



HAL
open science

Les états de surface des sols au Nord Vietnam : une méthode pour estimer et cartographier les risques d'érosion

Simon Pomel, Quang Ha Pham, van Thiet Nguyen

► To cite this version:

Simon Pomel, Quang Ha Pham, van Thiet Nguyen. Les états de surface des sols au Nord Vietnam : une méthode pour estimer et cartographier les risques d'érosion. Gestion intégrée des eaux et des sols. Ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains., Nov 2007, Hanoi, Vietnam. pp.1-8. halshs-00327564

HAL Id: halshs-00327564

<https://shs.hal.science/halshs-00327564>

Submitted on 23 Oct 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les états de surface des sols au Nord Vietnam : une méthode pour estimer et cartographier les risques d'érosion

Simon POMEL¹, PHAM Quang Ha², NGUYEN Van Thiet²

¹ UMR 5185 ADES-DyMSET (CNRS-Université de Bordeaux 3) Maison des Suds - CNRS 12, Esplanade des Antilles - Domaine Universitaire 33 607 PESSAC Cedex – France.

² Institut des Sols et des Fertilisants (NISF) Dong Ngac Tu liem Hanoi Vietnam.

E-Mail : spomel@ades.cnrs.fr

Résumé

De nombreux indicateurs végétaux et pédologiques sont utilisables pour estimer l'érosion. La notion d'indicateurs fait référence à des critères qualitatifs pour préciser le déclenchement de processus et ses échelles élémentaires. Elle est indissociable de celle de seuils de fonctionnement. Dans le domaine de l'érosion, la notion d'indicateurs recouvre à la fois des causalités et des méthodologies d'étude.

La surface des sols est occupée par une mosaïque d'états qui traduisent le fonctionnement aux échelles spatio-temporelles élémentaires. Les états de surface des sols sont des instantanés du sol pour estimer l'érosion et représentent une mémoire immédiate des sols. Ils enregistrent les déstabilisations du sol, assurent aussi une fonction de fixation des paysages et sont indicateurs des types de gestion. Les états de surface sont en général des concentrations de matériel à la surface des sols par des processus biologiques, minéralogiques, hydriques ou végétaux. Ainsi on distingue cinq types de concentrations de surface.

Les « **bioconcentrations** » (ou concentrations biologiques) par la microflore et la microfaune jouent un rôle fondamental dans la décomposition de la matière organique.

Les « **duriconcentrations** » (ou concentrations minéralogiques) procèdent de processus minéralogiques avec formation de croûtes salées, sulfatées, carbonatées, ferrugineuses ou siliceuses.

Les « **satuconcentrations** » (ou concentrations en turbides) sont des concentrations hydriques d'argiles et de limons et des remontées biotiques.

Les « **abruconcentrations** » (ou concentrations par érosion) se définissent par un amaigrissement de la surface du sol en éléments fins et par une concentration relative des éléments grossiers.

Les « **phytoconcentrations** » (ou concentrations végétales) procèdent de nécroses végétales, les thanato- ou rhizo-concentrations.

Seules les surfaces couvertes par les abruconcentrations représentent des zones de départ et d'érosion des sols. La surface du sol couverte par les abruconcentrations est calculée à partir d'un logiciel d'analyse d'images, le logiciel Optilab Pro.

Les observations portent sur un suivi des états de surface, avec des mesures au sol et à partir de photographies aériennes, et un suivi de chaque formation végétale et d'usages, avec une moyenne de 10 à 20 mesures. Le calcul est effectué à partir du % des surfaces affectées par les abruconcentrations en fonction de la densité du sol ramené à 1 hectare/an (densité du sol = 1,6 pour les sols sableux, 1,2 pour les sols limoneux et 1,05 pour les sols argileux). La perte annuelle en mm est calculée à partir de l'érosion des croûtes biotiques ou du déchaussement racinaire des plantes annuelles. Perte annuelle en sol en t/ha/an = densité du sol x % en abruconcentration x par perte annuelle en mm x 10. La perte de 1 cm/an de sol sur 100 % de la surface, représente un taux d'érosion de 105 à 160 t/ha/an.

À partir de l'étude des états de surface des sols sous différents usages d'agriculture durable, des estimations ont été effectuées sur l'érosion dans plusieurs zones du Nord Vietnam. Les pratiques des minorités ethniques sont ainsi évaluées en terme de risques d'érosion. Ces estimations ont été effectuées dans le cadre d'un programme de recherche du Réseau Érosion de l'AUF (Convention P2-2092 RR521).

Au Nord Vietnam, les taux d'érosion sont variables :

- moins de 0,13 t/ha/an sous forêt dense et plantations forestières stables ;
- 1,6 t/ha/an sous plantation de théiers, mais avec une redéposition de 1,82 t/ha/an ;
- 2,11 t/ha/an sous co-plantation de cannelle, ananas et théiers ;
- 2,31 t/ha/an sous co-plantation de cannelle et de théiers ;
- 2,56 t/ha/an sous plantation de caféiers ;
- 3,08 t/ha/an sous arbres fruitiers et soja ;
- 6,41 t/ha/an sous plantation d'*Eucalyptus* avec théiers ;
- 25,66 t/ha/an sous plantation d'*Eucalyptus* sans théiers ;
- 30,8 t/ha/an sous maïs avec paillage ;
- 41,06 t/ha/an sous cultures annuelles en bandes avec soja ;
- 77 t/ha/an sous maïs sans paillage ;
- 96,58 t/ha/an sous manioc et green pea ;
- l'érosion linéaire sous maïs se situe entre 125 et 172 t/ha/an ;
- la redéposition dans les rizières et les bas-fonds voisine 20 t/ha/an ;

Sous plantation de théiers, l'érosion est contrebalancée par les remontées biotiques et une redéposition des particules fines par des processus de saturation. Les systèmes bocagers, co-plantations, cultures sous couvert arboré ou arbres fruitiers sont conservatrices des sols, et les taux d'érosion y sont relativement faibles, malgré de fortes pentes. Au contraire les monocultures (maïs et manioc) ou les plantations forestières d'*Eucalyptus* présentent des risques d'érosion importants, en particulier d'érosion linéaire.

Introduction et objectifs de l'étude

La croissance rapide de la population Vietnamienne (2,5 à 3,0 % par an de 1970 à 1980) a entraîné un exode des plaines vers les montagnes et accéléré la déforestation. La destruction des écosystèmes forestiers et la diminution de la durée de jachère ont engendré une rupture des équilibres écologiques, accélérant ainsi les phénomènes érosifs (CUC, 1995 ; HONG, 1994, PHIEN & al., 1997). La perte de fertilité des sols engendrée par l'érosion a donc entraîné une chute spectaculaire des rendements agricoles et s'est répercutée sur l'alimentation humaine. Pour des cultures à cycle court (inférieur à 3 années), les pertes en sols en zone de montagne sont comprises entre 20 et 70 t/ha par an, voire plus. Dans les systèmes n'utilisant pas de méthodes anti-érosives, la dégradation des sols a fait décliner la productivité agricole de 20 à 60% (THIET & TAM, 2002).

Or, dans les zones de montagnes du Vietnam où la pluviosité est forte et mal distribuée, les minorités ethniques ont depuis longtemps mis au point des stratégies paysannes anti-érosives afin d'améliorer la fertilité des sols et stabiliser la productivité agricole (CASTELLA & QUANG, 2002 ; MAGLINAO & al., 2003 ; TAM & al., 2001 ; DE KONINCK & al., 2005) : rizières en terrasse, jachères de longue durée, semis décalé dans le temps et dans l'espace, pratiques agroforestières, *mulching* ... Le type de gestion des sols est un paramètre important qui influe sur l'érosion des sols (POMEL, 2003 ; MORGAN, 1985 ; ROOSE, 1990 et 1994 ; ROOSE & al., 2002 ; SABIR & al., 2002 et 2004). Les sols du Nord Vietnam sont souvent des sols dégradés de type Acrisols à faible fertilité (NGUYEN VAN BO & al., 2003 ; PHAM QUANG & al., 2005). Les mesures à partir des états de surface des sols montrent que ces pratiques sont conservatrices pour les sols, alors que les monocultures (maïs, manioc ...) sont favorables aux risques d'érosion.

Les indicateurs de l'érosion

L'érosion est délicate à quantifier car ses manifestations sont multiples et multiscalaires et ses indicateurs souvent imprécis (BIROT, 1981 ; ORSTOM, 1998 ; Sécheresse, 2004). La difficulté réside dans la définition d'indicateurs intégrés qui caractérisent des taux d'érosion valables à l'échelle régionale. L'étude de nombreux indicateurs, comme les indicateurs morphologiques, a été négligée au profit d'indicateurs quantifiables dans des parcelles et dont les mesures sont transposables au niveau du bassin-versant. La mise au point d'indicateurs spécifiques plus globaux est devenue nécessaire, car les indicateurs classiques sont très hétérogènes et souvent peu fiables.

Les mesures sur les parcelles d'érosion de la NOMARC, région de Yen Bai donnent des taux assez variables suivant le type de couvertures végétales. Elles ne permettent pas de multiplier les zones de mesures. Elles ne réagissent qu'à certains événements pluviométriques, supérieurs à 60 mm. Elles ne prennent pas en compte l'érosion linéaire. Le programme MSEC vise à mesurer les paramètres hydrologiques de l'érosion sur un petit bassin-versant dans la région de Hoa Binh, mais la couverture végétale, qui sert de base à la cartographie, n'est pas établie au niveau du sol dans ce projet.

De nombreux indicateurs végétaux et pédologiques sont ainsi utilisables pour estimer l'érosion. La notion d'indicateurs (MAIRE & POMEL, 1994 ; MAIRE, POMEL & SALOMON, 1994) fait référence à des critères qualitatifs pour préciser le déclenchement de processus et ses échelles élémentaires. Elle est indissociable de celle de seuils de fonctionnement. Dans le domaine de l'érosion, la notion d'indicateurs recouvre à la fois des causalités et des méthodologies d'étude.

Matériel et méthodes

A - Les états de surface des sols

La surface des sols est occupée par une mosaïque d'états qui traduisent le fonctionnement aux échelles spatio-temporelles élémentaires (POMEL, 2004). Les états de surface des sols sont des instantanés du sol pour estimer l'érosion et représentent une mémoire immédiate des sols. Ils enregistrent les déstabilisations du sol, assurent aussi une fonction de fixation des paysages et sont indicateurs des types de gestion (PHAM QUANG & al., 2006 a et 2006 b). La surveillance de ces surfaces élémentaires permet d'estimer l'érosion (POMEL, 2004).

Les états de surface sont en général des concentrations à la surface des sols par des processus biologiques, minéralogiques, hydriques ou végétaux. Ainsi on distingue cinq types de concentrations de surface. Les « bioconcentrations » (ou concentrations biologiques) par la microflore et la microfaune jouent un rôle fondamental dans la décomposition de la matière organique. Les « duriconcentrations » (ou concentrations minéralogiques) procèdent de processus minéralogiques avec formation de croûtes salées, sulfatées, carbonatées, ferrugineuses ou siliceuses. Les « satuconcentrations » (ou concentrations en turbides) sont des concentrations hydriques d'argiles et de limons et des remontées biotiques. Les « abruconcentrations » (ou concentrations par érosion) se définissent par un amaigrissement de la surface du sol en éléments fins et par une concentration relative des éléments grossiers. Les « phytoconcentrations » (ou concentrations végétales) procèdent de nécroses végétales, les thanato- ou rhizo-concentrations. Seules les surfaces couvertes par les abruconcentrations représentent des zones de départ et d'érosion des sols. La surface du sol couverte par les abruconcentrations est calculée à partir du logiciel Optilab Pro.

B - L'érosion spécifique des zones de départ (en t/ha/an)

- Les sites d'étude

- Les observations portent sur un suivi des états de surface, avec des mesures au sol et à partir de photographies aériennes, et un suivi de chaque formation végétale et d'usages, avec une moyenne de 10 à 20 mesures. Le calcul est effectué à partir du % des surfaces affectées par les abruconcentrations en fonction de la densité du sol ramené à 1 hectare/an (densité du sol = 1,6 pour les sols sableux, 1,2 pour les sols limoneux et 1,05 pour les sols argileux). La perte annuelle en mm est calculée à partir de l'érosion des croûtes biotiques ou du déchaussement racinaire des plantes annuelles (POMEL, 2007 ; POMEL & PHAM QUANG, 2005 et 2006 a et b).

- **Le calcul de l'érosion spécifique**

Perte annuelle en sol en t/ha/an = densité du sol (1,6 à 1,05) x % en abruconcentration x perte annuelle en mm x 10. La perte de 1 cm/an de sol sur 100 % de la surface, représente un taux d'érosion de 105 à 160 t/ha/an.

Résultats et discussion

A - L'érosion et l'agriculture durable au Nord Vietnam

De nombreuses pratiques des minorités ethniques existent dans les zones montagneuses du Nord Vietnam. Le système des minorités Muong, Dao et Mong, est basé en général sur la succession suivante après déforestation ou une jachère de 7 ans :

- riz de montagne durant 2 ans,
- maïs durant 2 ou 3 ans,
- manioc durant 2 ans.

Les minorités Thaï cultivent en général les zones basses. La culture du riz de montagne sur une durée de 2 ans, succède en général à une jachère de 7 ans.

À partir de l'étude des états de surface des sols sous différents usages d'agriculture durable, des estimations ont été effectuées sur l'érosion dans plusieurs zones du Nord Vietnam. Les pratiques des minorités ethniques sont ainsi évaluées en terme de risques d'érosion. Ces estimations ont été effectuées dans le cadre d'un programme de recherche du Réseau Érosion de l'AUF (Convention P2-2092 RR521).

Au Nord Vietnam, les taux d'érosion sont variables (Tabl. 1) : moins de 0,13 t/ha/an sous forêt dense et plantations forestières stables, 1,6 t/ha/an sous plantation de théiers, mais avec une redéposition de 1,82 t/ha/an, 2,11 t/ha/an sous co-plantation de cannelle, ananas et théiers, 2,31 t/ha/an sous co-plantation de cannelle et de théiers, 2,56 t/ha/an sous plantation de caféiers, 3,08 t/ha/an sous arbres fruitiers et soja, 6,41 t/ha/an sous co-plantation d'*Eucalyptus* et de théiers, 25,66 t/ha/an sous plantation d'*Eucalyptus* sans théiers, 30,8 t/ha/an sous maïs avec paillage, 41,06 t/ha/an sous cultures annuelles en bandes avec soja, 77 t/ha/an sous maïs sans paillage, 96,58 t/ha/an sous manioc et green pea. L'érosion linéaire sous maïs se situe entre 125 et 172 t/ha/an et la redéposition dans les rizières et les bas-fonds voisine 20 t/ha/an. Sous plantation de théiers, l'érosion est contrebalancée par les remontées biotiques et une redéposition des particules fines par des processus de satuconcentration.

Les chiffres sont sans doute assez élevés si l'on parle d'érosion en nappe, les mesures ne portent pas sur un temps assez long et ces mesures n'excluent pas d'extrêmes différences suivant les zones. De plus, il est difficile de faire la part des dépôts dans ce système de mesures.

B - La cartographie des risques d'érosion

La cartographie a été réalisée à partir d'une couverture aérienne du 07/05/2000 calée sur une vérité-terrain et traitée en niveau de gris avant d'être analysée et classifiée sous logiciel d'analyse d'images Optilab Pro (Fig. 1). Elle met en évidence les grandes classes d'intensité des risques d'érosion, caractéristiques des zones de départ avec des taux d'érosion spécifiques calculés à partir des mesures sur les états de surface des sols.

Conclusions

Les différents systèmes de mesures donnent des résultats différents car ils ne mesurent pas les mêmes compartiments du géosystème érosif (Sécheresse, 2004 ; ORSTOM Actualités, 1998). La méthode de mesure du taux d'érosion par les états de surface est une méthode qui a tendance à surévaluer les pertes en terre, car elle mesure les pertes en terre au niveau de la zone de départ, amont du géosystème. Elle est complémentaire des autres méthodes (mesure des turbides, bathymétrie) qui ne mesurent pas l'érosion de la zone de départ, mais celui de la zone d'arrivée, aval du géosystème, en ne tenant pas compte des redépôts sur les versants. La méthode des états de surface évalue des taux maximum des zones de départ et convient donc très bien pour évaluer les risques d'érosion. Elle est une base essentielle pour la cartographie des risques d'érosion.

Les pratiques des minorités ethniques du Nord Vietnam (co-plantations et système de *mulching*) sont en général conservatrices pour les sols. Les taux d'érosion mesurés dans les systèmes bocagers sont assez faibles (moins de 6 t/ha/an), alors qu'ils peuvent dépasser les 70 t/ha/an sous maïs ou les 90 t/ha/an manioc, avec une érosion linéaire qui peut excéder les 150 t/ha/an sur de fortes pentes.

Bibliographie

- BIROT P., 1981 : Processus d'érosion à la surface des continents, *Édition Masson*.
- CASTELLA J.C. & QUANG D.D. (Eds), 2002 : Doi Moi in the Mountains : Land-use changes and farmers' livelihood strategies in Bac Kan Province, Vietnam. *VASI-IRD-IRRI, The Agricultural Publishing House, Hanoi*, 283 p.
- CUC L.T., 1995 : Rétablir des sols dégradés dans la zone de montagne et moyenne montagne du Nord Viet Nam. Les problèmes d'écologie humaine au Viet Nam. *Maison d'Édition de l'Agriculture, Ha Noi*.
- DE KONINCK R., DURAND F. & FORTUNEL F. (Eds), 2005 : Agriculture, environnement et sociétés sur les Hautes terres du Viêt Nam. *Editions Arkuris, Toulouse et IRASEC Bangkok*, 224 p.
- HONG N.H., 1994 : Exploiter, protéger et augmenter la fertilité des terres de montagnes. Province de Bac Thai. *2^{ème} Séminaire National sur l'usage des sols. Bac Thai*, Septembre.
- MAGLINAO A.R., VALENTIN Ch. & PENNING DE VRIES F. (Eds), 2002 : From soil research to land and water management : Harmonizing people and nature. *Proceedings of IWMI-ADB Project, Annual Meeting and 7th MSEC Assembly, Vientiane, Laos, IR (Paris) et IWMI-SEA (Bagkok)*, 250 p.
- MAIRE R. & POMEL S., 1994 : Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone Tropicale. In : MAIRE R., POMEL S. & SALOMON J.N. (Eds) - Enregistreurs et Indicateurs de l'Environnement en Zone Tropicale. *Presses Universitaire de Bordeaux, Coll. Espaces Tropicaux n°13*, pp. 11-26.
- MAIRE R., POMEL S. & SALOMON J.N. (Eds), 1994 : Enregistreurs et Indicateurs de l'Environnement en Zone Tropicale. *Presses Universitaire de Bordeaux, Coll. Espaces Tropicaux n°13*, 492 p.
- MORGAN R.P.C., 1985 : Soil degradation and erosion as a result of agricultural practice. *Geomorphology and soils*, pp. 379-395.
- NGUYEN VAN BO, MUTERT E. & CONG DOAN SAT, 2003 : Balance fertilization for better crop in Vietnam. *Potash and Phosphate Institute, NISF (MARD), Hanoi*.
- ORSTOM Actualités 1998, n° 56 Spécial érosion, 41 p.

- PHAM QUANG H., MACLAUGHLIN M. & OBORN I., 2005 : Nutrient recycling for sustainable agriculture in Vietnam. In : Global perspective on resource recycling for sustainable agriculture. UNESCO-APEID-OASERD, Univ. Of Agriculture and Veterinary, Obihiro, Japan, pp. 3137.
- PHAM QUANG H., POMEL S., NGUYEN VAN Th., ORANGE D., PODWOJEWSKI P. & TRAN DUC T., 2006a : Stratégies traditionnelles de gestion conservatoire et de restauration des sols au Vietnam. Marrakech, Maroc, 14-20 mai. Publication 14 th ISCO. Article, 11 p.
- PHAM QUANG H., POMEL S., NGUYEN VAN Th., ORANGE D., PODWOJEWSKI P. & TRAN DUC T., 2006b : Stratégies traditionnelles de gestion conservatoire et de restauration des sols au Vietnam. Marrakech, Maroc, 14-20 mai. Publication 14 th ISCO. Poster.
- PHIEM T., SIERN N.T. & TOAN T.D., 1997 : Soil degradation and soil erosion control on sloping lands in Vietnam. *Contour ASOCON*, IX, 1, pp. 15-19.
- POMEL S., 2003 : L'érosion des sols dans le bassin-versant de l'Oued Nakhla Rif (Maroc). Étude préliminaire. *Rapport de PROTARS II n° 21/08*, 19 p.
- POMEL S., 2004 : Les instantanés du sol pour mesurer l'érosion. *Journal du CNRS* n° 173.
- POMEL S., 2007 : La Mémoire des sols. *Presses Universitaires Université de Bordeaux*, Collection Scieteren, 392 p.
- POMEL S. et PHAM QUANG Ha. 2005 : Indicateurs de risques d'érosion et les états de surface du Nord vietnam. Journées scientifiques régionales de l'AUF sur « érosion et gestion conservatoire des eaux et des sols » 25 au 27 octobre 2005, Antananarivo, Madagascar, Publication de l'AUF, Paris.
- POMEL S. & PHAM QUANG H., 2006a : Indicateurs de risques d'érosion et les états de surface du Nord Vietnam. In : « Érosion et Gestion Conservatoire de l'Eau et des Sols » Actes des journées scientifiques du réseau Érosion et GCES de l'AUF du 25 au 27 octobre 2005, Antananarivo, Madagascar. Actualité scientifique GB, Publication de l'AUF, Paris, pp. 167-172.
- POMEL S. & PHAM QUANG Ha., 2006b : The hydric erosion : methods, indicators and risks. *Erosion - GCES Network of AUF, Paris. Annales Institut Agronomique Hanoi, NISF (Vietnam)*.
- ROOSE, E., 1990 : Conservation des sols en zones méditerranéennes. La G.C.E.S., une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive. Conférence au Séminaire « soil erosion in mediterranean environments » 9-14 juillet , à l'Université, Valencia, Espagne. Saskatchewan using Cesium-137, Canadian Journal of soil Science, 66, 591-600.
- ROOSE E., 1994 : Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol. FAO* n°70, Rome, 420 p.
- ROOSE E. & SABIR M., 2002 : Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé. *Bulletin Réseau Érosion*, 21, pp. 33-44.
- SABIR M., ROOSE E., MACHOURI N. & NAOURI A., 2002 : Gestion paysanne des ressources naturelles dans deux terroirs des montagnes méditerranéennes du Rif occidental (Maroc). *Bulletin Réseau Érosion*, 21, pp. 414-428.
- SABIR M., BARTHES B & ROOSE E., 2004 : Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéennes du Rif occidental (Maroc). *Sécheresse*, 15 (1), pp. 105-110.
- TAM T.T., TRUONG N.V., THIET N.V. & HAI N.Q., 2001 : Rapport des résultats mis en modèle pour la culture du riz de montagne, l'utilisation des bandes de haies vives en courbes de niveau pour la lutte anti-érosive sur pentes à Ha Giang. *Centre d'Étude pour le Développement, Ministère Science et Technologie, Hanoi*.
- THIET N.V. & TAM T.T., 2002 : Nouvelle technique pour le développement socio-économique et rural en montagne du Nord Vietnam. *Centre d'Étude pour le Développement, Ministère Science et Technologie, Hanoi*.
- Sécheresse 2004, vol.15 n°1, Spécial Érosion AUF, 130 p.

Tableau 1 : Moyennes et écart des mesures de l'érosion (érosion spécifique en t/ha/an des zones de départ) à partir des états de surface des sols au Nord Vietnam.

Abruconcentration en %	Érosion des croûtes argileux biotiques	Sols limoneux densité 1,05	Sols sableux densité 1,2	Sols densité 1,6	Taux d'érosion moyenne
1) Forêts et forêts secondaires denses :					
1 %	1 mm/an	0,105 t/ha/an	0,12 t/ha/an	0,16 t/ha/an	0,13 t
2) Plantations de théiers :					
2,5 %	5 mm/an	1,31 t/ha /an	1,5 t/ha/an	2 t/ha/an	1,60 t
satuconcentration :					
1,5 %	10 mm/an	1,57 t/ha/an	1,8 t/ha/an	2,4 t/ha/an	1,82 t
bilan :		+0,26 t/ha/an	+0,3 t/ha/an	+0,4 t/ha/an	+0,22 t
3) Co-plantations de cannelle, ananas et théiers :					
5,5 %	3 mm/an	1,73 t/ha/an	1,98 t/ha/an	2,64 t/ha/an	2,11 t
4) Co-plantations de cannelle et théiers :					
6 %	3 mm/an	1,89 t/ha/an	2,16 t/ha/an	2,88 t/ha/an	2,31 t
5) Plantations de caféiers :					
10 %	2 mm/an	2,1 t/ha/an	2,4 t/ha/an	3,2 t/ha/an	2,56 t
6) Co-plantations d'arbres fruitiers et soja :					
8 %	3 mm/an	2,52 t/ha/an	2,88 t/ha/an	3,84 t/ha/an	3,08 t
7) Co-plantations d'<i>Eucalyptus</i> et théiers :					
10 %	5 mm/an	5,25 t/ha/an	6 t/ha/an	8 t/ha/an	6,41 t
8) Plantations d'<i>Eucalyptus</i> sans théiers :					
25 %	8 mm/an	21 t/ha/an	24 t/ha/an	32 t/ha/an	25,66 t
9) Maïs avec paillage :					
24 %	10 mm/an	25,2 t/ha/an	28,8 t/ha/an	38,4 t/ha/an	30,8 t
10) Cultures annuelles en bandes avec soja :					
40 %	8 mm/an	33,6 t/ha/an	38,4 t/ha/an	51,2 t/ha/an	41,06 t
11) Maïs sans paillage :					
40 %	15 mm/an	63 t/ha/an	72 t/ha/an	96 t/ha/an	77 t
12) Manioc et green pea					
25 %	30 mm/an	79,75 t/ha/an	90 t/ha/an	120 t/ha/an	96,58 t
13) Maïs érosion linéaire :					
14 %	70 mm/an	102,9 t/ha/an	117,6 t/ha/an	156,8t/ha/an	125,76t
	96 mm/an	141,12 t/ha/an	161,28 t /ha/an	215,04 t/ha/an	172,48 t
14) Redéposition dans les rizières et les bas-fonds :					
5 %	30 mm/an	+15,75 t/ha/an	+18 t/ha/an	+24 t/ha/an	+19,25 t

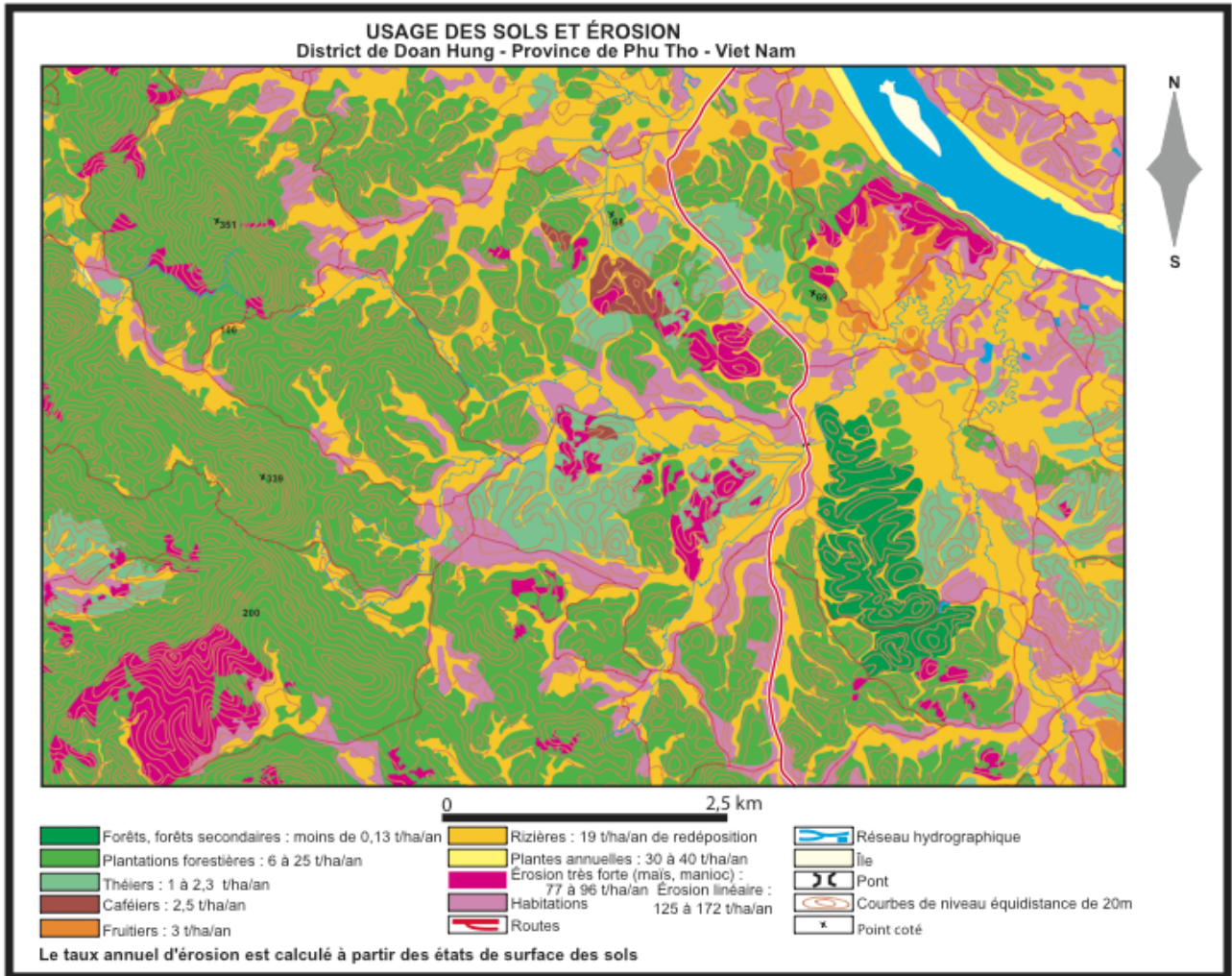


Figure 1. Cartographie des usages et des risques d'érosion à partir des états de surface des sols dans la région de Phu Tho (Nord Vietnam), d'après une couverture aérienne du 07/05/2000.