

MODELISATION DE L'INFLUENCE ANTHROPIQUE SUR LES PROCESSUS D'EROSION DES SOLS EN MILIEUX AGRICOLES

C. Gaillard⁽¹⁾, *F. Zagolski*⁽²⁾, *F. Bonn*⁽¹⁾

(1) CARTEL (Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection),
Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec) - Canada J1K-2R1.
c/o 557 rue Montréal, Sherbrooke (Québec) - Canada J1H-1E6.

Tél / Fax : (+1) 819-569-4818 / (+1) 819-821-7944

E-mail: Charlotte.Gaillard@callisto.si.usherb.ca

Web-Link: <http://www.callisto.si.usherb.ca/~cartel/>

(2) PRIVATEERS N.V. (Private Experts in Remote Sensing),
De Weaver Drive 42, Philipsburg, St Maarten - Netherlands Antilles.

Résumé: La modélisation spatiale des processus hydrologiques et de l'érosion à l'échelle du bassin versant fait l'objet de nombreuses recherches simultanément avec l'utilisation accrue de données de télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (GIS). Cependant, la structure 'raster' des modèles d'érosion actuels ne permet pas de prendre en compte certaines dimensions humaines présentes dans le paysage. Les attributs linéaires et directionnels sont souvent négligés dans la modélisation des processus de transport hydrique et sédimentaire. Cette communication présente une approche pour intégrer les influences de ces discontinuités des formes spatiales ainsi que les effets directionnels dus aux rangs des labours et des cultures sur la distribution des flux dans les bassins versants agricoles. L'introduction de ces améliorations dans le modèle ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) est en cours de réalisation.

Abstract: Spatial modelling of hydrological and erosion processes at watershed scale is subject to an increasing development simultaneously with the expanded use of remote sensing and Geographical Information System (GIS). Nevertheless, the raster structure of available spatial erosion models does not take into account some human landscape dimensions. Linear and directional features are commonly neglected in water and sediment transport modelling. This paper presents an attempt for integrating influences of spatial pattern discontinuities and directivity effects due to tillage and row of plants on the distribution of flows in agricultural watersheds. Introduction of these improvements in the ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) model are in process.

INTRODUCTION

Les études visant à caractériser les processus d'érosion des sols sont utiles à la compréhension du fonctionnement des écosystèmes terrestres. De plus, celles-ci peuvent être orientées pour permettre la planification de mesures de contrôle contre les problèmes agricoles tels que les pertes de semences et de sol. Parmi les facteurs responsables de l'érosion des sols en milieu agricole, l'activité humaine exerce un impact important. En particulier cette influence peut être exprimée au travers de la modification des propriétés des surfaces au sol. Par exemple, les labours peuvent avoir pour conséquence de changer partiellement la direction des flux d'écoulement. Parallèlement, l'occupation spatiale qui définit les formes et limites du paysage (*e.g.*, taille et orientation des parcelles, présence de routes et de haies) influence aussi les processus d'érosion. [1]. A cause de leur échelle, ou de leur forme linéaire, ces aspects humains ne sont pas encore réellement considérés dans les modèles hydrologiques et d'érosion existants, et quand ils le sont, ils demeurent des facteurs indépendants d'autres paramètres (*e.g.*, les modifications de surfaces dues aux labours sont incorporées dans le paramètre 'rugosité' du sol) ou sont intégrés sous la forme d'un coefficient unique (*e.g.*, les pratiques culturales). [2].

Afin de permettre une meilleure estimation de l'impact anthropique sur les processus d'érosion des sols, nous présentons ici certaines améliorations apportées au niveau de la modélisation de la distribution des flux hydriques et sédimentaires dans le modèle hydrologique et d'érosion ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) [3], en prenant en compte les discontinuités structurales du paysage ainsi que la présence des rangs de labours et de culture.

SIMULATION DE L'ÉROSION À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT

Parmi les modèles d'érosion existants, deux catégories peuvent être distinguées: les modèles basés sur des considérations empiriques et d'autres plus déterministes appelés aussi 'modèles physiques distribués'. Ces derniers simulent les processus hydrologiques de surface et d'érosion durant et immédiatement après un événement pluviométrique à l'aide d'une grille 'raster' (*i.e.*, une représentation du paysage sous forme matricielle) où sont stockées les informations d'entrée et de sortie. Le calcul de l'érosion et des mouvements verticaux de l'eau dans le sol est intégré à l'intérieur de chaque élément de la grille. Le ruissellement et les transferts sont alors simulés à partir d'un élément de la grille vers les cellules adjacentes jusqu'à l'élément exutoire du bassin versant. ANSWERS appartient à cette génération de modèles, tel que plus récemment le modèle LISEM (Limburg Soil Erosion Model) [4].

Ces modèles distribués nécessitent l'obtention de différents types de paramètres d'entrée. Ils concernent d'une part, les informations liées à l'événement pluviométrique et les données topographiques (*i.e.* Modèle Numérique de Terrain) à partir duquel sont dérivées la pente et l'orientation pour chaque cellule de la grille. Ces paramètres sont directement utilisés dans le calcul des directions d'écoulement et mouvements sédimentaires. Par ailleurs, les informations biopédologiques, telles que le taux de couverture végétale ou l'état de surface du sol, sont également nécessaires notamment pour la description des processus de détachement des particules sédimentaires. Ainsi, le calcul de la mobilisation des particules de sol et leur transport via la simulation des écoulements hydriques, permet d'accéder à l'information spatiale et quantitative sur l'érosion et la sédimentation suite à un événement pluviométrique au sein d'un bassin versant.

Du point de vue informatique, ces modèles distribués nécessitent une place mémoire très importante. Celle-ci dépend du nombre total de cellules dans la grille et diminue avec la dégradation de la résolution spatiale. Dans un même temps, la taille d'une cellule élémentaire de la grille ou l'échelle spatiale à laquelle sont simulés les processus influence la précision des résultats fournis en sortie par le modèle. Le choix de la résolution spatiale pour un modèle dans le cas de bassins versants agricoles non uniformes (*i.e.*, paysages fragmentés ou hétérogènes) peut être déterminant pour la prévision des réponses hydrologiques, du transport et de la sédimentation des particules de sol détachées suite à un événement de pluie. Une hypothèse simplificatrice de base dans les modèles distribués repose sur le fait que chaque élément de la grille 'raster' est considéré comme uniforme. Notre objectif est d'améliorer ces modèles d'érosion en intégrant l'influence des caractéristiques linéaires et directionnelles du paysage tout en conservant une résolution spatiale appropriée à l'échelle d'étude des bassins versants ainsi qu'à l'échelle des données de télédétection. Nous avons choisi de reporter ces améliorations dans le modèle ANSWERS dont la structure est décrite sur la Figure 1.

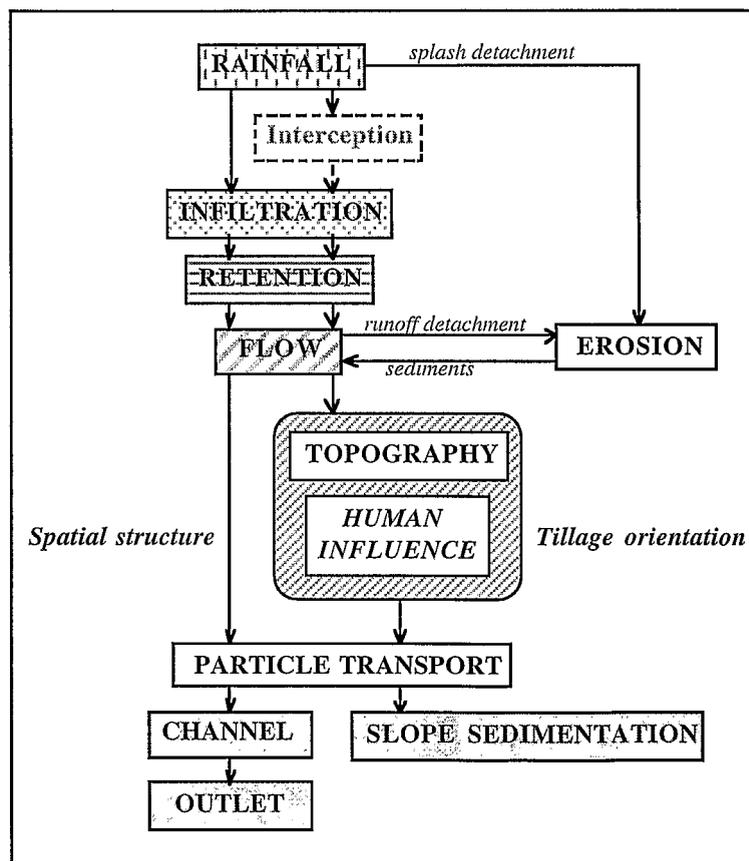


Figure 1: Diagramme représentant la structure d'un modèle d'érosion distribué: représentation de l'influence anthropique sur les processus hydrologiques et d'érosion.

Ce diagramme présente une description simplifiée des principaux composants et processus simulés par le modèle et les deux modifications majeures qui doivent être implémentées: - la présence de limites du paysage dans l'espace d'un bassin versant et - l'orientation de rangs de labour ou de culture dans les parcelles cultivées. Nous attachons de l'importance à ces paramètres anthropiques

dans la mesure où ils peuvent être à l'origine de modifications des écoulements en terme d'intensité et de direction.

AMÉLIORATIONS DE LA MODÉLISATION DES ÉCOULEMENTS DE SURFACE DANS LE MODÈLE ANSWERS

La caractérisation des flux d'écoulement à l'intérieur de chaque élément de la grille est décrite par une solution différentielle temporelle explicite de l'équation de continuité suivante:

$$Q_{in} - Q = \frac{dS}{dt} \quad (1)$$

où, Q_{in} représente le flux entrant dans un élément, issu des cellules adjacentes et de la quantité de pluie tombée dans la cellule, Q le flux sortant de cet élément, S le volume d'eau stocké à l'intérieur de cet élément, et t le temps.

Chaque élément de la grille est considéré comme une surface uniforme caractérisée par une pente et une orientation au sein de laquelle les flux d'eau et de matière s'écoulent. Les écoulements à partir d'une cellule sont dirigés vers les cellules voisines selon la direction de la plus grande pente, tel que décrit sur la Figure 2.

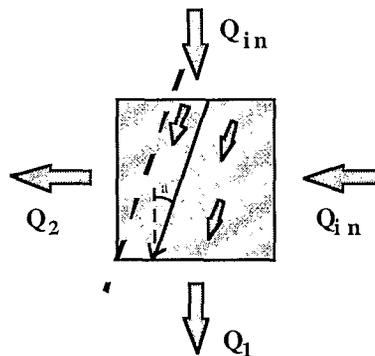


Figure 2: Caractérisation des flux à l'intérieur d'une cellule d'une grille.

Les fractions des flux sortants à partir d'une cellule vers les éléments de la ligne (Q_2) et de la colonne (Q_1) adjacentes sont reliées aux flux entrants dans la cellule (Q_{in}), pondérées par la proportion de surface délimitée par la ligne pointillée tel qu'indiqué sur la Figure 2 et définie par la direction de la plus forte pente. Q_2 est exprimée par la relation suivante:

$$\begin{aligned} Q_2 &= 0.5 \cdot \text{tg}(a) \cdot Q_{in} && \text{pour } a \leq 45^\circ \\ Q_2 &= 1 - 0.5 \cdot \text{tg}(90 - a) \cdot Q_{in} && \text{sinon} \end{aligned} \quad (2)$$

et Q_1 est égal à $(1 - Q_2)$.

Les limites du paysage seront modélisées en tant qu'obstacles aux écoulements, et ces caractéristiques structurales spatiales seront intégrées dans le modèle par des relations décrivant la discontinuité de propagation des flux. La Figure 3-a décrit la distribution spatiale des flux en présence d'une discontinuité (e.g., haie d'arbres) à l'intérieur d'une cellule. Selon le type de limite,

l'intensité des flux sera atténuée et la sédimentation augmentée. Certaines discontinuités telles que les routes peuvent également occasionner une dérive des flux.

En présence de rangs de labours à l'intérieur d'une cellule, une nouvelle direction des flux conditionnant le ruissellement et les mouvements sédimentaires le long des versants est calculée en fonction de l'orientation des sillons de labours, et des valeurs de pente et orientation de la cellule (Fig. 3-b). Ce flux directionnel doit être bien évidemment compris entre la valeur d'orientation de la cellule et celle des rangs de labours. La valeur angulaire de la pente de la cellule influence le calcul des directions des flux. En effet, au delà d'une valeur de pente critique, l'écoulement n'est plus dépendant de l'orientation des labours et suit alors la direction de la plus grande pente. De la même manière, pour une cellule définie par une très faible pente et par la présence de rangs de labours, les flux sont conduits selon la direction de la pente des labours. À l'intérieur de ces valeurs limites de pentes critiques, la redistribution des flux sortants dans les cellules adjacentes est calculée grâce à l'équation (2) en utilisant une nouvelle valeur angulaire appropriée.

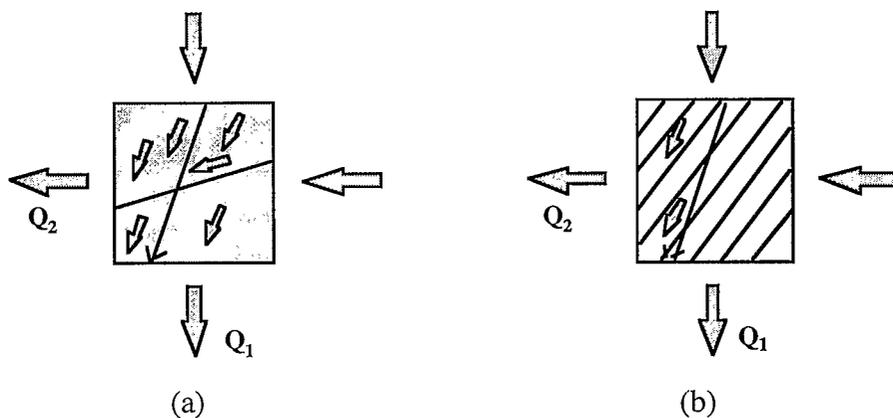


Figure 3: Modifications des flux à l'intérieur d'une cellule (a) comprenant des discontinuités spatiales et (b) la présence de rangs de labours.

UTILISATION DE LA TÉLÉDÉTECTION ET PERSPECTIVES

Conjointement au développement des modèles de fonctionnement terrestres visant à décrire les processus écosystémiques tels que les phénomènes d'érosion, de nombreuses méthodologies ont été développées utilisant les données de télédétection pour la cartographie des zones à risques d'érosion.[5] mais aussi pour en extraire des paramètres d'entrée à ces outils de simulations quantitatifs [6] [7]. La télédétection fournit différentes informations essentielles pour accéder aux marques de l'érosion et à ses facteurs. Par exemple, l'indice foliaire (LAI) et le pourcentage de couverture végétale au sol peuvent être indirectement dérivés à partir d'images optiques soit grâce à l'emploi d'indices de végétation, de relations semi-empiriques entre ces paramètres structuraux de la végétation et la réflectance des surfaces ou par l'utilisation de modèles de réflectance physiques tels que SAIL (Scattering Arbitrary Inclined Leaves) [8] ou DART (Discrete Anisotropic Radiative Transfer) [9].

Le modèle sera interfacé avec un Système d'Information Géographique et adapté pour recevoir en entrée des données de télédétection. Des simulations seront testées pour décrire l'influence des facteurs anthropiques introduits sur l'érosion des sols et en particulier pour mesurer les effets des

formes spatiales du paysage sur la distribution de l'énergie et de la matière à l'échelle du bassin versant [10]. Ces simulations seront menées pour le cas d'un bassin versant agricole du Pays de Caux (France). Les discontinuités spatiales, formes linéaires et directionnelles présentes dans le paysage seront obtenues à partir de données optiques par techniques de filtrage et traitements morphologiques d'images. Ces facteurs et paramètres de surface (*e.g.*, taux de couverture, rugosité, *etc.*) seront extraits à partir de données SPOT et SIR-C. Cependant à cause du retard de livraison des données satellites, nous ne pouvons présenter de résultats de cette étude.

CONCLUSION

L'introduction de ces améliorations dans le modèle d'érosion distribué ANSWERS, devrait permettre une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes terrestres et des changements dans les paysages agricoles, grâce à la possibilité offerte de mesurer l'influence des formes spatiales du paysage sur les processus physiques et environnementaux. De plus, il importe de souligner l'opportunité de contribuer grâce à ce nouvel outil de simulation à la gestion des bassins versants et au développement durable.

RÉFÉRENCES

- [1] M.G. Turner, 1989, "Landscape ecology: the effect of pattern on process", *Annual Review Ecology Systems*, vol. 20, pp. 171-197.
- [2] W.H. Wischmeier and D.D. Smith, 1978, "Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning", *Agriculture Handbook, U.S. Depart. Agric., no. 537*, 58p.
- [3] D.B. Beasley, L.F. Huggins, and E.J. Monke, 1980, "ANSWERS: A Model for Watershed Planning", *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.*, vol. 23, pp. 938-944.
- [4] A.P.J. De-Roo, 1996, "LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output", *Hydrological Processes*, vol. 10, pp. 1107-1117.
- [5] E.T. Engman, 1995, "The use of remote sensing data in watershed research", *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 50, no. 5, pp. 438-440.
- [6] S.M. De Jong, 1993, "Applications of Reflective Remote Sensing for Land Degradation Studies in a Mediterranean Environment", *Thèse de Doctorat. Netherlands Geographical Studies*, 180 p.
- [7] K.D. Sharma and Surendra Singh, 1995, "Satellite remote sensing for soil erosion modelling using the ANSWERS model", *Hydrological Sciences J.*, vol. 40, pp 259-272.
- [8] W. Verhoef, 1984, "Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: the SAIL model", *Rem. Sens. Environ.*, vol. 16, pp. 125-141.
- [9] J.P. Gastellu-Etchegorry, V. Demarez, V. Pinel, and F. Zagolski, 1996, "Modeling radiative transfer in heterogeneous 3-D vegetation canopies", *Rem. Sens. Environ.*, vol. 58, pp. 131-156.
- [10] P.G. Risser, 1990, "Landscape pattern and its effects on energy and nutrient distribution", *In I.S. Zonnevert and R.T.T Forman (Dir.), Changing Landscapes: an ecological perspective. New York: Springer-Verlag*, pp. 45-56.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Gaillard, C.; Zagolski, F.; Bonn, F. - Modélisation de l'influence anthropique sur les processus d'érosion des sols en milieux agricoles, pp. 431-436, Bulletin du RESEAU EROSION n° 18, 1998.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr