

**SIG - TELEDETECTION POUR LE SUIVI ET LA QUANTIFICATION DE  
L'EROSION HYDRIQUE ET LA MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'AIDE A LA  
DECISION POUR L'AMENAGEMENT ANTI-EROSIF :  
APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE L'ISSER (TLEMCCEN) -**

O. TALBI\* - A. BENSALD\*\* - A. MENDAS\* - M. A. TRACHE\*

*Centre National des Techniques Spatiales (CNTS). BP 13, Arzew 31200, Oran, Algérie;  
tél.: (213) 647 22 17, fax: (213) 647 34 54*

*\*Laboratoire de GÉOmatique , \*\*Laboratoire de Télédétection*

**RESUME**

L'ampleur du phénomène de l'érosion hydrique, qui touche notre pays, est considérable. Par ailleurs, ses conséquences avales sont très coûteuses pour l'économie nationale. Au premier rang des "cibles potentielles", figurent les retenues et particulièrement les barrages et leurs ouvrages annexes, dont l'envasement constitue une atteinte à une mise en valeur durable d'importants investissements consentis dans le domaine des ressources en eau. Ce grave phénomène augmente les coûts d'exploitation des infrastructures hydrauliques et réduit la durée de vie de la retenue, engendrant des conséquences négatives dans le domaine de l'approvisionnement en eau potable, industrielle et d'irrigation. Actuellement, pour conduire l'estimation de l'érosion et de la sédimentation résultant de l'écoulement et du ruissellement, des études considèrent le bassin versant dans son intégrité. L'objectif de cette étude est plus d'ordre « géomatique » que thématique et, vise à faire profiter les domaines de l'érosion hydrique et celui des ressources en eau des nouveaux progrès technologiques dans la gestion de l'information géographique. C'est dans cette optique que s'intègre ce travail, dont la finalité est l'établissement d'une approche méthodologique moderne, utilisant les outils spatiaux SIG & Télédétection, qui permettra aux utilisateurs potentiels d'effectuer une estimation du potentiel érosif et des pertes de terre moyennes annuelles, la prédiction des quantités de sédiments délivrés aux exutoires et, la réalisation de scénarios d'intervention pour la diminution du taux d'envasement et des cartes des zones prioritaires d'intervention. Sur un plan thématique, nous avons eu l'opportunité de tester et d'appliquer, à l'échelle d'un bassin versant, le modèle d'érosion de WISCHMEIER (USLE). Ainsi, le système (SIG, Télédétection et USLE) constitue un outil d'aide à la décision qui contribuera efficacement dans des études d'aménagements.

Mots clés: érosion hydrique, envasement, bassin versant, SIG, Télédétection, modèle USLE.

**1. PROBLEMATIQUE**

L'érosion hydrique, dont l'agent principal est l'eau, apporte préjudice aux potentialités en eau et en sol de notre pays; c'est donc un facteur d'évolution économique. Ce phénomène est le type de dégradation dont les conséquences sont très néfastes. On citera particulièrement celles situées en aval des versants et qui sont très coûteuses pour l'économie nationale. Il s'agit de la réduction de vie de la retenue, se traduisant par l'envasement des barrages et leurs ouvrages annexes et créant ainsi d'autres problèmes liés à la production de l'énergie électrique et à l'approvisionnement en eau potable, industrielle et d'irrigation.

Le suivi de l'érosion hydrique et surtout son évaluation ont été menés durant de nombreuses années à l'échelle parcellaire. L'utilisation des simulateurs de pluie et des parcelles aménagées en fonction de l'étude a permis la proposition de certains modèles valables pour les conditions expérimentales telle que l'équation universelle des pertes de terre USLE. Actuellement, de nombreuses études sont dédiées à la validation de ces modèles à une échelle régionale, en essayant de remédier aux problèmes qui résident dans ce changement d'échelle. Contrairement

aux autres, l'USLE fait partie des modèles, qui en plus de leur évaluation descriptive de l'érosion hydrique, permettent d'avoir des chiffres relatifs au potentiel érosif et aux pertes de terres. Sa combinaison, avec le coefficient de transportabilité des sédiments, donne l'information relative aux quantités de terre érodées et transportées aux exutoires.

Les outils SIG et télédétection sont devenus nécessaires dans ce genre d'études. Ce sont deux atouts qui, grâce aux avantages qu'ils offrent, se sont imposés et devenus des techniques efficaces pour la gestion de l'espace et les études d'aménagement. Dans ce cadre, ces deux outils sont très complémentaires et permettent:

- l'acquisition des données multisources et multi-temporelles;
- la cartographie numérique;
- le suivi et l'analyse de données;
- la restitution de produits d'aide à la décision.

Ainsi et surtout sur un plan technique, il en résulte, pour l'utilisateur potentiel, un gain énorme de temps et en moyens et, le suivi d'un phénomène naturel tel l'érosion hydrique devient plus simple et souple relativement aux méthodes classiques et traditionnelles.

## 2. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif principal de la présente étude est l'intégration des outils SIG et Télédétection dans le suivi de l'érosion hydrique et implicitement dans celui des ressources en eau, pour mieux faire profiter ces domaines des nouveaux progrès technologiques dans la gestion de l'information géographique.

## 3. METHODOLOGIE

### 3.1. Secteur d'étude

La zone d'étude est un micro bassin (fig.1), faisant partie du bassin versant de l'oued Isser, dans lequel sont drainées ses eaux. Ce site se situe à environ 40 Km à l'est de la ville de Tlemcen au nord-ouest de l'Algérie. On y trouve principalement des cultures annuelles (céréaliculture, légumes secs) et une végétation dégradée.

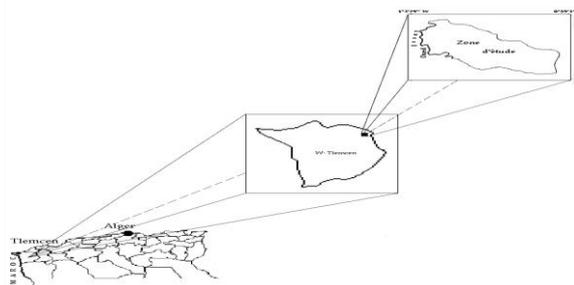


Figure 1 : Situation géographique de la zone pilote

### 3.2. Principaux modèles utilisés

Mise au point par WISCHMEIER et SMITH en 1958 [1], le modèle USLE nous permet d'estimer les pertes de terre moyennes causées par l'érosion hydrique. Il s'exprime comme suit:

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

A : pertes de terre;  
 R : indice d'agressivité climatique (d'érosivité);  
 K : facteur d'érodabilité;  
 LS: facteur topographique;  
 C : facteur de l'évolution culturale;  
 P : facteur des pratiques cultural et anti-érosives.

Pour le calcul du pourcentage de pertes de terre, parmi celles produites, qui sera transporté jusqu'aux exutoires, nous avons utilisé le coefficient de transportabilité des sédiments noté  $D_r$ , en utilisant son équation simplifiée:

$$D_r = 10 * (r/L') \quad (2)$$

$r$  : Dénivelée entre la cellule agricole et la cellule d'eau qui lui est associée;  
 $L'$  : Distance entre les deux cellules.

La quantité de sédiments délivrée par chaque parcelle (pixel) à l'exutoire est calculée par la formule suivante:

$$A_d = A * D_r \quad (3)$$

$A_d$  : Quantité de sédiments transportée de chaque parcelle agricole vers la parcelle d'eau la plus proche;

$A$  : Quantité des pertes de terre érodée de chaque parcelle agricole (extraite de l'expression 1);

$D_r$  : Coefficient de délivrance de la parcelle en question.

### 3.3. Données et logiciels utilisés

L'application a nécessité d'abord la collecte de différentes données exogènes et l'utilisation de quelques logiciels (fig.2), permettant de générer des données endogènes (résultats intermédiaires) et, d'aboutir aux objectifs de l'étude en question (résultats définitifs).

### 3.4. Préparation des différentes couches d'information

- Calcul du facteur d'érosivité des pluies R

Indicateur de l'agressivité climatique (érosivité des pluies), R a été calculé en utilisant le modèle de KALMAN qui a travaillé dans la région Nord-Africaine [7]:

$$R_{kal} = 143. \text{Log}(P. P_{24}. 10^{-6}) + 89.7 \quad (4)$$

$P_{24}$  : Pluviométrie maximale de 24 heures d'une période de retour de 10 ans;

$P$  : Pluviométrie annuelle moyenne.

L'absence de données exhaustives nous a empêché de générer une carte significative d'isovaleurs de R nécessaire lorsque l'étude se fait sur de grands territoires et, où la variation de R n'est pas négligeable. R est donc considéré comme étant constant et, sa valeur finale est la moyenne calculée au niveau de (02) stations qui se trouvent à l'intérieur de la zone [2].

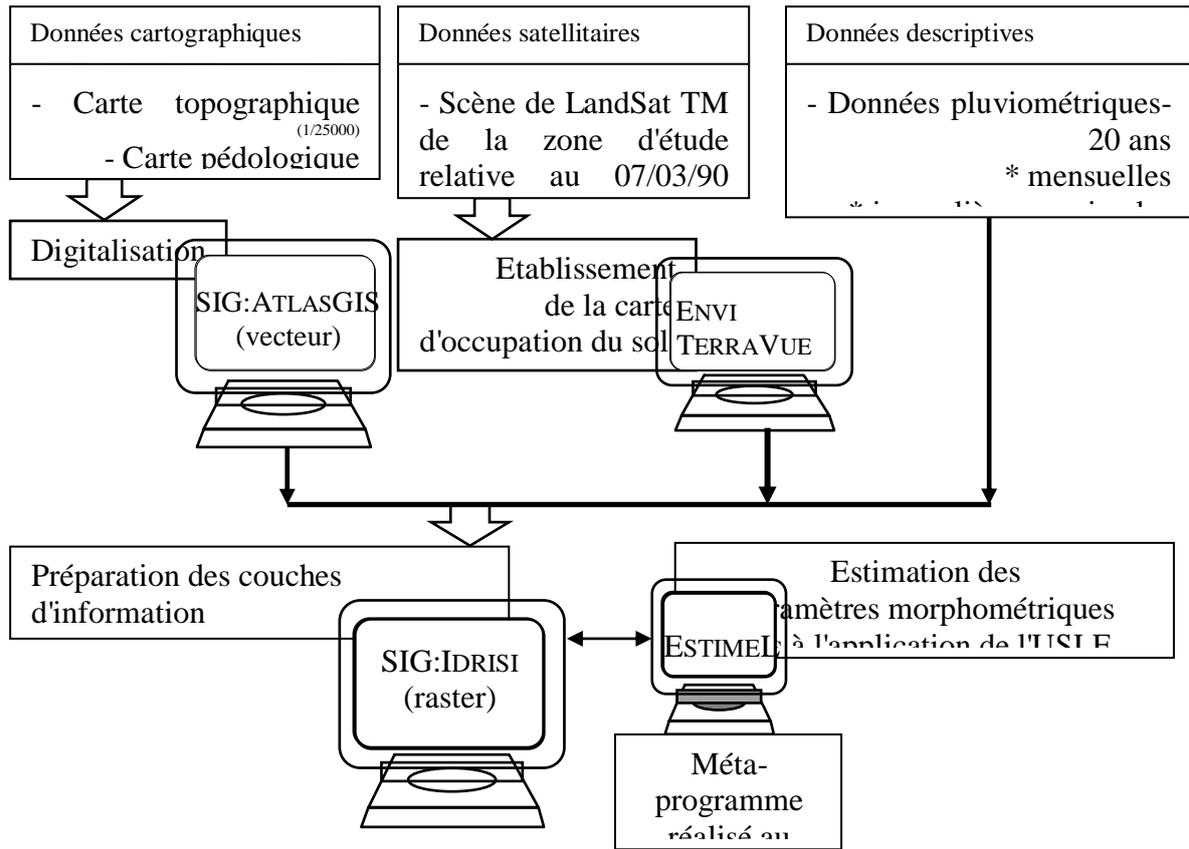


Figure 2 : Matériels et données utilisées

- Détermination du facteur d'érodabilité K

Les indices d'érodabilité des 10 types de sols de la région ont été estimés grâce à l'utilisation de l'abaque de WISCHMEIER [10], en se basant sur les analyses granulométriques des différentes unités pédologiques extraites de l'étude [5].

- Calcul du facteur topographique LS

Ce facteur est le résultat de la combinaison de la longueur de la pente (L) et de son degré (S) selon la formule suivante:

$$LS = (L / 22.15)^m \cdot [65.41 \cdot (\sin(s))^2 + 4.56 \cdot \sin(s) + 0.065] \quad (5)$$

S : degré de la pente;

L : longueur de la pente.

Il faut noter que le paramètre (L) a été calculé grâce au programme "ESTIMEL" réalisé au cours de l'étude [10], travaillant d'une manière interactive avec le SIG IDRISI.

- Estimation du facteur du couvert végétal C

Cette étape nécessite d'abord de disposer d'une carte d'occupation du sol. Dans cette optique, l'outil télédétection a été utilisé. Un ensemble de traitements [3], inhérents à ce domaine (correction géométrique, correction radiométrique et classification), a permis l'élaboration de la carte du couvert végétal.

En ce qui concerne les valeurs à attribuer à l'indice C, considéré comme le facteur le plus complexe de l'USLE, elles nécessitent un grand travail expérimental. En l'absence de ce type de mesures à l'échelle nationale, nous étions amenés à s'inspirer d'une étude faite au Maroc

pour pouvoir adopter des valeurs approximatives pour cet indice [7].

- Calcul du facteur P

Le facteur P caractérise l'effet des façons culturales et des pratiques anti-érosives. pour notre travail, nous le considérons comme étant constant et égale à 1.

- Calcul du coefficient de transportabilité Dr

Pour le calcul des paramètres r et L', on a utilisé le même programme "ESTIMEL". L'application, de la formule (2), se traduit au niveau du SIG IDRISI par une simple superposition de couches, ainsi est déterminé le facteur Dr. Il est à signaler que la carte, relative à ce paramètre, permet à l'utilisateur de détecter les zones à haut risque en matière de délivrance des sédiments, mais présente souvent des résultats incohérents avec la vérité terrain. Ceci, nous a amené à adopter une valeur moyenne extraite d'un abaque [7], qui donne la valeur du facteur Dr en fonction de la superficie du bassin.

#### 4. RESULTATS

A cette étape du travail, on dispose des couches d'informations associées à chacune des variables citées précédemment. L'utilisateur pourra maintenant, en utilisant le SIG IDRISI, faire le croisement et la combinaison des différentes couches selon son gré.

##### 4.1. Carte du potentiel érosif

Cette carte est le résultat de la combinaison des facteurs physiques du modèle (R, K, LS); le sol est donc supposé nu (C=1). Ce document permet aux thématiciens et/ou aménagistes de faire des analyses relatives à la vulnérabilité de la zone étudiée. En effet, il caractérise le risque réel auquel est exposé un sol indépendamment du couvert végétal et des pratiques culturales et anti-érosives qui sont supposés «dynamiques».

##### 4.2. Pertes de terre

C'est le résultat de la combinaison de tous les facteurs du modèle d'érosion USLE. C'est une information relative à l'état actuel du site d'étude (tab.I, fig.3)

N°	Classes (t/ha.an)	Surface (ha)	Surface %	cumulé %
1	0 - 10	1216.01	52.76	
2	10 - 20	540.04	23.43	76.19
3	20 - 30	229.98	9.98	86.17
4	30 - 40	118.91	5.16	91.33
5	40 - 50	63.51	2.76	94.09
6	50 - 60	38.01	1.65	95.74
7	60 - 70	28.20	1.22	96.96
8	70 - 80	22.16	0.96	97.92
9	80 - 90	15.22	0.66	98.58
10	90 - 100	12.07	0.52	99.10
11	> 100	20.72	0.90	100.00

Tableau 1 : Répartition des surfaces selon les classes de pertes de terre

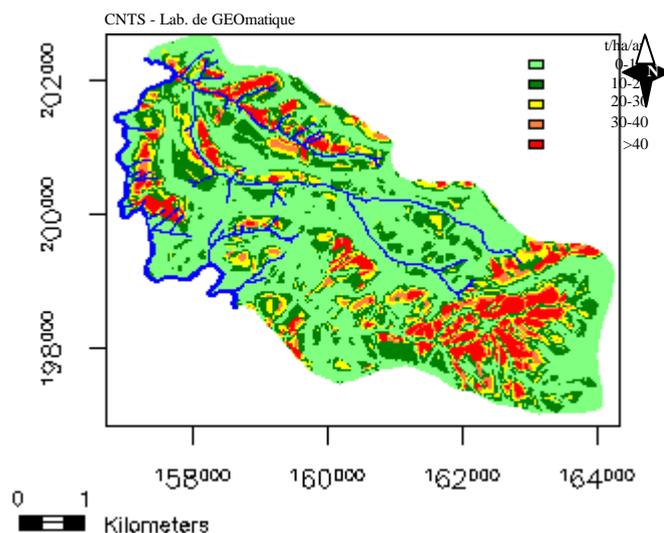


Figure 3 : Carte des quantités de pertes de terre

#### 4.3. Quantités de sédiments délivrées aux cours d'eau

Le coefficient  $Dr$  est combiné avec la carte des pertes de terre, selon la formule 3 pour le calcul et l'établissement de la carte des quantités de sédiments (tab.2, fig. 4).

N°	Classes t/ha.an	Surface (ha)	Surface %	cumulé %
1	0 - 5	1788.12	77.58	
2	5 - 10	334.02	14.49	92.07
3	10 - 15	93.87	4.07	96.14
4	15 - 20	48.46	2.10	98.25
5	> 20	40.35	1.75	100.00

Tableau 2 : Répartition des surfaces selon les classes de sédiments

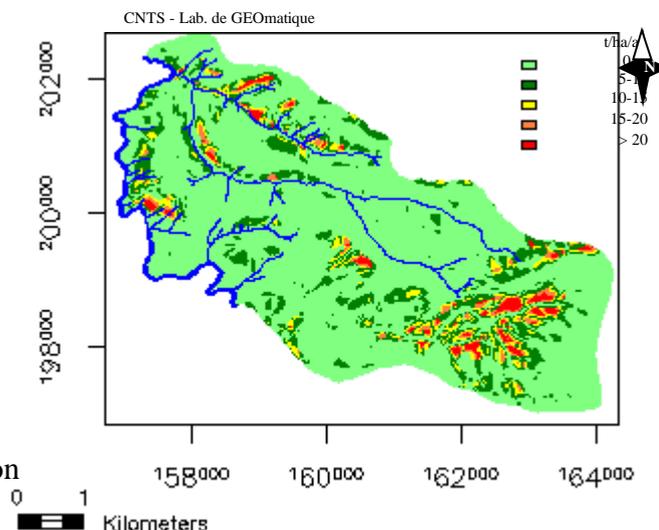


Figure 4 : Carte des quantités de sédiments

#### 4. Scénarios de diminution du taux annuel moyen d'envasement des barrages

Pour montrer la faculté du SIG comme outil de simulation et d'aide à la décision, nous avons procédé à l'identification et la localisation des zones prioritaires pour une intervention de diminution du taux moyen d'envasement des barrages de 30%, en utilisant l'équation ci-dessous [7].

$$X_{\text{moy}} \leq \text{TEB} / Dr_{\text{moy}} \quad (6)$$

$X_{\text{moy}}$  : nouvelle moyenne annuelle de pertes de terre à calculer pour toute la zone d'étude;

$Dr_{\text{moy}}$ : valeur moyenne du coefficient de transportabilité;

TEB : nouveau taux d'envasement à atteindre, il est égal à une fraction du taux annuel moyen d'envasement et prédéfini au départ de l'opération.

Par le biais du SIG, on a pu générer quelques scénarios (fig. 5) et établir des cartes similaires à la figure 6.

Tout en sachant l'importance de la thématique en question, la présente étude s'est beaucoup attachée à montrer l'apport des outils spatiaux SIG et télédétection au suivi et à la quantification de l'érosion hydrique. Ce travail a été abordé particulièrement d'un point de vue « géomatique » où, on a essayé de montrer que les études thématiques nécessitent, pour leur maîtrise, une bonne gestion de l'information géographique. Par la même occasion, on a eu l'opportunité d'appliquer et de tester l'équation universelle des pertes de terre qui est, d'après notre recherche bibliographique, un sujet d'actualité pour lequel les nombreuses études récentes sont dédiées.

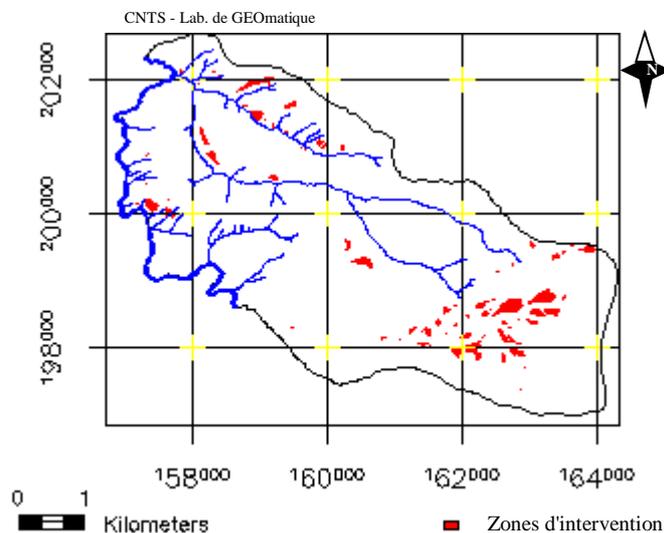
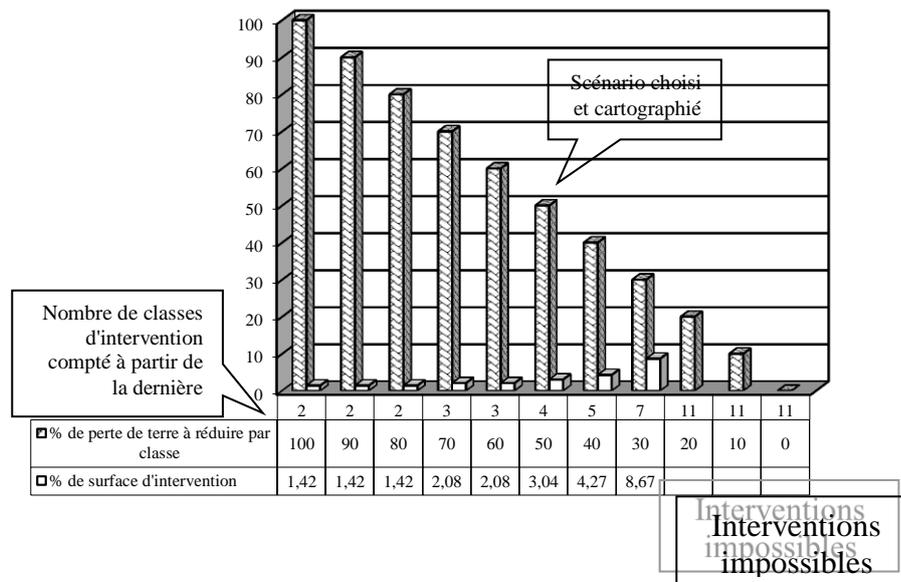


Figure 6: Carte des zones prioritaires d'intervention relative au scénario adopté

## CONCLUSION

La cartographie descriptive et quantitative du phénomène étudié est beaucoup plus simplifiée par l'utilisation du SIG. En effet, les paramètres du modèle d'érosion y sont intégrés et peuvent être modifiés, simulés et actualisés à volonté, permettant ainsi aux thématiciens de visualiser indépendamment l'effet et l'importance de chacune des variables de l'USLE. Le SIG a servi beaucoup plus pour la modélisation spatialisée de l'érosion des sols et de la production des sédiments, par la combinaison des différents facteurs. La télédétection, quant à elle, facilite l'établissement de la carte d'occupation du sol et, implicitement celle du facteur érosif du couvert végétal.

Cette étude recèle certainement, surtout sur le plan thématique, de quelques faiblesses et manques, mais il convient de souligner que ce type de travaux est par essence multidisciplinaire. C'est un travail qui nécessite la collaboration de plusieurs thématiciens et spécialistes (pédologues, agronomes, etc.). En plus, un grand travail reste à faire pour pouvoir lutter efficacement contre ce phénomène qui menace le pays et dont les conséquences sont de

plus en plus apparentes. Dans cette optique, il est recommandé d'intensifier les recherches et les études dans ce domaine, d'impliquer plusieurs organismes compétents à l'échelle nationale et internationale et de tenter de modéliser et d'adapter l'USLE en fonction des conditions propres à notre pays; ceci n'est pas chose impossible, mais nécessite de grandes investigations et surtout un grand travail expérimental.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] 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 sciences humaines, Dept. de géographie et télédétection. Université de Sherbrooke, 83 p.
- [2] BARIL, D., PERRAS, S., PESANT, A., et BONN, F., 1989: Gestion des ressources agricoles à l'aide d'un système d'information géographique: application à l'évaluation quantitative de l'érosion hydrique. Université de Sherbrooke, pp. 73-76.
- [3] CCT, 1998: Notions fondamentales de Télédétection - Tutorial
- [4] CHAKROUN, H., BONN, F., et FORTIN, J.-P., 1993: Intégration d'un modèle hydrologique conçu pour la télédétection et d'un modèle de perte de sol dans un système d'information géographique (rivière Eaton, Québec). Actualité scientifique, AUPELF-UREF. Presse de l'université du Québec, pp. 11-19.
- [5] CHEBBANI, R., 1996: Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser (Tlemcen). Thèse de Magister, Institut National d'Agronomie, 135 p.
- [6] COLLET, C., 1992: Système d'information géographique en mode image. Collection gérer l'environnement, vol. 7. Presses polytechniques et universitaires romandes, 186 p.
- [7] LHASSANE, D., 1994: Modélisation des pertes en sol par l'érosion hydrique utilisant un SIG et des images satellitaires (SPOT XS): application au bassin versant de Telata (Rif occidental). Mémoire de 3<sup>e</sup> Cycle, Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs de Sale, 134p
- [8] RENARD, K.G., FOSTER, G.R., YOLDER, D.C., et MCCOOL, D.K., 1994: RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the futur. Journal of soil and water conservation, vol. 49, n<sup>o</sup>. 3, pp. 214-220.
- [9] RONALD EASTMAN, J., 1992: IDRISI: Manual of technical reference. Graduate school of geography, univers. Clark, Massachusetts, 184 p.
- [10] TALBI, O., 1997: Apport des Systèmes d'information géographique au suivi et à la quantification de l'érosion hydrique par l'équation universelle des pertes de sol (USLE) - Application au bassin versant de l'Isser (Tlemcen). Thèse de Magister, CNTS, 97 p.