

# Caractérisation environnementale et évaluation des risques de ruissellement et d'érosion pluviale associés aux unités géo-agroécologiques du paysage : cas d'un bassin versant au nord-est du Viêt-nam

## *Assessing the risk for runoff and rainfall erosion on geo-agro-ecological landscape units defined by environmental characterisation: Case study of a catchment in Northeast Vietnam*

Karine VEZINA<sup>1</sup>, Laurie ST-ONGE<sup>2</sup>, Ferdinand BONN<sup>3</sup>, Van Cu PHAM<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> CARTEL, 2500 Boul. Université, Université de Sherbrooke, Québec, Canada, J1K 2R1

Tél. : (819) 821-8000 - Fax : (819) 821-7944 - [vezina\\_karine@hotmail.com](mailto:vezina_karine@hotmail.com)<sup>1</sup>, [laurie.s@hermes.usherb.ca](mailto:laurie.s@hermes.usherb.ca)<sup>2</sup>, [ferdinand.bonn@usherbrooke.ca](mailto:ferdinand.bonn@usherbrooke.ca)<sup>3</sup>.

<sup>4</sup> VTGEO, Centre National des Sciences et de la Technologie, 340 Bach Dang, Chuong Duong, Hoan Kiem, Hanoi, Viêt-nam

Tél. : 84 49 32 07 46 - Fax : 84 49 32 07 45 - [phamvancu@hn.vnn.vn](mailto:phamvancu@hn.vnn.vn)

### **Résumé**

Depuis le milieu des années 80, la modification des états de surface du Viêt-nam, due au développement agricole et à la croissance de la population, a conditionné les processus de ruissellement et a augmenté l'exposition des hautes terres aux phénomènes de dégradation des sols par l'érosion hydrique. Le Parc national de Ba Bê, situé à 255 km au nord de Hà Nội, est défini comme une réserve naturelle depuis 1977 et comme un parc national depuis 1992. D'une superficie totale de 7610 hectares, le parc regroupe des montagnes calcaires, des rivières et des lacs où habitent une flore et une faune tropicales exceptionnelles. Les trois affluents principaux du lac, les rivières Chò Lèng, Bo Lù et Tà Han, drainent une importante partie des eaux de ruissellement du parc et de la zone tampon. Ces eaux semblent apporter une quantité importante de sédiments dans le lac. De plus, une situation conflictuelle entre « production » et « protection » s'avère alarmante, surtout en zone tampon, là où les politiques de conservation sont encore à formuler. Devant l'ampleur de la situation, les autorités ont mis sur pied le projet PARC (Creating Protected Areas for Resource Conservation using Landscape Ecology) avec l'aide du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), dans le but de promouvoir une utilisation durable des terres à l'intérieur et en périphérie du Parc national de Ba Bê. Dans le but de caractériser le phénomène d'érosion, l'approche proposée est une segmentation du paysage en unités de comportement hydrologique similaire.

La définition des unités homogènes reposera sur la caractérisation environnementale des facteurs physiques (topographie, géologie, pédologie, climat) et humains (pratiques agricoles et de conservation des sols) qui contrôlent l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant.

Dans un premier temps, l'application d'un modèle de pertes de sol sur les unités du paysage permettra la détermination relative des zones potentielles d'érosion d'un bassin versant associées aux différents systèmes culturaux. Dans un second temps, la méthode SCS du U.S. Soil Conservation Service sera utilisée dans le but de prédire le ruissellement sur le bassin par l'établissement d'un bilan hydrologique à partir des unités du paysage. Cette méthode a été retenue car, d'après la revue de littérature, elle semble efficace pour déterminer les écoulements dans les bassins versants non jaugés. Les paramètres du paysage pourront être analysés, gérés et représentés par l'utilisation conjointe d'un système d'information géographique (SIG), comme outil de modélisation, et de données de télédétection comme paramètres d'entrée. Des données cartographiques, numériques, empiriques et statistiques validées sur le terrain y seront ajoutées.

Le produit final de cette recherche sera une cartographie du potentiel de ruissellement et d'érosion, afin que les gestionnaires du parc puissent connaître le comportement hydrologique des bassins versants de leur territoire en vue de poser des actions concrètes en matière d'érosion, d'inondation et de conservation.

### **Abstract**

*Since the mid-1980s, agricultural development and increased population pressure in the northern mountain region of Vietnam have modified the land use pattern, thereby accelerating the runoff process and soil degradation induced by water erosion. Ba Bê National Park (total area: 7610 hectares) is situated 255 km north of Hanoi. The park consists of limestone mountains, rivers and lakes that are endowed with a rich tropical fauna and flora. The surface waters of the park and its surroundings are drained mostly by the three tributaries of the Ba Bê lake. This water brings a large quantity of sediments that are filling up the lake. There is a conflicting situation between "production" and "protection" that has proved to be very alarming, mostly in the buffer zone, where the conservation politics are still unformulated.*

*To characterise the erosion phenomena, the approach suggested here is to divide the landscape into geo-agro-ecological units to be defined by an environmental characterisation of the physical (topography, geology, pedology, climate) and human factors (agricultural and conservation practices) that govern water erosion at the catchment area scale. Applying an erosion model to the landscape units helps to determine the risk of water erosion for each geo-agro-ecological unit and therefore to assess the areas which are at highest risk. A simple hydrological evaluation is used to predict the runoff for each unit. The landscape parameters are analysed, managed and represented with a Geographic Information System as a modelling tool. Remote sensing, cartographic, numerical, statistical and empirical data validated during the field campaign are used as input parameters. Assessing and mapping the water erosion and runoff risk can help managers gain more knowledge about the hydrological behaviour of the catchment area in order to make better-informed decisions regarding erosion and flood prevention.*

**Mots-clés** : paysage tropical, érosion, ruissellement, géomatique, télédétection.

**Keywords**: tropical landscape, erosion, runoff, geomatic, remote sensing.

## **Introduction**

Le Viêt-nam, situé en Asie du sud-est (Figure 1), est un point de convergence de diverses ethnies, un carrefour de nombreuses civilisations. L'importance des populations et les aires de répartition varient entre les divers groupes ethniques. Globalement, les Kinh ou Viêt, qui représentent 87% de la population nationale, habitent le littoral et les deltas du Mékong et du Fleuve Rouge. Les autres ethnies

se partagent les hautes terres. Outre les différences culturelles, les écarts socio-économiques entre ces aires d'habitation sont prépondérants. Le littoral, plus peuplé, plus accessible et plus riche, détient une force de production ayant atteint un degré de développement beaucoup plus élevé que les régions montagneuses. Dans le but de s'adapter au milieu montagnard, les peuples des hautes terres ont développé des techniques de subsistance basées à la fois sur la culture nomade et sédentaire ainsi que sur la cueillette. Pendant longtemps, ces systèmes d'exploitation du milieu ont permis de répondre, de façon assez satisfaisante, à la demande alimentaire locale. L'abondance des ressources naturelles, par rapport à la faible densité de population, contribuait à une exploitation «équilibrée» du milieu. Or, depuis le milieu des années 80, le contexte des systèmes traditionnels d'utilisation du sol en montagne s'est modifié. L'accroissement de la pression démographique et l'application de nouvelles politiques gouvernementales de développement agricole, avec l'arrivée du renouveau économique «Doi Moi», ont influencé la totalité du complexe d'accès et d'utilisation des ressources en milieu montagnard (Zingerli *et al.*, 2002).

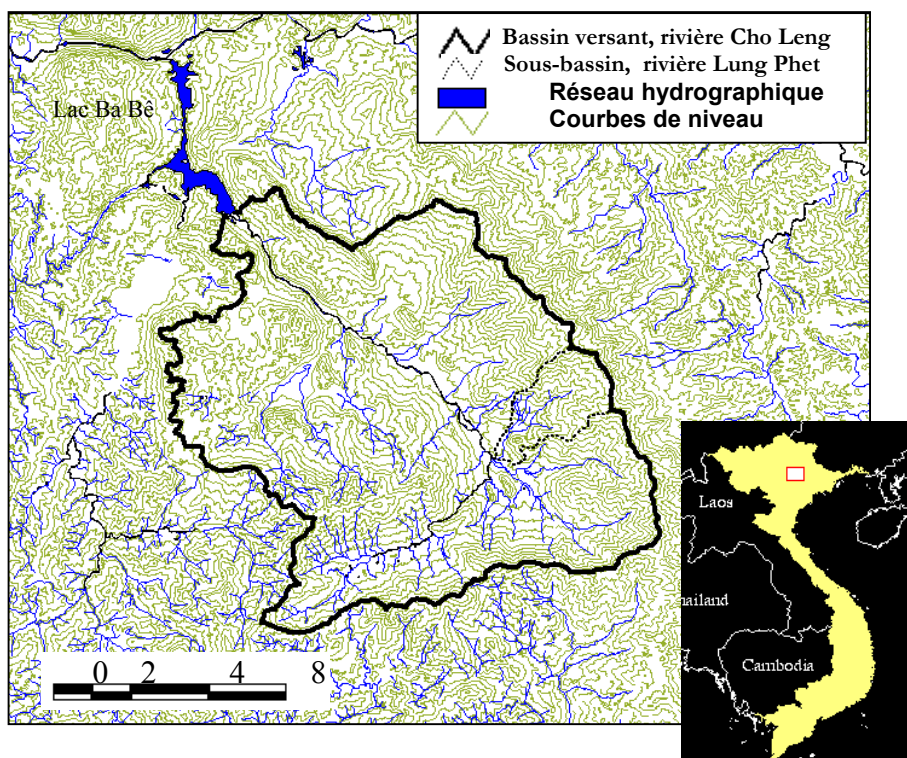
Le milieu étudié se situe dans le Parc national de *Ba Bê*, localisé à 255 km au nord de Hanoi, dans la province de Bac Kan (Figure 1). D'une superficie totale de 7610 hectares, le parc est constitué de montagnes calcaires, de rivières et de lacs qui hébergent une flore (354 espèces) et une faune (222 espèces) tropicales exceptionnelles. L'exploitation agro-sylvicole intensive et extensive des terres allouées aux paysans, à l'intérieur et en zone périphérique du parc, a transformé complètement le paysage de la région en une mosaïque de communautés végétales suivant la toposéquence des bassins versants. Brièvement, les forêts denses sont maintenant confinées aux hauts sommets rocheux des montagnes calcaires et schisteuses. Les versants pentus et fragiles des montagnes sont recouverts de brûlis de riz, de maïs, de manioc et de soja, des cultures sèches peu couvrantes. Les collines sont occupées par des rizières en terrasses, des arbres fruitiers ainsi que des friches sur lesquelles le bétail pâture librement, tandis que les plaines et les vallées sont recouvertes par des rizières inondées. Dans cette région déjà sujette à des risques d'érosion, les transformations de l'occupation du sol augmentent l'exposition des terres aux processus de ruissellement, et conséquemment, à la dégradation des sols par l'érosion pluviale.

En effet, située dans la zone climatique subtropicale des moussons, la région reçoit annuellement 1500 mm de précipitation en moyenne qui se produisent à 85% pendant la saison humide sous forme d'averses intenses (jusqu'à 120 mm/h). Ces averses ont un potentiel érosif très élevé. De plus, la région étant constituée à 80% par des collines et des montagnes, et caractérisée par la présence d'un réseau hydrographique dense, les sols y sont d'autant plus sensibles à l'action dévastatrice des fortes pluies (Nguyen, 1990).

L'érosion pluviale est un phénomène dynamique et complexe de dégradation qui implique l'arrachement des particules de la couche superficielle du sol, leur transport vers l'aval par les cours d'eau, et éventuellement, la sédimentation du matériel érodé. L'augmentation du taux de sédiments dans les eaux est à l'origine du processus de comblement du lac Ba Bê situé en plein cœur du parc national.

À l'échelle des bassins versants de la région, l'érosion pluviale génère des conséquences d'ordres environnemental et socio-économique majeures: diminution de la fertilité et du rendement des sols, transformation des terres en friches difficilement reboisables, diminution irréversible du sol cultivable, augmentation de la récurrence des inondations, etc. Il semble donc primordial de déterminer les risques de ruissellement et d'érosion pluviale qui prévalent dans la région. Pour ce faire, le paysage sera segmenté en unités géo-agroécologiques selon différents facteurs (sol, végétation, topographie, etc.). La détermination des risques associés aux différentes unités du paysage permettra de promouvoir un développement agro-sylvicole durable des hautes terres.

Figure 1 : Localisation du site étudié



## 1. Méthodologie

La première partie du projet reposera sur la caractérisation environnementale et la modélisation des composantes qui définissent le paysage et contrôlent les processus d'érosion pluviale à l'échelle du bassin versant (Haboudane *et al.*, 2002). Les facteurs qui permettront de segmenter le paysage étudié seront ceux de l'équation universelle de pertes de sols, soit  $A = R * LS * K * C * P$  (Wischmeier et Smith, 1981).

Puisque l'équation est empirique, son application dans un milieu bioclimatique totalement différent de celui à l'intérieur duquel elle a été conçue nécessitera quelques petites adaptations.

Le facteur R qui caractérise le niveau de forces attaquant le milieu sera calculé à l'échelle annuelle mais aussi mensuelle, afin de bien représenter la variabilité saisonnière dans l'agressivité des pluies, elle-même modulée en fonction de la variation saisonnière du taux de recouvrement au sol. Les précipitations horaires n'étant pas disponibles, l'équation de Wischmeier et Smith pour le calcul de R sera remplacée par diverses équations basées sur les précipitations mensuelles (Morgan, 1995).

Les facteurs L et S qui représentent la morphologie du terrain seront définis à l'aide du modèle numérique de terrain (MNT) qui sera créé dans un système d'information géographique (SIG). Le facteur LS sera calculé à partir des cartes d'angle S et de longueur L de pente dérivées du MNT.

Le facteur K qui détermine la résistance des différents types de sols à l'érosion sera calculé à l'aide d'équations adaptées au milieu tropical (Mulengara et Payton, 1999) et de la carte pédologique numérique du bassin. Pour chaque type de sol, les pourcentages de limons, de sables très fins, de sables ainsi que la classe de perméabilité devront être précisés.

Le facteur C définit l'efficacité relative des principaux systèmes culturels en terme de prévention des pertes de sols. Le facteur C annuel pour une culture donnée sera ajusté à la distribution mensuelle de la couverture au sol et des précipitations ainsi qu'aux techniques de travail du sol utilisées. Ainsi, les valeurs de C ajustées seront représentatives du contexte culturel et climatique de la région. De plus, puisque la couverture au sol protège ce dernier de l'impact des gouttes de pluie, sa variation mensuelle sera comparée à la variation mensuelle de l'agressivité des pluies. L'analyse comparative de ces variations permettra de déterminer pour chaque culture, les périodes de l'année les plus sujettes aux processus d'érosion pluviale. La répartition spatiale des systèmes culturels sera faite par la classification et l'application d'indices de végétation à partir de l'image satellitaire SPOT XS (résolution de 20 m).

Le facteur P représente la protection du sol pour chaque système culturel. Le facteur P doit tenir compte des pratiques qui favorisent la diminution du ruissellement à la surface et ainsi, la quantité de sédiments transportés. Or, ces pratiques (terrasses, cultures en bande suivant les courbes de niveau, etc.) nécessitent bien souvent d'importants investissements en temps et en argent de la part du paysan. Dans le but d'adapter ce facteur au contexte socio-économique du bassin, nous considérerons pour son évaluation, non seulement les pratiques qui aident à la diminution du ruissellement, mais aussi à la conservation de la fertilité des sols.

La spatialisation des termes de l'équation sous forme de couches d'information à l'intérieur du SIG permettra, tout d'abord, la segmentation numérique du bassin en unités géo-agroécologiques homogènes. Par la suite, le potentiel érosif des unités

de paysage sera calculé par la multiplication des termes R, LS et K de l'équation de pertes de sols. Une première carte représentera ainsi la variation spatiale de la vulnérabilité intrinsèque (sans tenir compte de l'action anthropique) des unités homogènes quant aux processus d'érosion pluviale. Puis, les pertes de sols annuelles seront calculées pour chaque unité par l'application intégrale de l'équation.

La seconde partie de la recherche définira les potentiels de ruissellement du milieu étudié en appliquant un bilan hydrique simple utilisant des données de précipitations et de température étant donné la complexité du bassin. La capacité d'infiltration des sols sera définie à partir des données pédologiques et il faudra tenir compte du degré de perméabilité de la roche. Les opérations seront exécutées dans un SIG. Cependant, la modélisation des processus d'érosion et de ruissellement génère parfois d'importantes erreurs (Bonn, 1998). Il faudra donc valider les différentes unités. L'occupation du sol, les types de sols et leurs caractéristiques seront vérifiés en effectuant un échantillonnage lors d'une deuxième visite sur le terrain.

## Conclusion

Cette recherche permettra une évaluation du risque d'érosion pluviale associé aux différentes unités géo-agroécologiques du paysage. D'un point de vue pratique, les résultats seront utilisés par les gestionnaires du parc comme outil d'aide à la décision pour la définition et la mise en place de plans de gestion et de conservation des sols en matière d'érosion et d'inondation. D'un point de vue scientifique, cette recherche mettra en évidence la possibilité d'adapter les facteurs des différentes équations pour rendre possible leur application dans un environnement tout à fait différent de celui pour lequel elles ont été conçues (Lai Vinh, 2000). D'un point de vue plus écologique, l'analyse de la répartition spatiale des unités et de leur risque d'érosion respectif permettra de mieux comprendre leur impact sur l'évolution du paysage. Comparativement aux études antérieures réalisées à plus petite échelle, cette étude à grande échelle (1 : 50 000) des facteurs du paysage apportera une nuance dans la cartographie des risques de ruissellement et de pertes de sols d'un milieu tropical humide disposant d'une grande variété de systèmes cultureaux.

## Bibliographie

- Bonn F., 1998. La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et des SIG : possibilités, erreurs et limites. *Sécheresse*, 9 (3) : 185-192.
- Haboudane D., Bonn F., Royer A., 2002. Land degradation and erosion risk mapping by fusion of spectrally-based information and digital geomorphometric attributes. *International Journal of remote Sensing*, 23 (18) : 3795-3820.

- Lai Vinh C., 2000. Soil Erosion Study in Northwest Region of Vietnam by Integrating Watershed Analysis and Universal Soil Loss Equation (U.S.L.E), *Journal of Science, Nat. Sci.*, XI : 142-150.
- Morgan R.P.C., 1995. *Soil Erosion and Conservation*, Second Edition, Longman group, John Wiley and Sons Inc, New York., NY, 198 p.
- Mulengera M.K., Payton, R.W., 1999. Estimating the USLE- soil erodibility factor in developing tropical countries. *Tropical Agriculture (Trinidad)*, 76 (1) : 17-22.
- Nguyen Q.M., 1990. Observation of Soil Erosion in Vietnam. Le Thac Can, Vietnam National University, Hanoi, 8 p.
- Wischmeier W.H., Smith, D.D., 1981. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Supplement to Agriculture Handbook No. 537, USDA, Washington. 58 p.
- Zingerli C., Castella J-C., Manh P. H., Cu P. V., 2002. Contesting Policies : Rural Development versus Biodiversity Conservation in Ba Bê National Park Area, 13 p.

