

Cartographie des unités de paysage génératrices d'érosion et de pollution diffuse dans un bassin versant agro-forestier à l'aide de l'observation spatiale et du modèle SWAT : Bassin de la Tomifobia, Québec-Vermont

Mapping landscape units that generate erosion and non-point source pollution in an agro-forester watershed with space observation and SWAT model: Tomifobia River watershed, Quebec-Vermont

Mélanie DESAUTELS, Ferdinand BONN, André LAVOIE, Mali PRUD'HOMME

Centre d'applications et de recherches en télédétection (CARTEL), Université de Sherbrooke, 2500 boul. Université, Sherbrooke (Qc), Canada, J1K 2R1

Tél. : 819-821-7190 - Fax : 819-821-7944

melanie.desautels@hermes.usherb.ca

Andre.Lavoie@USherbrooke.ca

Ferdinand.Bonn@USherbrooke.ca

maliautomne@hotmail.com

Résumé

La modification de l'utilisation du sol durant les 30 dernières années sur le territoire agro-forestier du bassin versant de la rivière Tomifobia s'est soldée par un apport important de sédiments dans les cours d'eau. L'expansion du delta situé à l'embouchure de la rivière dans le lac Massawippi en témoigne. Les sédiments sont un moyen de transport privilégié pour certains polluants, comme le phosphore. En cartographiant les zones sources d'érosion, nous pouvons ainsi déterminer les secteurs à risques et aider à hiérarchiser les interventions sur le territoire. Cette cartographie est réalisée à l'aide du modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Plusieurs intrants, dont la topographie, l'utilisation du sol, la pédologie et des données climatiques sont nécessaires au modèle. En combinant des données sur l'épandage et l'utilisation d'engrais ainsi que sur la teneur en phosphore des sols dans les zones d'érosion, nous pourrions évaluer les zones potentielles d'apport en phosphore.

L'utilisation d'images des satellite ASTER et Landsat nous permettra de réaliser la classification de l'utilisation du sol. Une analyse diachronique de photographies aériennes (1966, 1978, 2000) va également nous renseigner sur l'évolution du territoire agricole du bassin versant et l'expansion du delta dans le lac Massawippi.

Abstract

The modification of landuse on the territory of the Tomifobia River watershed significantly contributes to the amount of sediment in the river. The expansion of the delta located at the river-mouth in Lake Massawippi testifies to that fact. In the watershed, annual crops are increasing and replacing pastures. This type of culture leaves the soil stripped and requires a lot of fertilizer. The increased sedimentation can be problematic, contributing to higher levels of some pollutants, like phosphorus. Mapping zones that contribute to sedimentation,

helps us to locate problem sectors. This is done with the SWAT model using ASTER satellite images. The model must be fed with a number of data inputs, such as topography, landuse, pedology and climatic data. By adding in data on the application of agricultural fertilizers and soil phosphorus content, we will be able to evaluate the potential zones of contribution to phosphorus loads. We also made up different scenarios to visualize the impacts of cropping practices and landuse.

Mots-clés : Erosion, pollution diffuse, gestion de l'eau, télédétection, modélisation.

Keywords: *Erosion, non-point source pollution, water management, remote sensing, modelling.*

Introduction

L'occupation du sol a un impact déterminant sur plusieurs phénomènes physiques, dont l'érosion qui est considérée comme un processus de dégradation du sol. Au fil des ans, plusieurs modifications intervenues dans l'occupation du sol ont aggravé les phénomènes d'érosion. Notons, entre autres, la mécanisation de l'agriculture et le passage à des monocultures de maïs.

Les cultures annuelles, particulièrement le maïs, sont problématiques pour deux raisons : elles laissent les sols nus durant plusieurs mois à chaque année et elles demandent des quantités importantes de fertilisants. Si ces derniers ne sont pas totalement absorbés par les plantes, il en résulte une accumulation de phosphore dans les sols (Weld *et al*, 2001).

L'apport de sédiments provenant de l'érosion des sols agricoles dans le réseau hydrographique peut également entraîner divers problèmes, comme l'augmentation de la turbidité, le comblement des frayères et la réduction du lit des cours d'eau. Il en résulte des pertes d'usage pour les activités aquatiques et une augmentation des risques d'inondation.

L'érosion joue également un rôle important dans le transport des polluants, particulièrement pour le phosphore. En effet, comme il a été démontré dans plusieurs études, la majorité du phosphore particulaire s'attache aux sédiments pour se retrouver dans les cours d'eau (Weld *et al*, 2001, de Wit, 2000). Il en résulte une augmentation de la pollution diffuse dans les cours d'eau et les lacs. De plus, la présence de phosphore dans le réseau hydrographique peut entraîner une accélération du processus d'eutrophisation d'un lac. Il est nécessaire de contrôler les sources et les moyens de transport du phosphore pour limiter l'eutrophisation des eaux de surface (Weld *et al*, 2001).

Il s'avère important d'identifier, en tout premier lieu, les zones d'apports en sédiments afin de déterminer les risques reliés à l'érosion du sol et de hiérarchiser les zones d'intervention. Par conséquent, le but principal des travaux menés est de localiser, à l'aide du modèle d'érosion SWAT (Soil and Water Assessment Tool) et d'images du satellite ASTER, qui est caractérisé par sa grande résolution spectrale et spatiale, les zones génératrices de sédiments dans le bassin versant de la rivière Tomifobia. En superposant les risques d'érosion et les intrants en phosphore, nous tenterons également d'estimer les zones potentielles d'apport en phosphore.

1. Site d'étude

Le bassin versant de la rivière Tomifobia est localisé majoritairement dans le sud du Québec et couvre 450 km² (Figure 1). 15 % du bassin se trouve dans l'état américain du Vermont. La rivière Tomifobia est le principal cours d'eau alimentant le lac Massawippi. Ce lac attire de nombreux amateurs de sports aquatiques et représente un attrait touristique important pour ce secteur. À l'embouchure de la rivière dans le lac, on note la présence d'un delta.

Depuis plusieurs années, l'Association de protection du Massawippi remarque un accroissement du delta, signe que la rivière transporte des quantités importantes de sédiments.

La majorité du bassin versant est sous couvert forestier. Cependant, un peu plus de 30 % du territoire situé au Québec est occupé par les activités agricoles, la production laitière étant la principale. De ce fait, la majorité des terres cultivées sont en foin ou en pâturage. Cependant, les cultures annuelles, comme le maïs, sont en augmentation et représentaient plus de 28 % des terres en culture en 1995 (Gilbert, 2000).

Une analyse diachronique de photographies aériennes de 1966, 1978 et 2000 a été réalisée afin de connaître l'évolution générale du territoire agricole (Prud'homme, 2003).

Cette étude montre que le pourcentage de terres agricoles (cultures, prairies, pâturages) est passé d'environ 45 % en 1966 à 37 % en 1978. Depuis cette période, le pourcentage de terres agricoles s'est stabilisé à environ 35 % en 2000 (Prud'homme, 2003).

2. Méthodologie

Le calcul de l'érosion et du ruissellement utilise le modèle Soil and Water Assessment Tool (SWAT) développé par le Département d'Agriculture des États-Unis (USDA). Ce modèle est abondamment cité dans la littérature et il a déjà été utilisé dans le sud du Québec (Deslandes, 2003). C'est un modèle continu dans le temps avec un pas de temps journalier. Il est capable de gérer l'hétérogénéité du territoire puisqu'il le divise en unités homogènes de réponse hydrologique.

Le modèle SWAT a également été conçu pour être utilisé sur des bassins versants non-jaugés, comme c'est le cas du bassin de la rivière Tomifobia.

Pour le calcul de l'érosion générée sur le territoire, le modèle utilise l'équation universelle de perte de sol modifiée (MUSLE) (Arnold *et al*, 1998).

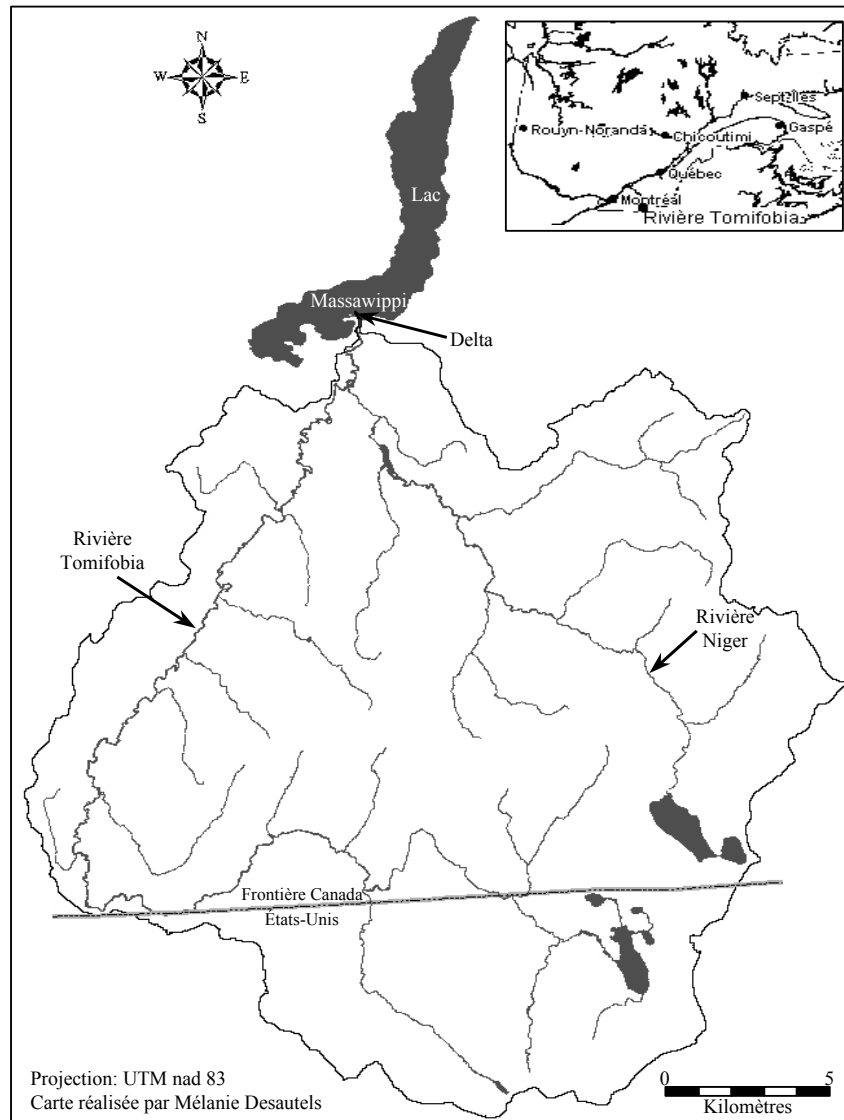


Figure 1 : Localisation du bassin versant de la rivière Tomifobia
(source : Desautels, 2002)

Le premier objectif de l'étude est de cartographier, au niveau du sous-bassin versant, les zones d'apport en sédiments. Le territoire a donc été divisé en 36 sous-bassins. Chacun de ces sous-bassins est ensuite redécoupé par le modèle en unités homogènes de réponse hydrologique. Pour ce faire, SWAT intègre trois catégories de données : le modèle numérique de terrain (MNT), la pédologie et la classification de l'utilisation du sol.

Par définition, une unité homogène de réponse hydrologique ne peut appartenir qu'à un sous-bassin versant. Elle intègre également un seul type pédologique et une seule occupation du sol (Deslandes, 2003). Ces unités servent de base aux calculs effectués par le modèle.

Le modèle numérique de terrain a été généré par le logiciel Arc View à l'aide des courbes hypsométriques et des points cotés. Le MNT est utilisé pour déterminer les longueurs et l'inclinaison de la pente. C'est également à partir du MNT, que le modèle SWAT découpe le territoire en sous-bassins versants.

La pédologie nous permet de connaître la fragilité d'un sol à l'érosion. Plusieurs informations y sont intégrées dont la granulométrie, l'albédo de surface, le facteur d'érodabilité de l'équation universelle de perte de sol (USLE) et la densité apparente. Au total, le modèle intègre 15 paramètres pour caractériser chacun des types de sol. Ces informations sont tirées de l'inventaire de dégradation des sols agricoles du Québec et du rapport pédologique (Tabi *et al*, 1990, Cann et Lajoie, 1943). Pour certains types de sol, les paramètres de capacité en eau disponible, densité apparente et perméabilité ont cependant dû être estimés par des tables à partir des informations disponibles (texture, granulométrie, type de sol).

La classification de l'utilisation du sol a été effectuée à partir d'images acquises par le satellite ASTER. Les bandes du visible et du proche infrarouge d'une résolution au sol de 15 m x 15 m ont été utilisées (ERSDAC, 2003). Les images utilisées datent de juin, juillet et août 2001 ainsi que juin et septembre 2002. Elles ont été acquises sur trois saisons différentes afin d'améliorer le taux de classification du territoire et de voir l'évolution des cultures. La classification comprend six classes : forêt, zone urbaine, eau/milieu humide, maïs, autres céréales ainsi que prairie/pâturage. Elle a été réalisée à l'aide du logiciel de traitement d'images ENVI. Une analyse de texture a également été intégrée à la classification spectrale afin d'améliorer le taux de bonne classification et d'augmenter la séparabilité entre certaines classes.

Une fois les unités homogènes de réponse hydrologique définies à partir des paramètres précédents, les données météorologiques de cinq stations sont utilisées afin de déterminer le ruissellement occasionné sur chacune des unités ainsi que l'érosion engendrée. Ces données sont les valeurs de précipitations, de température, de vitesse du vent, d'éclairement solaire et d'humidité relative.

Les paramètres vitesse du vent, éclairement solaire et humidité relative ont été simulés par le modèle puisqu'ils n'étaient pas disponibles aux stations de mesure.

Le deuxième objectif de l'étude consiste à déterminer les zones potentielles d'apport en phosphore. Pour ce faire, nous avons utilisé des données fournies par le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Les informations recueillies proviennent des fiches d'enregistrement des exploitants agricoles. Nous pouvons ainsi faire une évaluation de la quantité de fertilisants utilisés dans chacun des sous-bassins. Des données concernant la richesse des sols en phosphore ont également été intégrées.

Finalement, l'élaboration de scénarios nous permet de visualiser l'impact des pratiques culturales et des types de cultures sur l'érosion et le ruissellement.

Ces scénarios ont été déterminés à partir des données disponibles sur les pratiques agricoles, des entretiens avec des spécialistes agricoles et de notre connaissance du territoire. Nous avons intégré des pratiques anti-érosives (bandes riveraines, semis-direct, résidus de cultures) et analysé comment notre territoire réagissait à ces changements.

Des scénarios ont également été réalisés en modifiant l'occupation du sol ou le type de culture présent sur notre territoire. Cela nous permet, par exemple, de visualiser l'impact d'un passage massif à une monoculture de maïs.

3. Perspectives de recherche

Comme le bassin versant est non-jaugé, nous serons seulement en mesure d'indiquer, au moyen de classes, les zones les plus sensibles à l'érosion et de faire une estimation de la quantité de sédiments érodés. De plus, en intégrant les intrants relatifs au phosphore et en les superposant aux zones de risque d'érosion, nous pourrions également évaluer les zones d'apport en phosphore. Finalement, l'analyse des scénarios nous permettra de faire des recommandations concernant les pratiques culturales et les types de cultures.

Pour quantifier l'érosion générée sur un territoire, plusieurs données sont nécessaires. Il faut intégrer les concepts de l'utilisation du sol, la pédologie, la topographie et les données météorologiques. Les types de pratiques culturales vont également avoir un impact sur la quantité de sédiments produits et les polluants qui peuvent s'y rattacher. Par cette recherche, nous tentons de voir si l'application d'un modèle de perte de sol sur un relief vallonné donne des résultats satisfaisants.

Si nous sommes en mesure d'identifier convenablement les zones d'apport en sédiments et en phosphore, il sera beaucoup plus facile d'identifier les zones d'intervention. Les simulations réalisées nous permettent également de quantifier l'impact des pratiques culturales et de l'occupation du sol sur l'érosion.

Bibliographie

- Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I : model development, *Journal of the American Water Resources Association*, 1 : 73-89.
- Cann D.B., Lajoie P., 1943. Étude des sols des comtés de Stanstead, Richmond, Sherbrooke et Compton, Ministère de l'agriculture, Bulletin technique 45, 63 p.
- De Wit M., 2000. Modelling nutrient fluxes from source to river load : a macroscopic analysis applied to the Rhine and Elbe basins, *Hydrobiologia*, 410 : 123-130.
- Desautels M., 2002. *Présenter une communication orale*, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, 11 p.
- Deslandes J., 2003. *L'apport de la géomatique et de la télédétection au développement d'indicateurs agroenvironnementaux associés aux pertes diffuses de phosphore sur un grand bassin versant : le cas de la rivière aux*

- Brochets*, Mémoire de maîtrise, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, 51 p.
- ERSDAC, 2003. *Characteristics of ASTER sensor*, Aster Science project, http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/about_aster/sensor/tokutyou.html
- Gilbert R., 2000. *Communication personnelle*, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.
- Prud'homme M., 2003. *Caractérisation de l'histoire de l'utilisation des sols du bassin versant de la rivière Tomifobia*, Rapport de stage, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, 19 p.
- Tabi M., Tardif L., Carrier D., Laflamme G., Rompré M., 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 27 p.
- Weld J.L., Sharpley A.N., Beegle D.B., Gburek W.J., 2001. Identifying critical sources of phosphorus export from agricultural watersheds, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1 : 29-38.

