

CARTOGRAPHIE DE L'EVOLUTION DES FORMES D'EROSION DANS LE RIF OCCIDENTAL (MAROC): Etude Multidate utilisant un SIG-Bassin Versant

Merzouk A¹, Fenjiro² I., Laouina A²

¹Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
DSS, BP:6202-Instituts, Rabat, Maroc

²Faculté des Lettres, Univ. Mohamed V, BP: 1040 Rabat

Résumé:

Le travail a porté sur une étude multidate des formes d'érosion des sols (1963-1993) dans un bassin versant du RIF occidental (Telata, Maroc) moyennant des photographies aériennes (1963 et 1986), une image satellitaire SPOT (1993) et une prospection très dense et récente du terrain (1993). Le système d'information géographique (SIG) avec le traitement numérique d'images ont été utilisés dans le but de mieux cerner les paramètres qui conditionnent l'évolution et la variabilité spatiale des formes d'érosion. Il a permis la superposition des cartes de pentes (inclinaison et orientation), de la lithologie, des sols et de l'occupation des terres avec celle des formes d'érosion. L'étude a fait le point sur l'état actuel de dégradation des terres dans le bassin versant (18 000ha) et a produit une carte d'érodabilité des sols, montrant que presque 60% de la superficie du bassin versant est fortement érodable. Ceci explique la dégradation spécifique très élevée mesurée au niveau du barrage (3900T/Km².an). L'étude a permis d'évaluer et de localiser des changements très appréciables des formes d'érosion. A titre d'exemple le ravinement et les bad-lands ont augmenté de 2.4 % de la superficie totale du bassin alors que la solifluxion a quadruplé de superficie en 30 ans. Les résultats de ce travail ont été utilisés pour valider un modèle spatialisé d'estimation des pertes en sol basé sur l'équation universelle révisée de perte en sols (RUSLE). Enfin, l'étude souligne le besoin d'unification au niveau régional et de codification de la légende des cartes de formes d'érosion.

Mots-clés: Formes d'érosion, bassin versant, Télédétection, SIG,

Extended abstract:

This paper presents a multitemporal analysis and mapping of soil erosion forms which was carried out for the Tleta watershed (18 000 ha in the Rif Mountains, Morocco) using aerial photographs (1963 and 1986) and a SPOT image (1991) updated to the 1993 landcover situation by extensive field survey. A Geographic Information System (GIS) was developed for this watershed as a useful spatial data integration and handling tool. It was used to overlay the thematic maps corresponding to each erosion factor, such as soils, parent material, slopes and land use. An image analysis system was also used in combination with the GIS for processing the SPOT and the aerial photointerpretation information that allowed conclusions to be drawn as regards the soils erosion forms for the 1963 and the 1993 situations. The overlay of these two maps showed and quantified the extent and the location that affected each erosion form in thirty years. For example, badlands have increased areawise as much as 2.4% of the total watershed area while the landslide has spread in an area four times that of 1963. The output of the present study was overlaid with the soil erosion map produced using the revised Soil Loss Equation (RUSLE) and allowed the assessment of the contribution of each soil erosion form to the total soil loss that affect the watershed.

Key words: Soil Erosion Forms, Watersheds, Remote sensing, GIS

1. INTRODUCTION

La majorité des études antérieures consacrées à l'érosion au Maroc et en Afrique du Nord avait été axée sur l'aspect quantitatif, utilisant divers modèles de prévision des pertes en sols. L'équation universelle de perte en sol (U.S.L.E., Wischmeier, W.H., and D.D. Smith, 1978) a été le modèle empirique le plus utilisé et continue l'être dans sa version révisée (Revised Universal Soil Loss Equation = RUSLE éditée par Renard et al., 1995). L'aspect qualitatif n'a pas reçu l'attention qu'il mérite et est demeuré essentiellement descriptif. Quelques études récentes ont fait l'exception en adoptant certaines méthodes permettant de suivre quantitativement l'évolution du ravinement (Laouina A. 1992, Merzouk., 1995). Ce retard est attribué en partie au manque de méthodologies d'étude et de légendes assez adaptées et reconnues dans la région. En effet, la bibliographie montre que chaque auteur a utilisé sa propre légende, ce qui limite tout effort d'extrapolation des résultats. Le chercheur et le technicien de terrain reconnaissent ensemble l'importance de l'étude et la cartographie des formes d'érosion comme outil de diagnostic et qui reflète l'état actuel de dégradation des terres et permet le choix des zones prioritaires pour tout programme de conservation des sols. Pour le chercheur, ce diagnostic de l'état des ressources en terres permet aussi de calibrer les résultats des modèles de prédiction des pertes en sols. (MAMVA/BRL, 1995)

La présente étude vise l'élaboration d'une approche méthodologique qui regroupe ces deux aspects d'études de l'érosion des sols à travers l'analyse de l'évolution de l'état de dégradation des terres dans le bassin versant de Télata (18 000 ha) en amont du barrage Ibn Batouta (Rif occidental du Maroc). Il s'agit d'une étude multidate des formes d'érosion élaborée à partir de l'interprétation des photographies aériennes de l'imagerie SPOT et des observations du terrain, ainsi que l'intégration et le traitement cartographique des différents facteurs conditionnant l'érosion hydrique dans le SIG.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de Telata qui a servi de zone d'étude (18000 ha) se trouve à mi-chemin entre les deux grandes villes du Nord marocain, Tanger et Tétouan. C'est une zone sub-humide à hiver tempéré à chaud où les précipitations dépassent en moyenne les 700mm/an. Le bassin est limité à l'Est et au Sud par une ligne des crêtes dépassant les 600m d'altitude, alors que le reste est formé de collines qui ne dépassent que rarement les 300m. Les caractères litho-stratigraphiques générales de la chaîne rifaine sont bien représentées dans le bassin, à savoir le chevauchement de plusieurs nappes de charriages (Flysh) formant la ligne de crêtes au dessus de l'unité autochtone de Tanger (Marne) formant les collines (Michard, 1976). Cette variété lithologique a permis le développement d'une mosaïque pédologique assez importante; sols peu évolués, sols hydromorphes, lithosols et sols brunifiés. Le couvert végétal est conditionné lui aussi par cette disposition morphopédologique, en effet, les faciès gréseux et flyshiques constituent le substrat pour d'une végétation de matorral parfois très dégradée, alors que le faciès marneux est essentiellement cultivé, la forêt est presque absente.

2.2. Méthodologie :

La méthodologie adoptée repose sur les points suivants :

2.2.1. Cartographie et étude multidate des formes d'érosion :

Cette étude a été réalisée en utilisant des photographies aériennes datant de 1963 et 1986 et une image SPOT de 1991, couplées à des observations détaillées de terrain, vérification et ajustement. La légende adoptée pour les cartes d'érosion a été inspirée des travaux réalisés au Maroc par G. Maurer 1968, J.M. Avenand, 1965, Heush, 1970, Milovanovic, 1982 et Millres Lacroix, 1965, vu l'absence d'un système de classement assez reconnu et codifié pour les formes d'érosion. L'identification des différentes formes d'érosion sur les couvertures aériennes a été faite en se basant sur les notions de texture et de structure pour les ravins, les bad-lands, les sapements de berges, la solifluxion, les éboulements et la tonalité (niveau de gris de la photo) pour l'érosion en nappe (F.A.O., 1990). Dix classes ont été ainsi retenues (tableau n° 1). Une fois établies ces deux cartes d'érosion (1963 et 1993) ont été intégrées dans un système d'information géographique par voie de numérisation, ceci a permis de les superposer ultérieurement d'une façon automatique et précise, afin d'évaluer les changements survenues sur chaque forme durant cette période de 30 ans. Toutes les corrections géométriques ont été réalisées dans le cadre du SIG pour le géocodage des spatio-cartes issues de la photo-interprétation.

Tableau 1 : Légende des cartes des formes d'érosion 1963 et 1993.

Importance de l'érosion	Formes et Degrés d'Erosion	Unité
Erosion faible ou nulle	<u>Erosion non apparente</u> Pas d'érosion visible sur les sites protégés par un couvert végétal assez dense (forêt avec sous-bois)	1
	Lent décapage, ruissellement diffus ou érosion en nappe	2
Erosion moyenne	Rigoles et ravinements superficiels sur versants	3
	<u>Mouvement de masse</u> Solifluxion avec niche d'arrachement, sur matériel hétérogène (Flysh)	4
Erosion grave	Eboulement ou épandage pierreux, sur versant	5
	Important sapement de berge localisé	6
	<u>Incisions linéaires</u> Ravins moyennement profonds à fond étroit et à évolution linéaire	7
Erosion très grave	Ravins à évolution latéral en forme de sapement	8
	Ravins profonds avec tassement des bordures	9
	<u>Bad-lands :</u> Ravinement généralisé et concentré sur matériel tendre ou moyennement dur	10
	<u>localisée</u>	
<u>Généralisée</u>		

2.2.2. Cartographie et analyse des différents facteurs qui conditionnent l'évolution des formes d'érosion.

L'influence directe de la pente et de la lithologie sur la nature des processus morphogénétiques des versants a été démontrée par plusieurs auteurs dans différents pays. En effet, ces deux facteurs sont directement liés à la dynamique des milieux, car ils entrent en action comme facteurs essentiels pour expliquer certaines formes d'érosion, c'est dans cette optique que notre intérêt s'est porté sur ces deux facteurs. La carte lithologique a été réalisée à partir de la carte géologique du bassin puis intégrée dans le SIG. Quatre faciés ont été retenus

en prenant en considération le degré de friabilité des substrats. Ainsi on a regroupé les faciès argileux et marneux comme friables, flyshiques comme moyennement résistants et gréseux comme très résistants (Maurer, 1968). La carte des pentes a été élaborée en faisant appel au système d'information géographique, les étapes suivies pour sa réalisation sont :

- Numérisation des courbes de niveau à partir de la carte topographique (1/50 000).
- Etablissement d'un modèle numérique de terrain (M.N.T.) par interpolation entre les points numérisés utilisant un logiciel intégré dans le SIG.
- Calcul des pentes à partir du M.N.T.. Une fois établies, ces deux cartes (pentes et lithologie) ont été superposées une à une dans le SIG avec la carte des formes d'érosion de 1993, dans le but de voir sur quelle gamme de pente et sur quel faciès lithologique chaque forme évolue. Les conclusions retenues seront aussi transformées en une carte qui reflète les zones sensibles au développement de chaque forme d'érosion.

2.2.3. Comparaison de la carte des formes d'érosion et de la carte des pertes en sol :

La carte des pertes en sol du bassin établie par Dhman, (1994) et qui est le résultat de la superposition des facteurs de l'équation universelle des pertes en sol (R.U.S.L.E.) a été elle aussi exploitée dans ce travail, en la superposant dans le SIG avec la carte des formes d'érosion de 1993. Le but de cette opération est d'établir des comparaisons et des conclusions qui permettront d'évaluer la contribution de chaque forme d'érosion dans la perte en sol globale du bassin versant, même si les résultats doivent être pris avec beaucoup de vigilance, car l'esprit de l'équation ne prend en considération que l'érosion en nappe et en griffes (Wischmeier, 1976).

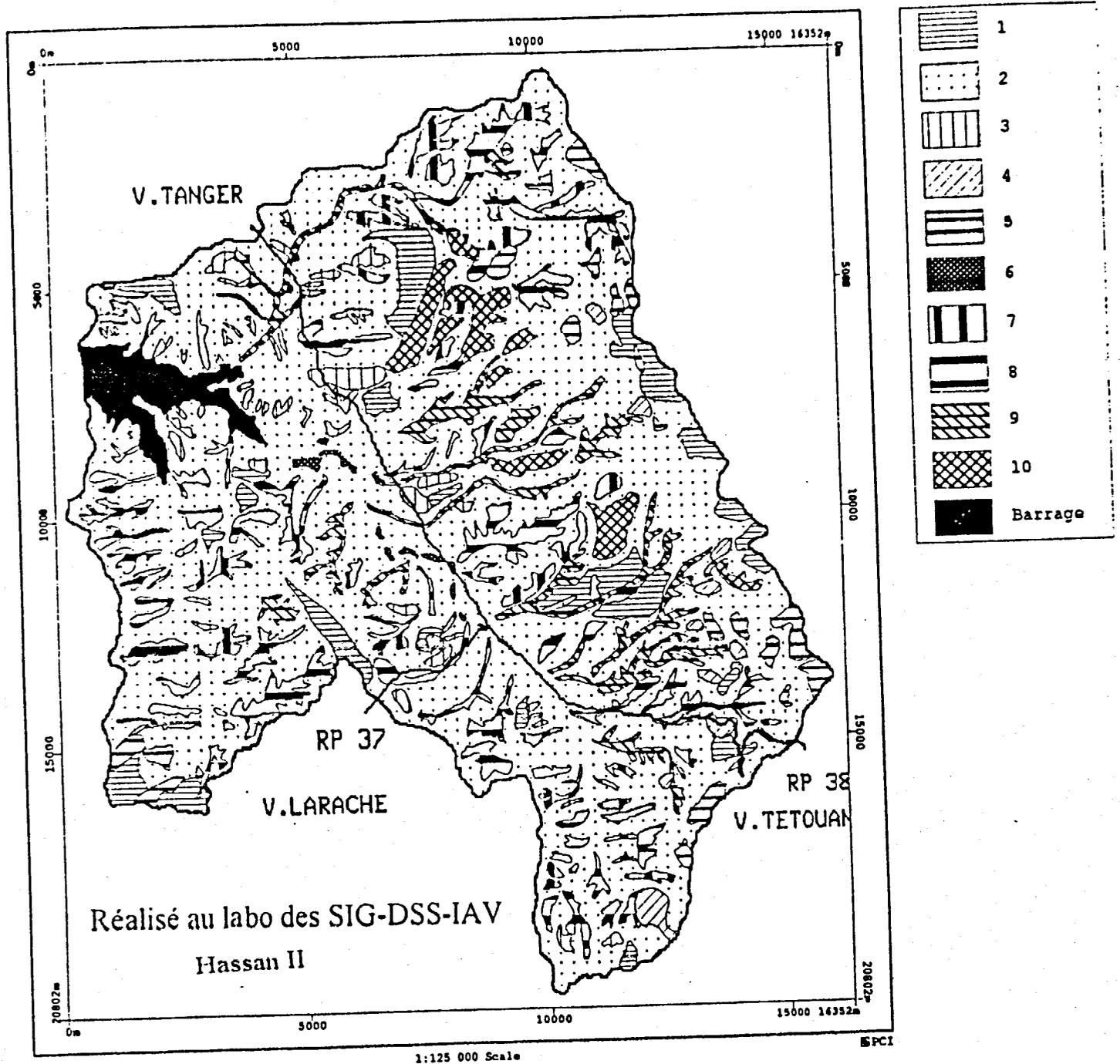
3. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 1 présente la carte des formes d'érosion observées en 1993. Le SIG permet son édition comme pour celle de 1963 à des échelles variées. Pour les besoins des utilisateurs dans le bassin versant les cartes ont été éditées au 1/20 000, soit à la précision des photos aériennes disponibles. L'interprétation des résultats de l'étude multitemporale a été essentiellement statistique. En effet, le tableau n°2 résume cette étude. Il s'agit d'une matrice de confusion où les lignes représentent les superficies occupées par chaque forme en 1963, alors que les colonnes représentent celles de 1993, la diagonale représentant les superficies inchangées. Ces résultats découlent de la superposition (pixel à pixel) des cartes de 1963 et 1993.

La lecture des résultats montre que beaucoup de changements se sont produits, ils témoignent d'une dégradation assez prononcée devant une absence totale de conservation. En effet, la superficie des zones faiblement érodées ont baissé de 3,69%, de même les superficies affectées par l'érosion en nappe ont connu une sensible chute et ce aux dépens d'autres formes plus poussées de dégradation, comme les rigoles, La solifluxion 0,9%, les éboulements 0,5%, le sapement des berges 0,04% et les bad-lands 2,64%.

La superficie des formes de solifluxion, des éboulements et des sapements des berges a évolué respectivement de 0,6%, 0,35% et 0,06%. Le ravinement avec toute ses formes a évolué aussi exceptés les ravins à évolution linéaire qui ont reculé de 1,84% aux dépens des ravins à évolution latérale; ces derniers ont connu à leur tour une nette évolution. En effet 30,6% de leur superficie se sont transformés en ravins à tassement des bords et 3,4% en bad-lands. Les ravins à tassement des bordures ont connu une considérable évolution, puisque leur superficie a

Figure 1 : Carte des formes d'érosion élaborée à partir de la photo-interprétation et du traitement numérique de l'image SPOT XS pour la situation de 1993.



1- Erosion non apparente

2- Erosion en nappe

3- Rigoles

4- Solifluxion

5- Eboulement

6- Sapement des Berges

7- Ravins à évolution linéaire

8- Ravins à évolution latérale

9- Ravins à tassement des bords

10- Bad-lands

quadruplé, ceci est dû principalement à la transformation d'autres ravins comme ceux à évolution linéaire et large. Les bad-lands qui représentent une forme de dégradation totale des sols ont aussi évolué de 3,6% (fig. 2).

Tableau 2: Matrice de confusion des deux cartes des formes d'érosion 1963-1993.

Carte de 1963	→ Carte de 1993										Barrage	Total (ha)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	963	626	15,6	21,7				15				1641,54
2		11573	70,32	112,12	59,6	6,52	60,84	95,24	79,44	98,68	378,04	12534,64
3			228,12				100,52	30,2	9,32			368,16
4		28,44		21,6								50,04
5	20,44	5,2			328,04							353,68
6						23,24					5,64	28,88
7				8,24			362,08	349,96	141,16			861,6
8							10,32	815,76	428,92	47,56		1402,56
9									208,44			208,44
10								57,36		300,16		357,52
Total (ha)	983,44	12233	314,06	163,66	387,64	29,76	533,76	1463,52	867,44	446,4	383,68	17807,06*

* Total du bassin versant avec la superficie du réservoir du barrage (383.7 ha)

1- Erosion non apparente	6- Sapement des berges localisé
2- Erosion en nappe	7- Ravinement à évolution linéaire
3- Rigoles et ravinement superficiels	8- Ravinement à évolution large
4- Solifluxion	9- Ravinement avec tassement des bords
5- Eboulement	10- Bad-Lands

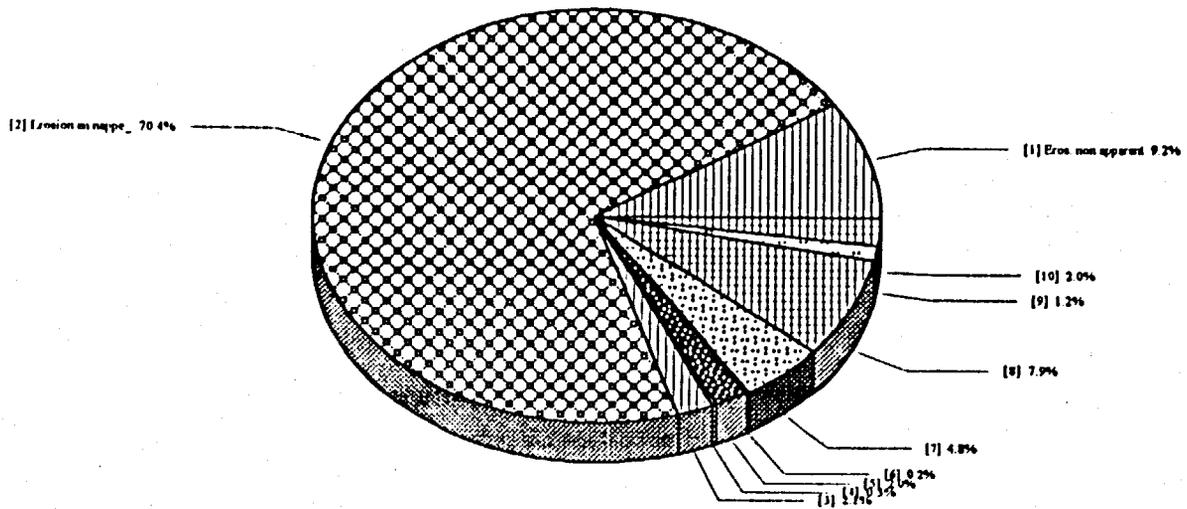
Une autre comparaison en terme d'évolution entre quelques ravins sur les photographies aériennes des deux missions pour les deux faciès lithologiques dominants, ne fait que renforcer ces résultats. En effet, pour les faciès relativement durs, nous avons trouvé une évolution moyenne de l'ordre de 0,06m/an, contre 0,30 à 0,40m pour les faciès marneux et argileux. Ceci concorde avec les propos recueillis au près des paysans qui affirment que l'évolution de ravins varie selon la quantité des précipitations annuelles et atteint parfois 0,5m pour les faciès marneux. Cette dégradation s'explique aussi par celle du couvert végétal. En effet, Dhman, (1994) a montré que les terrains de cultures qui occupaient en 1977, 48% de la superficie ont actuellement augmenté en (1993) occupant 57% de la superficie totale, soit une perte de 9%. Ainsi, les cultures ont envahi en 12 ans presque 1600ha essentiellement par le biais de défrichement.

L'analyse des résultats des effets combinés de la pente et de la lithologie sur l'évolution des formes d'érosion a été à la fois statistique et cartographique. En effet, grâce à la superposition dans le système d'information géographique de la carte des formes d'érosion avec à la fois la carte de pentes et la carte lithologique (tableau n° 3 et 4) nous avons pu nous arrêter sur les conclusions suivantes :

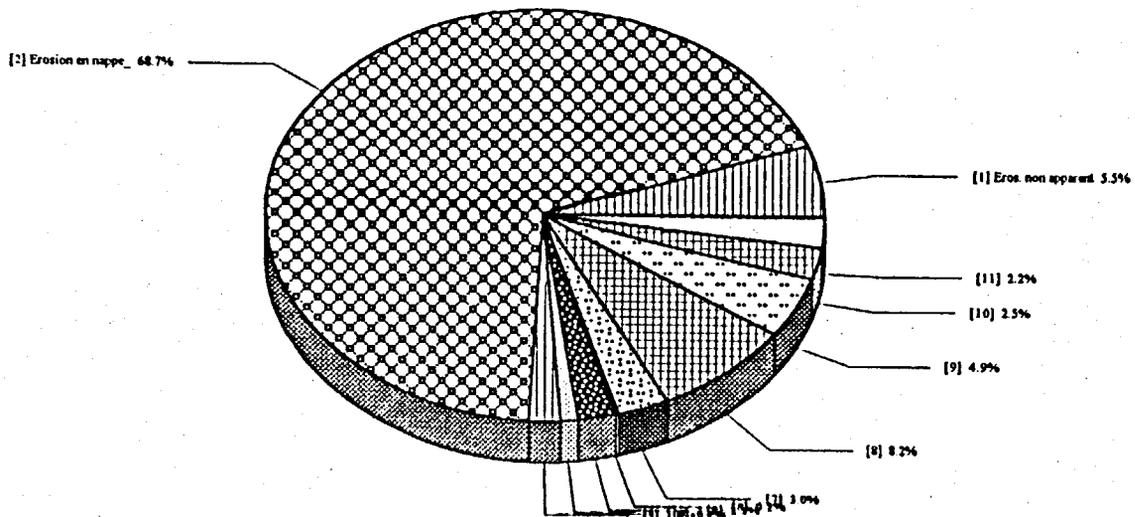
Les zones à érosion non apparente et à érosion en nappe se développent sur tous les faciès lithologiques et sur toutes les gammes de pentes. En effet, 80% des formes de solifluxions se concentre sur des pentes supérieures à 30% essentiellement sur les flyshs et localement sur les marnes alors que plus de 50% des éboulements sont actif sur des pentes supérieures à 20% principalement sur flysh et grés. Presque 75% des sapements de berges se localisent sur les

Figure 2 : Répartition des formes d'érosion dans le bassin versant de Telata (1963 et 1993).

Situation en 1963



Situation en 1993



- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1- Erosion non apparente | 6- Sapement des berges localisé |
| 2- Erosion en nappe | 7- Ravinement à évolution linéaire |
| 3- Rigoles et ravinement superficiels | 8- Ravinement à évolution large |
| 4- Solufluxion | 9- Ravinement avec tassement des bords |
| 5- Eboulement | 10- Bad-Lands |

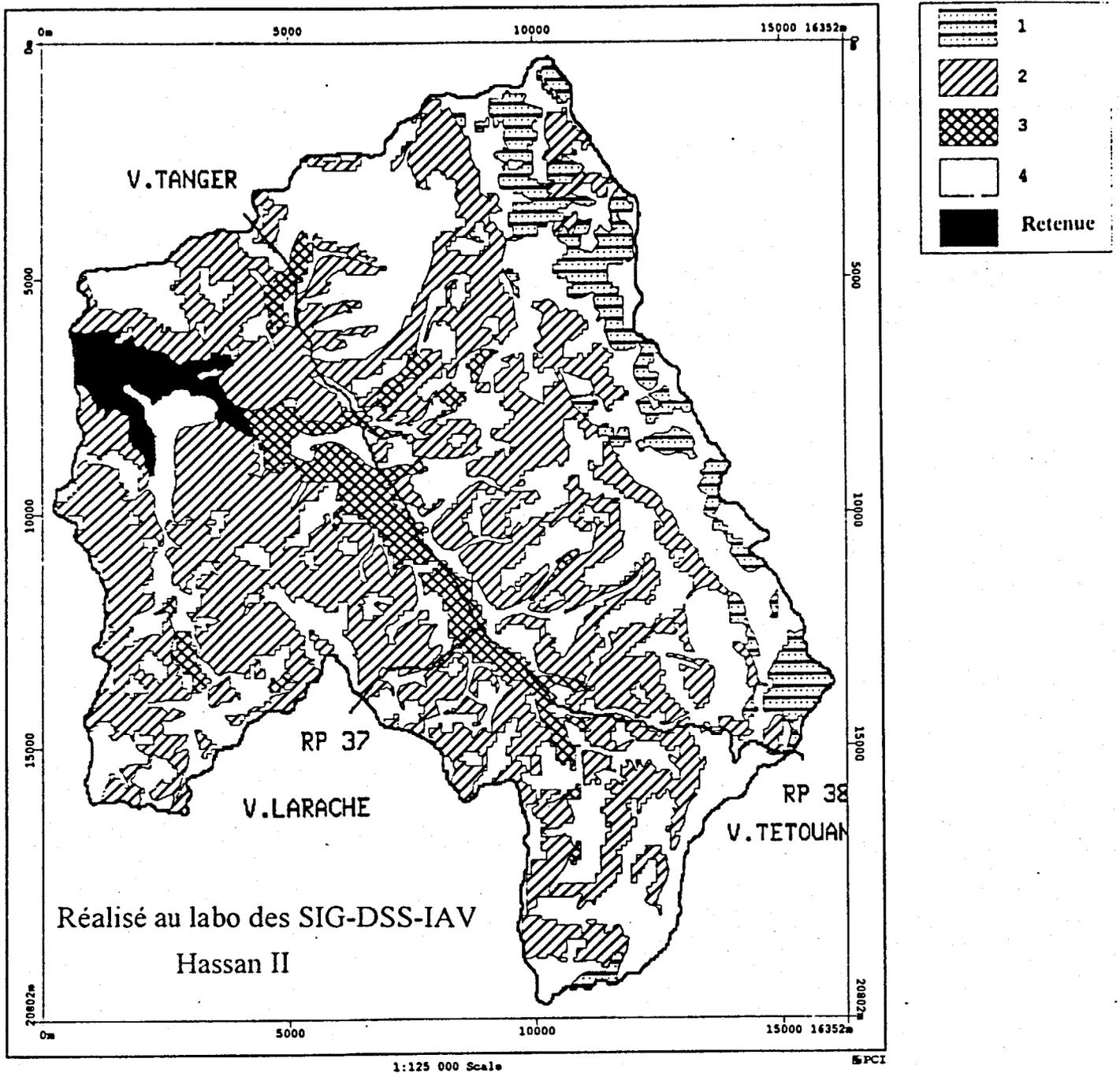
Ces conclusions ont été traduites spatialement par le biais du SIG en une carte des zones favorables à l'installation des formes d'érosion où apparaît clairement l'influence des deux facteurs (Fig.3). La confirmation de ces résultats concorde relativement avec ceux trouvés par d'autres chercheurs au Maroc. Beaudet avait conclu en 1967 que le ruissellement diffus apparaît sur des pentes minimales, le ruissellement concentré à partir de 33% (parfois beaucoup moins), la solifluxion vers 22% et le tassement à partir de 50%. Dans le même sens, Maurer (1968) a remarqué sur les versants schisteux du Rif que le ruissellement diffus passe à un ruissellement concentré vers des pentes comprises entre 18 et 20%, et sur des versants marneux, la solifluxion se déclenche à partir de 10%.

La carte des pertes en sol ou carte « d'érosion potentielle » du bassin versant établie par Dhman, (1994) qui est le résultat de la superposition des facteurs de l'équation universelle de perte en sol a été exploitée dans ce travail. En effet, nous avons établi dans le SIG une superposition de cette dernière avec la carte des formes d'érosion de 1993, et ce dans le but d'apprécier la quantité de sol potentiellement érodé en liaison avec chaque manifestation d'érosion. Toutefois, il faut signaler que la carte des pertes en sol utilisée représente la quantité de sol détaché au champ en T/ha.an et non pas la quantité délivrée. En d'autres termes c'est uniquement l'érosion en nappe qui est prise en considération, puisque l'équation ne tient pas compte de l'érosion provoquée par toutes les processus d'érosion.

La carte des pertes en sol utilisée englobe 1 446 parcelles (unité homogène) ayant chacune sa propre perte, les statistiques ont permis de dégager la grande variabilité de la dégradation spécifique allant de 0,5 T/ha.an comme valeur minimale à 254 T/ha.an comme valeur maximale, alors que la moyenne pondérée par la superficie est de 254 T/ha.an. L'interprétation du tableau n°5 qui reflète la pente moyenne pondérée par la surface de chaque manifestation, nous permet d'établir les conclusions suivantes :

- Les pertes les plus faibles sont enregistrées sur les surfaces affectées par le sapement des berges avec une moyenne de 33t/ha.an soit seulement 1,25% des pertes globales du bassin. Cette faible perte peut être expliquée par l'étendue réduite de ces manifestations, ainsi que la topographie plane sur laquelle elles évoluent, en plus l'équation ne prend en compte que l'érosion en nappe et non les quantités de sédiments arrachées dans l'oued.
- Les pertes les plus élevées sont enregistrées sur les superficies affectées par les mouvements et masse avec des pertes moyennes de 524t/ha.an, soit 19,9% de la perte globale moyenne. Il s'agit de zones qui connaissent une intense érosion en nappe suite à une humidité assez élevée, une pente très raide et une lithologie très friable. Ces conditions étant réunies favorisent aussi bien la solifluxion que l'érosion en nappe.
- Les autres manifestations enregistrent des pertes très élevées de 186t/ha.an soit 7% de la perte globale pour les ravins à tassement de bords, ils englobent aussi bien les zones à érosion non apparente, l'érosion en nappe et les rigoles avec respectivement 7,8%, 9,35% et 9,9% de la perte totale du bassin.
- Les superficies ravinées qui enregistrent des pertes encore plus importantes comprises entre 10,6% et 13,5% de la perte moyenne globale du bassin, coïncident essentiellement avec les zones marneuses qui connaissent un important ruissellement et par conséquent des pertes en sol considérables.

Figure 3 : Carte des zones favorables à l'extension des formes d'érosion.



- 1- Favorable à l'éboulement et la solifluxion
- 2- Favorable aux Ravinement et Bad-lands
- 3- Favorable au sapement des Berges
- 4- Favorable à l'érosion en nappe

Ces conclusions démontrent que la confrontation entre la carte des pertes en sol avec la carte des formes d'érosion a permis d'apprécier d'une façon objective la quantité moyenne des pertes en sol enregistrée au sein de chaque manifestation, ainsi que l'analyse de la variabilité spatiale de la dégradation potentielle des sols. En effet, les zones ravinées et les bad-lands qui représentent 15,8% de la superficie totale du bassin versant, libèrent à elles seules 44% des pertes totales, et les mouvements de masse tels que la solifluxion, l'éboulement et le sapement des berges qui ne couvrent que 3,1% de la superficie fournissent 28,1% de la perte globale moyenne. En revanche les zones à érosion non apparente, l'érosion en nappe et les rigoles qui intéressent 80,6% de la superficie ne libèrent que 27% des pertes totales (tableau 5). Ces conclusions ont été aussi traduites à l'aide du SIG en une carte d'intensités d'érosion des sols (figure 4).

La comparaison de ces valeurs avec celles trouvées par (Heusch, 1971) pour la station expérimentale de Mda (prérif), montre une concordance assez importante, en effet d'après Heusch, (1971) l'érosion en nappe et en rigole participeraient avec 20% environ de l'érosion globale régionale, tandis que l'érosion en ravine et ravinement généralisé sur marne participeraient avec 40%, le sapement des berges et de pied de montagne 60%.

4. CONCLUSION

La présente étude a fait le constat de l'état actuel de dégradation des terres dans le bassin versant de Telata (Rif Occidental). Il s'agit d'une situation alarmante devant une absence d'effort de conservation ; 18% des terres sont ravinées et 2,50% sont des bad-lands, avec une perte potentielle en sol moyenne de 254 t/ha.an. Les conséquences de cette situation en amont se fait nettement sentir en aval, en effet la capacité de rétention du barrage Ibn Battouta (source d'eau potable de la ville de Tanger) ne cesse de diminuer, 43 millions de m³ en 1978 à 38 millions de m³ en 1987, soit un engorgement annuel de l'ordre de 0,5 millions de m³/an, qui représente 10% de sa capacité de rétention. (Belkhairi, 1987). La dégradation spécifique a évolué de en 1977 à 3900 T/km².an mesurée par l'engorgement du barrage en 1992. La présente étude offre à l'aménageur et au technicien un outil moderne et plus performant pour l'analyse spatiale et la cartographie de l'érosion des terres au niveau du bassin versant.

Tableau 3: Matrice de concentration des formes d'érosion par classe de pente.

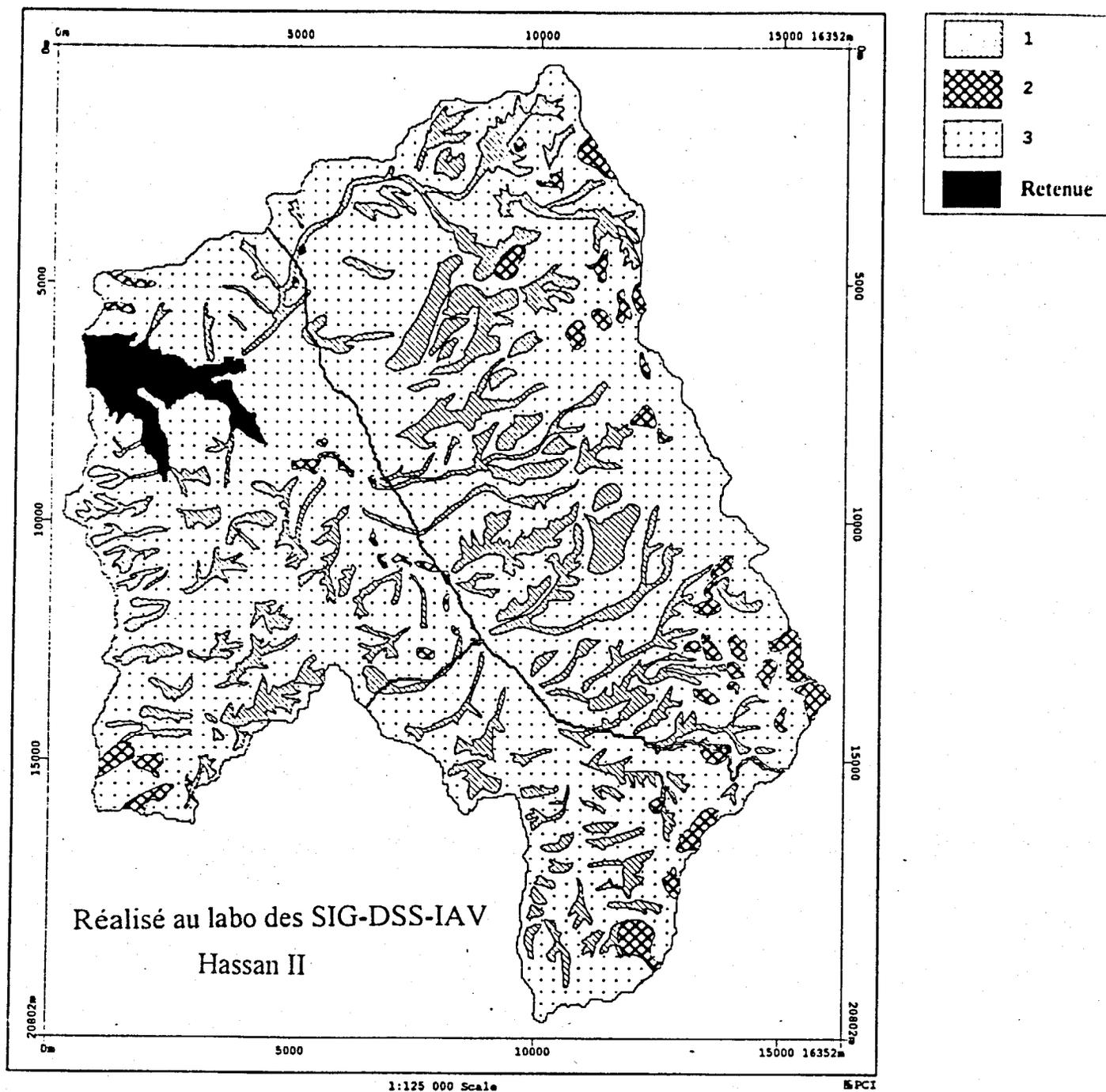
Pentes		Formes d'érosion											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	total
0-5%	ha	288,36	2390		6,04	27,7	28,9	65,8	58,2	153	49,6	363	3431,8
	%	8,4	69,65		0,17	0,8	0,84	1,91	1,69	4,47	1,44		
5-10%	ha	31	11.53,1	19,1	6,4	5,84		54,6	143,5	129,7	26,16	13,32	1603,3
	%	1,93	71,92	1,22	0,39	0,36		3,4	8,95	8,09	1,63		
10-20%	ha	145,48	4553,6	168	6,12	85,76		149,9	683,2	302,7	242,8		6338,4
	%	2,29	71,84	2,66	0,09	1,35		2,36	10,77	4,77	3,83		35,42
20-30%	ha	221,36	1961,8	75,9	45,28	81,96		68,92	324,8	100,2	90,12		28.72,4
	%	4,22	11,21	2,64	1,57	2,85		2,39	11,3	3,55	3,13		16,05
>30%	ha	419,76	2512,2	0,93	84,16	210,9		94,2	172,4	82,16	36,84		3646,9
	%	11,5	68,88	0,02	2,3	5,78		2,58	4,72	2,25	1,01		20,38
Total	ha	1005,9	12571	298	148	412,2	28,9	433,8	1382	770,5	445,5	39,36	17892
	%	5,62	70,52	1,66	0,82	2,3	0,16	2,42	7,72	4,3	2,48	2,21	100

1- Erosion non apparente
2- Erosion en nappe
3- Rigoles et ravinement superficiels
4- Solifluxion

5- Eboulement
6- Sapement des berges localisé
7- Ravinement à évolution linéaire
8- Ravinement à évolution large

9- Ravinement avec tassement des bords
10-Bad-Lands

Figure 4 : Carte de l'intensité de l'érosion



- 1- Erosion très intense
- 2- Erosion moyennement intense
- 3- Faiblement intense

Tableau 4: Matrice de comparaison de concentration de formes d'érosion par faciès lithologique

Faciès		Classes de formes d'érosion (voir légende dans tableau #3)										Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11
MARNE	ha	397	7700	175	130	97	4	448	1027	835	277		11090
	%	3,57	69,34	1,57	1,17	0,87	0,031	4,03	9,26	7,52	2,49		63,65
GRES	ha	291	936	5	10	132			27		10		1311
	%	22,19	71,39	0,38	0,76	10,06			2,02		0,76		7,52
FLYSH	ha	118	1432		26	270			22		89		1957
	%	6,02	73,17		1,32	13,79			2,2		4,54		11,32
ALLUVIONS TENDRES	ha	6	1625	150			25	39	379	20	66		2310
	%	0,25	70,34	6,49			1,08	1,68	16,4	0,86	2,85		13,25
TERRASSES QUATERN.	ha	169	512					49	5		4		737
	%	22,93	69,47					5,64	0,67		0,54		4,23
TOTAL	ha	981	12205	330	166	399	29	536	1460	855	446	384	17791
	%	5,63	70,05	1,89	0,95	2,29	0,16	3,07	8,37	4,9	2,55	2,2	100

Tableau 5 : Perte moyenne en sol pondérée pour la superficie de chaque forme d'érosion

	Classes de formes d'érosion (voir légende dans tableau #3)										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Perte moy. en t/ha an	205,2	246,6	261,5	524,63	186,35	33,07	280,58	313,1	335,8	222	2541
Perte moy. en %	7,77	9,35	9,91	19,89	7,06	1,25	10,63	11,87	13,5	8,1	100
Superficie en %	5,55	73,4	1,59	0,68	2,26	0,17	2,37	6,99	4,0	2,4	100

BIBLIOGRAPHIE

- AVENARD, J.M. 1965. L'érosion actuelle dans le bassin de Sebou, INRA-Rabat.
- AVENARD, J.M. 1964. Classification des types d'érosion par action des eaux courantes (Ruissellement) et par solifluxion. Ronéo, 7p. INRA. Rabat.
- BAUDET, G. 1967. Cadre géomorphologique de la pédogenèse au Maroc. Cah. Rech. Agro N°24, Rabat.
- BELKHEIRI A., 1987. Conséquences de la dégradation des bassins versants sur : les retenues des barrages. Ministère de l'Agriculture et de Réforme Agraire, Rabat, 1987. 34p.
- DHMAN, L. 1994. Utilisation des SIG et la Télédétection dans l'étude de l'érosion hydrique : application au B.V Telata. Mem. de 3^{ème} cycle, ENFI, Salé, Maroc.
- 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.
- HEUSH, B. 1972. Etude qualitative de l'érosion hydrique dans les collines du Pré-rif occidental, annales de la recherche forestière au Maroc.
- LANTIER, F.A.O. 1990. Use of high resolution satellite data and geographic information system for soil erosion mapping. Pilot study in Brazil, F.A.O. RSC Series n° 56. Rome, 1990.
- LAOUINA A., 1992. Recherche actuelle sur les processus d'érosion au Maroc. Réseau érosion Bulletin N°12, 1992.

- LAOUINA.A, CHAKER.M, NACIRI.R, ET NAFAA.R. 1993, L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc septentrional, Bull. Assos.Géog.Fr, Paris, p.384-398.
- MAMVA/BRL, 1995. Plan d'aménagement anti-érosif du bassin versant de l'Oued Ourgha en amont du Barrage Al Wahda. 1ere Phase Analyse de la situation actuelle. Rapport Principal pour le Ministère de l'Agriculture et de la mise en valeur agricole. (MAMVA, Rabat). Juin, 1995.
- MAURER, G. 1968. Les montagnes du Rif Central, étude géomorphologique, travaux de l'Institut Scientifique Chérifien. Série Géologie et Géographie Physique n° 14. Rabat.
- MERZOUK, A., 1995. Analyse des problèmes d'érosion dans le bassin versant de l'Oued Ourgha en amont du Barrage Al Wahda. Contribution au rapport du Plan d'Aménagement anti-érosif du BV de l'Oued Ourgha. Chap. 9. du Rapport principal de BRL-GERSAR, Nîmes.
- MICHARD, A, 1976. Elément de géologie Marocaine, N.M.S.G.M. n° 252. Minis. des Mines. Rabat. P422.
- MILIES Lacroix, 1965. L'érosion dans le bassin du SRA, Rif Occidental. Projet Sebou, Rapport préliminaire. Dir. Geot. Gites minéraux, F.A.O. Rabat, 965.
- MILIES Lacroix, 1968. Premières observations sur le glissement de terrain en zone rifaine entre Tanger et El Hoceima, Rapport 737 (S.E.G.M.)
- MILOVANOVIC Vlasta, 1982, Cartographie de l'érosion dans le pré-rif - Direction de la Recherche Agronomique - Service de la Cartographie des Sols et de l'Erosion, Rabat.
- RENARD K.G., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES, D.K. McCOOL, and D.C. YODER, 1995. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook # 703.
- WISCHMEIER, W.H. 1976. Use and misuse of the Universal Soil Loss equation. J. Soil Water Conservation. 31: 5-9.
- WISCHMEIER, W.H., AND D.D. SMITH, 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Dep. Agric. Handbook # 537.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Merzouk, A.; Fenjiro, I.; Laouina, A. - Cartographie de l'évolution des formes d'érosion dans le Rif occidental (Maroc): étude multi date utilisant un SIG-Bassin Versant, pp. 444-456, Bulletin du RESEAU EROSION n° 16, 1996.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr