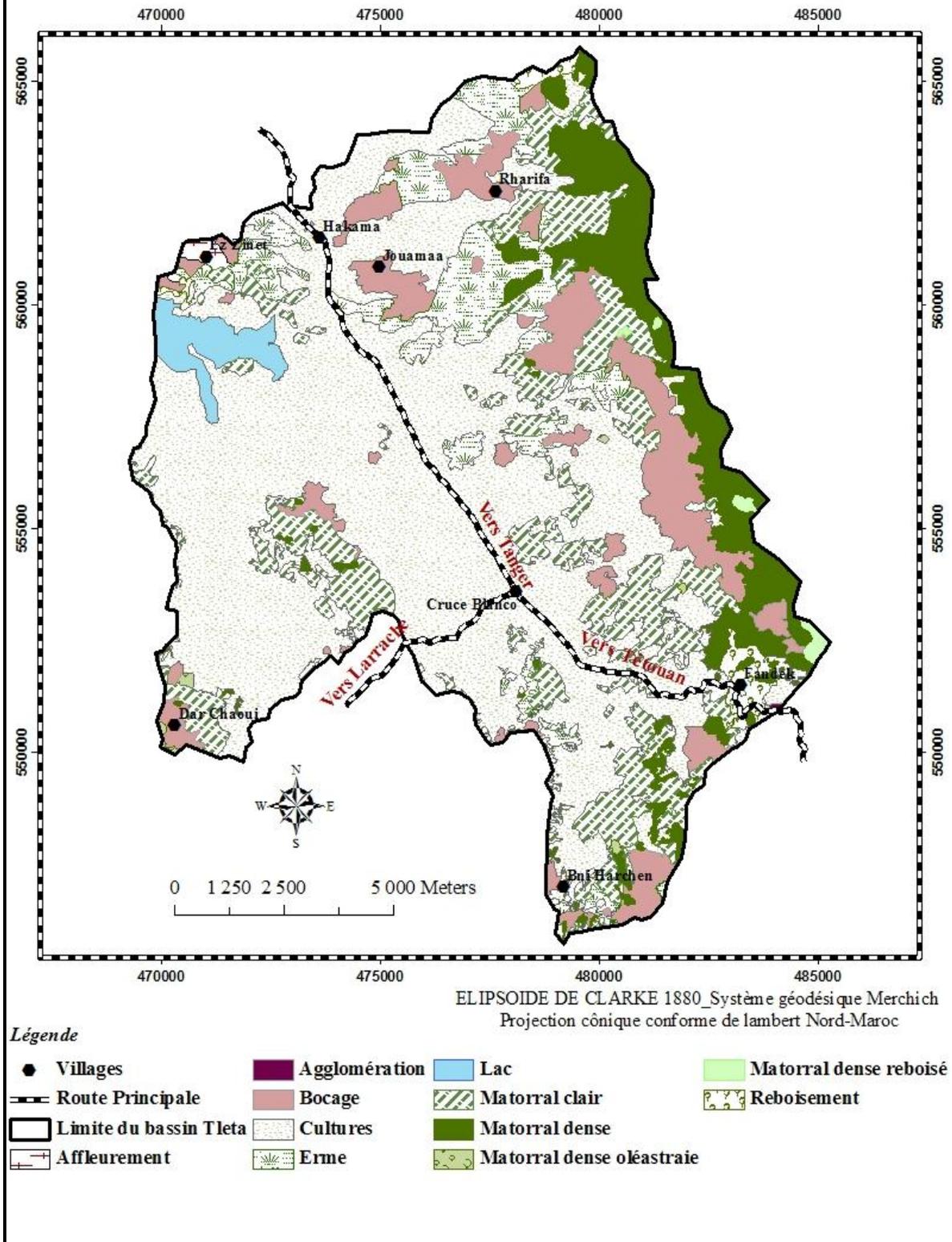


Figure 25: Carte d'occupation du sol du bassin versant Tleta en 1992

3.1.1.2 Planimétrie de la carte d'occupation du sol de 1992 du bassin versant Tleta

Les résultats de la planimétrie de la carte d'occupation du sol obtenue à partir de la photo-interprétation des photographies aériennes des missions de 1992, 1993 et 1994 sont rapportés dans le tableau 29.

Tableau 29: Planimétrie de la carte d'occupation élaborée à partir des photographies aériennes

Strate	Superficie	
	En ha	En %
Affleurement rocheux	59	0,31
Agglomération	7	0,04
Bocage	1 838	10,39
Culture	9 433	53,33
Erme	1 363	7,71
Lac	371	2,10
Matorral clair	2 744	15,51
Matorral dense	1 622	9,17
Matorral dense oléastraie	26	0,14
Matorral dense reboisé	101	0,57
Reboisement	167	0,94
Total	1 7691	100

3.1.1.3 Carte d'occupation du sol en 2009 du bassin versant Tleta

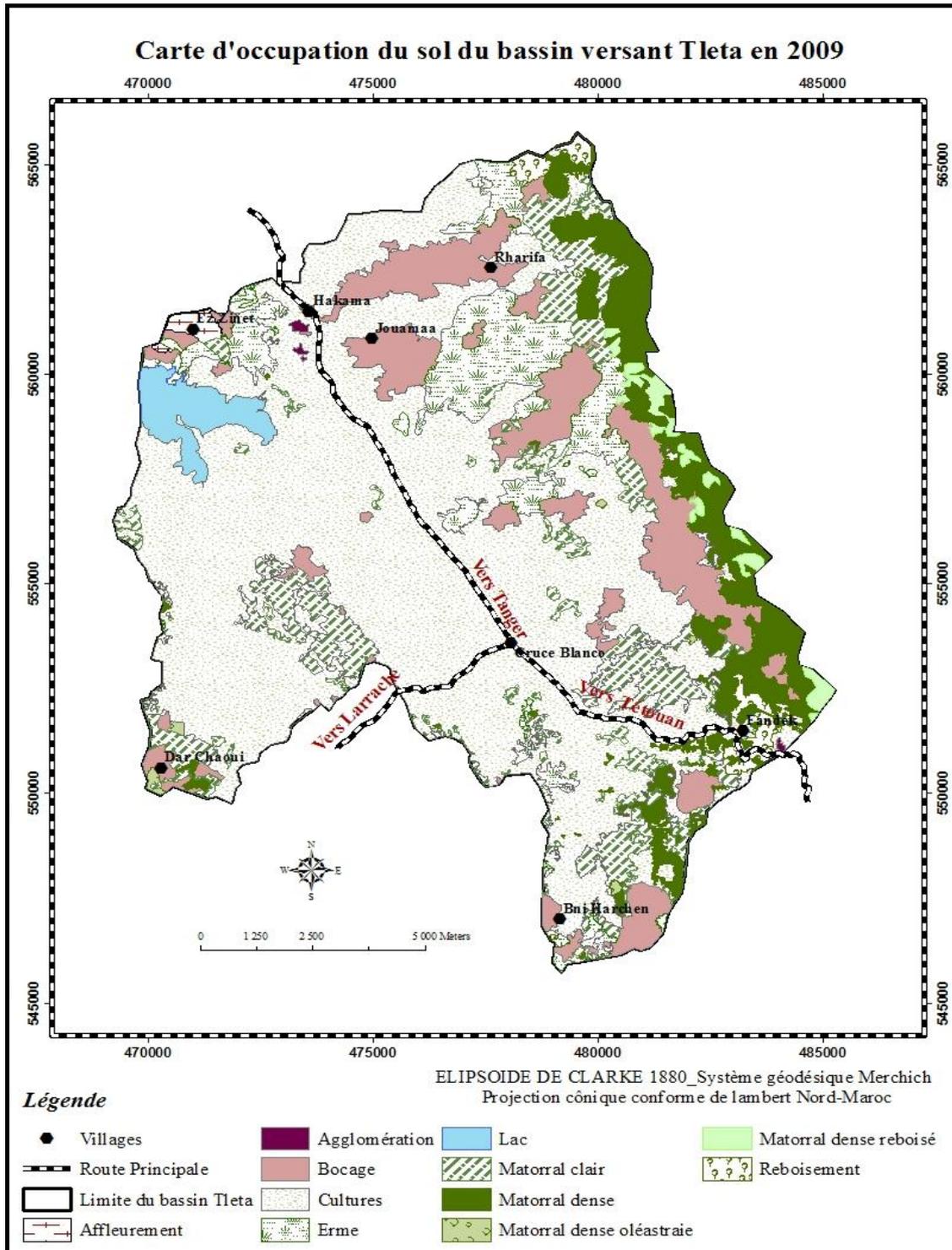


Figure 26: Carte d'occupation du sol du bassin versant Tleta en 2009

3.1.1.4 Planimétrie de la carte d'occupation du sol de 2009 du bassin versant Tleta

Comme nous l'avons déjà signalé cette carte a été obtenue à partir de la photo-interprétation de l'image GéoEye datant d'août 2009. L'occupation réalisée au bureau a été ajustée et corrigée grâce à des prospections effectuées sur le terrain le 07 et 08 juin 2010. Les résultats de la planimétrie de cette carte sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 30)

Tableau 30: Planimétrie de la carte d'occupation élaborée à partir de l'image GéoEye

Strate	Superficie	
	En ha	En %
Affleurement rocheux	68	0,38
Agglomération	21	0,12
Bocage	2 170	12,27
Culture	9 963	56,32
Erme	1 378	7,79
Lac	371	2,10
Matorral clair	1 771	10,01
Matorral dense	1 488	8,41
Matorral dense oléastraie	34	0,19
Matorral dense reboisé	185	1,05
Reboisement	241	1,36
Total	17 691	100

3.1.1.5 Description des unités cartographiques

i. Matorral

Dans le bassin versant de Tleta, la forêt est presque absente. Le matorral est utilisé comme terrain de parcours. Selon son origine, on peut distinguer deux types de matorral :

- Un *matorral* dense reboisé (Pinède) et un matorral dense non reboisé, issus de la dégradation de l'ancienne Subéraie qui colonise les substrats gréseux. Il s'étend essentiellement dans la partie sud-est du bassin versant, particulièrement au niveau des communes rurales Ain Lahsan et Joumâa. Ce matorral est constitué d'un cortège floristique très diversifié à base de : *Quercus suber*, *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Myrtus communis*, *Citrus monspeliensis*, *Citrus populifolius*, *Citrus albidus*, *Citrus salvaefolus*, *Halimium lasiocalcinum*, *Chamaerops humilis*, *Phyllirea angustifolia*, *Pinus halepensis*. Sur le plan fourrager, ces espèces produisent environ 350 à 420 UF/ha (Unité Fourragère/année). Cette dernière s'explique par une production assez faible de feuillage au niveau des arbres, une réduction de la biomasse arbustive et un manque de la strate herbacée (Kouraimi, 1997).
- Un *matorral* plus ou moins dense issu de la dégradation de l'ancienne Oléastraie qui se situe sur des sols marneux. Il correspond à différents faciès de dégradation d'oléolentisque. Ce type de matorral est localisé sur les collines et les versants ayant une exposition orientée vers l'est. Ce type de matorral est constitué par les espèces qui se développent sur des sols basiques et tolèrent le stress hydrique. Grâce à leur type de feuille, l'oléastre et le lentisque peuvent prospérer dans les zones exposées aux vents violents et aux températures élevées, leurs souches profondément enracinées constituent une véritable défense de ces espèces contre les facteurs d'érosion. Ce type de matorral est constitué des espèces végétales suivantes : *Olea europea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, *Erica scoparia*, *Erica australis*, *Erica umbellata*, *Citrus cripus*, *Citrus albidus*, *Calycotome villosa*, *Chamaerops humilis*. La production fourragère de cette formation est estimée à 350UF/ha (Kouraimi, 1997).

Dans cette formation, on a défini un matorral dense comme étant une formation végétale issue de l'ancienne subéraie ou de l'ancienne oléastraie, dont le recouvrement de la strate arbustive est supérieur à 50% et la strate herbacée y est plus ou moins importante. Le matorral clair présente un recouvrement de la strate arbustive compris entre 20 et 50% mais la strate herbacée y est plus importante.

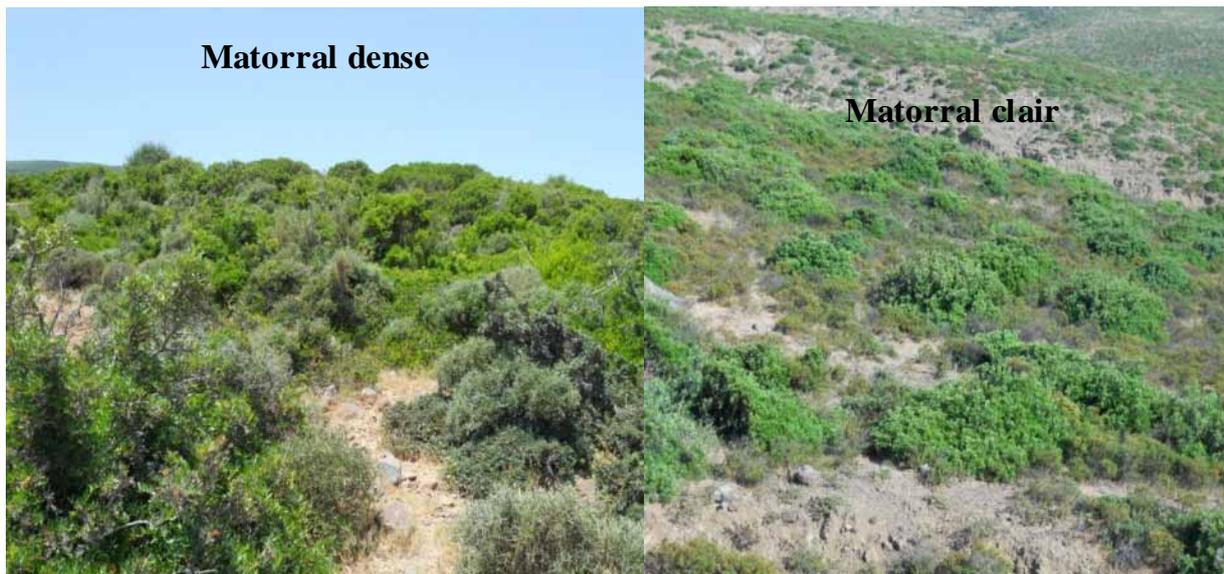


Photo 1 : Matorral



Photo 2: Matorral dense oléastraie

ii. Erme

L'erme est une formation végétale basse herbacée à dominance de thérophytes et de géophytes et à rythme saisonnier très marqué. Il s'agit d'un stade très avancé de la dégradation de la végétation ligneuse, avec un recouvrement ligneux inférieur à 20%. Cette formation végétale ligneuse, à base de *Chamaerops humilis*, *Asphodelus microcarpus* et *Urginea maritima* est associée aux terres de culture partiellement défrichées ; elle est en effet représentée par des îlots de végétation ligneuse dispersés au milieu des terres de culture ; il se situe en grande partie sur les hautes et les basses collines du bassin. Les sols y sont peu évolués, hydromorphes, caillouteux, parfois calcimagnésiques.

La principale utilisation de cette formation est le parcours, sa production moyenne en UF a été estimée à 700UF/ha (El Haddad, 1993).



Photo 3 : Erme

iii. Matorral dense reboisé

Le matorral du bassin versant Tleta est un milieu très fragile et perturbé par des actions anthropiques diverses (Coupe, pâturage, incendie, etc.). Pour cela, le reboisement de ce milieu a été effectué en 1962-1963 pour subvenir aux besoins des populations usagères en matière de bois d'énergie et de parcours. Les essences reboisées sont *Pinus pinaster*, *Pinus halepensis* et *Pinus pinea*.

Le matorral dense reboisé est localisé dans la partie Est du bassin versant. A l'époque du reboisement, la mise en défend a bien favorisé le développement d'une strate arbustive très complexe et la sauvegarde du matorral.



Photo 4: Matorral dense reboisé

iv. Reboisement

Les reboisements visent surtout la protection du sol et les essences utilisées pour le reboisement sont les suivantes :

- *Pinus halepensis* (Pin d'Alep) est une espèce rustique caractéristique de l'étage bioclimatique méditerranéen semi-aride. Il se présente en peuplements denses purs ou en mélanges avec le chêne liège. Il se situe dans la partie sud-est du bassin versant ;
- *l'Acacia cyanophylla* dont le reboisement, réalisé en 1977, a été effectué dans le cadre des propositions formulées par le schéma directeur d'aménagement du bassin versant de Tleta. Le choix de cette essence a été guidé par sa croissance rapide et par le désir de maintenir une utilisation pastorale au reboisement. Le fourrage provenant de cet arbuste peut parfaitement être intégré dans le calendrier fourrager des troupeaux ovins ou caprins particulièrement dans les périodes de soudure. Il apporte en moyenne de 800 UF/ha/an ;
- *L'Eucalyptus camaldulensis* a été planté essentiellement dans le but de stabiliser les sols en pente raide surtout au niveau de la digue du barrage Ibn Batouta. Il reste à signaler que ces périmètres d'Eucalyptus ont bien réussi.



Photo 5 : Reboisement du Pin d'Alep

v. Terrains de culture

Sur le bassin versant de Tleta, les terres de culture occupent les sols peu évolués à caractère vertique. Elles sont localisées sur les collines, dans les dépressions et les terrasses fluviales. Situées à proximité des habitations, elles sont souvent encloses par des haies de cactus (bocage). La céréaliculture constitue la spéculation dominante.

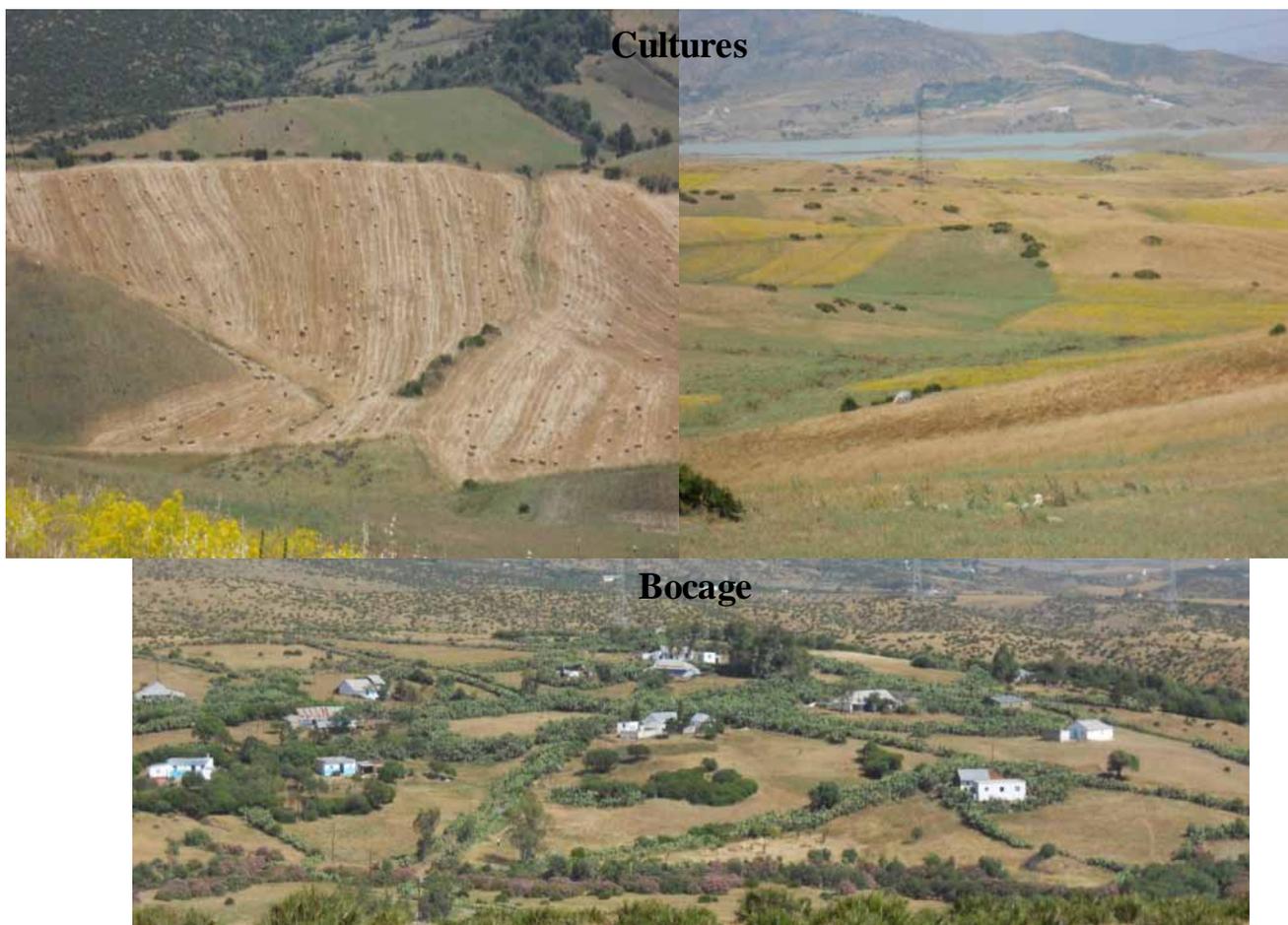


Photo 6: Terrain de culture

3.1.1.6 Evaluation du changement intervenu dans l'occupation du sol entre 1992 et 2009

L'effet des actions anthropiques sur les écosystèmes naturels se traduit par la dégradation de certaines formations au profit des autres. On cite comme exemple un matorral dense qui peut être dénudé au détriment d'une agriculture de subsistance. Pour bien visualiser ce genre de changement intervenu dans l'occupation du sol du bassin versant Tleta entre 1992 et 2009, on présentera dans les figures 27 et 28 la répartition de l'ensemble des strates d'occupation du sol en 1992 et en 2009.

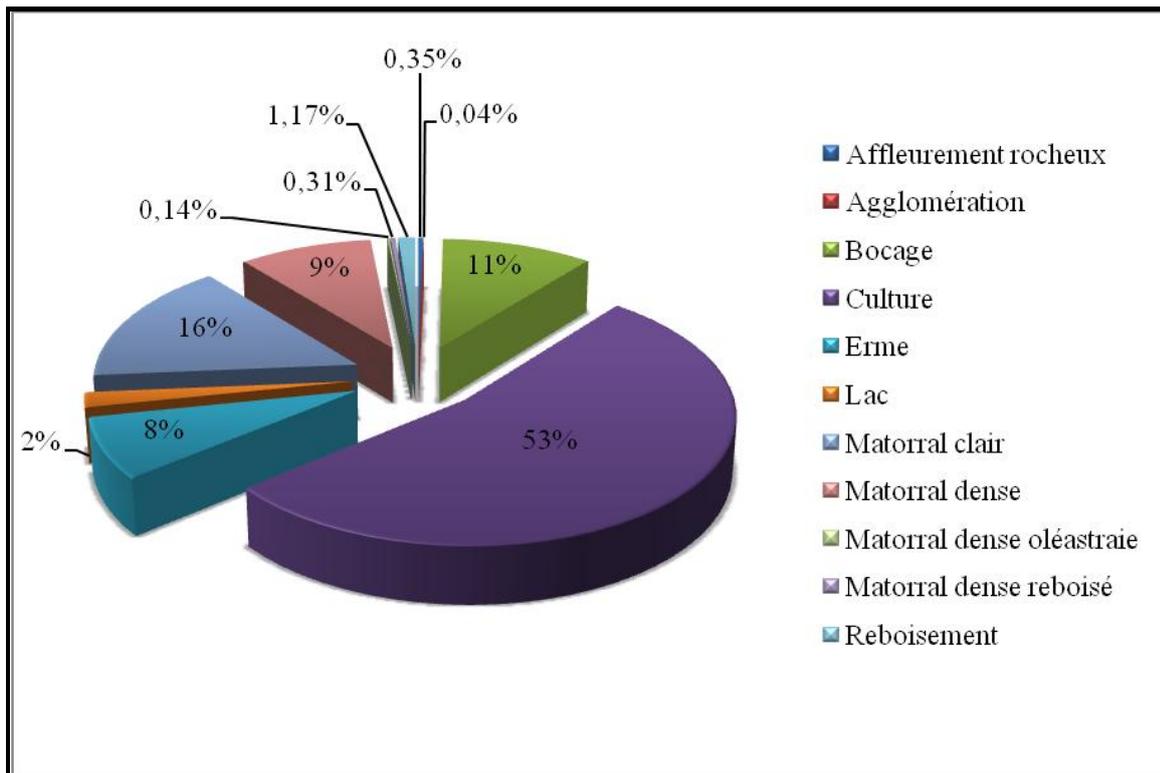


Figure 27 : Répartition des strates d'occupation du sol élaborées à partir des photographies aériennes de 1992

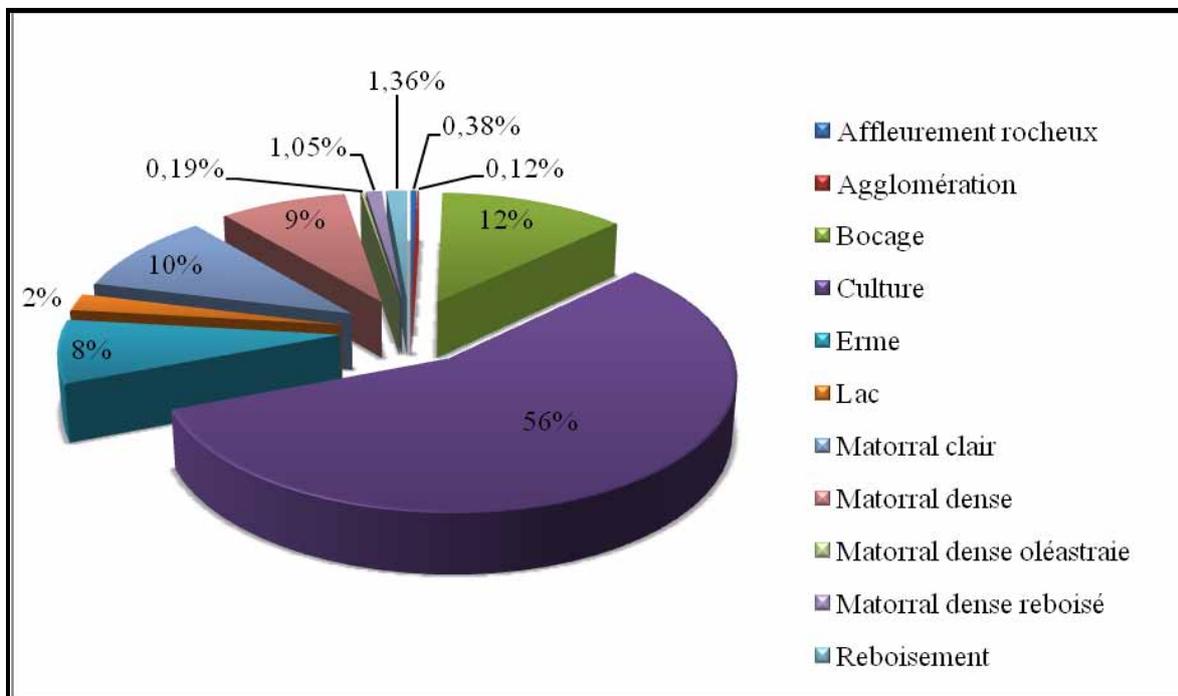


Figure 28 : Répartition des strates d'occupation du sol élaborées à partir de l'image GéoEye de 2009

La figure 27 montre que la couverture végétale du bassin versant Tleta en 1992 était appréciable. Le matorral clair occupait 2 744 ha, soit 15,5% la superficie du bassin versant. Le matorral dense représentait 1 622 ha, soit 9% de la superficie du bassin. En fait, les surfaces avec couverture végétale naturelle étaient plus grandes.

Les champs de culture et le bocage occupaient respectivement 53% et 10% du bassin versant Tleta, on peut dire qu'en 1992, le bassin versant Tleta présentait déjà des signes de saturation.

En 2009, les zones de couverture végétale naturelle sont rétrécies (Figure 28). Les surfaces occupées par le matorral clair ne sont plus que de 1 771 ha, soit 10% du total de la superficie du bassin versant. La superficie occupée par le matorral dense a diminué de 134 ha entre 1992 et 2009.

Par contre, la superficie du matorral dense reboisé a augmenté de 84 ha pour la même période suite aux reboisements réalisés à l'échelle du bassin versant.

Les terrains de culture ont augmentés par rapport à la période de 1992 atteignant 9 963 ha, soit 56% de l'ensemble du bassin versant Tleta. La superficie occupée par le bocage a augmenté. Elle est estimée à 2 170 ha en 2009, soit une augmentation de 10%. On note en 2009 une augmentation de la superficie attribuée aux agglomérations estimée à 67% par rapport à la superficie occupée par ces agglomérations en 1992.

En conclusion, l'occupation du sol du bassin versant a connu des variations importantes durant la période étudiée. De 1992 à 2009, les surfaces occupées par les cultures se sont accrues. Elles ne se limitent plus aux collines et aux dépressions, elles ont gagné les terres qui étaient occupées par la végétation naturelle et les pentes supérieures.

La lecture des résultats présentés dans les tableaux 29 et 30 a montré une diminution de la superficie du matorral clair et du matorral dense de 6%, accompagnée d'une augmentation de la superficie des terrains de culture de 5% par rapport à la surface totale du bassin versant.

En se référant au taux d'accroissement de la population qui n'a pas dépassé 0,4% durant 10 ans (1994-2004), nous pouvons conclure que cet accroissement des surfaces cultivées paraît important au regard de la taille de la population. Le 1% qui reste de la superficie du matorral disparu est passé vers une autre strate présentant un stade de dégradation très avancé: L'orme. Le reste est réparti entre le reboisement et l'agglomération.

Ainsi, la végétation représente le facteur le plus pertinent pour expliquer les changements intervenus dans le taux d'envasement du barrage. Comme c'était déjà évoqué ci-dessus, la végétation a connu d'importantes perturbations liées au surpâturage et au défrichage de la végétation naturelle pour l'installation des cultures.

En effet, l'ensemble des actions exercées sur le bassin versant Tleta, entre 1992 et 2009, ne peut induire qu'au déclenchement et à l'accélération de l'érosion lors des périodes récentes (1994-2000 et 2000-2003). Cela ne peut être confirmé qu'après une comparaison avec les taux de la régression du couvert végétation lors des périodes antérieures (1983-1989 et 1989-1994). Le résultat de cette comparaison est rapporté dans le tableau 31.

Tableau 31: Pourcentage de la superficie de la végétation régressée entre 1963-1993 et 1992-2009

Strate	% de la régression/la superficie initiale	
	De 1963 à 1993 (El Haddad, 1993)	De 1992 à 2009
Forêt dense à très dense	65	Absente
Forêt claire	95	Absente
Matorral dense	68	8
Matorral clair	35	35

Il ressort de ce tableau que la végétation naturelle, entre 1963 et 1993, a considérablement régressé. Alors que, cette régression est devenue moins marquée lors des périodes récentes (1992-2009). On note aussi que les terrains des cultures ont gagné plus que 30% de leur superficie initiale entre 1963 et 1993 (El Haddad, 1993). Tandis que, la superficie cultivée en 2009 n'a pas dépassé 8%, par rapport à celle enregistrée en 1992.

Cela nous mène à conclure que la diminution du taux d'érosion lors des périodes récentes, 1994-2000 et 2000-2003, par rapport aux périodes antérieures, (1983-1989 et 1989-1994), peut être expliquée par une atténuation de l'augmentation de la pression anthropique exercée sur le bassin versant Tleta.

Un autre facteur qui peut être considéré comme responsable de la variation du taux d'érosion à l'échelle du bassin versant Tleta est les précipitations. En effet, l'étude de la variation des pluies annuelles moyennes calculées pour chaque période de mesure d'envasement montre que sur les deux dernières périodes (1994-2000, 2000-2003) les pluies moyennes sont en fait

plus importantes que lors des périodes trois périodes antérieures (1977-1983, 1983-1989, 1989-1994) (Figure 29).

Ce constat indique que l'abaissement du taux d'envasement n'est pas corrélé avec le changement intervenu dans les précipitations.

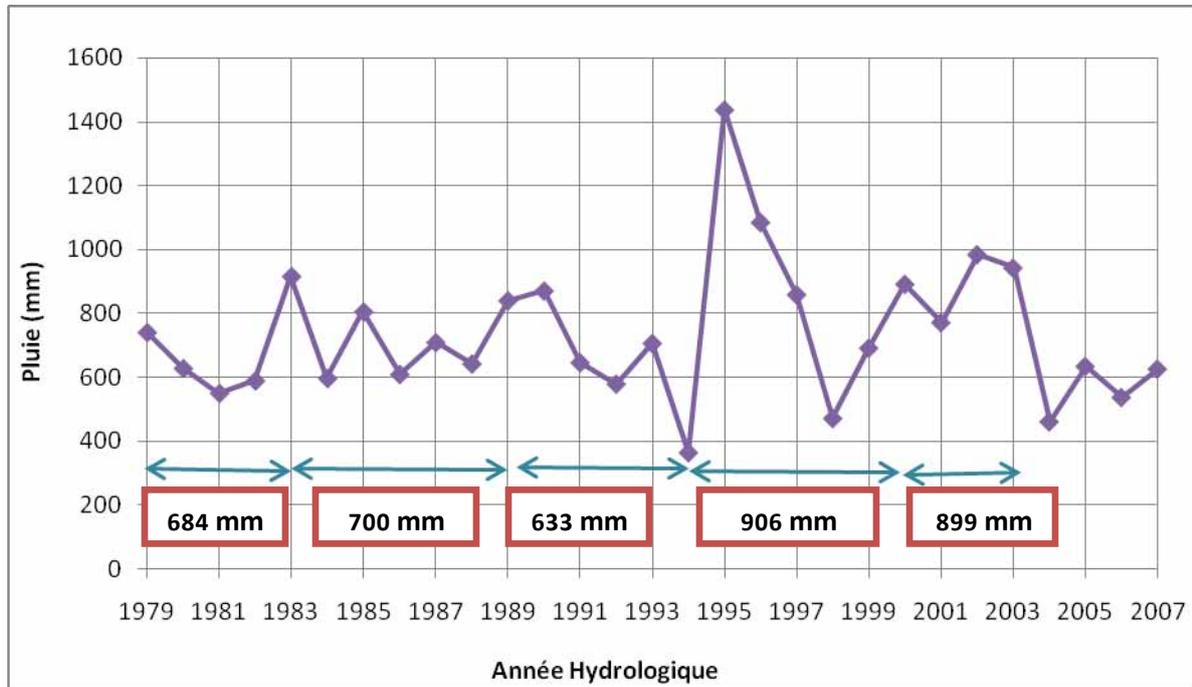


Figure 29: Variations des pluies annuelles moyennes du bassin versant Tleta sur la période 1979-2008

3.1.2 Résultat de l'étude multidates du couvert végétal (1992-2009) de la commune rurale Jouamâa

Sur les deux fonds d'occupation du sol, 1992 et 2009, nous avons pu extraire les extensions des cultures sur une zone bien calée. Cette zone fait partie de la commune rurale Jouamâa. Pour cela, nous avons collecté un ensemble de données de la commune Jouamâa, auprès des DPA de Tanger et Tétouan, concernant l'évolution de l'effectif du cheptel et les emblavements des cultures entre 1990 et 2010.

L'interprétation de l'ensemble de ces données, va nous permettre de mieux expliquer la dynamique des écosystèmes en relation avec les activités anthropiques de la commune de Jouamâa et du bassin versant Tleta.

3.1.2.1 Occupation des sols de Jouamâa en 1992 et 2009

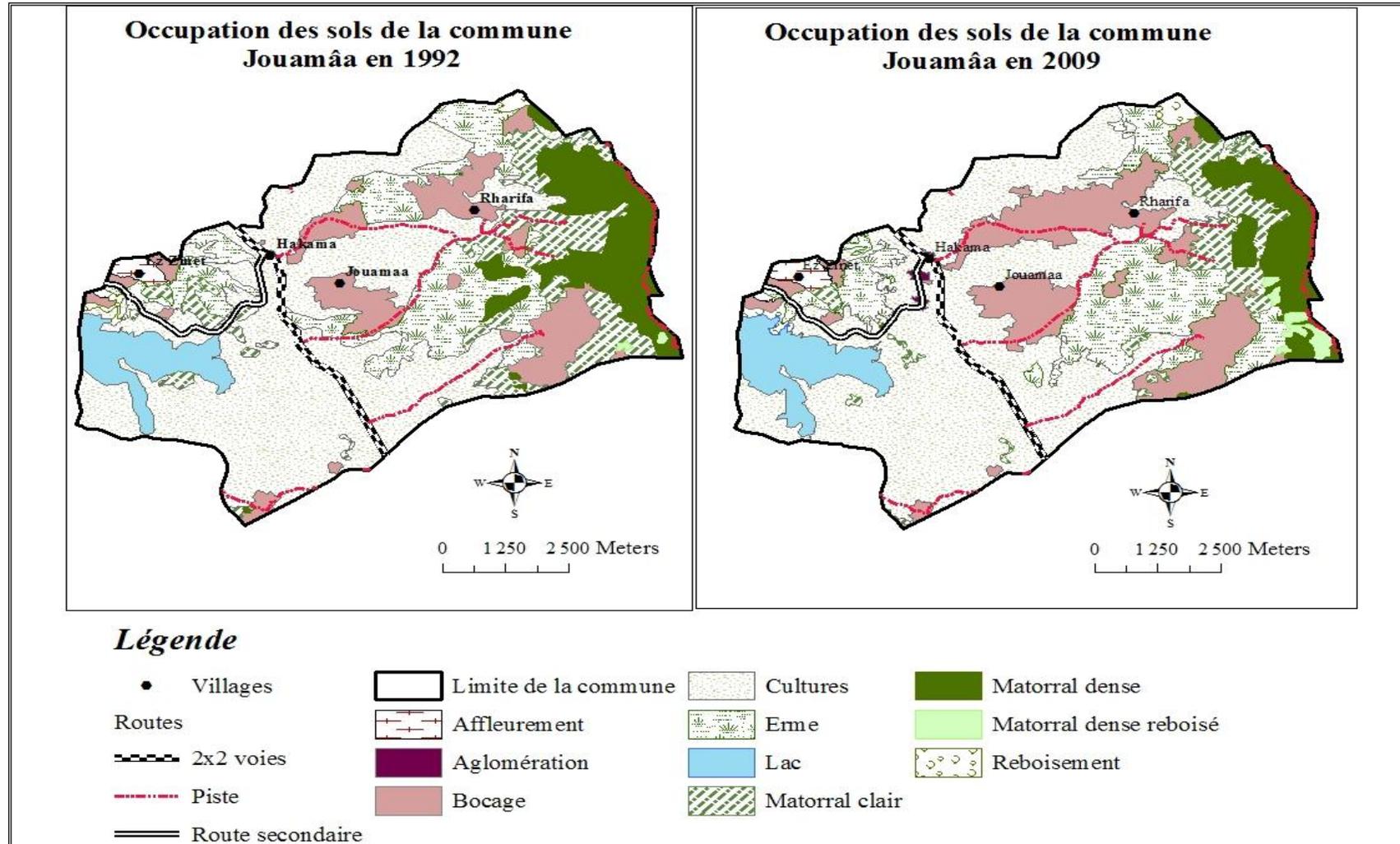


Figure 30: Occupation des sols de Jouamâa en 1992 et en 2009

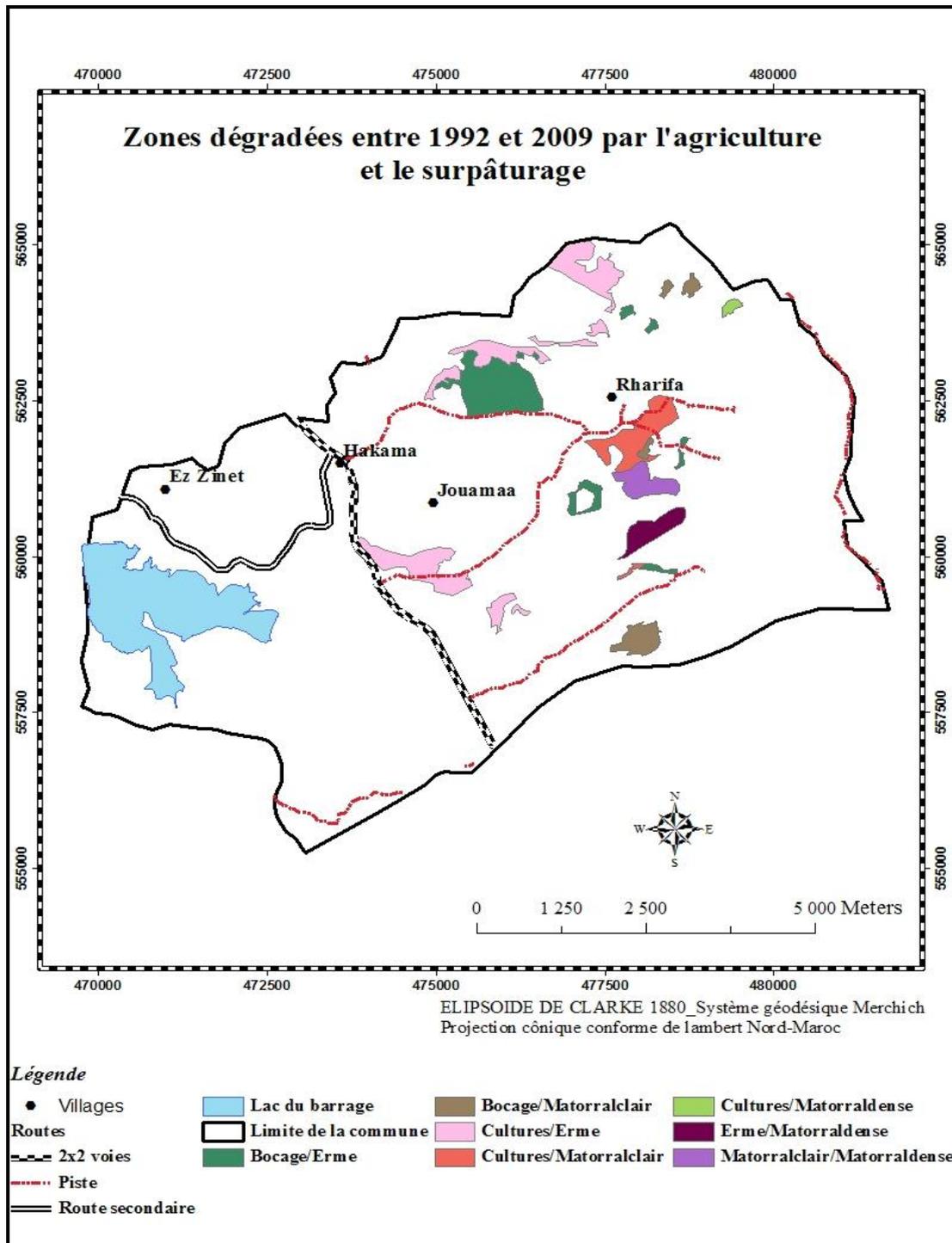


Figure 31: Zones dégradées de la commune Jouamâa entre 1992 et 2009 par l'agriculture et le surpâturage

D'après les figures 30 et 31, nous constatons que la végétation de Jouamâa a été l'objet d'une dégradation. Cela peut être du essentiellement :

- La coupe du bois effectuée d'une manière anarchique et irrationnelle ;
- Le défrichement opéré pour l'installation des cultures ;
- La forte pression exercée sur les terrains de parcours.

La coupe du bois

La végétation naturelle de la commune de Jouamâa a régressé, au fil des temps, sous le poids de la pression sociale laissant la place à un milieu fragile. En effet, les quantités du bois récoltées à l'échelle de tout le bassin versant dépassent de loin celles autorisées. La coupe est souvent effectuée sans respecter les règles sylvicoles indispensables pour assurer la régénération naturelle des peuplements (El Haddad, 1993). Cela expose le sol davantage à l'érosion.

Le défrichement

Au niveau de Jouamâa, les cultures ont envahi, entre 1992 et 2009, presque 530 ha de matorral, essentiellement par le biais de défrichement. Ce gain des terres de culture réalisé au détriment du couvert végétal naturel, menace sérieusement la protection des sols contre l'érosion hydrique. La situation est d'autant plus grave lorsque les extensions des cultures sont localisées sur des sols vulnérables, dont le facteur érodibilité est élevé.

En effet, grâce à l'outil Overlay du logiciel Arcgis, nous avons pu superposer la carte des zones dégradées et la carte pédologique. Ensuite, nous avons calculé l'érodibilité des unités pédologiques par le logiciel RUSLE 1.06c_maroc, en utilisant les données du rapport pédologique (INYPSA, 1987). Les résultats sont rapportés dans le tableau 32.

Tableau 32: Résultat de la superposition de la carte des zones dégradées et la carte pédologique de la commune Jouamâa

Type des sols	Superficie en ha/Unité				
	Peu évolués	Vertisols	Hydromorphes	Sols peu évolués érodés	Lithosols et sols brunifiés
Erodibilité	moyennement basse	basse	moyennement haute	basse	basse
Culture/Erme	97	13	117	70	62
Culture/Mat.clair			61	61	58
Culture/Mat.dense					5
Erme/Mat.dense				30	
Mat. clair/dense			32	32	
Total	97	13	210	193	125
%	15%	2%	33%	30%	20%

Mat. : Matorral.

Tableau 33: Classes d'érodibilité des unités sur lesquelles sont localisées les extensions

Type du sol	Erodibilité	Classes d'érodibilité K
Peu évolués	0,033	moyennement basse
Vertisols	0,018	basse
Hydromorphes	0,042	moyennement haute
Sols peu évolués érodés	0,024	basse
Lithosols et sols brunifiés	0,021	basse

Il ressort des tableaux 32 et 33 qu'environ 33% de la superficie dégradée est localisée sur des sols hydromorphes, dont l'érodibilité est moyennement haute. La superficie qui reste, est répartie sur des unités ayant une érodibilité relativement faible. Nous pouvons conclure que le défrichage est localisé sur des sols présentant une vulnérabilité moyenne à l'érosion.

Le pâturage

La population de la commune Jouamâa, comme toute la population du bassin versant Tleta, a un mode de vie agro-pastoral. L'alimentation animale s'appuie sur plusieurs ressources

naturelles, principalement les parcours, les résidus de cultures, les céréales et les cultures fourragères. Néanmoins, les rendements agricoles dans le territoire, en raison de la faiblesse des intrants, restent faibles. Pour cela, les éleveurs exercent une forte pression sur les terrains de parcours pour satisfaire les besoins de leurs troupeaux.

L'offre totale des terrains de parcours naturels et des terrains agricoles du bassin versant Tleta, 5 896 226 UF/an, et les besoins alimentaires globaux des animaux, 9 750 000 UF/an, permettait de déduire qu'il existait déjà dans les années 1997 un déficit alimentaire de 3 853 775 UF/an (Kouraimi, 1997). Cela permet de déceler que les ressources fourragères naturelles sont surexploitées pour combler le déficit alimentaire des troupeaux.

Comme c'était déjà évoqué, l'extension des zones dégradées peut être liée au mode d'élevage et à la conduite des troupeaux. Pour confirmer cette approche, nous avons dépouillé les données relatives à l'effectif du cheptel et aux emblavements des cultures entre 1990 et 2010 (Figures 32 et 33).

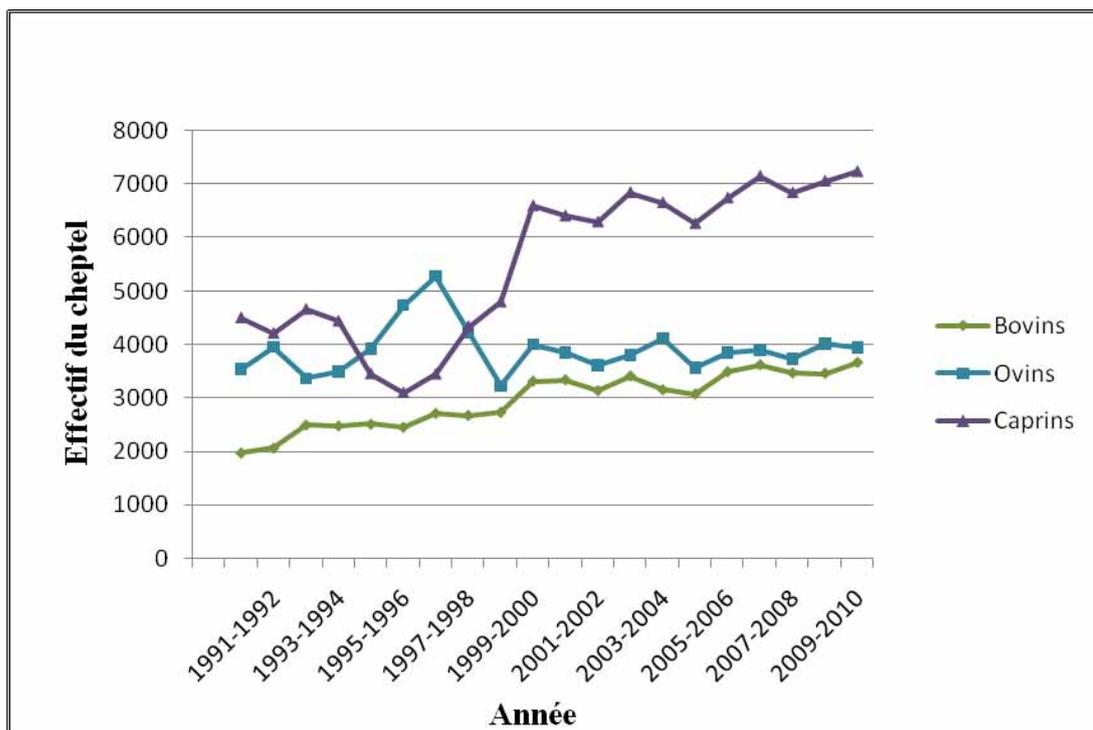


Figure 32 : Effectif du cheptel de la commune Jouamâa entre 1992 et 2010

A l'exception de la campagne agricole 1995-1996, le graphe ci-dessus dévoile une prépondérance des caprins, suivi des ovins puis les bovins.

La première constatation qu'on a pu établir est que l'effectif des caprins et des bovins a connu une augmentation. Alors que l'effectif des ovins a été maintenu à des niveaux plus ou moins constants. En 1997, Kouraimi a estimé la charge animale réelle à l'échelle de bassin versant Tleta à 4,66 UPB/ha/an, alors que la charge optimale était de 1,25 UPB/ha/an. En effet, la charge réelle était à l'époque 3 à 4 fois plus élevée que la charge optimale. Avec l'augmentation du cheptel constatée depuis 1997, les matorrals seront alors soumis à une forte pression.

Toutefois, pour déterminer avec précision l'évolution de la part de contribution des faciès pastoraux dans l'alimentation des animaux à l'échelle de la commune Jouamâa, il paraît indispensable d'actualiser les résultats présentés par Kouraimi (1997), relatifs à l'évaluation de la demande fourragère et à la production fourragère des faciès pastoraux de Jouamâa. Les tableaux 34 et 35 illustrent les résultats obtenus.

Tableau 34: Demande fourragère du cheptel de la commune Jouamâa en 2009

Besoin en UF/an	bovin	ovin	caprin	total
effectif	3670	3940	7245	14855
*DF (UF/an)	294911	44325	158073	497308

*DF : Demande fourragère.

DF = UPB*300/12*T (Kouraimi, 1997) ;

UPB : Unité petite bétail ;

T : temps de séjour sur le parcours (en mois).

Tableau 35: Production fourragère en UF par faciès pastoral au niveau de la commune rurale Jouamâa en 2009

Ressources fourragère	Superficie en ha	UF/ha (Kouraimi,1997)	UF total
Matorral dense reboisé	59	111	6600
Matorral dense	516	95	49102
Matorral clair	472	394	186101
Erme	1128	54	60761
reboisement	76	100	7561
Jachère	116	400	46400
Total	2368		356525

Selon les résultats des tableaux 34 et 35, la demande fourragère globale exercée sur les terrains de parcours naturels et les terrains agricoles est évaluée à 497 308 UF/an. L'analyse comparative de cette demande avec la production fourragère de ces espaces pastoraux (356 525 UF/an) permet de déceler qu'il existe un déficit alimentaire de 140 783 UF. Ceci prouve que la pression pastorale est supérieure aux potentialités actuelles des terrains de parcours de la commune Jouamâa. En conséquent, la végétation naturelle est davantage dégradée et le sol devient plus exposé au phénomène de l'érosion.

Donc l'amélioration de la situation actuelle en augmentant la production fourragère des faciès pastoraux et en apportant des suppléments au bétail paraissent des bonnes solutions pour la sauvegarde de la végétation naturelle et par conséquent la protection des sols contre l'érosion.

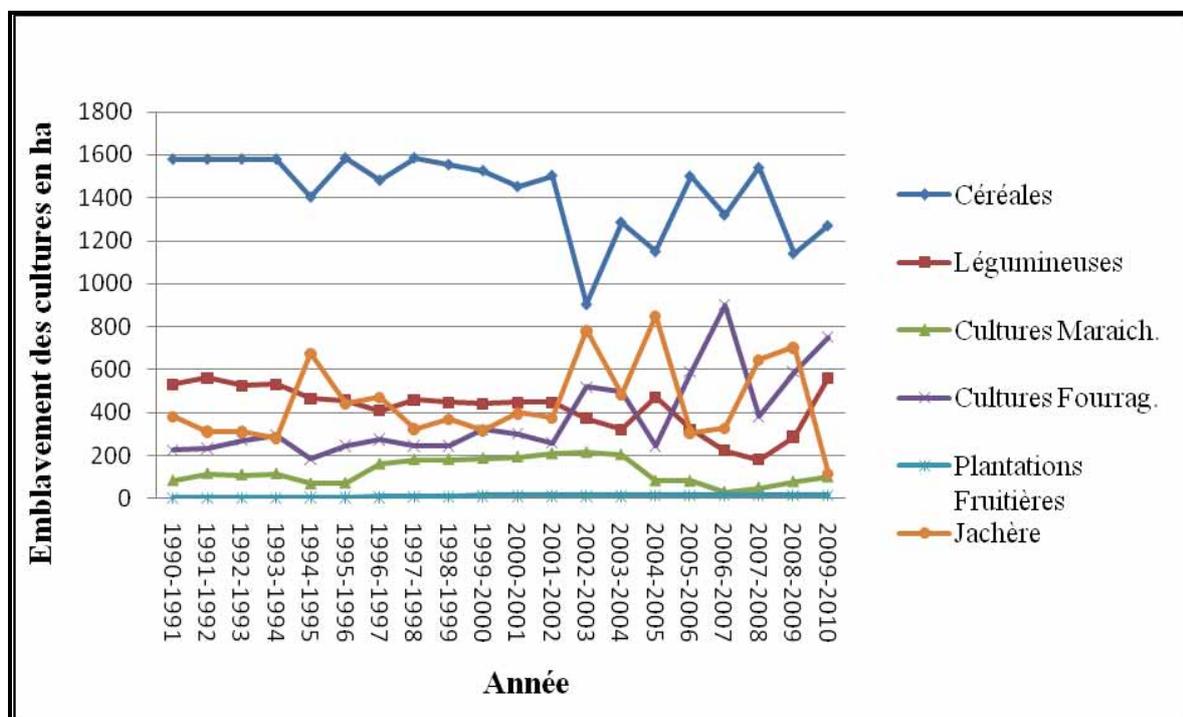


Figure 33: Emblèvements des cultures de la commune de Jouamâa entre 1990 et 2010

Entre 1990 et 2010, l'occupation des sols a connu des changements plus au moins variables surtout à partir de 2001-2002 :

- Les cultures fourragères ont enregistré une augmentation par rapport à la surface totale cultivée ;
- Les superficies céréalières ont chuté ;
- Les terres en jachère ont signalé une fluctuation marquée ;

- L'importance des superficies occupées par les cultures maraîchères et des légumineuses reste plus ou moins constante ;
- Les plantations fruitières n'ont pas connu un changement notable.

Il ressort des figures 32 et 33, que l'augmentation de l'effectif du cheptel a été accompagnée par une augmentation des surfaces emblavées par les cultures fourragères pour assurer les besoins alimentaires des troupeaux. Cette augmentation des cultures fourragères participe essentiellement à l'intensification de l'élevage bovin, notamment pour la production laitière. Mais, l'apport des besoins en UF reste toujours déficitaire et les éleveurs de la commune Jouamâa continuent toujours à surexploiter les matorrals notamment pour nourrir les caprins dont l'effectif augmente le plus. Cela est confirmé par les extensions intervenues dans l'occupation des sols entre 1992 et 2009.

En conclusion, la végétation naturelle de la commune Jouamâa connaît toujours une dégradation permanente, sans doute sous l'effet du défrichement, du surpâturage et du prélèvement du bois par la population. Cette dégradation exposera le sol davantage à l'érosion hydrique.

Conclusion

Au terme des résultats présentés précédemment, on peut déduire que l'utilisation du SIG et de la photo-interprétation nous a permis d'aboutir aux objectifs assignés à ce travail, ceci à travers l'élaboration des cartes d'occupation du sol multidates.

L'adoption de cette approche nous a permis d'évaluer la dynamique de la dégradation du couvert végétal entre les 2 dates examinées, ainsi que son impact sur l'érosion à l'échelle du bassin versant.

En outre, l'étude détaillée réalisée au niveau de la commune Jouamâa, nous a permis de localiser les zones d'extension des cultures et de citer les causes principales de ces extensions.

Les résultats obtenus prouvent que le couvert végétal a régressé. Cela va aboutir davantage à l'augmentation du taux d'érosion à l'échelle du bassin versant. Donc, les taux d'envasement inférieurs enregistrés lors des périodes récentes, 1994-2000 et 2000-2003, dans le barrage Ibn Battouta ne sont pas dus essentiellement au facteur couvert végétal. Il semble que la baisse des taux d'envasement puisse être due à un changement de la méthode de calcul utilisée.

Conclusion et recommandations

Le présent travail a été focalisé sur le diagnostic des causes principales de la variation du taux d'érosion hydrique, à savoir le changement intervenu dans l'occupation du sol et des précipitations de la région.

En effet, l'érosion hydrique est l'une des principales menaces à l'égard du capital sol au Maroc. Cette étude est entreprise sur l'un des sites les plus représentatifs de ce phénomène : le bassin versant de Tleta. Elle permet de déceler dans quelle mesure, l'évolution du couvert végétal peut être à l'origine de la diminution du taux d'érosion à l'échelle du bassin versant lors des périodes récentes (1994-2000 et 2000-2003).

Afin de pouvoir réaliser ce travail, nous avons élaboré deux cartes d'occupation par photo-interprétation des photographies aériennes, datées de 1992, 1993 et 1994, et de l'image GéoEye (Août 2009). Ce travail a nécessité la maîtrise des outils de cartographie et de traitement des images satellitaires et des photographies aériennes. Les deux cartes obtenues au 1/50 000^{ème}, ont été traitées dans un système d'information géographique. Ceci nous a permis d'évaluer les changements survenus au sein de chaque entité cartographiée. Ainsi, nous avons dégagé une régression du couvert végétal dans les dix sept dernières années. En effet, le matorral clair et le matorral dense ont régressé de 1992 à 2009 respectivement de 35% et 8%. Mais cette régression reste relativement faible par rapport à celle enregistrée de 1963 à 1993 (El Haddad, 1993). Ainsi, au cours de la même période, 1992-2009, les terrains de cultures (culture et bocage) ont progressé d'environ 8% par rapport à leur superficie initiale (1992).

En outre, nous avons choisi une commune qui fait partie du bassin versant Tleta, Jouamâa, pour bien dévoiler les fluctuations du couvert végétal en rapport avec l'activité anthropique. En effet, la superposition des deux cartes d'occupation de la commune Jouamâa pour localiser les extensions des zones défrichées, nous a permis de conclure que les zones dégradées étaient situées sur des sols dont l'érodibilité est moyenne à basse. Cela engendre des pertes en terre relativement faibles. Ainsi, le recueil des données telles que les emblavements des cultures et l'évolution de l'effectif du cheptel à l'échelle de la commune a relevé une évolution de l'activité anthropique au dépend de la dégradation des sols.

En comparant les résultats obtenus dans cette étude avec ceux présentés dans l'étude de cartographie du couvert végétal du bassin versant Tleta entre 1963 et 1993 (El Haddad, 1993) et les données de la pluviométrie entre 1979 et 2008. Nous pouvons conclure que la diminution des valeurs d'envasements du barrage Ibn Batouta lors des périodes récentes (1994-2000 et 2000-2003) peut être attribuée à une réduction des superficies défrichées par rapport aux années antérieures (1983-1989 et 1989-1994). L'effet des précipitations reste négligeable vu qu'elles n'ont pas enregistré de changement considérable.

De plus, nous pouvons aussi attribuer probablement la variation des valeurs d'envasement à une sous-estimation lors de la réalisation des mesures bathymétriques au barrage Ibn Batouta.

Durant la réalisation de ce travail, nous nous sommes confrontés à certains obstacles tels que :

- Les problèmes de calage des photographies aériennes avec l'image GéoEye ;
- L'absence des données détaillées sur l'ensemble des communes couvrant le bassin versant ;
- L'accès difficile à certaines zones du bassin versant lors de la réalisation des prospections terrains.

Au terme de ce travail, il n'a pas été possible de détailler l'ensemble des activités anthropiques sur tout le bassin versant. Des pratiques que l'homme opère telle que les techniques culturales et le pâturage, ainsi que des études socio-économiques doivent être analysées pour comprendre leurs impacts sur le comportement des sols vis-à-vis des différents facteurs qui déclenchent l'érosion hydrique.

A la lumière de la conclusion, nous tenons à noter que le temps accordé à la réalisation de ce travail, ne nous permet que de se focaliser sur une évaluation de l'évolution de l'occupation des sols et ne pas intégrer des études détaillées sur les composantes techniques, économiques et sociales. Ces composantes sont des facteurs déterminants pour expliquer le phénomène de l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant. Toutefois, les résultats de l'occupation des sols obtenus constituent un outil de base auquel on peut se référer pour raisonner des actions à entreprendre pour minimiser la dégradation des ressources naturelles et améliorer la situation actuelle à l'échelle du bassin versant Tleta. Les résultats et les données présentés dans ce travail, ont l'avantage d'être facilement accessibles et actualisables.

En outre, on recommande une analyse des intensités des pluies entre 1977 et 2003 pour connaître l'ampleur de l'érosivité des précipitations.

On recommande aussi l'utilisation des photographies aériennes ortho-rectifié pour éviter les problèmes de calage.

Un autre projet de fin d'étude peut être proposé à la suite de ce travail pour le compléter et détailler les aspects techniques et sociaux, choses qui vont enrichir davantage l'étude et qui va permettre de répondre d'une façon plus précise à la problématique posée.

Références bibliographiques

Abdellaoui B., 2005. Suivi et simulation de bilan hydro-sédimentaire du barrage d'Oued Saboun (région de Tanger) : Apport à la gestion des ressources en eau des retenues collinaires en zones marneuses méditerranéennes. Thèse de doctorat : Université Mohammed V, Faculté des Sciences Rabat.

Albergel J., 1987. Hydrologie des régions méditerranéennes. Séminaire international sur l'hydrologie des régions méditerranéennes. AISH, Montpellier octobre 2001

Al Karkouri J., Laouina A., Roose A. et Sabir M., 2000. Capacité d'infiltration et risques d'érosion des sols dans la vallée des Beni Boufrah Rif central (Maroc). Bull. Réseau Erosion N°20.15p : 342-356.

Avenard J. M., 1995. Dynamique érosive actuelle et actions humaines dans le Prérif (Maroc). Bull. Réseau Erosion N°15. 14 p : 394-407.

Ayed M. et Mohammad A., 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena* (2010).

Barhmi K., 1980. Etude de l'érodabilité relative et ses relations avec les propriétés physiques et chimiques des sols (cas des sols agricoles du Bassin Versant de Tleta). Mémoire de 3^{ème} cycle. Sciences du Sol. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Benabid A., 2002. Le Rif et le Moyen Atlas (Maroc): Biodiversité, menaces, préservation. African Mountains High Summit Conference Nairobi, Kenya. 6-10 mai 2002.

Benkhelil H., Abriak N. E., Masson F. X., Boulemia C. et Henry E., 2004. Démarche méthodologique pour la conception d'un Micro- simulateur de pluie pour les milieux rural et urbain. Applications aux phénomènes d'infiltration et de ruissellement : VIII^{ème} Journées Génie Civil – Génie Côtier, Compiègne, 7-9 septembre 2004. p533-534.

Beuselinck L., Steegen A., Govers G., Nachtergaele J., Takken I. & Poesen J., 2000. Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian Loam Belt, *Geomorphology* 32 (2000) : 69–82.

Blanco H. & Lal R., 2008. Principles of Soil Conservation and Management Springer Science and Business Media B.V. p22

Boli Baboule Z., Roose E. & Ziem B., 1999. Effets du labour et de la couverture du sol sur le ruissellement et les pertes en terre sur un sol ferrugineux sableux en zone Soudanienne du Nord-Cameroun. Bull. Réseau Erosion N°19. 7 p : 372-378.

Boli Baboule Z. & Roose E., 2004. Effets comparés du labour classique et du non labour sous litière sur le fonctionnement de deux sols ferrugineux tropicaux sableux à Mbissiri, Nord-Cameroun. Bull. Réseau Erosion N° 23 : 431-447.

Bou kheir R., Girard M. C., Shaban A., Khawlie M., Faour G. et Darwich T., 2001. Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban. Contemporary Publishing International. Télédétection, Vol n°2 : p 79-90.

Boutaib N., 1987. Impact de la dégradation des bassins versants sur l'économie nationale. Séminaire National sur l'Aménagement des bassins versants.

Cammeraat L. H. & Imeson A. C., 1999. The evolution and significance of soil-vegetation patterns following land abandonment and fire in Spain. Catena 37. p 107-127.

Corbane C., 2006. Reconnaissance des états de surface en milieu cultivé méditerranéen par télédétection optique à très haute résolution spatiale. Thèse Doctorale, Université Montpellier II.

Cosandey et al., 2000. Forêt et écoulements : étude des processus responsables des modifications du bilan d'écoulement annuel à l'occasion d'une coupe forestière. Forêt méditerranéenne 21. p 154-155.

Danloux J. et Laganier R., 1991. Classification et quantification des phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation sur les bassins touchés par l'exploitation minière en Nouvelle-Calédonie. Hydml. Continent. Vol. 6, no 1.p: 15-28.

Delaunois A., 2004. L'érosion hydrique : un signe de la dégradation biologique des sols dans le sud-ouest de la France et le non-labour. Bull. Réseau Erosion N° 23 : 438-441.

Descroix L., Viramontes D., Anaya E., Poulenard J., Barrios J. G., 2000. L'impact du surpâturage et du déboisement sur l'érosion des sols dans la Sierra Madre Occidentale (Nord-Ouest du Mexique). Bull. Réseau Erosion N°20. 14 p : 218-231.

Echehab B., 1990. Etude de la dégradation de la végétation et du sol dans le bassin versant de Nakhla (Rif Occidental) entre 1966 et 1986. Mémoire de 3ème cycle. Sciences du Sol. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Ekern P., 1950. Raindrop impact as the force initiating soil erosion. *Soil Sci Soc Am Proc* 15. p : 7-10.

El Haddad M., 1993. Etude et cartographie du couvert végétal du B.V. de Tleta : Utilisation des données SPOT HRV, des photographies aériennes et d'un S.I.G. Mémoire de 3^{ème} cycle. Eaux et Forêts. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Elhammoudi A., 1999. Evaluation des paramètres du taux de délivrance des sédiments : Application au bassin versant Telata (Tangérois). Mémoire de 3^{ème} cycle. Sciences du Sol. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

El Kamoun I., 2009. Application du modèle STREAM pour la simulation de l'érosion dans le bassin versant Tleta. Mémoire de 3^{ème} cycle. Sciences du Sol. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Ellison W., 1947. Study on raindrop erosion. *Agric.Eng.* 25: 131-136.

Erpul G., Norton L. & Gabriels D., 2002. Raindrop induced and wind driven soil particle transport. *Catena*, 47(3): 227–243.

Ezzine H., 1998. Comparaison de trois modèles d'érosion en utilisant des techniques géomatiques (télétection et SIG). Mémoire de 3^{ème} cycle. Sciences du Sol. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

FAO/PNUD/Gouvernement du Maroc Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. 1977. Projet Mor 71/536. Schéma d'aménagement du bassin versant de Tleta.

FAO., 1983. Le rôle des communautés montagnardes dans l'aménagement des bassins versants. Cahiers FAO N ° 8, Rome.

Fournier F., 1967. Research on soil erosion and soil conservation in Africa, *African Soil* 12 : p 53-96.

Francis C. & Thornes J., 1990. Runoff hydrographs from three Mediterranean vegetation cover types, *Vegetation and Erosion: Processes and Environments*. p 363–384.

García-Ruiz JM., 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review , *Catena* 81. P 1–11.

Geddes N. & Dunckerley D., 1999. The influence of organic litter on the erosive effects of raindrops and of gravity drops released from desert shrubs. *Catena* 36. P 303–313.

Gimeno G. E., Andreu V., Rubio J. L., 2007. Influence of vegetation recovery on water erosion at short and medium-term after experimental fires in a Mediterranean shrubland. *Catena* 69.p :150–160.

Giordano A., 1994. L'érosion et la lutte contre l'érosion en forêt méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne* 15. P : 12–21.

Hamma Y., 2004. Cours de conservation des eaux et des sols (version électronique). <http://www.bf.refer.org/toure>

Heusch B., 1970 a. L'érosion du Prérif : Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Prérif occidental. *Ann. Rech. Forest. du Maroc*. Tome 12, Rabat, p 9-176.

Heusch B., 1970 b. L'érosion hydraulique au Maroc : son calcul et son contrôle. *Al Awamia* Rabat, 36 : 21-39.

Inypsa-Maroc, S.A. et Direction Provinciale de l'Agriculture de Tétouan, 1987. Projet Intégré de développement Agricole de Tanger-Tétouan, Secteur de Tétouan : Etude des sols au 1/100.000 (Edition au 1/50.000).

Horton R., 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Sci. Soc Amer Proc* 5. P : 399-417.

King D. et Le Bissonnais Y., 1992. Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux. Exemple du ruissellement et de l'érosion sur les plateaux limoneux du nord de l'Europe. *C.R. Acad.Agric.FR* 78 (6) : 91-105.

Kouraimi B., 1997. Cartographie et analyse de la production pastorale et ligneuse du matorral dans le Rif Occidental : Cas du Bassin Versant de Tleta. Mémoire de 3^{ème} cycle. Pastoralisme. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Lal R., Kimble J. M., Follett R. F., Stewart B. A., 1998. *Soil Processes and the Carbon Cycle* : Boca Raton en Floride. CRC Press. 609 p.

Le Bissonnais Y. et Papy F., 1997. Les effets du ruissellement et de l'érosion sur les matières en suspension dans l'eau. L'eau dans l'espace rural : Production végétale et qualité de l'eau. Universités Francophones, AUPELF-UREF, INRA éditions, Paris, 411 p.

Le Bissonnais Y., Cerdan O., Lecomte V., Benkhadra H., Souchère V. & Martin P., 2005. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. *Catena* 62.p:111– 124.

Mayer L. D. & Harmon W. C., 1992. Interrill runoff and erosion effects of sideslop shape, rain energy and rain intensity. *Am. Soc. Agr. Eng. Trans* 35: 1199-1203.

Mein R. & Larson C., 1973. Modeling infiltration during a steady rain. *Water Resources Research* N°9 (2) : 384-394.

Memeé, 2001. Rapport de Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Département de l'Environnement. Rapport National sur l'Etat de l'Environnement au Maroc.

Merzouk A. & Blake G. R., 1991. Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. *Catena*, 18 (6) : 537-550.

Merzouk A., Fenjiro I. et Laouina A., 1996. Cartographie de l'évolution des formes d'érosion dans le Rif Occidental (Maroc): Etude Multi date utilisant un SIG-Bassin Versant. *Bull. Réseau Erosion* N°16. 13 p : 444-456.

Merzouk A., 1996. Evolution de l'occupation du sol et son impact sur la production en sédiments : Application du bassin versant de Tleta, Tangérois. Séminaire sur l'imagerie satellitaire et l'environnement. FST Tanger 5, 6, 7 Nov 1996. Maroc.

M'hirit O., Benzyan M. et Naggar M., 1995. L'aménagement sylvo-pastoral : un outil de gestion et un préalable à la sauvegarde des écosystèmes forestiers au Maroc. *Ann. Rech. Forest du Maroc. MAMVA/AEFCS*, Rabat. Maroc.

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). *Bull. Réseau Erosion* N°21. 11 p : 244-254.

Moukhchane M., 2002. Différentes méthodes d'estimation de l'érosion dans le bassin versant du Nakhla (Rif Occidental, Maroc). *Bull. Réseau Erosion* N°21. 12 p : 255-266.

Mrabet R., Lahlou S., Le Bissonais Y. et Duval O., 2004. Estimation de la stabilité structurale des sols semi-arides marocains : Influence des techniques culturales simplifiées. *Bull. Réseau Erosion* N° 23. 11 p : 405-415.

Neboit R., 1991. L'homme et l'érosion: L'érosion des sols dans le monde. p 109.

Rey F., Ballais J. L., Marre A. et Rovéra G., 2004. Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *C. R. Geoscience* 336 : 991-998.

Rey F., Chauvin C., Richard D., Mathys N., Rovéra G. et Morel A., 2002. Le piégeage des sédiments marneux par des barrières végétales (Alpes du Sud, France). Bull. Réseau Erosion N° 21 : 331-345.

Rishirumuhirwa T., 1993. Facteurs anthropiques de l'érosion dans les régions des montagnes et hauts plateaux de la C.E.P.G.L . (Burundi-Rwanda-Zaire). Bull. Réseau Erosion N°13. 10 p : 53-62.

Roose E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de la FAO N°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.
Bull Réseau Erosion N°16. P : 87-97.

Roose E. et De Noni G., 2004. La Gestion Conservatoire de l'Eau et de la fertilité des Sols (GCES), une stratégie nouvelle pour faire face à un double défi du 21ème siècle : la pression démographique et l'environnement rural. Bull. Réseau Erosion N°23. 18 p : 10-27.

Roose E., Chebbani R. et Bourougaa L., 1999. Ravinement en Algérie : Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Bull. Réseau Erosion n°19. 17 p.

Sabir M. et Roose E., 2004. Influences du couvert végétal et des sols sur le stock de carbone du sol et les risques d'érosion et de ruissellement dans les montagnes méditerranéennes du Rif Occidental (Maroc). Bull. Réseau Erosion N°23. 11 p : 144-154.

Sabir M., Roose E., Ouagga T., Bensalah N. et Dore L., 2007. Utilisations des terres et risques de ruissellement et d'érosion dans les montagnes au Maroc. Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007

Sabir M., Merzouk A., Berkat O. et Roose E., 1996. Effet de la maximisation du pâturage sur certaines caractéristiques de la surface et la perméabilité du sol dans un milieu steppique Marocain Aarid (Haute Moulouya). Bull. Réseau Erosion N° 16 : 47-57.

Sabir M., Merzouk A. et Berkat O., 1994. Impact du pâturage sur les propriétés hydriques du sol dans un milieu pastoral aride: Aarid, Haute Moulouya (Maroc). Bull. Réseau Erosion N°14 : 444-462.

Sadiki A., Bouhlassa S., Auajjar J., Faleh A. et Macaire J. J., 2004. Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab. Bull

de l'Institut Scientifique Rabat, section Sciences de la Terre N°26 : 69-79.

Sala M., 2000. Risques et impacts des incendies de forêt. Bull. Réseau Erosion N°20 : 477.

Salles C., Poesen J. & Govers G., 2000. Statistical and physical analysis of soil detachment by raindrop impact: Rain erosivity indices and threshold energy. Water Resources Research, 36(9): p2721–2729.

Snelder D. & Bryan R. B., 1995. The use of rainfall simulation tests to assess the influence of vegetation density on soil loss on degraded rangeland in the Baringo District, Kenya. Catena 25. p105-116.

Terras S., 2006. Impacts du pastoralisme sur l'érosion et l'eau dans un petit bassin versant méditerranéen du Rif occidental cas du bassin versant de Kalaya. Rapport de Stage. Master 2 Bio-ressources en Régions Tropicales et Méditerranéennes. Université Paris XII. Val-de-Marne & Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Tribak A. et Morel A., 2004. L'utilisation des terres et le ravinement dans les moyennes montagnes du Prerif Oriental (Maroc). Bull. Réseau Erosion N° 23 : 236-247.

Vandaele K., Poesen J., Govers G. & Wesemael B., 1996. Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. Geomorphology 16: 161-173 p.

Wichmeier H. & Mannering J. V., 1969. Relation of soil properties to its Erodibility. Soil Science Society of America. Vol N° 33.

Wischmeier H. & Smith D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Handbook N° 537. 58 p.

Woodward D.E., 1999. Method to predict cropland ephemeral gully erosion. Catena 37: 393–399.

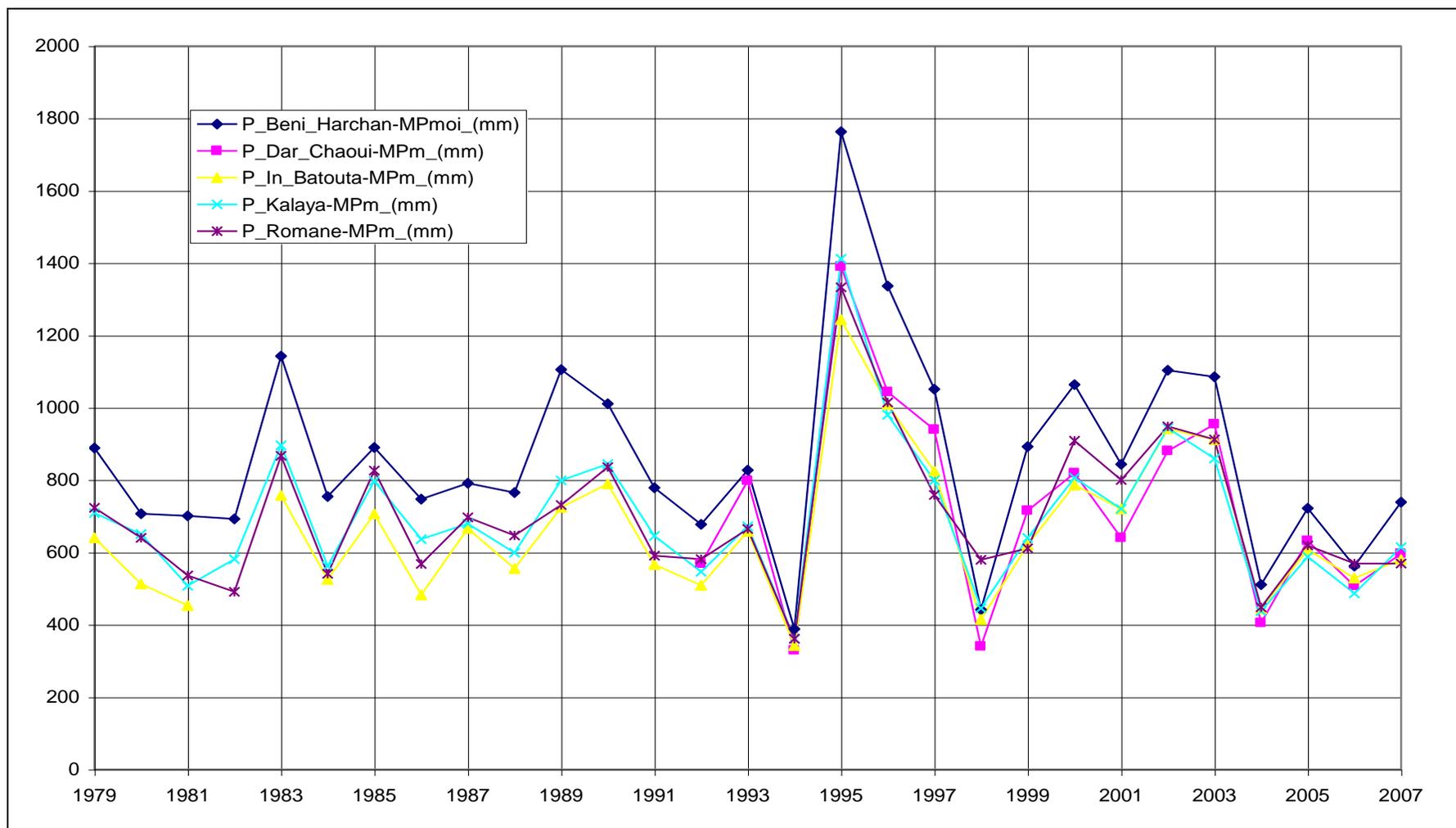
Annexes

Annexe 1 : Légende de la carte géologique

Légende

	Lac (0)
	Quaternaire, formations de pente, colluvions (1)
	Quaternaire, formations de pente, dépôts de pente (2)
	Quaternaire, formations de pente, éboulis (3)
	Quaternaire, Terrasses fluviales et glacis d'accumulation, Rharbien et actue (4)
	Quaternaire, Terrasses fluviales et glacis d'accumulation, Quaternaire, Soltanien (5)
	Quaternaire, Terrasses fluviales et glacis d'accumulation, Quaternaire, Soltanien ancien (6)
	Quaternaire, Terrasses fluviales et glacis d'accumulation, Quaternaire, Tensiftien (7)
	Quaternaire, Terrasses fluviales et glacis d'accumulation, Quaternaire, Amirien (8)
	Quaternaire, Terrasses fluviales et glacis d'accumulation, Quaternaire, Salétien (9)
	Quaternaire, Terrasses fluviales et glacis d'accumulation, Quaternaire, Régréguien (10)
	Quaternaire, Terrasses fluviales et glacis d'accumulation, Quaternaire ancien non différencié (11)
	Flyschs, Unité de Tala Lakrah, Oligocène Aquitaniien (12)
	Flysch, nappe des grès à faciès numidien, Oligocène-Aquitaniien (13)
	Flysch, nappe des grès à faciès numidien, Eocène supérieur-Oligocène (14)
	Flysch, nappe des Beni Ider, Oligocène terminal-Aquitaniien (15)
	Flysch, nappe des Beni Ider Crétacé moyen-supérieur non différencié (16)
	Flysch, nappe des Beni Ider, Sénonien (17)
	Flyschs, nappe des Beni Ider, Cénomaniien-Turonien (18)
	Flysch, nappe des Beni Ider, Eocène inférieur à supérieur non différencié (19)
	Flyschs, nappe du Jebel Tisiren, Barrémien à Albien (20)
	Flyschs, nappe de Melloussa, Crétacé supérieur (21)
	Flyschs, présence de Phtanites du Cénomano-Turonien (22)
	Flyschs, nappe de Melloussa, Barrémien à Albien (23)
	Unité de Tanger Interne, Campanien Maestrichtien (24)
	Unité de Tanger Interne, Turonien Sénonien inférieur (25)
	Unité de Tanger Externe, Campanien-Maestrichtien, faciès marneux (26)
	Unité de Tanger Externe, Campanien-Maestrichtien, faciès argileux (27)
	Unité de Tanger Externe, Turonien Sénonien inférieur (28)

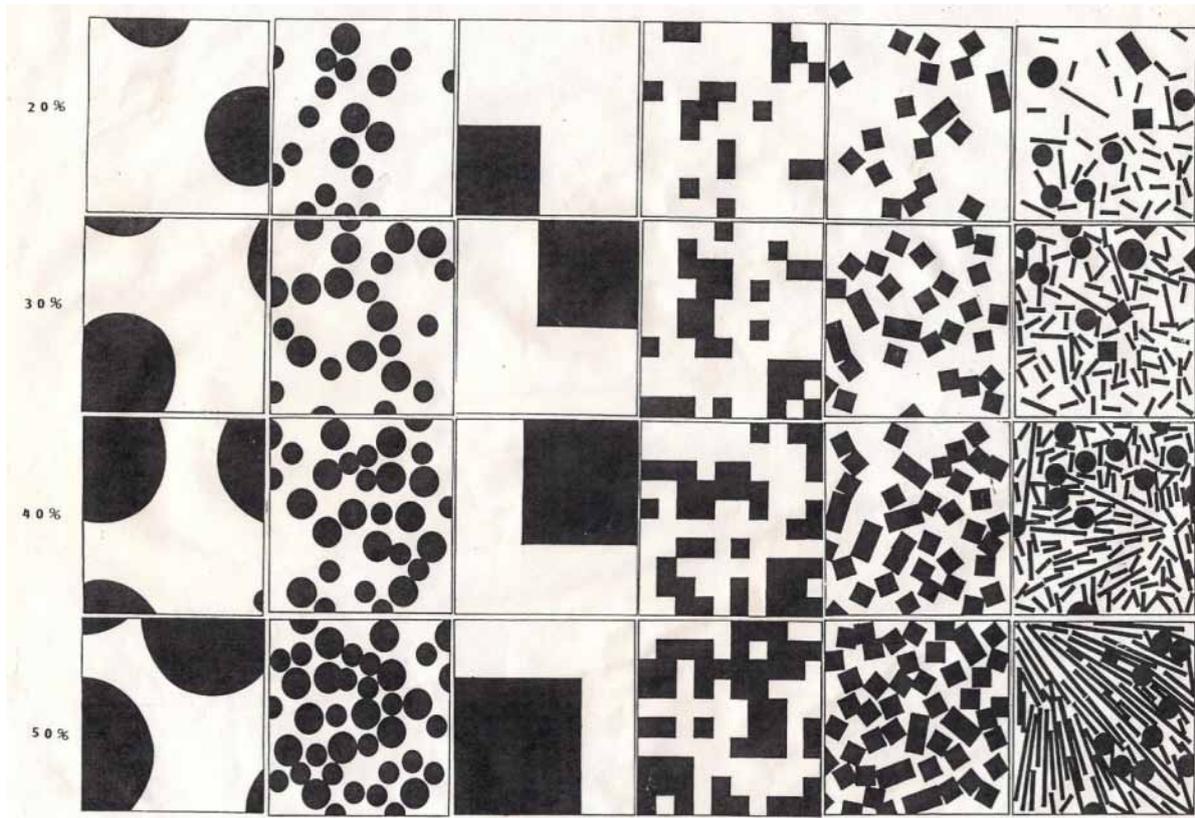
Annexe 2 : Variations des pluies annuelles sur la période 1979-2008 aux postes de Béni Harchane, DarChaoui, Ibn Batouta, Kalaya et Romane.



Annexe 3 : Paramètre de la projection Lambert conformal conic

Projection	Lambert_Conformal_Conic
False_Easting	500000,00000000
False_Northing	300000,00000000
Central_Meridian	-5,40000000
Standard_Parallel_1	31,72786641
Standard_Parallel_2	34,87172721
Latitude_Of_Origin	33,30000000

Annexe 4: Planche de pourcentage de recouvrement



ملخص

إن مشكل الانجراف المائي للتربة في المغرب يفرض نفسه بحدده، خاصة في جبال الريف الشمالي التي تتميز بتكوينات صخرية هشة مما يجعلها عرضة للتعرية المائية. تحت تأثير الضغط السكاني تتحول الغابات التي تحتل أشد المنحدرات إلى أراضي زراعية و بالتالي يسود نأكل التربة و ترتفع نسبة الترسبات الطينية في السدود.

هذه الدراسة تركز على إيجاد الأسباب التي أدت إلى انخفاض معدل انجراف التربة في سد ابن بطوطة خلال الفترات الأخيرة (1993- 2000 و 2000- 2003) ، و تعرض نتائج تحليل تطور استخدام الأراضي في الحوض المائي "ثلاثة".

نتائج هذه الدراسة تستند على زيارة ميدانية و على تحليل الصور الجوية لسنوات 1992 و 1993 و 1994 و على صورة " جيواي " لسنة 2009.

دراستنا تركز على الحالة الراهنة لتدهور الغطاء النباتي في الحوض المائي لسد ابن بطوطة ، و قد أظهرت نتائج خريطتي الغطاء النباتي لسنتي 1992 و 2009 أن الأحرش الكثيفة و الأحرش القليلة الكثافة عرفوا تراجعاً يقدر ب 8 و 35%، بينما الأراضي المزروعة عرفت تراجعاً يقدر بنسبة 8% مقارنة مع المساحة المزروعة سنة 1992.

هذا التغيير في استخدام الأراضي يعتبر أقل حدة من الذي سجل خلال المدة المتراوحة ما بين 1963 و 1993. خلال هذه الفترة قد انخفضت نسبة الأحرش بما يقارب 68% بينما ازدادت مساحة الأراضي المزروعة بنسبة 30%.

إن رسم خرائط الغطاء النباتي لرصد التطور الحاصل في الحوض المائي المتواجد بمنطقة طنجة خلال الفترة المتراوحة ما بين 1992 و 2009 بين أن توسع الأراضي الزراعية متواصل على حساب الأحرش بنسبة نمو تعادل 0.47% في السنة ، و هذه النسبة أقل بكثير مما كانت عليه خلال العقود الثلاثة السابقة: 1% سنوياً.

نستنتج أن انخفاض نسبة الترسبات الطينية في سد ابن بطوطة يعزى جزئياً إلى انخفاض مساحة الغابات المجتثة.

المفاتيح : الانجراف المائي للتربة ، استخدام الأراضي، الضغط السكاني ، ترسبات طينية، تحليل الصور، حوض مائي، ثلاثة ، الريف، المغرب

المملكة المغربية



معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة الرباط

بحث نهاية الدراسة لنيل شهادة مهندس دولة في الزراعة

تخصص : تسيير موارد التربة و الماء

تطور استخدام الأراضي و الانجراف المائي للتربة في الحوض المائي « ثلاثة » (الريف الغربي، المغرب)

المنجز و المناقش من طرف :

الآنسة نورة حمودة

أمام اللجنة المكونة من :

المدرسة الوطنية الغابوية للمهندسين	رئيس : أستاذ م. صابر
معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة	مقرر: أستاذ م. نعيمي
معهد الحوث لتنمية	مقرر: السيد ب. زانت
معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة	ممتحن : أستاذ م. بوحلوة
مركز أبحاث الغابوي	ممتحن : أستاذ م. ياسين

- شتبر 2010 -

معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة ص.ب. 6202 مدينة العرفان، 10101 الرباط
الهاتف 37 77 17 58/59/45 (05) الفاكس 37 77 81 35 (05) أو 77 58 38
موقع : www.iav.ac.ma