

**Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation
du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant
de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc)**

**Evaluation by remote sensing and SIG of potential erosion risk in the
Oued Srou Basin (Middle Atlas, Morocco)**

K. ELBOUQDAOUI ¹, H. EZZINE ², M. BADRAHOUI ³,
M. ROUCHDI ¹, M. ZAHRAOUI ⁴, A. OZER ⁵

Abstract : The aim of the present work is to do an evaluation of the potential risk of soils' erosion in the Oued Srou basin situated in the Middle Atlas, Morocco. That objective can be reached by the use of the data processings LEAM (Land Erodibility Assessment Methodology) and SIG (Système d'Information Géographique). The first program includes various factors such as soils erosion, slopes steepness and rainfalls effects on erosion; the second one is a database management leading to the drawing up of the cartographic model. As the chosen model don't include the impact of the vegetation, which is important regarding the erosion problem, that disadvantage was compensated by the realization of a vegetation map through interpretation of the satellite imaging LANDSAT ETM+ 2001.

Key words : Srou, basin, erosion, remote sensing, model, cartography

Résumé : Le présent travail a pour objectif de contribuer à la compréhension et à l'évaluation du risque potentiel d'érosion des sols du bassin versant du Srou au Moyen Atlas, Maroc, par une modélisation des principaux facteurs impliqués dans l'érosion hydrique, selon le modèle : Land Erodibility Assessment Methodology (LEAM). Le modèle compte parmi ses facteurs : l'érodibilité des sols, l'inclinaison des versants et l'érosivité des pluies. Pour le dernier facteur, nous avons décidé de compenser le biais introduit par l'utilisation d'une série des précipitations à tendance sèche (1980/2002), par le calcul de trois indices d'érosivité des pluies, correspondant respectivement à la moyenne et aux deux années extrêmes la plus sèche et la plus humide. Ceci nous a permis de cartographier le risque potentiel d'érosion hydrique dans des conditions sèches et humides. L'analyse, la combinaison des données et la modélisation ont été opérées dans un Système d'Information Géographique (SIG). Le modèle choisi dans ce travail ne tient pas compte du couvert végétal. Afin d'y pallier et pour améliorer le modèle, nous avons opté pour l'addition de ce facteur.

La réalisation de la carte d'occupation des sols à partir de l'interprétation visuelle assisté par SIG, de l'imagerie satellitaire Landsat-ETM+ de 2001 qui couvre le bassin du Srou, a facilité l'extraction de la carte du couvert végétal, ce qui a permis de définir avec plus de précisions les zones les plus sensibles à risque d'érosion.

Mots clés : Srou, bassin versant, érosion, télédétection, modèle, cartographie

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Madinat Al Irfane, B.P. 6202, Rabat-Maroc; E-mail : elbouqdaoui_kh@yahoo.fr

² Centre Royal de Télédétection Spatiale, Rabat-Maroc.

³ Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Rabat-Maroc.

⁴ Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Département de Géologie, Av. Ibn Battouta, B.P. 1024, Rabat-Maroc.

⁵ Université de Liège, Faculté des Sciences, Unité de Géographie Physique, 2 allée du 6 Août, Bât. 11. B-4000, Liège-Belgique.

INTRODUCTION

L'érosion hydrique constitue l'un des principaux facteurs de la dégradation des terres et des problèmes de l'environnement. Elle a des retombées socio-économiques à l'échelle locale, régionale et nationale. Elle est causée généralement par la croissance démographique et des changements climatiques.

Le bassin versant du Srou situé dans le haut bassin versant de l'oued Oum Erbia, dont il constitue un de ses affluents, est l'une des principales zones du Maroc où les séries d'argiles rouges triasiques affleurent largement. Il présente un relief accentué, un climat semi-aride à sub-humide caractérisé par une forte variabilité spatiale et temporelle des pluies. L'ensemble de ces facteurs associés à l'occupation des sols, à l'action anthropique étant donné la densité de la population favorise sa vulnérabilité à l'érosion.

L'étude de la FAO en 1977, a montré l'ampleur de l'érosion hydrique au Maroc: 12,6 millions d'hectares de culture et de parcours étaient considérés comme menacés. Une autre étude plus récente de la FAO, en 1990, suggérait que la situation continuait à se détériorer : quarante pour cent des terres de l'ensemble du territoire étaient affectés par l'érosion hydrique.

Dans certaines régions du Rif, au nord du Maroc, les taux d'érosion atteignent parfois 30 à 60 tonnes/ha/an, (LAHLOU, 1977, AIT FORA, 1995); Ce qui a pour effet l'envasement des barrages et par conséquent la réduction de leur capacité de stockage d'eau qui a été évaluée à 0,5 % par an (TAHRI *et al*, 1993). Les plus grands barrages marocains recevraient chaque année environ 50 millions de tonnes de sédiments (MERZOUKI, 1992).

L'objectif de ce travail est l'étude des principaux facteurs d'érosion selon le modèle LEAM, ainsi que d'apprécier l'apport de la télédétection et du système d'information géographique SIG dans l'évaluation du risque potentiel d'érosion des sols du bassin versant du Srou.

Les principaux paramètres explicatifs ont été combinés selon le modèle Land Erodibility Assessment Methodology (LEAM) développé par MANRIQUE (1988). Ce modèle ne prend pas en considération le couvert végétal qui joue un rôle considérable dans l'évaluation du risque d'érosion. Afin d'améliorer le modèle, tout en conservant la simplicité de son utilisation et afin de constituer un document de base plus précis pour contribuer à la protection des sols contre l'érosion, nous avons intégré ce facteur. Ce dernier a été extrait de l'imagerie satellitaire Landsat ETM+ de 2001.

Dans ce contexte, l'élaboration d'une base de données dans un système d'information géographique s'avère nécessaire : pour formuler un diagnostic précis de la dégradation des terres et élaborer des documents cartographiques qui délimitent les zones vulnérables à l'érosion ; pour orienter les priorités d'intervention et d'aménagement et aussi pour atténuer ou même éviter la dégradation des terres et protéger le milieu naturel.

PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

Situé au sud ouest du Moyen Atlas central dans la province de Khénifra (fig. 1), le bassin versant de l'oued Srou s'étend sur une superficie de 1443 km², entre les longitudes 5° 05' et 5° 50' ouest et les latitudes 32° 35' et 33° nord. Le bassin est limité à l'ouest par le massif hercynien, au nord par le Causse d'Ajdir et au sud-est par la plaine de la haute Moulouya.

L'oued Srou est l'un des principaux affluents de l'oued Oum Erbia. Il s'écoule du nord-est vers le sud-ouest. L'oued Chbouka, son affluent principal, se trouve sur sa rive droite.

De caractère montagneux, le bassin présente une dénivellation qui se situe entre 700 m à l'aval et 2350 m à l'amont. Cette région semi aride à sub-humide, est caractérisée par un climat méditerranéen qui se définit par des hivers tempérés et humides et des étés chauds et secs.

La pluviométrie moyenne interannuelle de la période 1980/2002, enregistrée dans 12 stations pluviométriques (tableau III) situées à l'intérieur du bassin et dans ses environs immédiats, est de l'ordre de 500 mm.

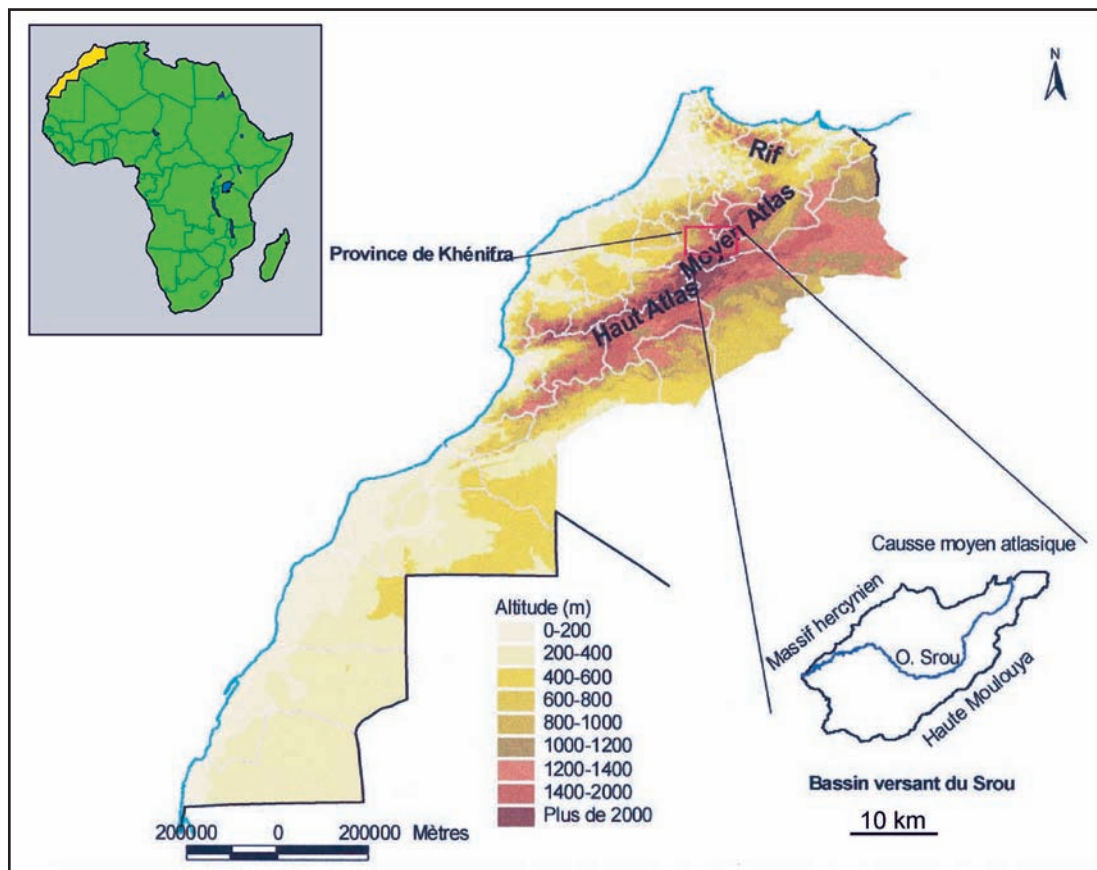


Fig. 1 : Situation géographique du bassin versant du Srou.

La région a connu une période à tendance de sécheresse à l'exception de l'année agricole (Septembre à Août) 1995/96 qui a marqué un changement climatique brutal à l'échelle nationale, avec des quantités de précipitations dépassant 700 mm, et qui ont atteint 1559 mm à Aghbalou n Ikhouane; alors que l'année 1994/95 a enregistré les plus faibles précipitations, avec un total annuel de l'ordre de 300 mm.

Les formations géologiques de la région, qui vont du Paléozoïque au Quaternaire, se composent de roches de faciès et de résistance variables : les calcaires sub-tabulaires crétacés, les calcaires dolomitiques liasiques, les basaltes doléritiques et les argiles rouges triasiques, ainsi que les schistes, grès et quartzites paléozoïques. L'altération de ces différentes formations et leur évolution pédogénétique ont donné plusieurs types de sols : sols peu évolués d'apport alluvial et/ou colluvial qui sont très fréquents, vertisols, sols calcimagnésiques et sols isohumiques assez profonds dans les vallées et les zones plates relativement stables, et sols fersiallitiques sous les forêts et sur les terrasses anciennes. La dégradation des sols sous l'effet de l'érosion conduit à l'apparition de sols peu évolués d'érosion et de sols minéraux bruts.

La végétation forestière est constituée principalement de chênes verts et de cèdres qui se localisent essentiellement dans la partie haute et moyenne du bassin versant.

La densité moyenne de la population de la région d'étude est de 42,32 hab/km² selon le recensement de 2004. Par contre la densité de la population est plus importante à Ait Ishaq (71,6 hab/km²) et à Tighassaline (70,4 hab/km²), dans les zones où les terres cultivables sont abondantes, des zones généralement de pente faible (< 5 %).

METHODOLOGIE

Plusieurs méthodes ont été orientées vers des modèles intégrant les facteurs d'érosion, le modèle le plus utilisé est l' Equation Universelle de Perte en Sol (USLE) de WISCHMEIER (1960), et sa forme révisée (RUSLE). L'évaluation du risque potentiel d'érosion des sols du bassin versant du Srou se base sur la modélisation des facteurs d'érosion selon le modèle : Land Erodibility Assessment Methodology (LEAM), développé par Manrique (1988), et a été fondé sur l'équation de WISCHMEIER choisi pour ses facilités d'utilisation. Il s'agit d'un modèle simple conçu pour les pays en voie de développement manquant de données pédologiques et climatiques complètes et correctes. Conçu également pour des études à l'échelle régionale et de bassin versant (1/500 000 - 1/20 000), il permet de faire un diagnostic simple et rapide de l'érosion potentielle.

Le modèle compte parmi ses facteurs : l'érodibilité des sols, l'inclinaison des versants et l'érosivité des pluies. Pour le dernier facteur, nous avons décidé de compenser le biais introduit par l'utilisation d'une série de précipitations d'une période à tendance sèche (1980/2002), par le calcul de trois indices d'érosivité des pluies correspondant respectivement à la moyenne et aux deux années extrêmes la plus sèche et la plus humide. Ceci nous a permis de cartographier le risque potentiel d'érosion hydrique dans des conditions sèches et humides.

En outre, le modèle choisi dans ce travail ne prend pas en considération la répartition du couvert végétal, ce qui représente une insuffisance majeure puisque ce dernier peut s'avérer déterminant pour évaluer le risque d'érosion dans la zone d'étude. Afin de pallier cet inconvénient et pour améliorer le modèle, nous avons opté d'y ajouter le facteur « couvert végétal ». La réalisation de la carte d'occupation des sols à partir de l'interprétation visuelle assisté par SIG de l'imagerie satellitaire Landsat-ETM+ de 2001 qui couvre le bassin de l'Oued Srou, a facilité l'établissement de la carte du couvert végétal, ce qui a permis de définir avec plus de précisions les zones les plus sensibles à l'érosion.

La numérisation des cartes topographique, géologique et pédologique, l'analyse, la combinaison des données et la modélisation ont été effectués à l'aide du Système d'Information Géographique (SIG).

EVALUATION DE LA PENTE

La carte des pentes a été dérivée du modèle numérique de terrain (MNT) de la région (Fig. 2). Ce dernier a été généré à partir de la digitalisation des courbes de niveau, avec une équidistance de 50 mètres, à partir des cartes topographiques au 1/100000 de Khénifra et Itzer. Des études antérieures (PNUE/PAM/PAP, 2000 ; MOLLENHAUER, 1980) ont montré que l'érosion devient active sur des pentes supérieures à 3 %. Le service américain de classement des capacités agrologiques des terres (Land Capability) exclut toute culture au dessus de 20 % (DAHMAN, 1994).

Les classes de pentes utilisées dans notre travail sont indiquées dans le tableau I

Tableau I : Classe des pentes et superficies correspondantes.

Pente	Classe (%)	Superficie en %
P1 (faible)	0 - 5	41,9
P2 (modérée)	5 - 15	30,5
P3 (élevée)	15 - 25	20,7
P4 (très élevée)	> 25	6,8

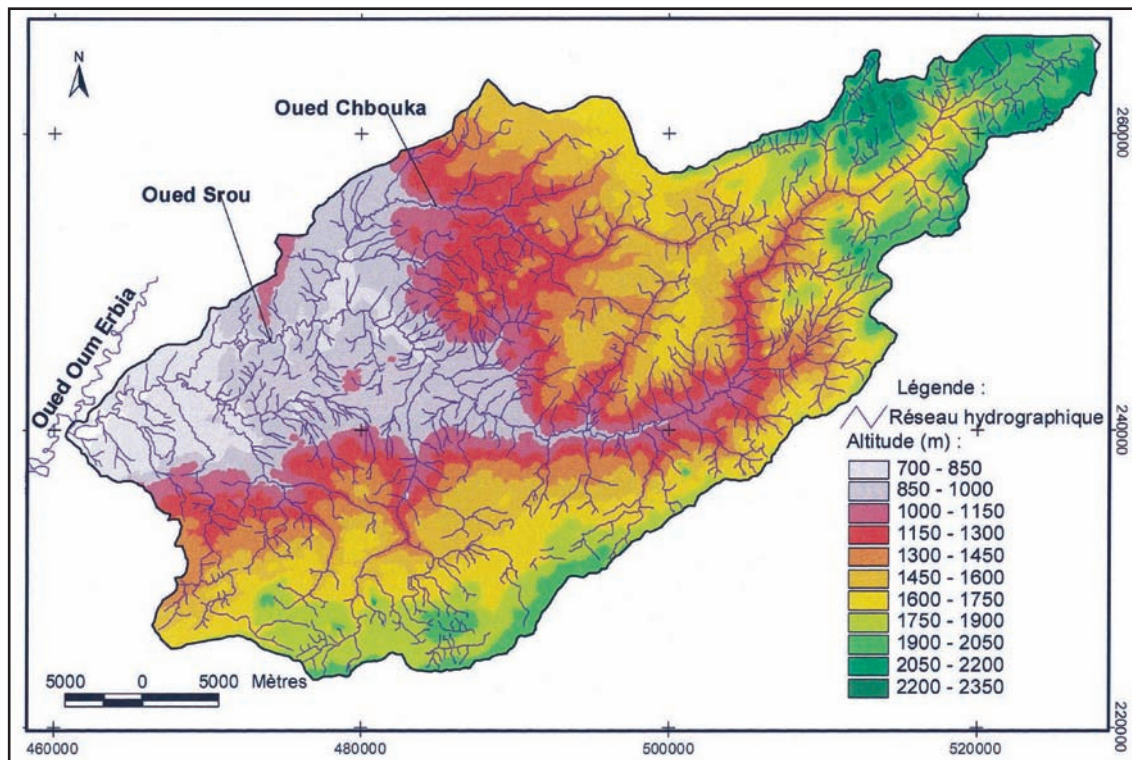


Fig. 2 : Modèle numérique de terrain du secteur d'étude.

L'analyse des classes de pente indique que les zones à pente faible couvrent 41,9 % de la superficie totale du bassin versant soit 605 km², alors que celles à pente élevée et très élevée occupent 27,5 % du bassin soit 397 km².

EVALUATION DE L'ERODIBILITE DES SOLS

Le modèle le plus fiable actuellement est celui de WISCHMEIER avec l'intégration d'un facteur correctif pour les éléments grossiers (RENARD *et al*, 1995), afin d'adapter le facteur d'érodibilité K aux régions méditerranéennes et arides des USA et de l'Afrique du Nord. L'érodibilité des sols a été déterminée en fonction de : la texture, la structure, la matière organique et la perméabilité.

Le modèle s'écrit :

$$K = ((2.1 \times 10^{-4} \times (12 - OM) \times M^{1.4}) + 3.25 \times (S-2) + 2.5 \times (P-3)) / 100$$

Avec:

K: érodibilité de sol.

OM: teneur en matière organique en %.

M: terme textural = (Limon + Sable fin) % x (100 - Argile %).

S: code de structure du sol (1 à 4), 1 pour une structure grenue très fine et 4 pour une structure massive ou en bloc.

P: code de perméabilité (1 à 6), allant de 1 pour les sols à drainage rapide à 6 pour les sols à drainage très lent.

Les valeurs calculées de l'indice d'érodibilité K, comprises entre 0,11 et 0,40, se répartissent en trois classes de sols (tableau II) :

La classification des différents sols après avoir attribué à chaque type de sol une valeur d'érodibilité K calculée, montre que presque la totalité des sols (93,6 %) présente une

Tableau II: Classifications des sols

Classe d'érodibilité des sols	Type de sol	Superficie en %
Faible (0,10-0,20)	Vertisols	2
Modérée (0,20-0,30)	Calcimagnésiens, minéraux bruts, fersiallitiques, isohumiques et les peu évolués (a)*	93,6
Elevée (0,30-0,40)	Peu évolués (b)*	3,9

(a)* : unité : 10, 11, 12, 14, 15, 21, 22 et 23

(b)* : unité 19

érodibilité modérée (0,20-0,30). Les vertisols présentent une faible érodibilité (0,10-0,20), ils sont les moins représentés dans la région (2 %). Certains sols peu évolués (b)* présentent une érodibilité élevée (0,30-0,40), occupant 3,9 % du secteur d'étude.

Le croisement des cartes pédologique (El IDRISSI, 1987) et topographique numérisées, montre que les sols peu évolués (b)* sont localisés sur des versants à forte pente, limitrophes des vallées où la dégradation des sols est très poussée.

EVALUATION DE L'EROSIVITE DES PLUIES

L'érosivité des pluies a été calculée suivant l'équation de FOURNIER modifiée (ARNOLDUS, 1980) en utilisant les précipitations mensuelles des années agricoles, allant de septembre à août, sur la période 1980/2002, de 12 stations pluviométriques situées dans le secteur d'étude ou dans ses environs.

L'équation s'écrit : $RI = 112(MR)^2 / AR$

avec MR : pluviométrie mensuelle en mm et AR : pluviométrie annuelle en mm

Il faut souligner que la série pluviométrique utilisée (1980/2002) correspond à une période relativement sèche (tableau III). Afin d'évaluer l'impact des précipitations sur les processus érosifs et de compenser le biais introduit par l'utilisation d'une série déficiente, nous avons également pris en compte les indices d'érosivité des années extrêmes : la moins pluvieuse (1994/95) et la plus pluvieuse (1995/96).

La valeur moyenne de l'érosivité des pluies sur la période 1980/2002 a été obtenue en effectuant la moyenne des indices d'érosivité calculés pour chaque année.

Les données ponctuelles de l'érosivité des pluies des différentes périodes ont ensuite été spatialisées, par interpolation, à l'échelle du territoire, en utilisant la classification de LEAM.

La répartition géographique des différentes classes d'érosivité des pluies (RI) par rapport à la superficie totale du bassin est la suivante :

- très faible (12,3 %) à faible (87,8 %) pour l'année sèche,
- faible (23,9 %) à modérée (76,1 %) pour la période 1980/2002,
- modérée (52,4 %), élevée (46,9 %) à très élevée (0,7 %) pour l'année pluvieuse.

Tableau III : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles (mm) de la période étudiée (1980/2002).

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Ansar Oufounas	44,5	36,8	26,0	39,4	22,5	21,7	30,7	45,6	35,3	27,3	3,8	31,2	364,9
Arhbalou n Ikhouane	35,1	56,7	113,9	135,1	109,8	102,9	80,0	69,4	54,3	21,6	13,3	13,1	710,4
Azrou n Ait Lahcen	22,7	23,4	72,0	71,3	88,7	80,6	63,6	62,4	30,1	19,9	12,4	22,3	492,2
Ben Khilil	15,4	25,3	76,8	87,6	97,7	78,5	63,6	70,1	34,9	15,3	3,3	6,8	575,3
Chacha n Amellah	10,1	20,2	60,5	66,7	73,9	53,3	50,7	58,2	29,1	17,7	1,9	5,9	448,0
El Heri	18,2	27,3	71,7	96,8	98,5	75,7	78,4	72,6	39,8	27,3	5,9	7,7	620,0
Kerrouchen	15,8	25,4	80,4	66,7	105,0	73,8	61,6	60,3	29,1	16,3	7,3	13,2	554,9
Ouiouane	30,5	38,4	91,7	107,1	103,8	86,9	75,5	94,4	55,2	39,1	17,6	25,2	760,2
Sanwal	25,6	38,3	73,3	89,2	77,4	62,6	49,8	58,0	34,4	20,4	10,2	10,4	550,0
Tabouazant	38,8	31,8	31,0	29,6	33,6	28,1	31,0	38,6	30,2	21,4	7,7	15,5	337,2
Taghat	20,3	25,2	67,6	89,5	80,9	62,6	65,8	55,5	32,0	23,5	7,6	13,0	543,0
Taghzout	11,0	24,9	65,6	67,0	75,6	57,3	63,5	68,2	29,6	13,8	0,5	6,9	483,9

CARTES DU RISQUE POTENTIEL D'EROSION DES SOLS

Selon le modèle LEAM, les cartes de pente et d'érodibilité des sols ont été combinées, d'abord avec la carte d'érosivité des pluies de la période 1980-2002, puis avec les cartes d'érosivité des pluies de la période sèche (1994/95) et humide (1995/96). Trois cartes du risque potentiel d'érosion ont été obtenues.

Leur analyse montre des résultats similaires pour l'année sèche 1994/95 et la période 1980-2002 : 28 % de la superficie totale du bassin présente un risque d'érosion élevé, très élevé à extrêmement élevé. Pour les mêmes classes de risque, le pourcentage s'est élevé à 43% en année humide 1995/96.

Le rôle de la lithologie et de la pente dans la stabilité du milieu, se note bien au niveau des sous bassins versants de Aqrar, Douana, Ichoua, Nafechad, Zad et Amçlah, qui n'ont montré aucune variation des taux de risque d'érosion en fonction de l'intensité des pluies. Ils se situent essentiellement sur des formations carbonatées liasiques plus ou moins tabulaires, au niveau du cours supérieur et inférieur de l'oued Srou, présentant des pentes faibles à moyennes.

Selon le modèle LEAM, il apparait que :

- 27,5 % des terres de la superficie totale présentent des pentes à risque élevé à très élevé,
- la presque totalité des sols présentent une érodibilité modérée (93,6 %),
- Les précipitations ont une influence notable sur les phénomènes érosifs.

Grâce à sa simplicité d'utilisation et en l'absence de données relatives aux pratiques culturales et au couvert végétal considéré important pour l'évaluation du risque d'érosion, le modèle permet de faire un premier diagnostic rapide et général du potentiel érosif de la région d'étude.

CARTE DE LA VEGETATION

La végétation arborée est une composante du paysage qui a un rôle principal dans la fourniture de bois et la conservation du sol et de l'eau.

Dans le but d'améliorer la méthodologie nous avons opté pour l'intégration du facteur végétation.

La carte de végétation a été réalisée en recourant à l'interprétation visuelle de l'imagerie satellitaire Landsat-ETM+ de 2001.

Un traitement consistant en la fusion d'une image multispectrale de résolution spatiale 30 m et d'une image panchromatique à 15 m de résolution au sol, nous a permis de bénéficier des détails fournis par cette dernière et de réaffiner la résolution finale de l'image. Les canaux utilisés sont ceux du visible et du proche infra rouge.

L'inventaire basé sur la télédétection a permis de confirmer les estimations obtenues par d'autres sources notamment l'inventaire des forêts nationales de l'administration des eaux et forêts du ministère de l'agriculture (Etude d'Aménagement de la forêt de : Kerouchen (2003), Ajdir (2002), et Ait Ichou (1997). Le travail a été complété par des observations de terrain.

Plusieurs classes d'occupation des sols sont identifiées dans le secteur d'étude : la forêt, les terres de culture, les sols nus et les affleurements rocheux, les surfaces d'eau et l'habitat groupé. Le choix de l'intégration de la végétation arborée pour évaluer le risque d'érosion potentiel se base sur l'étude du régime pluviométrique de la région. En effet, la répartition des pluies au cours de l'année est très hétérogène, l'intensité maximale des pluies se manifeste entre les mois de décembre et mars sur des sols nus non encore couverts par la végétation. Ainsi, nous n'avons considéré pour l'évaluation des zones vulnérables à l'érosion que la

végétation arborée qui constitue un couvert protecteur permanent. La végétation (fig. 3) est formée essentiellement de cèdres rencontrés aux altitudes les plus élevées et de chênes verts. Elle occupe 42 % environ de la superficie totale du secteur d'étude.

La répartition géographique des différentes classes de végétation est donnée dans le tableau IV.

Tableau IV : Superficie des différentes classes de la végétation arborée.

Type de végétation	Superficie en km ²	Superficie en %
Chêne vert	461,7	32,0
Cèdre	149,0	10,3
Chêne liège	1,3	0,14

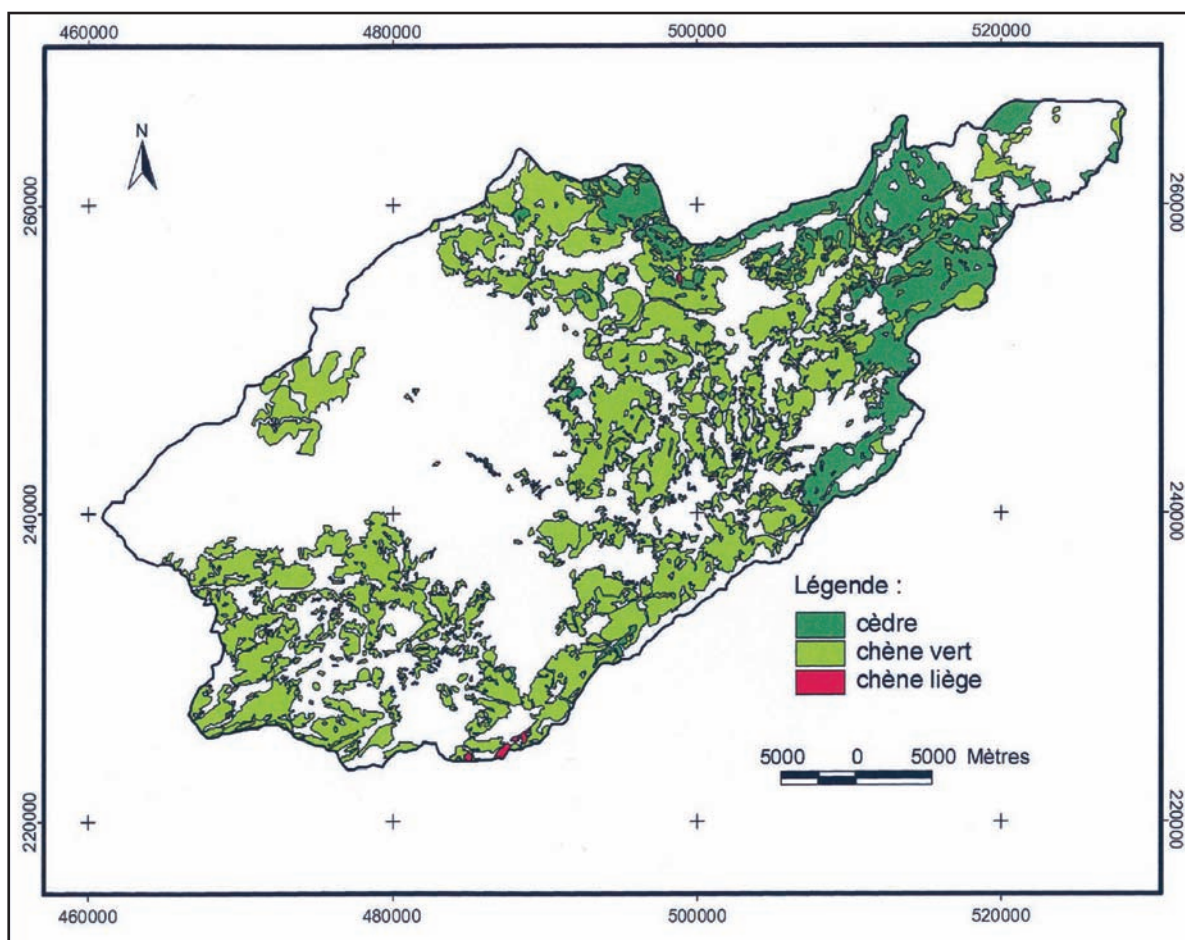


Fig. 3: Carte de la végétation arborée, extraite de l'image Landsat ETM+ de 2001.

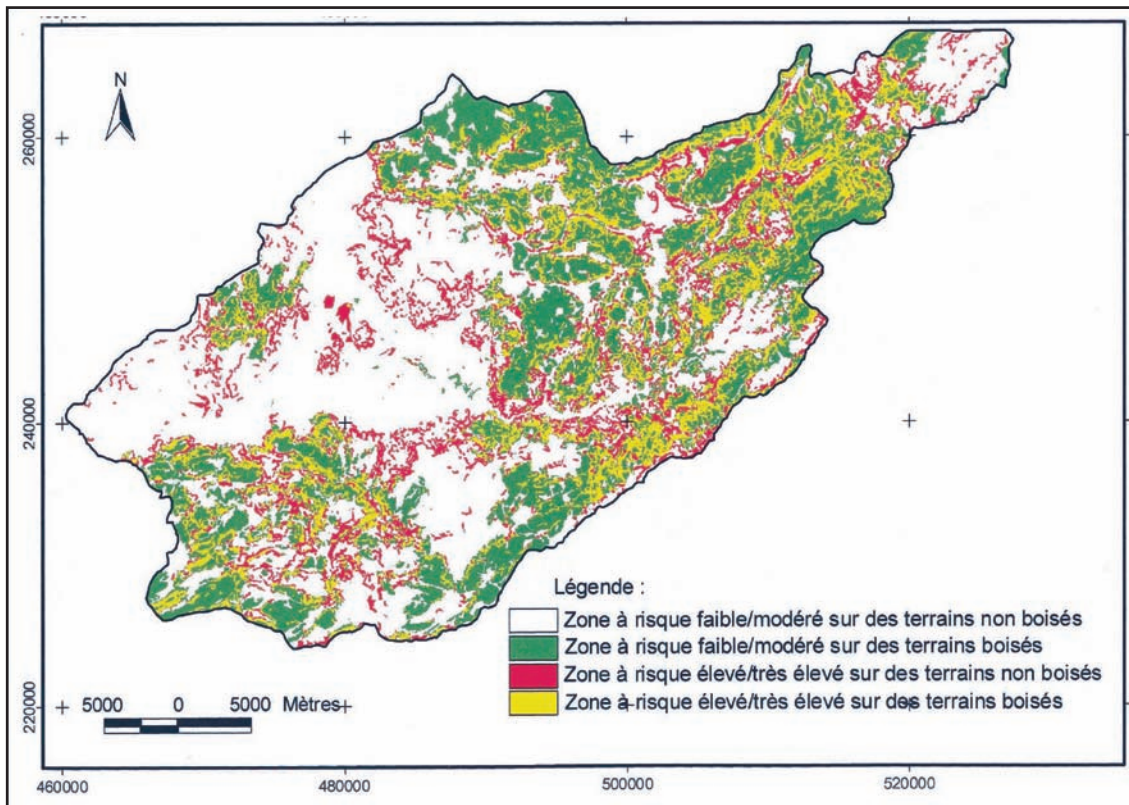


Fig. 4: Carte des zones d'intervention prioritaire: cas des conditions sèches.

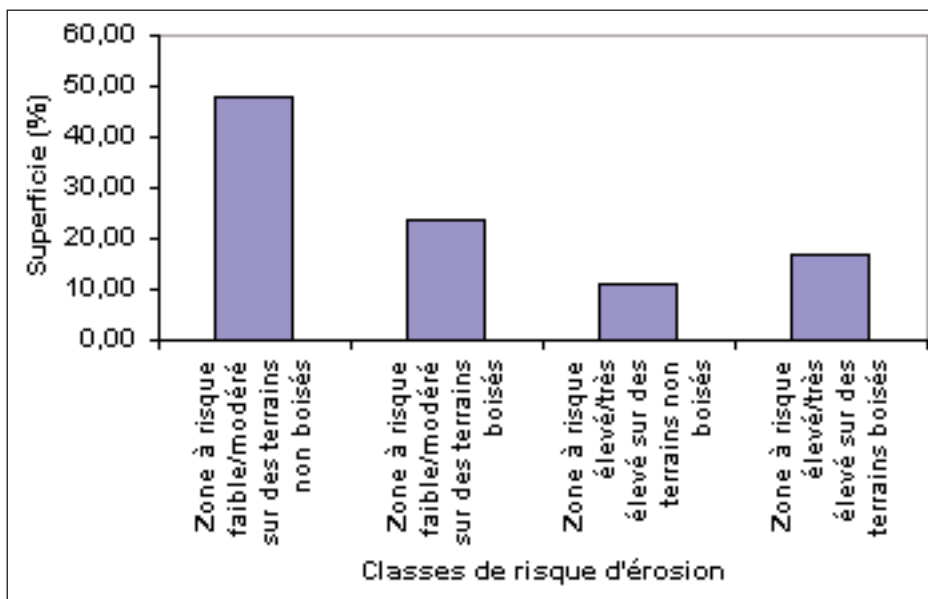


Fig. 5 : Représentation graphique des zones d'intervention prioritaire: cas de conditions sèches.

La confrontation de la carte de végétation aux cartes du risque potentiel d'érosion en période sèche (1994/1995) et humide (1995/1996), à l'aide du système d'information géographique, apporte des informations plus précises concernant la localisation des zones les plus exposées à l'érosion potentielle ce qui a permis l'élaboration de cartes d'intervention dans les conditions sèches et humides (fig. 4 et 6)

On peut distinguer des zones de faible risque d'érosion, des zones à risque d'érosion mais protégées par la forêt et des zones à risque potentiel d'érosion non couvertes par la forêt, qui nécessitent des moyens de conservation et de traitement adéquat.

Lorsque les pluies sont faibles les classes de risque d'érosion restent identiques à celles des pentes. Dans l'ensemble l'érosion forte correspond aux terrains très arrosés et aux pentes

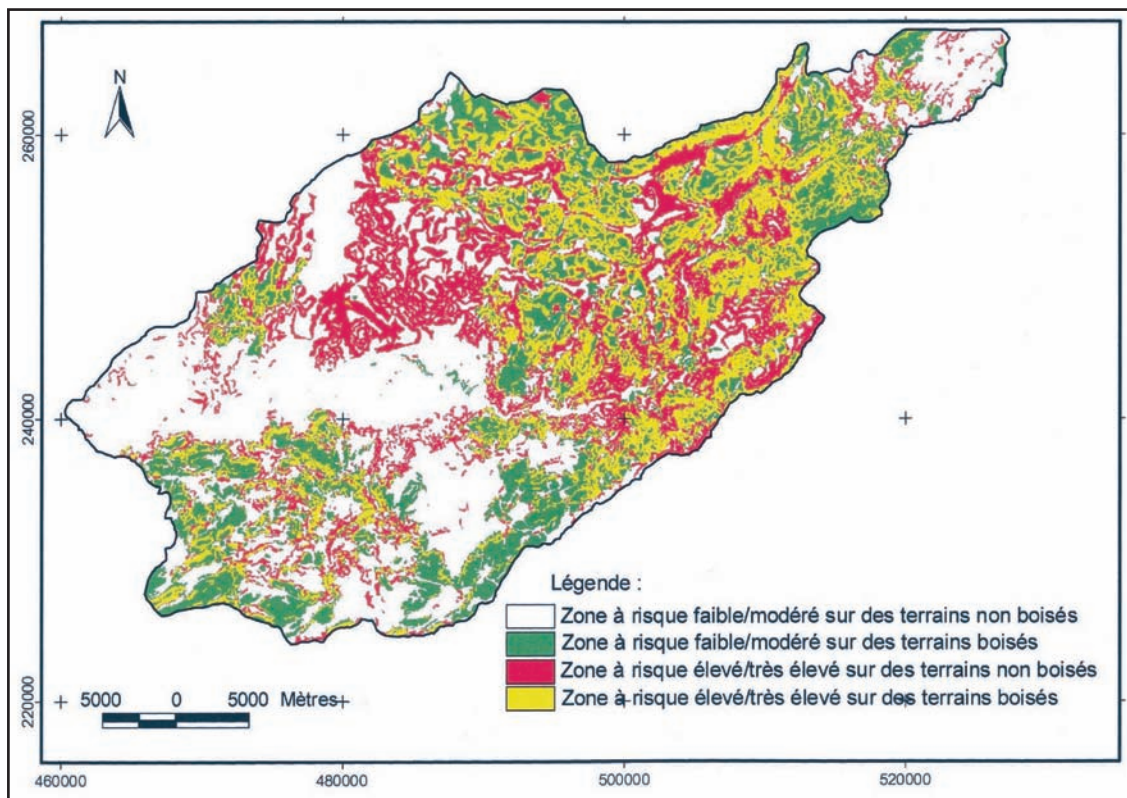


Fig. 6: Carte des des zones d'intervention prioritaire: cas des conditions humides.

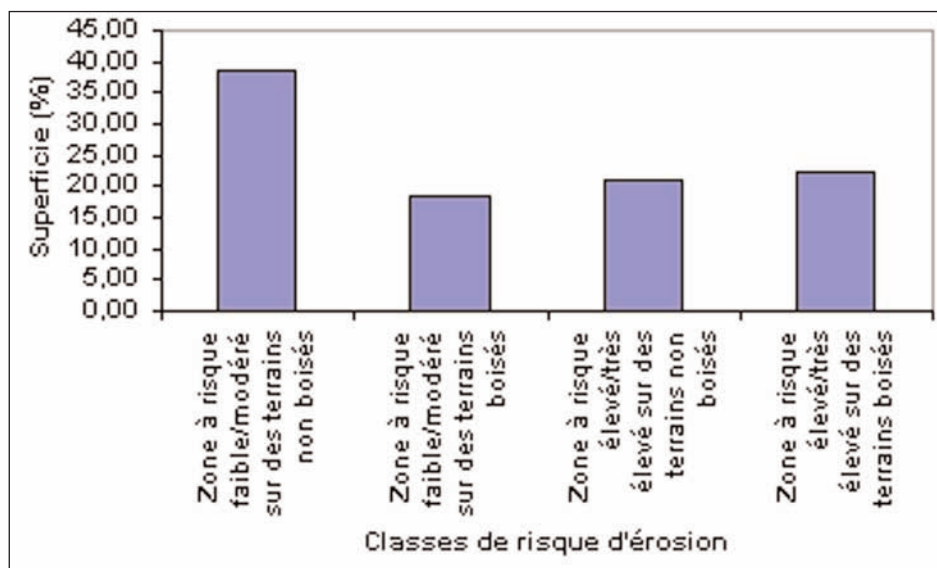


Fig. 7 : Représentation graphique des zones d'intervention prioritaire: cas des conditions humides.

fortes. On note qu'entre les conditions sèches et humides les zones à risques d'érosion ont respectivement augmenté de 11,3 % à 20,9 % de la superficie totale.

RESULTATS ET DISCUSSION

Dans le but d'orienter la priorité d'intervention par une localisation plus précise des zones les plus sensibles à l'érosion, à l'échelle du bassin versant du Srou, l'analyse des données multisources a été effectuée à l'aide d'un système d'information géographique, qui est un outil essentiel pour la spatialisé de l'information ainsi que pour la mise à jour des données. La cartographie des zones sensibles à l'érosion est fondée sur :

- La cartographie des zones à risque potentiel d'érosion selon le modèle LEAM, dont le résultat est représenté par deux cartes du risque potentiel d'érosion relatif aux périodes sèche et humide, mettant en évidence pour :
 - 1°) l'année sèche : 4 classes de risque : faible (40,2 %), modéré (31,1 %), élevé (21,1 %) et très élevé (6,9 %),
 - 2°) l'année humide : 5 classes de risque: faible (22,7 %), modéré (33,5 %), élevé (25,1 %), très élevé (14,6 %) et extrêmement élevé (3,5 %).
- La carte de végétation extraite des données de la télédétection, qui montre qu'environ 42 % de la superficie totale du bassin est couverte par la forêt.

Seules les zones à risque d'érosion élevé, très élevé et extrêmement élevé ont été prises en considération pour l'année sèche 1994/95 les zones à risque d'érosion élevé et très élevé représentent 28 % de la superficie total du bassin. Pour les mêmes classes de risques, le pourcentage atteint 43 % pour l'année humide 1995/96.

La combinaison des cartes du risque potentiel d'érosion et de la carte de la végétation arborée vise à qualifier et à produire des cartes d'intervention prioritaires, mettant en évidence la répartition des zones les plus vulnérables à l'érosion, qui représentent 11,3 % de la zone d'étude pour l'année la plus sèche et 20,9 % pour l'année la plus humide.

On constate que la superficie des zones les plus exposées à l'érosion a presque doublé sous l'effet des précipitations. Ces zones se caractérisent par un relief accentué, sans couvert végétale permanent; elles sont concentrées dans les vallées et les zones limitrophes et les zones où les risques d'érosion sont les plus faibles sont celles qui sont protégées par la forêt et /ou à pente faible.

CONCLUSION

La présente étude pose la problématique de l'érosion des sols dans le bassin du Srou, fournit un document de base et apporte quelques réponses notamment en terme de choix des zones prioritaires d'intervention.

Ce travail a permis :

- de constituer une base de données multisources de la région, à l'aide du SIG, qui est un outil essentiel pour la spatialisation de l'information ainsi que pour la mise à jour des données,
- de cartographier les zones à risque potentiel d'érosion de l'année la plus sèche et la plus humide, de la période étudiée (1980/2002), afin de tenir compte de l'impact des précipitations sur les processus érosifs,
- d'orienter la priorité d'intervention et d'aménagement, par une localisation plus précise des zones les plus vulnérables à l'érosion, en tenant compte du couvert végétal. Ces zones représentent respectivement pour l'année la plus sèche et la plus humide 11,3 % et 20,9 % du secteur d'étude.
- d'élaborer des documents numériques qui ont l'avantage de pouvoir être agrandis et édités selon la zone d'intérêt et l'échelle souhaitée.

Cette étude, mériterait d'être continuée pour assurer une bonne gestion des terres dans ces milieux fragiles menacés par l'érosion.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AIT FORA, A., 1995. Modélisation spatiale de l'érosion hydrique dans un bassin versant du Rif marocain : validation de l'approche Géomatique par la sédimentologie, les traceurs radio-actifs et la susceptibilité magnétique des sédiments. Département de Géographie et Télédétection, Faculté des lettres et sciences humaines, Université de Sherbrooke.

- ARNOLDUS, H.M.J., 1980. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. In: De Boodt M, Gabriels D, eds. Assessment of erosion. New York : John Wiley et Sons : 127- 132.
- DAHMAN, L., 1994. Modélisation des pertes en sol par l'érosion hydrique utilisant un SIG et des images satellitaires (Spot XS): Application au bassin versant de Tleta (Rif Oriental), mémoire de 3e cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des eaux et forêts spécialisé, 134p.
- ARRONDISSEMENT DE KHÉNIFRA, 1997. Elaboration du dossier de base pour l'aménagement de la forêt d'Ait Ichou. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole ; Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. Direction Régionale du Moyen Atlas.
- SERVICE PROVINCIAL DES EAUX ET FORÊTS DE KHÉNIFRA, 2002. Etude d'Aménagement de la forêt de Ajdir. Carte des types de peuplements, feuille 1. Ministère de l'Agriculture du Développement rural et des Eaux et Forêts. Ministère chargé des eaux et forêts. Direction régionale des eaux et forêts du moyen Atlas à Meknès.
- SERVICE PROVINCIAL DES EAUX ET FORÊTS DE KHÉNIFRA, 2002. Etude d'Aménagement de la forêt de Ajdir. Carte des types de peuplements, feuille 2. Ministère de l'Agriculture du Développement rural et des Eaux et Forêts. Ministère chargé des eaux et forêts. Direction régionale des eaux et forêts du moyen Atlas à Meknès.
- SERVICE PROVINCIAL DES EAUX ET FORÊTS DE KHÉNIFRA, 2003. Etude d'Aménagement de la forêt de Kerrouchen. Carte des types de peuplements. Ministère de l'Agriculture du Développement rural et des Eaux et Forêts. Ministère chargé des eaux et forêts.
- EL IDRISSE, M., 1987. Projet intégré de développement agricole de Khénifra. Etude pédologique au 1/100000, Rapport. Ministère de L'Agriculture et de la Réforme Agraire, Institut National de la Recherche Agronomique, D. P. A. Khénifra. Centre régional du Saiss et Moyen Atlas, laboratoire de pédologie, INRA, Meknès, convention N° 2/85.
- FAO et MARA., 1977. Lutte contre l'érosion et conservation des sols. Projet MOR 71/536.
- FAO., 1990. Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides. *Bulletin pédologique* ; 57 : 1-182.
- LAHLOU, A., 1977. Dégradation spécifique des bassins versants au Maroc. Rabat : Rapport n° 1000, Ministère de l'équipement et de la promotion nationale, Direction de l'hydraulique, Division exploitation, service de gestion des eaux ; 161 p.
- MANRIQUE, L.A., 1988. Land Erodibility assessment methodology, LEAM, Using soil survey data based on soil taxonomy. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii USA.
- MERZOUKI, T., 1992. Diagnostic de l'envasement des grands barrages marocains. *La revue marocaine du génie civil* ; 38 : 46-50.
- MOLLENHAUER, K., 1980. Land use in water protection areas. In: De Boodt M, Gabriels D, eds. Assessment of erosion. New York : John Wiley et Sons: 271-284.
- PNUE/PAM/PAP, 2000 : Directives pour la gestion de programmes de contrôle d'érosion et de désertification, plus particulièrement destinées aux zones côtières méditerranéennes. Split, Programme d'actions prioritaires.
- RENARD, K., FOSTER, G.R., WESSIES, G.A. Mc COOL, D.K., and YODER, D.C., 1995. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). USDA/ARS. Agric Handbook N° 703. US Govern. Printing office.
- TAHRI, M., MERZOUK, A., LAMB, HF. et MAXTED, RW., 1993. Etude de l'érosion hydrique dans le plateau d'Imelchil dans le Haut Atlas central. Utilisation d'un SIG. *Géo Observateur*; 3: 51-60.
- WISCHMEIER, WH. et SMITH, DD., 1960. An universal soil_loss estimating equation to guide conservation farm planning, 7th Intern. Congr. Soil Sci., I: 418-425.