

UTILISATION D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE POUR L'EVALUATION DES RISQUES D'EROSION: MISE AU POINT METHODOLOGIQUE

*Dr. Mohamed CHERKAOUI-OMARI Mlle Fatima BARKAN
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc*

*Mr Jean Philippe DENUX, Dr. Michel GAY
Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan, Toulouse, France*

Commission IV, Groupe de travail 1

KEY WORDS: ARC/INFO, Geographic Information System, IDRISI, SPOT, Soil erodability, Rainfall erosivity, topography.

ABSTRACT:

In this study, we have set up a geographical information system at a large scale in the region of *Dar Chaoui*. This system allows the estimation of potential and real erosion risks on adapting the universal soil loss equation (USLE) developed by WEISCHMEIER and SMITH (1978) to this region. The methodology developed to carried out this study consisted of a combinaison of the different information maps such as rainfall erosivity, soil erodability, topography and land use classes using an appropriate geographical information system.

RESUME:

Dans cette étude, nous avons mis en place un système d'information géographique à grande échelle dans la région de *Dar Chaoui*. Ce système a permis l'évaluation des risques d'érosion potentielle et réelle en adaptant à cette région l'équation universelle des pertes en sols (USLE) développée par WIESCHMEIER et SMITH (1978). La méthodologie a consisté à croiser, au moyen du système d'information géographique, les plans d'informations relatifs à l'érosivité des pluies, à l'érodabilité des sols, à la topographie et au mode d'occupation du sol.

1. INTRODUCTION

Une étude réalisée par la FAO (ANONYME, 1977) au Maroc a montré que plus de 12 millions d'hectares de terres de culture et de parcours sont menacés par l'érosion et que les deux tiers des terres cultivées nécessitent des interventions urgentes et des mesures de conservation sévères. En plus, il a été estimé que les montagnes marocaines perdent plus de 60 000 ha/an de terres jadis productives et protégées (S.M. LE ROI HASSAN II, 1993).

Du point de vue agronomique, l'érosion de la couche superficielle des sols entraîne une dégradation de la structure, une réduction de la réserve utile des sols, un entraînement de la matière nutritive et des phénomènes de sédimentation en bas de pente. Ceci a des conséquences particulièrement néfastes au niveau de l'envasement des barrages en aval d'un bassin versant où sévit l'érosion. La littérature (TAHRI et al., 1993) cite des chiffres de perte de la capacité de stockage des barrages de l'ordre de 0.5% par an au Maroc. Le Plan National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV) a été l'occasion d'un travail important de collecte de données et d'analyse afin de répondre aux objectifs de réduction

du rythme de l'envasement et de développement des zones à l'amont.

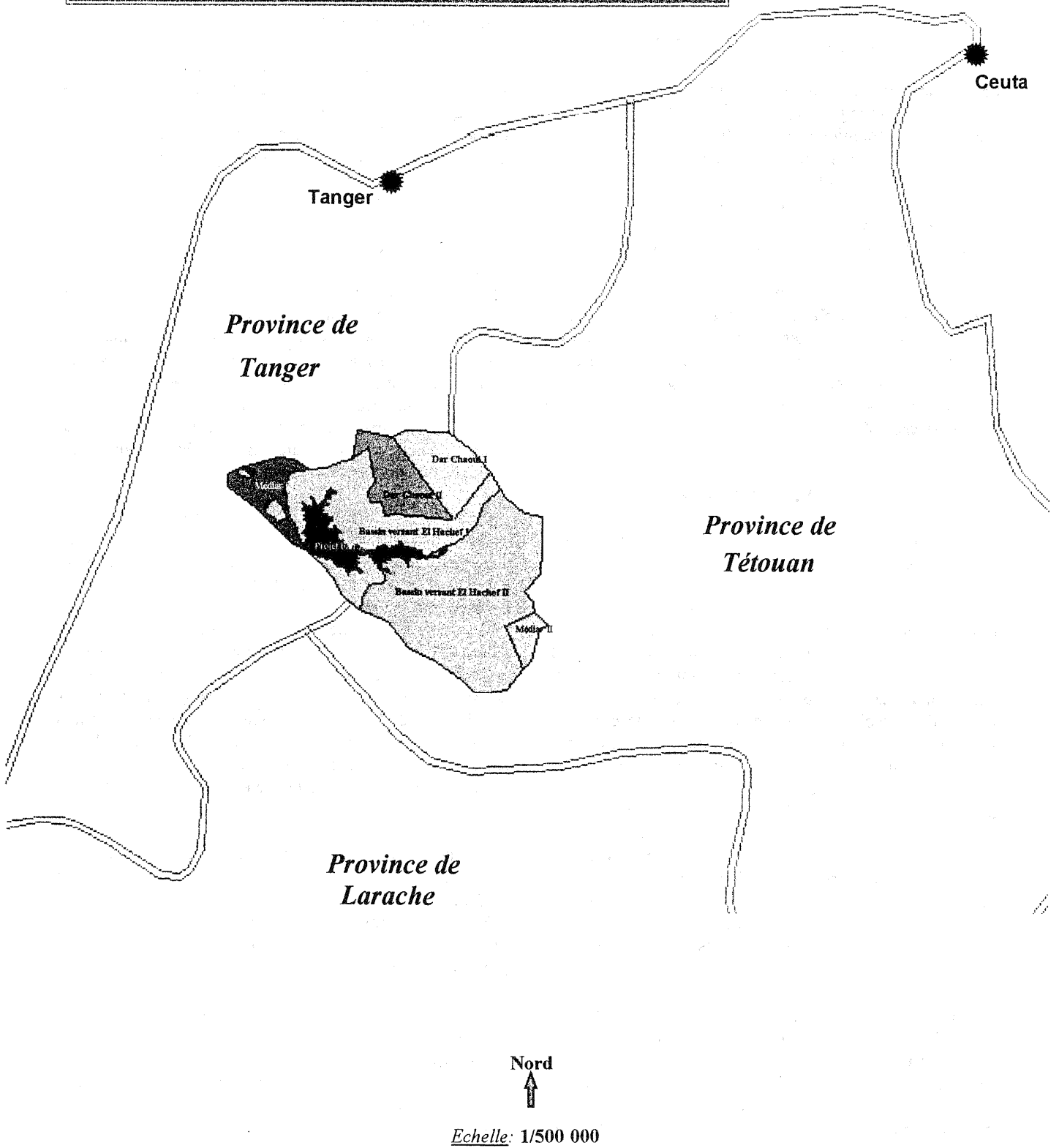
Suite à un travail, mené par l'équipe de l'ESAP/Toulouse, nous proposons, dans cette étude, la mise en place d'un SIG à grande échelle dans la zone dite "Dar Chaoui". Ce SIG doit permettre la cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion.

2. ZONE D'ETUDE

La zone faisant objet de cette étude, **Dar Chaoui**, se trouve en chevauchement entre la province de TANGER et la province de TETOUAN (Planche 1). Elle s'étend sur une superficie de 30 000 hectares avec un relief très accidenté (la dénivellation varie de 0 à 1020 mètres). Cette zone est soumise à un climat thermoméditerranéen subhumide et la pluviométrie enregistrée varie de 750 à 1750 mm/an selon le relief. La lithologie est constituée principalement de grès, quartz, marnes, sables et flyschs plus ou moins sensibles à l'érosion.

Cette zone (planche 1) a été subdivisée en plusieurs petits ensembles:

Planche 1. Situation géographique du site



Nord
↑

Echelle: 1/500 000

- Mediar I et II,
- Dar Chaoui I et II,
- Bassin versant El Hachef I et II,

avec des reboisements existants (a, b, c) et une zone qui sera consacrée à un projet de barrage.

3. MATERIEL ET MOYENS

Les données dont nous avons disposé ont consisté en:

- quatre cartes topographiques au 1:50000,
- deux cartes géologiques au 1:50 000,
- une carte des précipitations annuelles et du nombre de jours pluie au 1:2000000,
- une image SPOT multispectrale, au niveau 2B de prétraitement, prise en Juillet 1993 et,
- des photographies aériennes datant de 1986.

Les logiciels d'information géographique ont concerné **ARC/INFO** et **IDRISI** implantés sur micro-ordinateur. La numérisation des cartes a été effectuée au moyen du logiciel **SICIS**, alors que le traitement de la base de données alphanumériques a été réalisé à l'aide des systèmes de gestion de bases de données relationnels **Access** et **dBASE**.

4. METHODOLOGIE

4.1. Mise en place du système d'information géographique

4.1.1. Topographie. Utilisant ces données, nous avons d'abord modéliser le modèle numérique d'altitudes (MNA). Ceci a été réalisé en numérisant des courbes de niveaux à partir des cartes topographiques avec une équidistance de 20 mètres. Le logiciel **IDRISI** nous a permis d'interpoler ces courbes et par la suite d'extraire les plans d'information relatifs aux altitudes, aux pentes et aux orientations. La répartition des **altitudes** en superficie du site illustre que le site est à relief très accidenté et les zones à haute altitude se localisent au sud du site. En outre, le plan d'information relatif aux **pent**es montre que les surfaces à pente supérieure à 20 couvrent plus du tiers du site. Cette pente est considérée comme indicatrice de pente érosive, d'ailleurs, le Service Américain de Classement des Capacités Agronomiques des Terres exclue toute culture au-dessus de cette valeur.

4.1.2. Climat. Pour caractériser le climat, nous avons utilisé des couvertures déjà établies par l'équipe de l'ESAP/Toulouse. Il s'agit de la couverture **des précipitations, du nombre de jours de pluie et des températures**. Nous avons procédé à un changement de résolution de un kilomètre à 20 mètres. Nous n'avons pas appliqué à ces couvertures aucun filtre afin de garder les valeurs originelles.

4.1.3. Géologie. A défaut des cartes pédologiques, nous avons utilisé les cartes géologiques pour caractériser

l'érodabilité des sols du site. En effet, nous avons numérisé les deux cartes géologiques sous **SICIS**. Ces cartes ont été par la suite construites, attribuées puis rassemblées sous **ARC/INFO**. Le résultat est une couverture géologique avec **58 classes** géologiques différentes que nous avons regroupées par l'aide des experts en 6 unités lithologiques.

Il faut signaler à cette occasion que ce sont les sols en surface qui sont exposés à l'érosion et non les faciès lithologiques qui peuvent être couverts par un sol d'érodabilité différente. Mais, le site est marqué par un relief très accidenté et des pentes assez longues. Par conséquent, les sols sont peu profonds et le substrat est le plus souvent affleurant.

4.1.4. Mode d'occupation du sol. Le plan relatif au mode d'occupation du sol a été obtenu en traitant une image multispectrale **SPOT**. Le traitement de cette image a consisté en une classification dite *supervisée mais non guidée*. Pour ce, nous avons utilisé comme néocanaux: la première composante principale qui explique **86.78%** de l'information originelle, l'indice de végétation normalisé qui est important pour la caractérisation du comportement spectral de la végétation et l'indice de brillance qui estime le pourcentage de la couverture du sol et de la biomasse végétative.

Cette méthode de classification a consisté en première étape en une classification par voie non dirigée en utilisant comme règle de segmentation la méthode du *maximum de vraisemblance*. Cette étape a résulté en une image dont nous avons identifié les classes par interprétation visuelle. La deuxième étape de cette classification est une classification par voie dirigée en utilisant la même règle de segmentation. La délimitation des sites d'entraînement a été effectuée en s'appuyant sur les résultats de la première étape. Les thèmes résultants de cette classification sont: le sol nu, la forêt, les cultures et l'eau. L'extraction des statistiques relatives à l'étendue de ces modes indique que le site est couvert à **9%** par des cultures.

Une classification en soi n'a pas de signification que lorsqu'elle est accompagnée d'une évaluation de sa qualité. Pour ce, nous avons utilisé la méthode, dite de «**Fitzpatrick-Lins**». Ceci, nous a permis de construire une matrice de confusion et par la suite d'évaluer la précision de classification. Cette évaluation a donné la valeur de **89.5%** avec une valeur statistique κ de **83.33%**. Pour pouvoir juger de l'exactitude de la règle de segmentation utilisée (qui est dans notre cas celle du maximum de vraisemblance), nous avons utilisé comme méthode celle de **l'estimateur de régression**. Ainsi, pour chaque classe, nous avons déterminé l'équation de régression et un coefficient de détermination r^2 . Les résultats montrent que notre choix de cette règle est adéquat pour notre étude (les équations représentent presque les bissectrices et r^2 est près de 100%).

4.2. Cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion

Pour atteindre cet objectif, nous avons adapté, à notre site, l'équation universelle des pertes en sol (USLE) développée par WIESCHMEIER et SMITH (1978). Cette équation qui s'adapte bien aux traitements SIG (WARREN et al., 1989), a été utilisée par plusieurs chercheurs au Maroc pour évaluer l'érosion (ANYS et al., 1992; BENMOUSSA et al., 1993; TAHRI et al., 1993). Elle s'écrit sous la forme:

$$(1) \quad A = R \times K \times LS \times C \times P$$

où:

A = la perte cumulative en sol calculée en (t/ha).

C'est le résultat multiplicatif des facteurs suivants:

R = indice d'érosivité des pluies, calculé à partir des enregistrements des précipitations,

K = indice d'érodabilité des sols,

LS = indice topographique, avec:

L = longueur de la pente, calculée à partir du MNA et,

S = gradient de la pente,

C = indice mesurant l'effet protecteur de la couverture végétale et,

P = indice caractérisant l'effet des pratiques culturales sur le taux d'érosion.

La combinaison des indices d'érodabilité des sols, d'érosivité des pluies et d'indice topographique définit une **érosion potentielle**. Lorsqu'on introduit la couverture du sol dans le modèle, nous parlons alors d'**érosion réelle**.

La logique de cette équation a été reprise dans une étude à petite échelle faite au niveau de *l'Union Européenne*. Il s'agit du programme *Corine-érosion* conduit par la *Direction Générale de l'Environnement* (ANONYME, 1992). Nous avons suivi, dans notre étude, la même démarche de croisement de plans. S'agissant d'une étude à grande échelle, les plans d'information mis en jeu n'ont pas été les mêmes (Planche 2). Ainsi, nous avons introduit pour caractériser la contribution de la topographie dans le processus de l'érosion, l'indice topographique LS, alors que l'image SPOT a été utilisée pour fournir le plan d'information relatif au mode d'occupation du sol. Nous avons utilisé la carte géologique pour caractériser l'érodabilité des sols et, l'indice d'érosivité des pluies a été calculé en combinant les couvertures relatives aux précipitations et au nombre de jour de pluie.

Pour *l'indice des pratiques culturales*, nous ne disposons d'aucune information concernant l'existence d'une pratique anti-érosion, ainsi, nous n'avons pas introduit le plan d'information relatif à cet indice.

4.2.1. Indice d'érosivité des pluies: R. Nous avons déterminé l'indice d'érosivité des pluies en effectuant la division, au moyen du logiciel IDRISI, de la couverture des précipitations annuelles par la couverture des nombres de jours de pluies. Les valeurs de cet indice varient de 8 à 27 et la moitié du site a un indice d'érosivité des pluies supérieur à 10.

4.2.2. Indice d'érodabilité des sols: K. L'indice d'érodabilité des sols a été déterminé en affectant à chacune des unités un coefficient d'érodabilité. Nous nous sommes basés pour ce faire sur une échelle établie par des experts. Le site est caractérisé à ce niveau par un sol à érodabilité très forte puisque 65.86% des terres du site font partie de la classe ne présentant aucune résistance à l'érosion.

4.2.3. Indice de la couverture végétale :C. Pour chaque mode d'occupation du sol, nous avons attribué une valeur caractérisant la contribution de ce mode dans le processus de l'érosion. Nous avons adopté, dans notre étude, comme indices de la couverture végétale, ceux fournis par M. BENMOUSSA et al. (1993). Ils ont affecté à chaque mode d'occupation du sol un coefficient caractérisant l'effet protecteur de la végétation.

4.2.4. Indice topographique: LS. Cet indice a été calculé en appliquant la formule (Wieschmeier et Smith, 1978) qui suit.

$$(2) \quad LS = \{(L/22,15)^m\} \times \{65,41 \times \sin^2 S + 4,56 \times \sin S + 0,065\}$$

où:

L = longueur de la pente (en m),

S = degré de la pente (en %),

m = 0,5 si S > 5%,

m = 0,4 si 3,5% < S < 5%,

m = 0,3 si 1% < S < 3,5%, et

m = 0,2 si S < 1%.

La longueur de la pente, L, est définie par la SCS (Soil Conservation Studies) (ZING, 1940) comme étant la distance parcourue par une goutte d'eau depuis la source de ruissellement, qui est généralement la crête ou le sommet d'une colline, jusqu'à un point donné. La mesure de cette grandeur pose toujours des problèmes techniques (ANYS, 1991). Bien que des méthodes automatiques pour sa cartographie à partir de MNA existent, elles ne sont pas encore commercialisées ni disponibles au Maroc (DHMAN, 1994). Nous avons donc eu recours à la méthode de HORTON qui repose sur la formule suivante:

$$(3) \quad L = (B/2Lr)$$

où: L = longueur de la pente,

B = surface du bassin versant, et

L_r = longueur du réseau hydrographique.

D'abord, nous avons subdivisé, sous ARC/INFO, notre site en sous-bassins versants en utilisant la couverture du réseau hydrographique. Puis, nous avons procédé au calcul de la longueur du réseau hydrographique et à l'affectation de la valeur de **longueur de pente** à chaque polygone. Cette dernière valeur a subi une correction en la divisant par le cosinus de la pente. La répartition de la superficie par classes de longueurs de pente montre que le site est caractérisé par des pentes longues (70% du site a une pente supérieure à 200 mètres).

En intégrant cette dernière couverture dans le modèle de WIESCHMEIER et SMITH, nous obtenons la couverture représentant l'indice topographique du site. Cette dernière couverture indique que plus de 70% des terres du site ont un indice topographique supérieur à 3.

Nous avons procédé dans la suite de notre étude au croisement, d'une façon multiplicative, des plans que nous venons d'exposer. L'analyse de la répartition des risques d'érosion réelle montre que les pertes importantes en sol proviennent uniquement du tiers du site (27,64%). En outre, une extraction des taux des risques d'érosion par petit ensemble montre le petit ensemble le plus protégé est celui de Dar Chaoui I (Tableau 1). Bien que la couverture végétale est dense dans le petit ensemble Dar Chaoui II, ce dernier est très menacé par l'érosion. Ceci est dû au fait que le sol est très érodable dans ce site. L'érodabilité forte des sols et la faible densité de la végétation dans le petit ensemble Mediar I ont rendu ce dernier le plus exposé à une érosion réelle.

Tableau 1. Taux des risques d'érosion potentielle et réelle par petit ensemble.

Petit ensemble	Taux moyen des risques d'érosion potentielle	Taux moyen des risques d'érosion réelle
Dar Chaoui I	22.94	16.53
Dar Chaoui II	122.00	80.45
Bassin versant El Hachef I	123.00	37.49
Mediar I	147.93	84.73
Projet barrage	21.23	9.59

En analysant le tableau 2 et qui représente les taux des risques d'érosion pour chaque mode d'occupation du sol, nous remarquons que les taux les plus élevés se localisent dans les régions à sol nu. Ceci n'est pas du uniquement à l'absence de végétation dans ces zones

puisque le potentiel érosif attribue toujours la plus grande valeur au sol nu (89,74%), mais, en plus, ces zones se trouvent en régions à topographie accidentée avec un sol favorable à l'érosion.

Tableau 2. Taux des risques d'érosion potentielle et réelle pour chaque surface correspondante au mode d'occupation des terres.

Couverture au sol	Taux moyen des risques d'érosion potentielle	Taux moyen des risques d'érosion réelle
Forêt	82.75	1.66
Cultures	45.80	6.87
Sol nu	89.74	89.74

5. CONCLUSION

Cette étude a abouti à la construction d'un système d'information géographique à grande échelle. Nous avons pu définir une méthodologie pour analyser les risques d'érosion potentielle et réelle ce qui a permis la réalisation d'une série de cartes thématiques à grande échelle.

Les résultats de l'analyse des risques d'érosion ont montré que certains petits ensembles du site sont en fort risque d'érosion réelle. Suite à ces résultats, nous avons élaboré des scénarios de zones prioritaires où l'intervention est urgente.

Pour améliorer la précision d'une telle approche méthodologique, une détermination exacte et précise des facteurs contribuant au processus de l'érosion est souhaitée. En effet, le facteur d'érodabilité des sols **K** doit être calculé en utilisant la formule originale de WIESCHMEIER et SMITH qui est basée sur des observations au sol ou encore en utilisant des cartes pédologiques. L'estimation du facteur d'érosivité des pluies **R** peut être améliorée en procédant à la spatialisation de données climatiques récentes et le facteur topographique **LS** peut être calculé d'une façon précise en élaborant un programme informatique.

Les résultats de l'utilisation de la télédétection pour cartographier la couverture végétale sont satisfaisants. Cependant, l'utilisation de récentes vérités terrain pour évaluer le degré de leur précision aurait été souhaitée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANONYME. 1992. Corine soil erosion risk and important land resources in the southern regions of European Community, EUR13233 COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, 97p.

ANONYME. 1977. Erosion et aménagement des bassins versants dans les pays méditerranéens, F.A.O., Terre, Eaux et Hommes, No. 30, Vol. 9, p. 27-45.

ANYS, H.; BONN, F. et MERZOUK, A. 1992. Cartographie et calcul de l'érosion hydrique à l'aide de la télédétection et du SIG, Cas du bassin versant d'Oued Aricha (Settat, Maroc), Géo Observateur, No. 2, Septembre 1992, p. 37-51.

ANYS, H. 1991. Utilisation des données de télédétection dans un système d'information géographique pour l'étude de l'érosion hydrique du bassin versant d'Aricha (Settat, Maroc), Mémoire de maîtrise es science humaine, Dept. de Géographie et Télédétection..

BENMOUSSA, M.; ELYAMANI, M. et SAIDI, A. 1993. Application de l'équation universelle des pertes en sol au bassin versant de Oued Tasrafete, Géo Observateur, No.3, Octobre 1993, p. 83-93.

DHMAN, L. 1994. Modélisation des pertes en sol par l'érosion hydrique utilisant un S.I.G et des images satellitaires (SPOT XS): Application au bassin versant de Telata (Rif Occidental), Mémoire de 3ème cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des eaux et forêts spécialisé, 134 p.

S. M. LE ROI HASSAN II. 1993. Allocation prononcée lors de la cérémonie de la mise en marche du barrage Allal El Fassi, Le Matin du Sahara et du Maghreb, No. 8061, 12 février 1993, Casablanca.

TAHRI, M.; MERZOUK, A.; LAMB, H. F. et MAXTED, R. W. 1993. Etude de l'érosion hydrique dans le plateau d'Imilchil dans le Haut-Atlas central- Utilisation d'un SIG, Géo Observateur, No 3, Octobre 1993, p. 51-60.

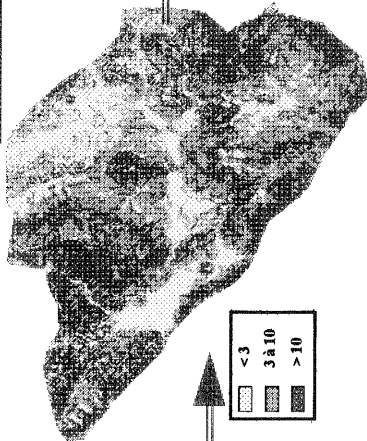
WARREN, S. D.; DIERSING, V. E.; THOMPSON, P. J. and GORAN, W. D. 1989. An erosion-based land classification system for military installations, Environmental Management, Vol. 13, No. 2, p. 251-257.

WIESCHMEIER, W. H. and SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall-erosion losses- A guide to conservation planning, USDA Agriculture Handbook, No 537.

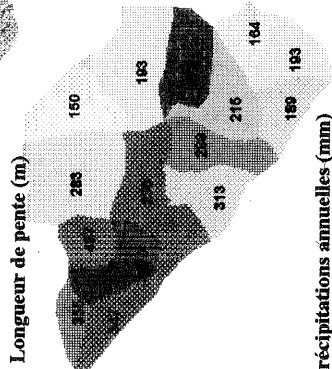
Planche 2. Analyse des risques d'érosion potentielle et réelle



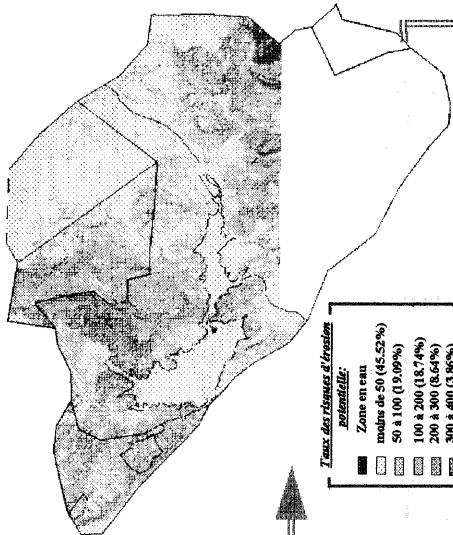
Indice topographique (LS)



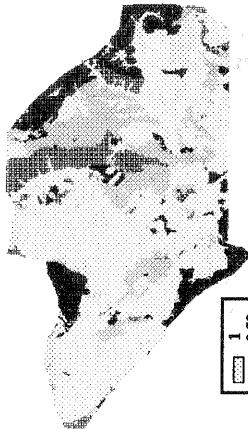
Longueur de pente (m)



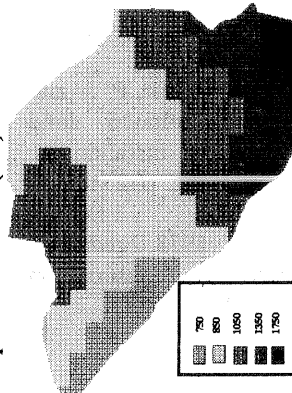
Risques d'érosion potentielle (LS x K x R)



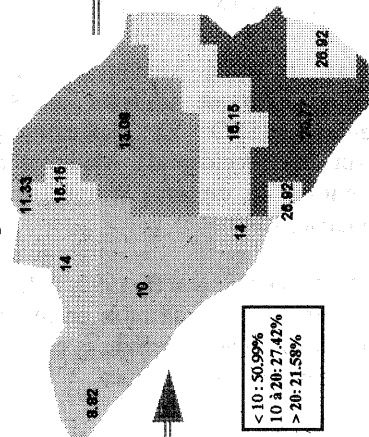
Indice d'érodabilité des sols (K)



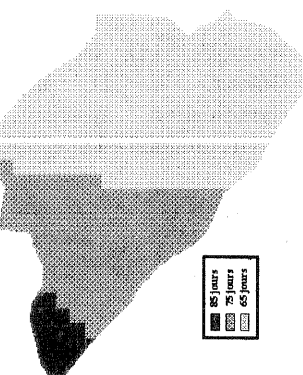
Précipitations annuelles (mm)



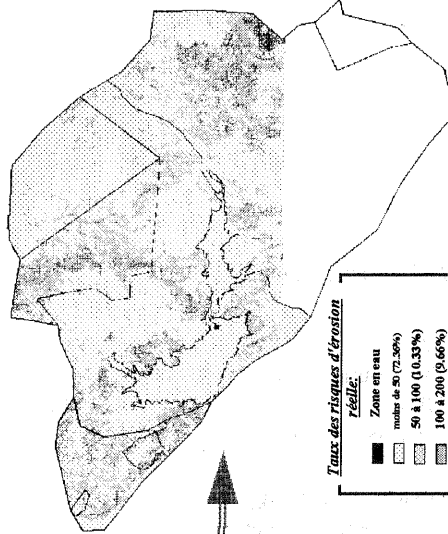
Indice d'érosivité des pluies (R)



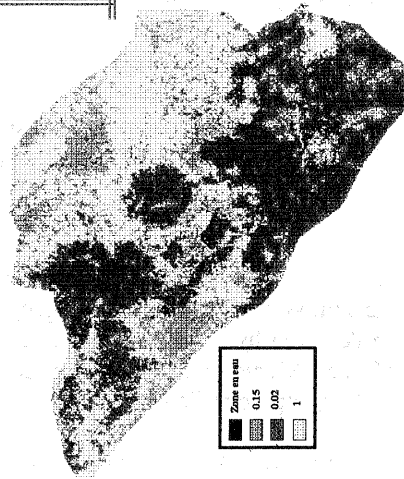
Nombre de jours de pluie par an



Risques d'érosion réelle (LS x K x R x C)



Indice de la couverture végétale (C)



Taux des risques d'érosion

