



# Aménagements hydroélectriques et conséquences environnementales dans le nord du Vietnam

Thiet Nguyen Van

► **To cite this version:**

Thiet Nguyen Van. Aménagements hydroélectriques et conséquences environnementales dans le nord du Vietnam. Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2015. Français. <NNT : 2015TOU20031>. <tel-01286577>

**HAL Id: tel-01286577**

**<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01286577>**

Submitted on 11 Mar 2016

**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.



# THÈSE

En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse - Jean Jaurès

Cotutelle internationale avec l'Université Nationale du Vietnam de Hanoi

---

**Présentée et soutenue par :**

**NGUYEN VAN Thiet**

le jeudi 2 juillet 2015

**Titre :**

Aménagements hydroélectriques  
et conséquences environnementales dans le Nord du Vietnam

---

**École doctorale et discipline ou spécialité :**

ED TESC : Géographie et aménagement

**Unité de recherche :**

GEODE

**Directeur/trice(s) de Thèse :**

Dominique LAFFLY, Professeur, Université Toulouse - Jean Jaurès : Directeur de Thèse  
PHAM VAN Cu, Professeur, Université Nationale du Vietnam de Hanoi : Directeur de Thèse

**Jury :**

Daniel WEISSBERG, Professeur, Université Toulouse - Jean Jaurès : Président du jury  
Pascal PODWOJEWSKI, Directeur de Recherche, IRD Bondy, iEES-Paris : Rapporteur  
PHAM QUANG Ha, Professeur, Académie des Sciences Agricoles du Vietnam : Rapporteur  
Didier ORANGE, Chargé de Recherche, IRD Montpellier, Eco&Sols : Examineur  
MAI VAN Trinh, Professeur, Institut de l'Environnement Agricole : Examineur

# THÈSE

En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse - Jean Jaurès

Discipline ou spécialité : Géographie et aménagement

Présentée et soutenue par : NGUYEN VAN Thiet

Le 2 Juillet 2015

Titre :

### **Aménagements hydroélectriques et conséquences environnementales dans le Nord du Vietnam**

Ecole doctorale : Temps, Espaces, Sociétés, Cultures (TESC)

Unité de recherche : GEODE

Daniel WEISSBERG, Professeur, Université Toulouse - Jean Jaurès: Président du jury

Dominique LAFFLY, Professeur, Université Toulouse - Jean Jaurès : Directeur de Thèse

PHAM VAN Cu, Professeur, Université Nationale du Vietnam de Hanoi : Directeur de Thèse

Pascal PODWOJEWSKI, Directeur de Recherche, IRD Bondy, iEES-Paris : Rapporteur

PHAM QUANG Ha, Professeur, Académie des Sciences Agricoles du Vietnam : Rapporteur

Didier ORANGE, Chargé de Recherche, IRD Montpellier , Eco&Sols : Examineur

MAI VAN Trinh, Professeur, Institut de l'Environnement Agricole : Examineur



## Résumé

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet Hydropower and Incentives (HypI) en collaboration entre l'IRD, l'IWMI, le SFRI et l'IAE, sur financements BMZ. Ce projet de thèse pose l'hypothèse que la construction des barrages hydroélectriques pourrait être un moteur de développement harmonieux entre montagnes et plaines. L'objectif serait de relier politiques de développement des barrages hydroélectriques et politiques agricoles en fonction des stratégies individuelles et des contraintes physiques et socio-économiques. Depuis les années 2000, dans toute l'Asie du Sud-Est, de nombreux projets de grands barrages hydroélectriques sont construits ou en construction pour répondre à la forte croissance de la demande en énergie, entraînant de grandes menaces sur la gestion de l'eau et l'environnement d'une part, et imposant d'importants déplacements de population d'autre part. Dans ces régions de montagne, les processus d'érosion représentent un risque majeur à la fois pour le comblement des lacs de barrage et pour la productivité agricole. Aussi grands investisseurs, pour la durée de vie des barrages hydroélectriques, et petits exploitants, pour leurs moyens de subsistance, se retrouvent également impactés. Le défi est de reformuler la relation entre la planification et la gestion des barrages hydroélectriques, et la planification et la gestion des terres agricoles des zones amont des barrages. Cette étude mesure et explicite les conséquences sociospatiales des aménagements hydroélectriques dans le Nord Vietnam, à la faveur de la construction dans le haut bassin de la rivière Da de 3 grands barrages (Son La, Huoi Quang et Ban Chat) durant cette dernière décennie. Une analyse diachronique d'images Landsat sur plus de 40 ans (de 1973 à 2013) couplée à l'application du modèle RUSLE et des entretiens auprès de plus de 500 foyers, ont permis de discuter des forces motrices conduisant à la modification de l'utilisation des terres. Notre étude montre que les grands barrages hydroélectriques impulsent des transformations « explosives » du paysage créant à la fois un potentiel de développement exceptionnel et des situations à très hauts risques

environnementaux et sociaux. Les lacs de barrage, plus que toute autre planification agricole, induisent des redistributions importantes des populations, et donc des terres. Mais cela se fait sans changer fondamentalement leur structure familiale et socio-économique, mais en diminuant ou complexifiant fortement leur accès aux ressources naturelles (avoir un bon sol, de l'eau,...). Les risques d'érosion se trouvent augmentés dès la conception du projet de barrage. Puis la mise en eau augmente ce risque du fait de la mise en culture annuelle des pentes. On note l'abandon des techniques de terrasses lié au manque d'eau. Dans notre région d'étude, le risque d'érosion moyen annuel a augmenté de 8% du seul fait des barrages, mais la distribution spatiale des risques d'érosion n'est pas homogène, et l'érosion peut atteindre les 10 ton/ha/an dans 50% du territoire étudié. On souligne que la redistribution des terres est fortement liée à la planification des barrages, avant toute construction. Même si l'accompagnement socio-économique a été très largement amélioré de la part de l'Etat vietnamien, les agriculteurs déplacés et non-déplacés sont encore largement à subir les mutations sociospatiales régionales en cours. En effet, malgré des bonnes intentions gouvernementales et internationales, le manque de concertation au niveau local et le manque de connaissance en hydro-écologie restent les contraintes majeures pour le succès de la protection environnementale et l'équité entre les populations concernées, deux conditions obligatoires à la durabilité des projets de barrages hydroélectriques. Pour conclure, il semble que le succès d'implantation d'un grand barrage hydroélectrique soit lié à la capacité des décideurs à comprendre les interactions complexes entre systèmes écologiques et systèmes socio-économiques.

Mots clés: Barrage hydroélectrique, érosion de sols, RUSLE, pratiques sociospatiales, enquête, analyse multivariée, analyse géospatiale, montagne, Vietnam

## **Abstract**

This thesis was carried out as part of Hydropower and Incentives Project (HypI) in collaboration between the IRD, IWMI, the SFRI and IAE, through BMZ funding. This thesis project assumes that the construction of hydropower dams could be a driven force for a harmonious economic development between mountains and plains. The aim would be to link policies for hydropower dam development, and policies for agriculture in mountains, within individual strategies, in relationship with physical and socio-economic constraints. Since 2000's, throughout Southeast Asia, many projects of large hydropower dams are built or being built to meet the strong growth in demand for energy, causing great threats to water management and the environment on the one hand, and imposing important population displacement on the other hand. In these mountainous regions, the erosion process is a major risk for both the filling of reservoirs and agricultural soil productivity. Then major investors, for the lifespan of hydropower dams, and small farmers, for their livelihoods, are equally impacted. The challenge is to reformulate the relationship between planning and management of hydropower dams, and planning and management of agricultural uplands in upstream areas of dams. This study aims to measure and describe the socio-spatial consequences of hydropower facilities in northern Vietnam, thanks to the construction in the upper basin of the Da River of 3 large dams (Son La, Huoi Quang and Ban Chat) over the past decade. A diachronic analysis of Landsat images over 40 years (from 1973 to 2013) coupled to the RUSLE model and surveys of 500 households, have provided the opportunity to tackle the driving forces leading to land use change. Our study shows that large hydroelectric dams impel the "explosive" landscape transformations creating both an exceptional potential for development and situations with very high environmental and social risks. The HP dams, more than any other agricultural policy planning, induce significant redistributions of populations, and therefore lands. But this is done without fundamentally changing family structure and socio-economic behavior, but by reducing or strongly

complicating the access to natural resources (have good soil, water, ...). The risk of erosion are increased since the design of the dam project. Then impoundment increases this risk due to the annual cultivation of slopes. Terraces techniques is abandoned related to lack of water. In our study area, the average annual risk of erosion has increased by 8% only because of dams, but the spatial distribution of erosion risk is not homogeneous, and erosion can reach 10 ton/ha/yr in 50% of the study area. It was noted that land redistribution is strongly linked to the planning of dams, before any construction. Although the socio-economic support has been very much improved from the Vietnamese State, displaced and non-displaced farmers are still largely undergoing regional socio-spatial changes on-going. In spite of good government and international intentions, the lack of consultation at local level and the lack of knowledge in hydro-ecology remain major constraints to the success of environmental protection and equity between the concerned populations, two mandatory conditions for sustainability of hydroelectric dam projects. In conclusion, it appears that the successful implantation of a large hydroelectric dam is related to the ability of policymakers to understand the complex interactions between ecological and socio-economic systems.

Keywords: Hydropower dam, soil erosion, RUSLE model, pratiques sociospatial practices, interview, descriptive statistics, geospatial analysis, mountain, Vietnam

## **Avant-propos**

Depuis 2003, je suis affilié au réseau international de recherche “*Management of Soil Erosion Consortium*” - MSEC en Asie du Sud-Est. Ce programme vise à étudier les effets combinés du climat et des pratiques agricoles sur l'érosion et les bilans de l'eau en quantité et qualité au niveau du paysage, le long du versant, afin de proposer des recommandations pour un usage agricole durable des terres de pente en ASE.

Je suis très reconnaissant au Dr. TRAN DUC Toan - Institut de Recherche des Sols et des Fertilisants - SFRI et au professeur PHAM QUANG Ha - Institut de l'Environnement Agricole - IAE de m'avoir invité à participer à ce projet MSEC en collaboration avec des équipes scientifiques internationales, où j'ai pu rencontrer Dr. Didier ORANGE, Dr. Pascal PODWOJEWSKI, tous les deux de l'IRD, et Prof. Simon POMEL de l'Université de Bordeaux. Grâce à eux, j'ai pu faire mon Master à l'Université de Bordeaux.

Puis Dr. Didier ORANGE m'a invité à participer au projet “*Opportunities for economic incentives to promote sustainable land and water management in the sloping lands of South and Southeast Asia*” financé par The Federal Ministry for Economic Cooperation and Development – Germany (BMZ), dans le cadre d'une thèse sur financement IRD. Grâce à ce projet, j'ai rencontré professeur Dominique LAFFLY - Université de Toulouse et professeur PHAM VAN Cu - Université Nationale du Vietnam de Hanoi qui sont devenus mes directeurs de thèse.

Je tiens à remercier professeur Dominique LAFFLY, professeur PHAM VAN Cu et Dr. Didier ORANGE pour leur soutien, leur enthousiasme et disponibilité pour m'avoir aidé à construire ma réflexion scientifique et à réaliser cette thèse, malgré mes difficultés en langue française. Sans leur aide, je n'aurais jamais pu terminer ce travail.

Je voudrais remercier professeur Daniel WEISSBERG et la Convention Cadre de Partenariat entre la Région Midi-Pyrénées, l'Université de Toulouse II – Le Mirail

et l'AUF, projet de 4 ans (2009-2012) qui concernait l'appui à une meilleure connaissance du potentiel de la Province de Son La dans les domaines de la géographie, du tourisme et de la transition socio-économique. Sans ce projet, de nombreuses missions sur le terrain n'auraient pas été possibles.

## **Remerciements**

Tout d'abord, je tiens à exprimer mes plus profonds remerciements à l'institution IRD et à deux de ses chercheurs, Dr. Pascal PODWOJEWSKI et Dr. Didier ORANGE, qui ont été les premiers à me mettre sur les chemins de la recherche vers l'international.

Ce travail n'aurait pu aboutir sans le soutien des professeur Dominique LAFFLY et professeur PHAM VAN Cu qui ont accepté de le diriger. Leurs disponibilités pour les nombreuses rencontres de discussions et de réflexions avec le soutien de Dr. Didier ORANGE, a permis, par touches successives, un constant enrichissement des recherches menées.

J'exprime mes sincères remerciements aux membres du jury, Prof. Daniel WEISSBERG, Dr. Pascal PODWOJEWSKI, Prof. PHAM QUANG Ha, Dr. Didier ORANGE et Prof. MAI VAN Trinh pour avoir accepté de participer à l'examen de ce manuscrit.

Merci à toutes les personnes du laboratoire GEODE - UMR 5602 - CNRS - Université Toulouse Jean Jaurès pour leur gentillesse et leur bonne humeur.

Je ne saurais pas oublier tous mes amis en France qui m'ont aidé à passer les difficultés pendant les années d'études en France.

Un grand merci également au Gouvernement Vietnamien, au Gouvernement Français, à l'Ambassade de France à Hanoi, et l'IRD pour les bourses qui m'ont permis de poursuivre mes études en France.

Mes activités de terrain ont été financées par The Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) – Germany, dans le cadre du projet de recherche « Opportunities for economic incentives to promote sustainable land and water management in the sloping lands of South and Southeast Asia »

coordonné par l'IWMI avec le SFRI et l'IRD comme partenaires. Je les remercie ici grandement.

Et pour finir, je remercie énormément ma famille (mes parents, ma femme, mes fils et mes frères) qui m'ont aidé à passer les difficultés durant ces longues années d'études en France.

# SOMMAIRE

**Avant propos**

**Chapitre 1:** Introduction générale

**Première partie:** Aménagements hydroélectriques et pratiques agricoles au Nord Vietnam

- Ø **Chapitre 2:** Politique énergétique, aménagement du territoire et développement durable en zone de montagne
- Ø **Chapitre 3:** Impact des lacs de barrage sur la dynamique aval des flux d'eau et de matières en ASE
- Ø **Chapitre 4:** Présentation géographique de la zone d'étude et situation socio-économique actuelle

**Deuxième partie :** Approche régionale de l'érosion dans les zones hydro-électriques du Nord Vietnam

- Ø **Chapitre 5:** Rappels fondamentaux sur l'érosion et modélisation  
RUSLE
- Ø **Chapitre 6:** Analyse diachronique de l'érosion dans la Province de Son La depuis 1970

**Troisième partie :** Les pratiques sociospatiales dans le Nord du Vietnam et leurs évolutions

- Ø **Chapitre 7:** Techniques d'enquête et analyse de données pour caractériser les pratiques sociospatiales
- Ø **Chapitre 8:** Des évolutions liées aux politiques de barrages à l'échelle régionale

**Conclusion générale:** Des pratiques en pleine mutation à proximité des barrages

**Bibliographie**

**Tables**

**Liste des acronymes**

## Sigles

AFC: Analyse Factorielle des Correspondances

BMZ: Ministère Fédéral de la Coopération Economique et du Développement

DEM: Digital Elevation Model

EVN: Electricité du Vietnam

FAO: Food and Agriculture Organization

GHG: Greenhouse Gas

GIS : Geographical Information System

GPS : Global Positioning System

IAE: Institute for Agricultural Environment

IEA: Agence Internationale de l'Energie

IRD: Institut de Recherche pour le Développement

IWMI: International Water Management Institute

LAI : Leaf Area Index

Landsat MSS: Landsat Multi Spectral Scanner

Landsat TM: Landsat Thematic Mapper

Landsat ETM: Landsat Enhanced Thematic Mapper

Landsat 8 OLI: Landsat Operational Land Imager

MO: Matière Organique

MSEC: Management of Soil Erosion Consortium

NIAPP: The National Institute of Agricultural Planning and Projection

ONG: Organisations Internationales Non Gouvernementales

R/G: Red/Green

R/NIR: Red/Near Infra-Red

RGB: Red, Green, Blue

RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation

SFRI: Soils and Fertilizers Research Institute

UNDP: United Nations Development Program

USLE: Universal Soil Loss Equation

UTM: Universal Transverse Mercator

WCD: Commission Mondiale des Barrages

### **Abréviations**

Max: Maximum

Min: Minimum

Moy: Moyenne

### **Unités utilisées**

%: Pourcentage

cm: Centimètre

g/cm<sup>3</sup>: Gramme par mètre cube

ha: Hectare

kg/ha/an: Kilogramme par hectare par an

km: Kilomètre

m: Mètre

m<sup>2</sup>: Mètre carré

m<sup>3</sup>: Mètre cube

meq: Milligramme équivalent

mm: Millimètre

t/ha/an: Tonnes par hectare par an

# **Chapitre 1**

## **Introduction générale**

Depuis l'origine de l'humanité, la suprématie sur la gestion de l'eau est gage de pouvoir, tel Si Wenming qui devint le premier empereur de Chine (Yu Le Grand au 23<sup>me</sup> siècle avant J-C) pour avoir inventé les techniques d'irrigation qui permirent la maîtrise des fleuves et des lacs chinois. Les aménagements hydrauliques des cours d'eau et fleuves ont ainsi transformé les habitudes de vie et les paysages. Aujourd'hui encore, certains barrages millénaires sont toujours en fonction de part le monde, notamment le barrage de Cornalvo, dans le sud-ouest de l'Espagne, construit par les Romains en l'an 130 sur 220 m de long et 18 m de hauteur d'eau (Figure 1.1).

On le sait, les fleuves d'Asie sont très largement exploitées et aménagées depuis des temps immémoriaux, essentiellement pour l'usage agricole par irrigation et à partir d'innombrables petits lacs de barrage. Mais qu'en est-il des grands lacs de barrage pour la production d'énergie hydroélectrique ?



Figure 1. 1. Barrage de Cornalvo (Mérida, Espagne) construit par les Romains en l'an 130, avec une capacité de réservoir de 3 millions m<sup>3</sup>, toujours en activité.  
Source: Wikipédia.

De nos jours, la production d'énergie et d'eau potable sont devenus des prérequis nécessaires au développement de l'industrialisation et de l'urbanisation dans les plaines du Sud-Est asiatique, subissant depuis deux décennies une explosion démographique et économique (Fortunel et Gironde, 2011 ; Koninck et Rousseau, 2013). Pour répondre à cette demande, à la fois le secteur public et le secteur privé sont actuellement d'importants investisseurs dans la construction de grands barrages hydroélectriques sur de nombreuses rivières des régions asiatiques (King et al., 2007 ; McNally et al., 2009). Dans le même temps, les stratégies de réduction de la pauvreté mettent naturellement l'accent sur les régions de montagne où sont développées ces projets de barrage. Or les régions montagneuses ont tendance à recevoir peu d'avantages directs de la construction des barrages hydroélectriques (Duflo et Pande, 2007 ; Brown et al., 2008), alors que ceux-ci se trouvent la plupart du temps à l'intersection entre montagnes et plaines.

Aussi on s'interroge dans ce travail de thèse sur le paradigme suivant : est-ce que les barrages hydroélectriques pourraient positivement lier les deux régions, montagnes et plaines, en termes de développement économique et socio-

économique ? Comment les politiques de barrages hydroélectriques participent au développement des zones de montagne traditionnellement défavorisées ? Et sous quelles conditions ?

### **1.1- Développement économique et besoins d'énergie électrique : quelles conséquences sur les usages en montagne ?**

Lors des trois dernières décennies (depuis la fin des années 70), le Vietnam a connu sur tout son territoire d'énormes changements liés aux réformes agraires et à la croissance économique qui en a découlé (Geay et Dao The Tuan, 2000; Le Trong Cuc et Rambo, 2001; Tran Duc Vien et Rambo, 2001; Castella et Dang Dinh Quang, 2002; Tran Duc Vien, 2003; Tran Duc Vien et al., 2005; Castella et al., 2005; Cramb, 2005; Clement et al., 2007, 2009 ; Bach Tan Sinh, 2009; UNEP, 2010; Fortunel et Gironde, 2011; Hauswirth et al., 2012; Orange et al., 2012b; Koninck et Rousseau, 2013; Gironde et al., 2014). L'agriculture est passée d'un système agricole collectiviste géré par des coopératives à un système d'exploitations agricoles privées dirigées par des décisions individuelles. Le changement de la répartition des terres qui a suivi cette libéralisation économique s'est accompagné d'une importante augmentation de la productivité agricole et d'une diminution de la pauvreté (Le Trong Cuc et Rambo, 2001 ; Castella et Dang Dinh Quang, 2002 ; Cramb, 2005). Cependant, l'amélioration n'a pas été uniforme. Le développement économique dans les zones de pente (montagnes et collines du Nord Vietnam) a été plus lent (Tran Duc Vien, 2003), laissant encore aujourd'hui des régions où la pauvreté est toujours présente, comme particulièrement les provinces de Son La et Lai Chau (Le Trong Cuc et Rambo, 2001), et en général les provinces vietnamiennes frontalières (UNEP, 2010), bien que le développement économique des terres de pente ait été souvent placé comme prioritaire dans les programmes de soutien des décideurs, bailleurs et organisations internationales non gouvernementales (Le Trong Cuc et Rambo, 2001).

Or l'usage agricole des terres de pente est nécessaire pour le développement économique harmonieux du pays. En effet, le Vietnam compte aujourd'hui plus de 80 millions d'habitants et ne possède que 11 millions d'hectares de terres agricoles, faisant craindre la perte de capacité du pays à se nourrir, d'autant que le Vietnam est l'un des pays qui pourrait être le plus affecté par le changement climatique (Chaudhry et Ruyschaert, 2007 ; Dasgupta et al., 2007 ; Schmidt-Thome et al., 2015). L'augmentation de la température de l'air a été observée dans tout le Vietnam, de même qu'une amorce de changements des profils pluviométriques. Le total des pluies durant la saison des pluies augmentent, et surtout dans le Nord Vietnam le total des pluies décroît fortement lors de la saison sèche, ce qui pose d'ors et déjà d'importants défis pour la gestion de l'eau (Johnston et al., 2009). De plus, dans cette région du monde, le Fleuve Rouge, tout comme la Pearl River, n'a pas de composante hydrologique correspondant à la fonte des neiges en provenance de la chaîne himalayenne, à l'opposé du Mékong, et qui permettrait de faire contre-balance. Aussi depuis les années 1950, il est noté une diminution du débit moyen annuel du Fleuve Rouge (He et Liu, 2001 ; Dang Thi Ha et al., 2012).

Dans le même temps, le formidable développement économique du Vietnam de ces 20 dernières années a conduit ce pays à être importateur d'électricité depuis une dizaine d'années. Aussi étant donné le potentiel hydroélectrique majeur de ses nombreuses zones montagneuses, il était normal que le Vietnam exploite au plus vite ce potentiel. Et au-delà de cela, on peut penser le Vietnam puisse être considéré comme un futur grand producteur d'hydroélectricité dans la région. En effet, le potentiel hydroélectrique est estimé à environ 20 600 MW, dont seulement 20% (4 200 MW) étaient développés en 2008 (Bach Tan Sinh, 2009). Les projections indiquent que près de 13 000 MW de nouveaux barrages hydroélectriques seraient ajoutés d'ici 2020, ce qui représenterait environ 85% du potentiel hydroélectrique du Vietnam (Dao, 2010). En moyenne, la demande

d'électricité croît entre 13 et 15% par an, associée à la demande croissante des ménages, du secteur industriel et également des exportations. Il est prévu que cette croissance se poursuive au Vietnam au cours des 20 prochaines années (King et al, 2007). Au Vietnam, il y a actuellement plus de 50 barrages hydroélectriques en exploitation. Ils sont principalement situés dans le Centre-Sud (sur les rivières Da, Sesan et DongNai) et dans le Nord (principalement dans le bassin versant du Fleuve Noir ou Da River, principal affluent du Fleuve Rouge). Dans le bassin du Da, trois grands barrages hydroélectriques sont construits ou en cours de construction :

- En 1994, la centrale hydroélectrique de Hoa Binh a été inaugurée avec 8 turbines et une capacité de 1920 MW (Figure 1.2).



*Figure 1. 2: Barrage hydroélectrique de Hoa Binh (source : google images)*

- En 2005, le barrage hydroélectrique de Son La a commencé sa construction, il sera équipé de 6 turbines avec une capacité de 2400 MW (Figure 1.3).



Source : <http://www.vncold.vn>

Photo : Nguyen Van Thiet 2010

Figure 1. 3: Barrage hydroélectrique de Son La

- En 2011, la construction du barrage hydroélectrique de Lai Chau a commencé, avec une capacité de 1200 MW (Figure 1.4).

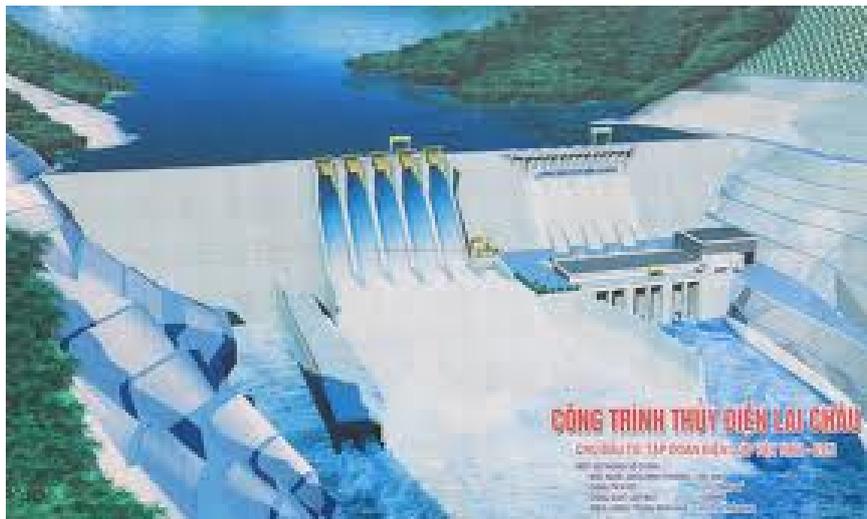


Figure 1. 4: Barrage hydroélectrique de Lai Chau (source : Electricité du Vietnam - EVN)

Au-delà de ces trois grands barrages hydroélectriques sur la Da River, deux barrages hydroélectriques ont débuté leur construction en 2006 sur la rivière de Nam Mu (Mu River), affluent principal de la Da River etprenant sa source dans la cordillère Hoang Lien Son dont le point culminant est le mont Phan Si Pan à 3143 m d'altitude (point culminant d'Asie du Sud-Est) :

- le barrage hydroélectrique de Ban Chat avec 2 turbines et une capacité de 220 MW (Figures1.5 et 1.6) ;



*Figure 1. 5: Planification du barrage hydroélectrique de Ban Chat. Source : LICOGI 13*



*Figure 1. 6: Construction du barrage hydroélectrique de Ban Chat.  
Source : Nguyen Van Thiet, mission 2010.*



*Figure 1. 7: Chantier de construction du barrage hydroélectrique de Huoi Quang  
Source: Nguyen Van Thiet (mission 2010)*

- et le barrage hydroélectrique de Huoi Quang avec 2 turbines et une capacité de 520 MW (Figure 1.7).

Dans les zones montagneuses d'Asie du Sud-Est, les fortes intensités d'érosion des sols sont souvent reliées à des situations de pauvreté manifestes (Tran Duc Vien et Rambo, 2001 ; Tran Duc Vien et al., 2005 ; Lestrelin et Giordano, 2006). De plus, cette érosion a un impact direct sur les revenus des agriculteurs de montagne en termes de perte de productivité du sol, mais aussi sur les utilisateurs d'eau en aval, à l'exemple des utilisateurs des lacs de barrage : ce sont par exemple les sédiments qui réduisent la durée de vie du réservoir, qui réduisent la capacité de production d'énergie et la capacité de prévention des inondations, et qui, a contrario, augmentent les coûts de traitement des eaux et de gestion du barrage, autant d'impacts négatifs (e.g. Klaver et al., 2007 ; Dang Thi Ha et al., 2009), aussi bien environnementaux, économiques et sociaux, et qui fragilisent les investissements hydroélectriques (Trussart et al., 2002).

Par ailleurs, les deux dernières décennies ont vu des financements importants et de nombreux projets pour le développement de l'agriculture et la lutte contre la pauvreté dans le Nord Vietnam (Le Trong Cuc et Rambo, 2001 ; Tran Duc Vien et al., 2005 ; Hauwith et al., 2012). Il s'agit souvent de travailler avec les agriculteurs dans les zones montagneuses afin d'améliorer la conservation des eaux et des sols et leur productivité (Bossio et Geheb, 2008 ; Hauswirth et al., 2012), et en conséquence pour réduire l'érosion (Valentin et al., 2008). Toutefois, les solutions technologiques directes et les efforts pour changer les systèmes agricoles ont toujours montré des taux d'adoption particulièrement bas, voire conduits à des taux de réussite quasi-nuls (Sanders et al., 1999 ; Drechsel et al., 2005 ; World Bank, 2008 ; Orange et al., 2008a ; Clement et al., 2009 ; Clement et Amezaga, 2009 ; Orange et Noble, 2010).

On connaît en effet les difficultés d'appropriation des techniques culturelles et/ou des changements d'usages (Sanders et al., 1999 ; Lestrelin et Giordano, 2006 ;

Orange et al., 2008b; George et al., 2009). Ainsi, l'intensification et la densification de l'usage des terres de pente ont conduit à des impasses environnementales, malgré les programmes techniques de soutien aux politiques d'agriculture de conservation car le succès de ces initiatives est rarement celui escompté (Orange et al., 2008b ; Clément et Amezaga, 2009), aussi bien en ce qui concerne l'amélioration des conditions de vie que les bénéfices environnementaux (Sunderlin et Huynh Thu Ba, 2005; World Bank, 2008 ; Valentin et al., 2008 ; Suhardiman et al., 2013).

## **1.2- Un nouveau paradigme en question concernant le développement des grands barrages hydroélectriques et l'usage des terres de montagne**

Les contraintes expliquant la dynamique d'usage des terres peuvent être regroupés en quatre catégories (Turner et al., 1995):

- Ø les forces qui influent sur la demande pour certains types d'utilisation des terres, tels que la pression démographique et les habitudes alimentaires ;
- Ø (ii) les forces qui contrôlent l'intensité de production telles que l'introduction de nouvelles technologies;
- Ø (iii) les forces qui sont liés à l'accès ou au contrôle des ressources foncières; et
- Ø (iv) les forces qui créent les incitations qui motivent les décideurs individuels tels que la politique et l'adoption de croyances et de comportements.

In fine, la dynamique des usages est formée par l'interaction de ces forces en lien avec les contextes environnementaux, historiques et sociaux spécifiques de la région (Lambin, 2004 ; Clément et al., 2007 ; Ostrom, 2010 ; Orange et al., 2012a). La dynamique d'usage des terres est donc le résultat d'une interaction complexe de ces forces à la fois globales et locales avec la répartition spatiale des

paramètres environnementaux et sociaux. Aussi il est important de connaître les inter-relations entre ces différents facteurs afin de pouvoir établir des scénarios prédictifs de futurs possibles changements d'usage des terres. C'est ce que ce travail de thèse s'est attaché à faire en questionnant un nouveau paradigme concernant l'usage des terres de montagnes au Nord Vietnam à la faveur du développement des grands barrages hydroélectriques.

En effet, bien que l'ère de la construction des grands barrages hydroélectriques des années 90 soit toujours largement sous la coupe de la grande controverse entraînée par la charte environnementale publiée par la Commission Mondiale sur les Barrages (WCD, 2000), les barrages hydroélectriques restent encore aujourd'hui une alternative majeure souvent proposée à l'échelle mondiale, et en particulier en Asie du Sud-Est (Duflo et Pande, 2007 ; Dao, 2010). Ainsi du fait des besoins en énergie, le fort développement des barrages hydroélectriques posent des défis majeurs pour l'environnement, l'écologie et les sociétés humaines, à la fois autour des lacs de barrage, en amont et en aval du barrage construits, tels que la déforestation, la rupture écologique des habitats, le déplacement des populations, les changements de vie économique et du paysage (McCartney, 2009).

A contrario, il est aujourd'hui supposé que les barrages hydroélectriques pourraient représenter une alternative positive au développement durable des zones de montagne, aussi bien pour les aspects économiques qu'environnementaux et sociaux (Brown et al., 2008; Bohlen et Lewis, 2009). Par ailleurs, il se trouve que ce paradigme est une exigence absolue pour améliorer notre capacité à prévenir les dérives socio-économiques et environnementales que les barrages hydroélectriques mal gouvernés peuvent apporter au nom de la seule rentabilité économique (Sternberg, 2008).

Il existe donc un besoin urgent de reformulation de la relation socio-économique et environnementale entre la plaine et les hautes terres. La nouvelle vague de

construction de barrages dans la région (ADB, 2008 ; Liu et He, 2012) peut être vue comme une occasion de répondre à ce besoin. Les barrages hydro-électriques seraient des générateurs à long terme de flux de revenus qui peuvent être exploitées à faible coût de transaction pour l'action en amont et la distribution en aval (Brown et al., 2008; Bohlen et Lewis, 2009). Les avantages de la modification des pratiques en amont sur les flux de revenus pourraient être clairement identifiés. Et les barrages fourniraient alors une interface concrète de négociation entre les acteurs amont et aval, et qui servirait de plateforme pour le dialogue des parties prenantes. Tel est l'objectif premier du projet de recherche international HYPI (Hydropower and Incentives), dans le cadre duquel ce travail de thèse a pu être réalisé (Giordano et al., 2009 ; Nguyen Van Thiet et al., 2011).

Ainsi les régions de petites montagnes du Nord-Ouest Vietnam, qui sont aussi les zones prioritaires des politiques de réduction de la pauvreté, devraient pouvoir bénéficier d'effets positifs directs liés à la construction des barrages. Mais pour répondre à la demande sociétale exigeant des solutions pour une bonne gouvernance, il reste encore à réfléchir sur l'adéquation entre attentes politiques, solutions technologiques possibles, développement économique et stratégies individuelles (Clément, 2010 ; Orange et al., 2012b). L'exemple des provinces de Son La et Lai Chau, qui couvrent la majeure partie du bassin versant amont de la Da River, a été choisie du fait de la construction en cascade dans le temps et dans l'espace de 4 grands barrages hydroélectriques, tous situés à l'amont du vieux barrage de Hoa Binh (Figure 4.8). Cette étude a pu être réalisée avec la collaboration nécessaire des autorités vietnamiennes locales, du fait de l'existence de la Convention Cadre de Partenariat entre la Région Midi-Pyrénées, l'Université de Toulouse II – Le Mirail et l'AUF. Ce projet de 4 ans (2009-2012) concernait l'appui à une meilleure connaissance du potentiel de la Province de Son La dans les domaines de la géographie, du tourisme et de la transition socio-économique.

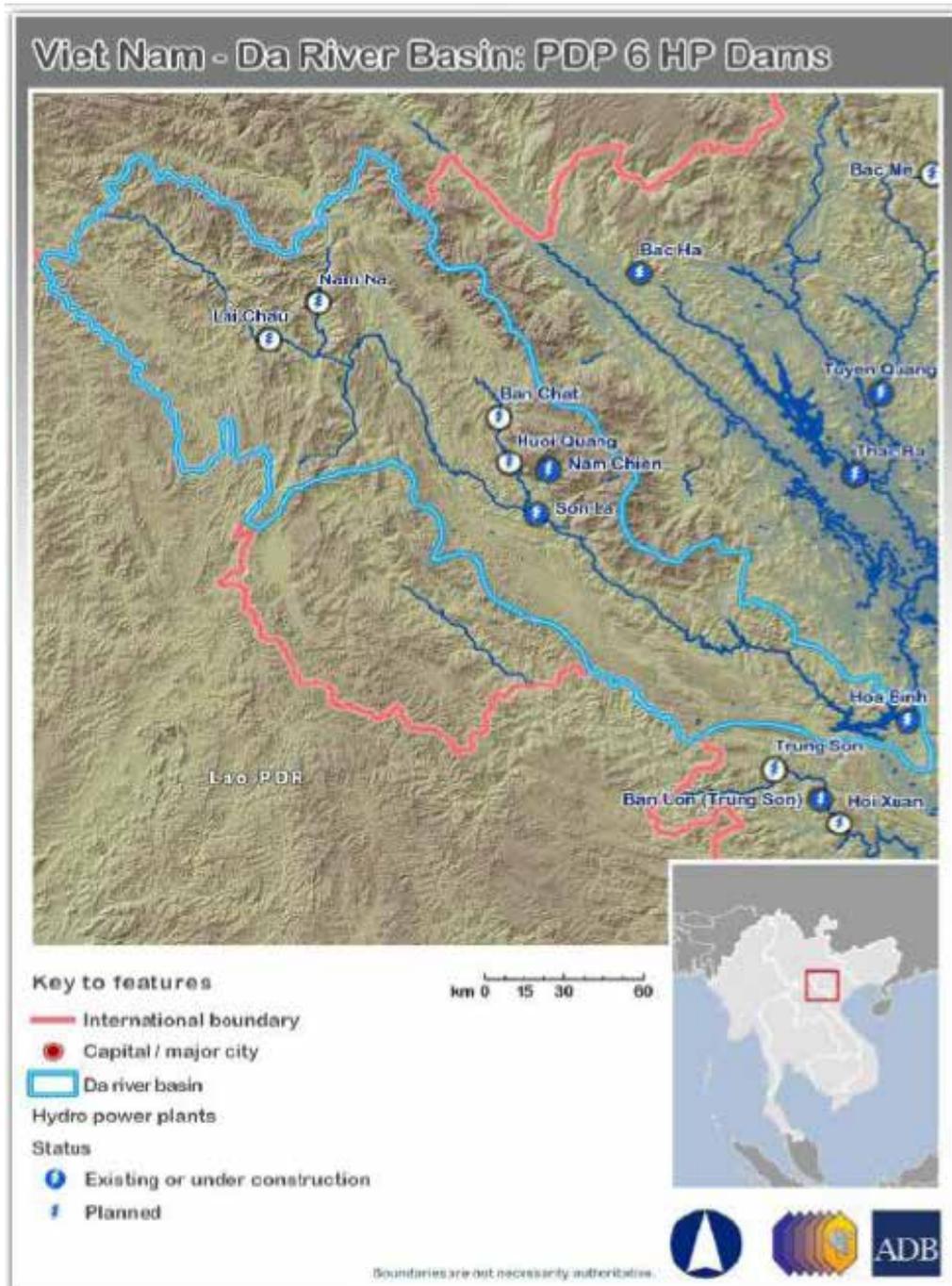


Figure 1. 8: Localisation des barrages hydroélectriques dans le bassin du Da

Pour comprendre et évaluer l'évolution des paysages, l'observation est nécessaire mais reste contrainte par la complexité des systèmes étudiés. En fait, la difficulté de la mesure in-situ et les limites de l'échantillonnage et de l'enquête correspondent de facto à des mesures partielles, non représentatives de l'ensemble des hétérogénéités temporelles et spatiales. L'apport de la géomatique

est un outil essentiel pour résoudre ces problèmes (Pham Van Cu, 2008 ; Laffly et Handschumacher, 2005 ; Laffly, 2009; Orange et al., 2008a). Le couplage entre géomatique et des approches de vérité-terrains basées à la fois sur de la mesure environnementale (d'indicateurs physiques, chimiques, biologiques ou écologiques), de l'enquête et de l'expérimentation sociales dans des zones pilotes, est un défi que nous avons essayé de relever dans ce travail de thèse.

Dans ce contexte d'une approche scientifique forcément pluri-disciplinaire, nos travaux se sont attachés à comprendre comment, d'une part, les politiques de développement de barrages hydroélectriques, et d'autre part, les mises en place de ces barrages avaient pu impacter les dynamiques de changement d'usage des terres, les dynamiques sociales et socio-économiques, à la fois à l'échelle de la province, des communes et des familles, ces dernières étant considérées comme la plus petite entité économique. Nos trois questions majeures de recherche concernent donc:

- Quels sont les facteurs d'impact des politiques de développement des barrages hydroélectriques sur les changements d'utilisation des terres et leur conséquence sur les processus d'érosion ?
- Quels sont les facteurs d'impact sur la structure des communautés familiales et leurs stratégies de vie, notamment après leur relocalisation liée à la construction des barrages hydroélectriques ?
- Comment développer des mécanismes de gouvernance (et lesquels ?) pour transformer l'intérêt économique régional potentiel des barrages hydroélectriques en atout pour une gestion positive environnementale et socio-économique aux bénéfices des sociétés rurales des zones de montagne concernées ?

Pour répondre à ces questions, le manuscrit qui suit est divisé en trois parties :

- Ø la première partie présente la dynamique des aménagements hydroélectriques en Asie du Sud-Est et l'état actuel des pratiques agricoles (chapitre 2), une revue bibliographique sur l'impact des grands barrages sur les flux d'eau et de matières en Asie du Sud-Est (chapitre 3), et enfin la présentation géographique de la zone d'étude à la faveur de laquelle on fera une synthèse de la situation socio-économique actuelle après la mise en route du barrage de Son La et de ses deux satellites Huoi Quang et Ban Chat (chapitre 4) ;
- Ø la deuxième partie fait le point sur les rappels fondamentaux des mécanismes de l'érosion pour introduire le modèle RUSLE et sa calibration pour la situation hydro-climatique actuelle dans le Nord-Ouest Vietnam (chapitre 5), puis on discutera de la dynamique de l'érosion de la zone d'étude au cours de ces 40 dernières années par une approche diachronique, couplant les apports de la télédétection, du SIG et de la modélisation (chapitre 6) ;
- Ø la troisième partie introduit les techniques d'enquête et d'analyse des données géo-spatialisées (chapitre 7) pour quantifier les évolutions sociospatiales liées aux politiques de barrage à l'échelle régionale et locale (chapitre 8).

## Première partie

# Aménagements hydroélectriques et pratiques agricoles au Nord Vietnam



*Réservoir du barrage de Huoi Quang*



## Introduction

Comme nous l'avons présenté en introduction générale, la demande en électricité au Vietnam augmente d'environ 15% par an du fait du rapide développement économique du pays depuis une dizaine d'années. Cette demande devrait encore augmenter jusqu'à l'horizon 2050. Les deux principales sources d'énergie pour le Vietnam sont actuellement le thermoélectrique et l'hydroélectrique. Le potentiel hydroélectrique du Vietnam se concentre dans la zone montagneuse du Nord Vietnam et est encore largement sous exploité.

Par ailleurs, la ressource en sol des pentes du Nord Vietnam est menacée du fait de la pression démographique croissante, conduisant à une forte déforestation pour l'extension des terres cultivées sur pente, et induisant de fait de fort risques d'érosion. D'autre part, bien que le gouvernement du Vietnam ait placé durant ces dernières années les zones de montagne comme prioritaires pour les programmes de développement socio-économique, cette évolution est très lente et inégale.

Cette première partie se propose de faire le point sur la situation socio-économique et environnementale actuelle à la faveur de la mise en route des barrages de Son La, Huoi Quang et Ban Chat. Le chapitre 2 décrit la politique énergétique du Vietnam en se focalisant sur la production hydroélectrique. On discutera des conséquences de cette politique sur l'aménagement du territoire, et on se posera la question du développement durable en zone de montagne en ASE. Le chapitre 3, à partir d'une étude bibliographique, s'attachera à discuter de l'impact des lacs de barrage sur la dynamique actuelle des flux d'eau et de matières en ASE. Enfin le chapitre 4 qui conclue cette partie, présentera la géographie de la zone d'étude et sa situation socio-économique.



## **Chapitre 2**

# **Politique énergétique, aménagement du territoire et développement durable en zone de montagne**

### **2.1- Politique énergétique et aménagement hydroélectrique au Vietnam**

Le Nord-Ouest du Vietnam est une région possédant un riche potentiel hydroélectrique du fait de son relief montagneux. Cette région joue un rôle important pour fournir l'énergie nécessaire au développement économique du pays. Selon la planification de l'électricité PDP VI (la décision n° 110/2007/QĐ-TTg daté le 18/7/2007)<sup>1</sup> par le gouvernement vietnamien, cette région est considérée comme une zone hydroélectrique majeure comportant les plus grands barrages hydroélectriques du pays: le barrage hydroélectrique de Hoa Binh, le barrage hydroélectrique de Son La, le barrage hydroélectrique de Lai Chau, le

---

<sup>1</sup>Décision n° 110/2007/QĐ-TTg « Approuver le plan national du développement d'électricité période 2006 – 2015, compté 2020 »

barrage hydroélectrique de Huoi Quang et le barrage hydroélectrique de Ban Chat (Figure 2.1).

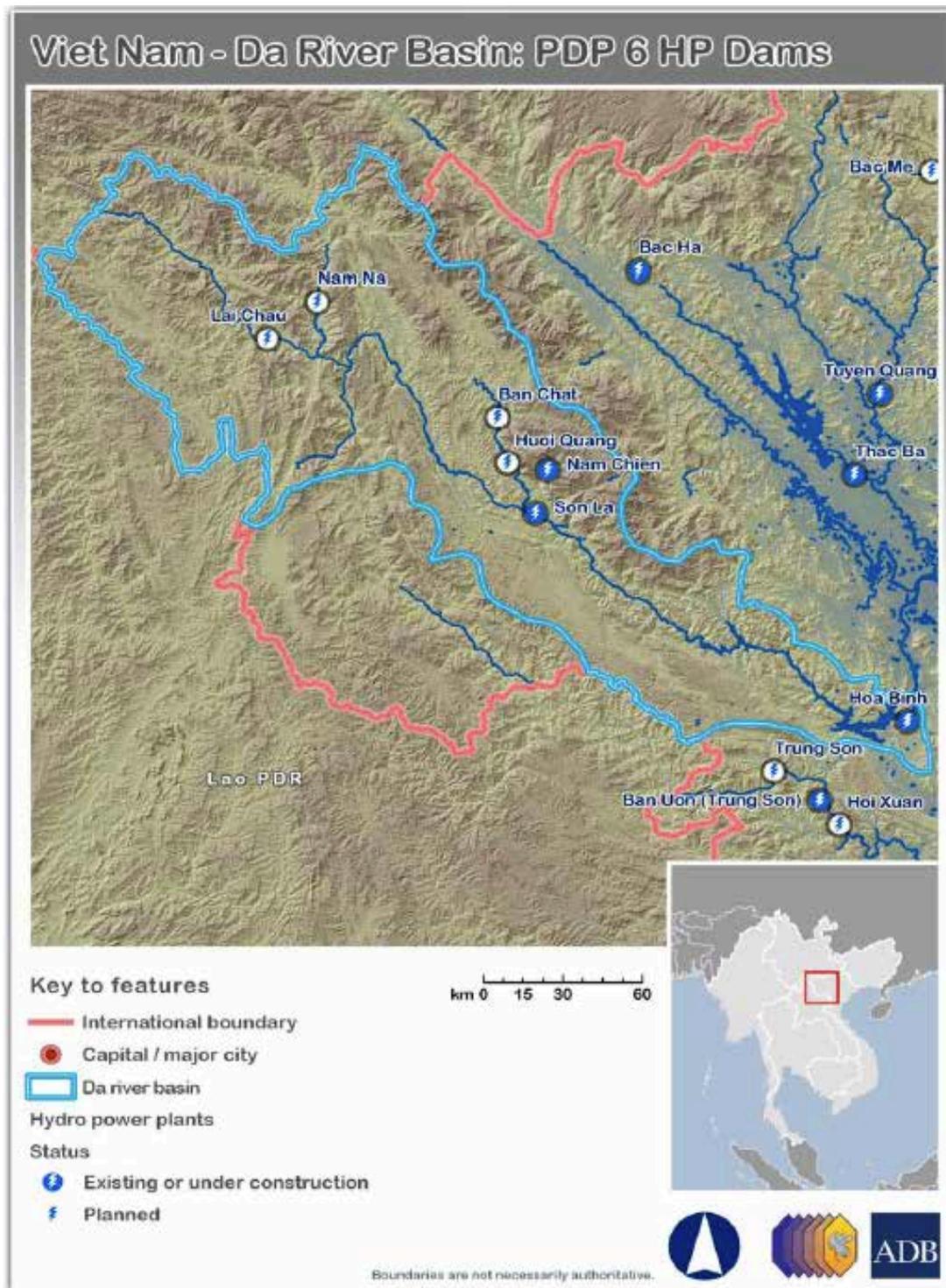


Figure 2. 1: Carte de localisation des 6 projets de barrages hydroélectriques prévus dans le bassin de la Da, situation en 2008 d'après World Bank (2009). Aujourd'hui 3 des 4 barrages planifiés sont en construction: Huoi Quang, Ban Chat et Lai Chau.

Selon les projections publiées (Nguyen Khac Nhan, 2014), le Vietnam aurait besoin d'environ 75 000 MW d'électricité en 2020 et de 150 000 MW en 2030. Mais, la capacité totale des centrales électriques (thermiques, hydroélectriques et énergies renouvelables) du Vietnam était de seulement 26 000 MW à la fin des années 2000 (EVN, 2010). Aussi en 2011, une nouvelle planification de la production d'électricité a été approuvée par le gouvernement Vietnamien (décision n° 1208/QĐ-TTg daté le 21/7/2011, planification d'électricité PDP VII)<sup>2</sup> pour répondre aux besoins du développement socio-économique du pays. La planification d'électricité PDP VII est basée sur une croissance de la demande d'énergie de 17%/an, augmentation nécessaire pour maintenir une croissance socio-économique du pays de 8,5 à 9%/an. Le PDP VI prévoyait un triplement des capacités d'ici 2025 (Tableau 2.1) avec une augmentation des capacités dans toutes les sources d'énergie, et notamment avec l'apparition du nucléaire avec 14 réacteurs prévus d'ici 2030. Cependant en 2014, le programme de construction du nucléaire a été reporté à 2020. Aussi le PDP VII a dû revoir à la baisse la planification en fonction des possibles (Tableau 2.2).

Tableau 2. 1: Planification PDP VI de l'augmentation de la production électrique sur la période 2011-2025 (adapté de World Bank, 2009)

Source d'énergie	Capacité totale en 2010 (MW)	Capacité totale en 2025 (MW)	Augmentation 2011-2025 en MW	% d'augmentation
Hydroélectrique	9 412	20 306	10 894	116%
Thermique Charbon	6 595	36 290	26 695	405%
Thermique Gaz	9 072	17 224	8 152	90%
Thermique Huile	472	2 400	1 928	408%
Nucléaire	0	8 000	8 000	--
Importation (Hydro)	658	4 628	3 970	600%
<b>Total</b>	<b>26 209</b>	<b>88 848</b>	<b>62 639</b>	<b>240%</b>

<sup>2</sup>Décision n° 1208/QĐ-TTg « Approuver le plan national du développement d'électricité période 2011 – 2020, compté à 2030 »

Tableau 2. 2: Planification PDP VII de l'augmentation de la production électrique sur la période 2011-2030 (adapté de Nguyen Ngach Khan, 2014)

Source d'énergie	Capacité totale en 2010 (MW)	% de production en 2010	Capacité totale en 2020 (MW)	% de production en 2020	Capacité totale en 2030 (MW)	% de production en 2030
Hydroélectrique	9 412	37%	17 400	24%	17 400	12%
Thermique Charbon	6 595	25%	36 000	50%	75 000	53%
Thermique Gaz	9 072	35%	10 400	15%	11 300	8%
Thermique Huile	472	2%	2 000	3%	6 000	4%
Nucléaire	0	0%	0	0%	10 700	8%
Energies Nouvelles (1)	800	3%	3 300	5%	13 900	10%
Importation (Hydro)	658	3%	2 200	3%	7 000	5%
<b>Total</b>	<b>27 009</b>	<b>100%</b>	<b>71 300</b>	<b>100%</b>	<b>141 300</b>	<b>100%</b>

(1) Biomasse, Eolien et Pompage

La nouvelle planification prévoit un doublement des capacités de production hydroélectrique d'ici 2020 (Tableau 2.2). En 2020, le parc hydroélectrique sera à son apogée.

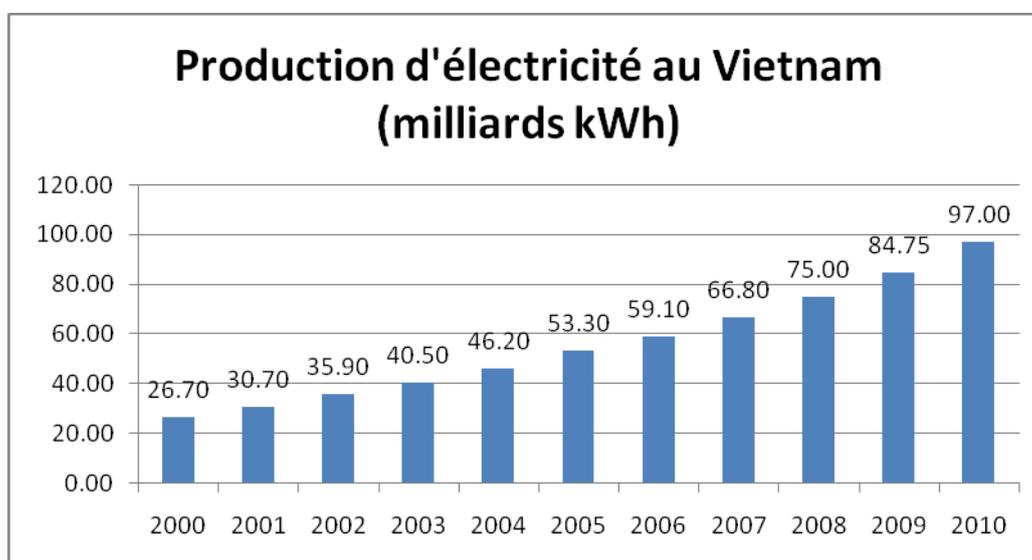


Figure 2. 2: Production d'électricité au Vietnam de 2000 à 2010. Source : EVN (2010).

Selon le rapport de l'Electricité du Vietnam, la production d'électricité en 2010 a atteint 97 milliards kWh (Figure 2.2). En 2010, 100% des communes

vietnamiennes sont connectées au réseau électrique et 90-95% des foyers du monde rural sont alimentés en électricité avec des tarifs préférentiels.

Pendant 10 ans, la production d'électricité au Vietnam a augmenté chaque année, pour avoir été multipliée plus de quatre fois en 10 ans (Figure 2.2). Donc, la production d'énergie au Vietnam est encore aujourd'hui considérée comme un facteur limitant du développement économique du pays. Elle mobilise beaucoup d'attention de la part de l'État (cf. Vietnam News, July 2009, Figure 2.3). Ces dernières années, le taux de croissance et de consommation d'électricité du Vietnam est plus en plus élevé et le taux de croissance d'énergie est double du PIB.



Figure 2. 3: Le Premier ministre Nguyen Tan Dang rappelled l'obligation de la politique des barrages hydroélectriques pour le maintien de la croissance économique au Vietnam (Vietnam News, Juillet 2009).

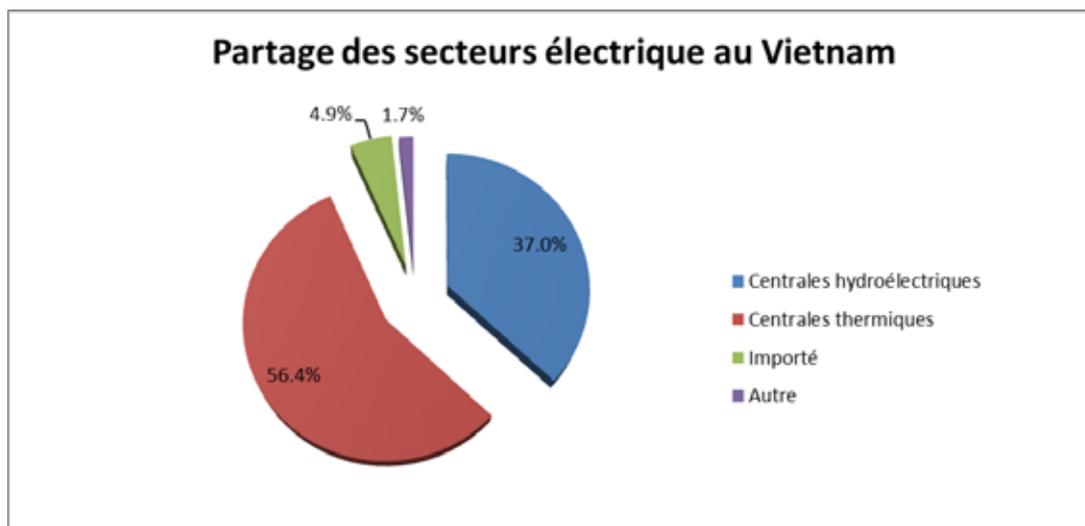


Figure 2. 4: Partage des secteurs électrique au Vietnam en 2010. Source : EVN (2010)

Actuellement au Vietnam, la production d'électricité se partage principalement entre la production thermique (56% de la consommation nationale en 2010) et la production hydroélectrique représentant 37% de la consommation nationale en 2010 (Figure 2.4 et Tableau 2.2), soit environ 36 milliards kWh/an. Le PDP VI estime les besoins à plus de 64 milliards kWh/an en 2025. La disponibilité en énergie renouvelable (mini-hydraulique, géothermique, éolien, biomasse, solaire) au Vietnam est estimée à un potentiel total 12 milliards kWh/an, dont 8,3 milliards de kWh/an proviennent de la mini-hydraulique et dont uniquement 72% peuvent être destinés à la production d'électricité (World Bank, 2009). Ces chiffres sont petits en comparaison de la génération électrique prévue à partir des ressources hydroélectriques. Tout cela souligne l'importance des barrages hydroélectriques pour le développement de la production électrique du Vietnam dans le futur.

Les réserves techniques et économiques hydroélectriques du Vietnam concernent 9 systèmes fluviaux majeurs (SWECO, 2005), parmi lesquels la capacité hydroélectrique installée du bassin de la Da (ou Rivière Noire) est largement supérieure aux autres bassins (Table 2.3 et Figure 2.5).

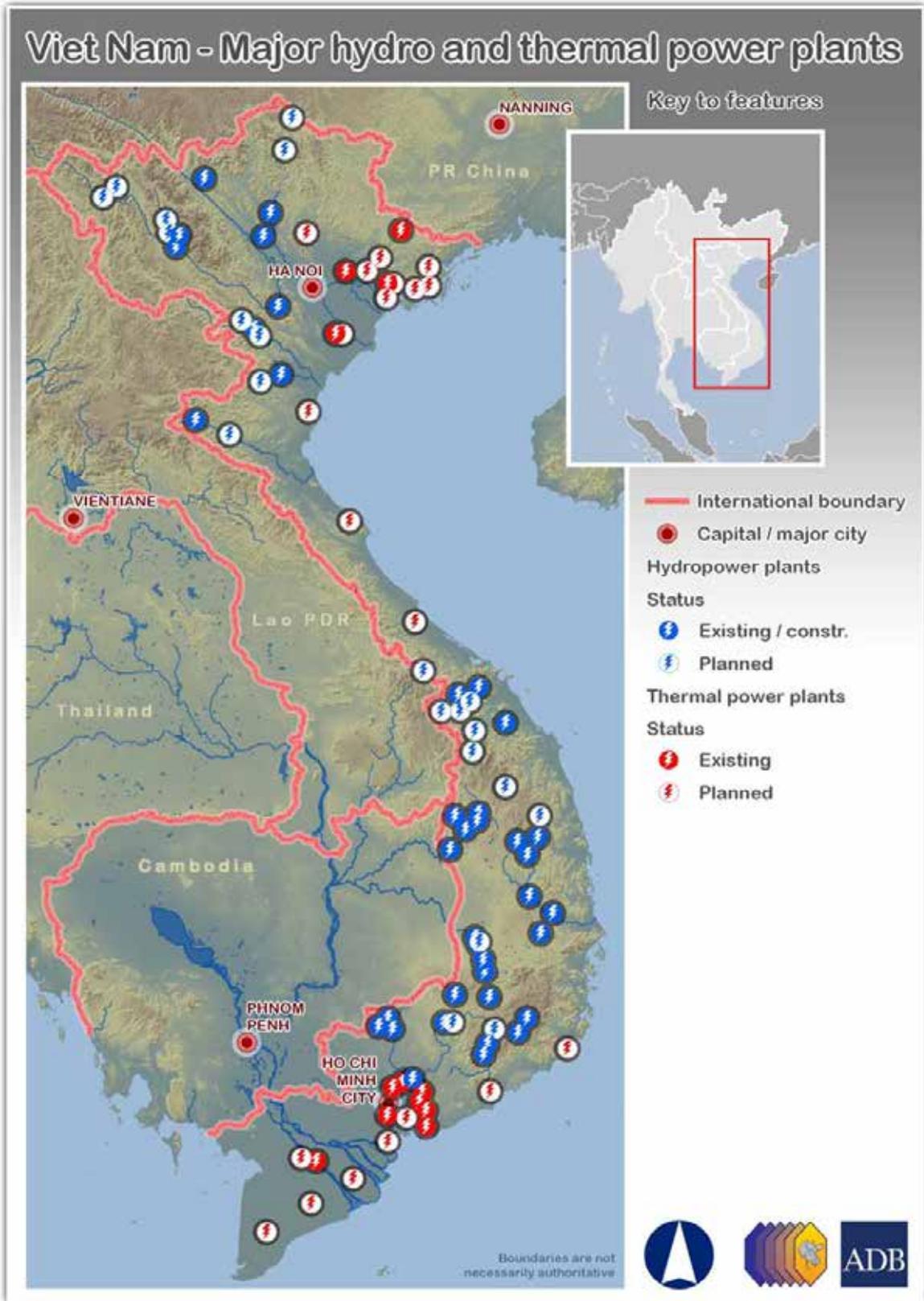


Figure 2. 5: Carte de répartition des plus importantes (existantes et planifiées) centrales hydroélectriques et thermiques au Vietnam selon le PDP VI.  
 Source : World Bank (2009).

Cette importance de la zone Nord dans la production d'électricité sera largement augmentée dans les années à venir du fait du scénario de développement des barrages hydroélectriques retenues dans le Plan VI (World Bank, 2009), comme l'indique la Figure 2.6. A terme, la rivière Noire représentera près de 50% de la production électrique du parc hydroélectrique vietnamien (Tableau 2.3).

Tableau 2. 3: Planification hydroélectrique dans les systèmes fluviaux au Vietnam

Rivière	Capacité installée (MW)	% capacité/rivière	Production moyenne/an (E <sub>0</sub> /an), (million kWh)
Rivière Lo – Gam - Chay	1 089	7,6%	4 025
Rivière Noire (Da River)	6 756	<b>47,4%</b>	30 690
Rivière Ma	1 087	7,6%	4 000
Rivière Ca	416	2,9%	1 484
Rivière Huong (parfume)	284	2,0%	1 315
Rivière Vu Gia – Thu Bon	1 359	9,5%	4 965
Rivière Tra Khuc	135	0,9%	625
Rivière Se San	669	4,7%	2 600
Rivière Ba	1 796	12,6%	7 320
Rivière Serepok	650	4,6%	2 850
<b>Total Grand Barrage</b>	<b>14 241</b>	<b>100%</b>	
Petite hydraulique	3 200		
<b>Grand Total</b>	<b>17 400</b>		

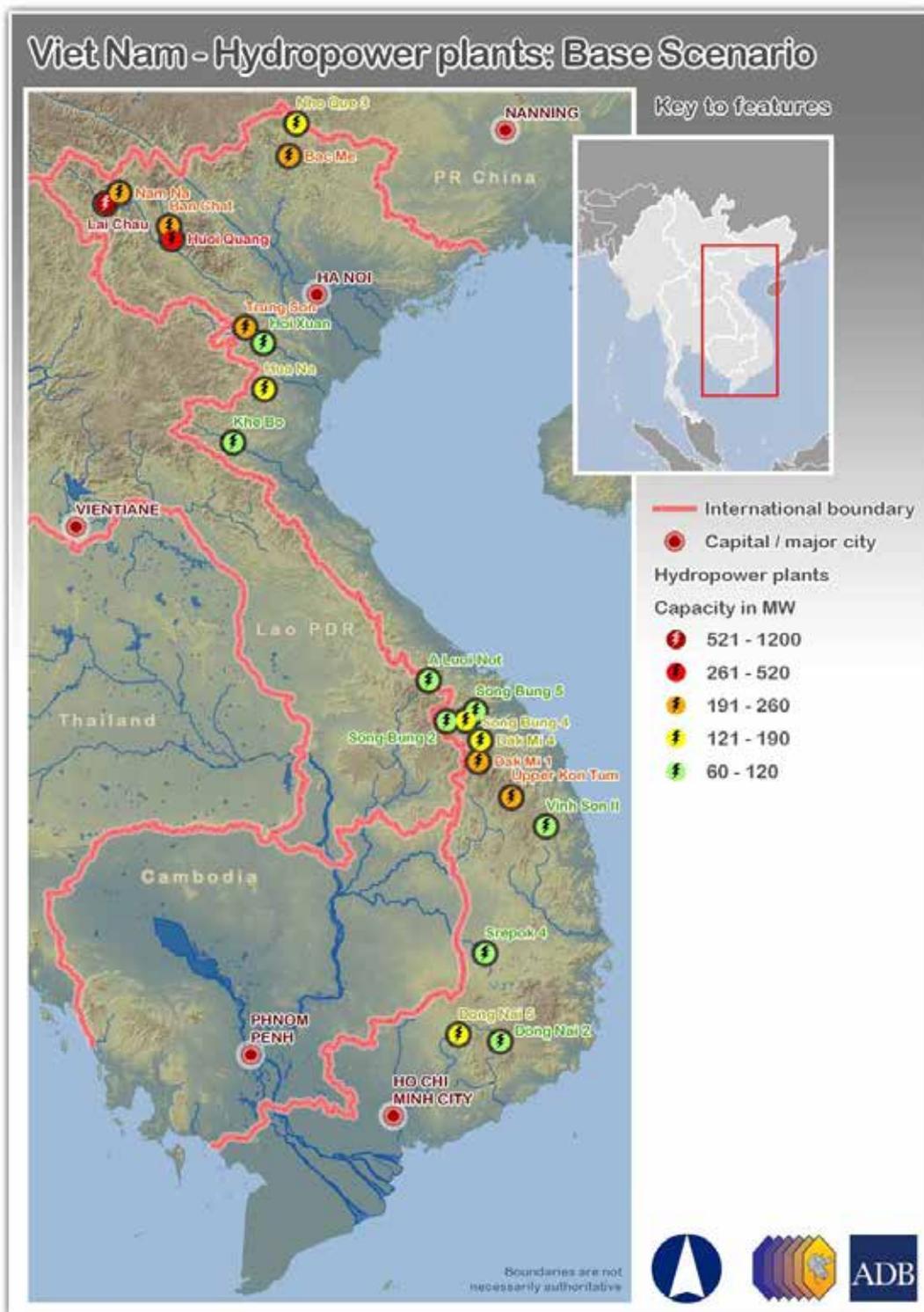


Figure 2. 6: Carte de répartition des capacités hydroélectriques en MW prévus dans le scénario du PDP VI. Source : World Bank (2009).

Sur la période 2006-2010, les investissements de l'Etat Vietnamien ont permis l'installation d'un supplément de production de 5 500 MW, à partir des trois projets prioritaires que sont: Quang Tri, Son La et Cua Dat. Actuellement, 2 300

MW supplémentaires sont en construction (Tableau 2.4), avec notamment 1 940 MW pour les 3 barrages sur l'amont du Da: Ban Chat, Huoi Quang et Lai Chau (Figure 2.6).

En addition, 51 autres barrages sont listés sur les crédits d'Etat en partage avec des investissements privés (World Bank, 2009). Les ressources hydrauliques du Vietnam sont donc relativement abondantes. Son potentiel hydroélectrique est comparable à celui de la France (Tableau 2.5). Aujourd'hui le potentiel de développement de l'énergie hydroélectrique est de 28 milliards de kWh.

Tableau 2. 4: Etat des projets hydroélectriques en 2010 (adapté de Nguyen Khac Nhan, 2014)

Etat des projets hydroélectriques	Capacité installée MW
En opération	9 412
En construction	2 296
Planifié sur 2011-2020	5 692
<b>Total capacité</b>	<b>17 400</b>

Tableau 2. 5: Potentiel hydroélectrique comparé du Vietnam (adapté de Nguyen Khac Nhan, 2014)

Potentiel (TWh)	Vietnam	France	Monde
Exploité (2013)	57	76	3 700
Economique	85	80	8 000
Technique	110	100	15 000
Théorique ou sauvage	300	270	48 000

## 2.2- Exemple du projet du barrage hydroélectrique de Huoi Quang

Notre étude a spécifiquement choisi de travailler sur le projet hydroélectrique de Huoi Quang (période de construction de 2008 à 2014) dans le bassin de la Da (rivière Noire) sur la rivière Mu. La production d'électricité de la centrale hydroélectrique de Huoi Quang, avec une puissance installée de 520 MW, devrait produire  $1868.10^6$  kWh/an. Le barrage hydroélectrique de Huoi Quang a été approuvé par le Premier ministre en 2002 et a été re-confirmé comme un axe national prioritaire en 2008. La centrale hydroélectrique de Huoi Quang est située sur la rivière Mu, un affluent de la rivière Da (Figure 2.7). Le réservoir de Huoi

Quang aura une superficie de 8,7 km<sup>2</sup> et une longueur d'environ 25 km. Le lac de barrage est entièrement situé dans le District de Than Uyen, Province de Lai Chau, avec une capacité de stockage totale de 184 200 000 m<sup>3</sup>, dont 16 280 000 m<sup>3</sup> sont destinés à être le stockage d'eau disponible. La centrale hydroélectrique sera située à 5 km en aval du barrage et appartiendra à l'arrondissement de Chieng Lao, District de Muong La, Province de Son La. Le nombre total de ménages soumis à la réinstallation a été de 891 en 2004 puis de 980 en 2009, ce qui représentent un nombre total de personnes soumises à la réinstallation de 5872 et de 6459 personnes, respectivement en 2004 et 2009.



Figure 2. 7: Localisation du barrage de Huoi Quang sur la rivière Mu, affluent de la rivière Da où se situe le barrage de Son La à l'mont de la confluence.

Pendant la phase d'étude de faisabilité, en 2004, l'unité de gestion du projet hydroélectrique No.1 (sous la gestion directe des EVN) a préparé le rapport d'impact environnemental (Environmental Impact Assessment report). Ce rapport suggère la mise en place d'un programme environnemental et de sécurité qui sera financé par l'Agence Française de Développement (AFD), avec la mise en place de mécanismes d'incitation qui soutiendra la distribution équitable des avantages

découlant de la production d'énergie à ceux qui fournissent les services environnementaux qui soutiennent à la fois la viabilité financière de ces grands projets d'infrastructure et la durabilité de l'agriculture.

Le barrage de Huoi Quang est situé à 13 km au Nord du barrage de Son La (Figure 2.7) sur la rivière Mu. En amont à quelque dizaine de kilomètres sur la même rivière est aussi en cours de construction le barrage de Ban Chat d'une capacité électrique moindre (seulement 220 MW) mais avec un volume stocké d'eau dix fois plus importants, de l'ordre du volume du lac de Hoa Binh (Tableau 2.6). Les barrages de Son La et de Lai Chau ont des volumes d'eau encore deux fois plus importants. Cet ensemble de 4 nouveaux barrages entre 2010 et 2017 multiplie par 3 la capacité de production électrique du bassin de la Da. En augmentant ainsi la capacité de production de la centrale hydroélectrique située en aval, à savoir Hoa Binh, cet ensemble contribuera à renforcer l'infrastructure et le développement socio-économique des régions montagneuses du nord-ouest qui sont pauvres et qui hébergent un grand nombre de minorités ethniques. Aussi, ce projet a avant tout une grande importance politique pour le Parti et la politique du gouvernement dans ses efforts pour éradiquer la faim, la réduction de la pauvreté, et la consolidation nationale (Nguyen Van Diep et al., 2007; Dao, 2010).

Le barrage hydroélectrique de Huoi Quang est, de par sa dimension, une étude de cas typique du développement des barrages hydroélectriques en Asie du Sud-Est.

Tableau 2.6: Caractéristiques des barrages hydroélectrique du bassin versant de la Da (Rivière Noire). Source : Shestopalov and Volynchikov (2013)

Nom (localisation)	Année de mise en service	Capacité (MW)	Hauteur d'eau (m)	Réserve utile (km <sup>3</sup> )
Hoa Binh	1994	1 920	128	5,65
Son La	2010	2 400	138	6,5
Ban Chat	2014	220	115	1,4
Huoi Quang	2015	520	104	0,18
Lai Chau	2017	1 200	137	0,8

### 2.3- Les risques environnementaux et sociétaux liés aux aménagements hydroélectriques au Vietnam

S'il est admis que les grands lacs de barrage représentent un atout majeur pour la croissance économique des pays en voie de développement (Yuksel, 2010), le fort développement des barrages hydroélectriques posent des défis majeurs pour l'environnement, l'écologie et les modes de vie des populations en amont et aux alentours des lacs de barrage, tels que la déforestation, la rupture des habitats écologiques et le déplacement des populations. Dans ces conditions, il est aujourd'hui important de réfléchir à l'impact réel de la construction des lacs de barrages sur l'environnement d'une part, mais aussi sur les structures sociales.

Il est évident que les barrages hydroélectriques interviennent directement sur les fonctions écologiques de la rivière, bien que pendant des décennies, ces impacts n'ont pas été considérés. Aujourd'hui, ils sont un large sujet de controverses entre les parties impliquées (WCD, 2000a; Gagnon et al., 2002; Gowan et al., 2006; McCartney, 2009). Par exemple, dans la plupart des cas, les barrages hydroélectriques sont une bonne alternative comparée aux centrales thermiques pour l'émission de GHG : en climat froid, les lacs de barrages hydroélectriques produisent 30 à 60 fois moins d'équivalent CO<sub>2</sub> (Gagnon et Van de Vate, 1997). Dans le contexte actuel du changement climatique, l'hydroélectricité est donc souvent considérée comme une source d'énergie propre

(Chang et al., 2010; Watts et al., 2011). Cependant, la plus grande polémique environnementale concernant les lacs de barrage concerne leur impact sur le régime d'écoulement, le transport des sédiments et les caractéristiques de l'eau et des sédiments dans les rivières en aval, e.g. Klaver et al. (2007) pour leur étude sur le Danube et notre étude bibliographique concernant l'Asie du Sud-Est dans le chapitre 3. Ainsi dans la perspective écologique, il est aujourd'hui globalement admis que la construction de barrages est considéré comme l'un des principaux facteurs qui contribuent à d'importantes modifications des écosystèmes fluviaux, et donc à un risque écologique majeur (McNally et al., 2009; Chen et al., 2010).

Par ailleurs, de nombreux barrages et projets de barrages sont situés dans des zones habitées par des populations pauvres, qui la plupart du temps seront déplacées du fait de la construction du réservoir. Cette situation implique automatiquement un risque social d'une grande acuité pour les populations locales (WCD, 2000b; Brown et al., 2008; Bohlen et Lewis, 2009; Tilt et al., 2009; Wang et al., 2013). Les conflits peuvent liés à l'impact de l'exploitation du barrage sur les crues aval, e.g. l'exploitation du barrage de Hoa Binh (Ngo et al., 2007), ou encore du fait de l'expropriation des terres et du déplacement induit des personnes (McCartney, 2007; Brown et al., 2008; Dao, 2010; Wang et al., 2013), ou sur la modification des valeurs foncières (Bohlen et Lewis, 2009).

C'est au début des années 1970 que l'augmentation de la sensibilisation du public aux questions environnementales du fait des grands barrages hydroélectriques a restreint les politiques de barrages et a donc réduit significativement le rôle de l'hydroélectricité dans la production énergétique de nombreux d'états (Sternberg, 2008). Mais les crises économiques successives liées au coût des énergies fossiles ont remobilisé les politiques d'extension des grands barrages hydroélectriques, même s'il est admis par tous qu'ils impactent largement le paysage, son écologie et la vie sociale des populations locales.

Les recommandations de la Commission Mondiale des Barrages (WCD, 2000a, 2000b) rejoignent celles de l'Agence Internationale à l'Energie (IEA) (Trussart et al., 2002). Les recommandations insistent toutes sur la nécessité d'évaluer les options d'aménagement du territoire de manière objective du point de vue environnemental et social, et non du seul point de vue économique. Il est fortement recommandé d'agir pour obtenir l'acceptation des projets publics par les populations locales via des forums et autres actions de concertations, pour partager les bénéfices et s'assurer que les populations impactées soient traitées équitablement et correctement rémunérées (He et Liu, 2001; Gagnon et al., 2002). Par ailleurs, l'AIE considère que la décision finale sur les projets hydroélectriques d'envergure doit être prise en charge par un gouvernement national (Gagnon et al., 2002). Ainsi le suivi des impacts environnementaux et sociaux des barrages hydroélectriques fait partie intégrante de l'analyse d'impact, au même titre que les analyses techniques, économiques et politiques, pour une compréhension objective de l'état de viabilité des projets hydroélectriques.

## **2.4- Développement agricole dans le Nord Vietnam**

Les montagnes du Nord Vietnam sont principalement habitées par des groupes ethniques minoritaires (Castella et Dang Dinh Quang, 2002 ; Tran Duc Vien et al., 2005). Ces communautés requièrent une production agricole extensive sur les terres de pente pour répondre à leur demande alimentaire. Or avec la croissance démographique et le développement économique, l'exploitation de ces terres de pente peut conduire à une utilisation intensive des sols, ce qui conduit à une dégradation accélérée de la fertilité des sols et une érosion importante (Valentin et al., 2008). D'un point de vue économique, l'érosion des sols induit une réduction considérable de la productivité agricole, conduisant à une boucle infernale de paupérisation (Midmore et al., 1996; Ananda et Herath, 2003; Lestrelin et Giordano, 2007). Aussi, la dégradation des terres et les baisses de

rendement des cultures ont été reconnues comme les principaux problèmes des terres de montagne des régions tropicales humides, quand les forêts sont transformés en terres agricoles et que la culture devient intensive (Pandey et Dang Van Minh, 1998). En Asie du Sud-Est, l'extrême pauvreté et la destruction de l'environnement sont souvent concomitantes. Les modifications de la couverture végétale sur les terres de pente, en raison de la déforestation et de l'intensification des cultures, se traduisent par une plus grande perte en sol, plus de ruissellement pendant les orages et donc des inondations plus importantes en aval dans les zones basses.

Dans le passé, le contrôle de l'érosion du sol n'a souvent été que locale. Il s'agissait d'essayer de maintenir le sol en place et de le couvrir par des actions au niveau de la parcelle. Aujourd'hui, il est reconnu l'intérêt de coupler ces approches locales à des approches régionales au niveau du paysage où érosion, sédimentation et chemins de l'eau (ravines, sentiers, routes et cours d'eau) sont étudiés en même temps que les «filtres» (couvert végétal, haies, barrages) qui peuvent limiter l'écoulement des eaux et des sédiments en suspension (Noordwijk et al., 2004; Valentin, 2004; Valentin et al., 2005; Chaplot et al., 2005, 2007). La compréhension des interactions sol-plante-cultures le long d'un versant, de l'amont vers l'aval du paysage, peut alors aider à identifier les zones à risque du paysage (les points faibles) (Goddard et al., 2008; Valentin et al., 2008; Mulvaney et al., 2012; Orange et al., 2012).

D'autre part, les récents progrès dans la gestion des ressources naturelles ont montré la nécessité d'étudier les interactions entre les sociétés et leur environnement. Trois forces principales sont largement reconnues comme moteur du changement de comportement des populations: la pression démographique, la politique du gouvernement et de la demande du marché. En outre, deux forces motrices émergentes sont apparues: le changement climatique et la dégradation des terres. Il est bien connu que ces cinq facteurs sont liés et l'importance relative de

leur rôle en influençant l'utilisation des sols dépend de la région en question (Valentin et al., 2008).

En outre, il est également évident que les différentes parties prenantes - comme les agriculteurs, les décideurs, les communautés agricoles - ont des vues différentes sur la façon dont l'eau et les terres doivent être gérées. Il faut être bien conscient que le savoir des agriculteurs, leur lien aux paysages et leurs perceptions d'une logique sous-jacente jouent un rôle important dans leurs décisions de gestion (par exemple Castella et Dang Dinh Quang, 2002; Orange et al., 2008; Clément et Amezaga, 2009; Affholder et al., 2008, 2010). La durabilité de l'utilisation des terres est un concept qui se réfère à la production agricole, la sécurité alimentaire, la biodiversité, la qualité de l'eau et de l'air, ainsi que la paix sociale (Orange et Noble, 2010). Aussi il est aujourd'hui reconnu que la gestion durable des bassins versants pour le développement des pratiques d'utilisation durable des terres doit se réaliser sur la base d'une connaissance physique du paysage (hydrologie, pédologie, biologie du sol) et une approche participative avec l'implication des acteurs locaux et autres agents extérieurs concernés (Orange et al., 2008).

## **2.5- Le monde agricole dans le Nord Vietnam**

En Asie du Sud-Est, l'augmentation continue de la pression des population sur l'exploitation des terres de pente résultent non seulement de la croissance démographique naturelle, mais aussi de la migration des agriculteurs des plaines adjacentes vers les zones amont, et les politiques de barrage hydroélectrique participant à cela.

La baisse de la productivité des cultures et de l'urbanisation dans les zones de plaine forcent l'expansion continue de l'agriculture sur des pentes de plus en plus raides, impliquant souvent le défrichement des hautes terres. En outre, les

politiques gouvernementales favorisant la réinstallation des villages éloignés et dispersés, pour améliorer l'accès à l'éducation, la santé et aux marchés, conduisent à des densités de population locales élevées dans certaines régions (Lestrelin et Giordano, 2007). Les taux élevés de croissance économique et les demandes croissantes du marché pour les produits agricoles encouragent les agriculteurs de montagne pour remplacer les cultures vivrières par des cultures de rente, qui peuvent conduire à leur dépendance accrue aux forces du marché (Burgers et al., 2005). Ainsi, même si les conditions d'accès au marché se sont considérablement améliorées au cours des dernières décennies, les agriculteurs ont de plus en plus besoin de générer d'autres sources de revenu à court terme pour assurer leur subsistance (Sidle et al., 2006).

Aussi, au fur et à mesure du changement économique et social, de grandes étendues de forêts disparaissent pour être converti en terres agricoles (Clément et al., 2009) avec des implications environnementales fortes, comme une plus grande fréquence des inondations, des sécheresses et l'érosion de plus en plus forte sur les pentes (Gardner et Gerrard, 2003; Sidle et al., 2006), conduisant à de mauvaises récoltes. Comme la terre devient moins productive, la sécurité alimentaire est compromise et donc la concurrence sur les terres du fait de la diminution des ressources augmente. Ainsi, une spirale infernale de paupérisation est créée. Cependant, cette spirale est à la fois évitable et réversible dans de nombreuses circonstances (Scherr, 2000).

Avant d'aller plus loin, il est à noter que plusieurs scientifiques suggèrent que les effets de la déforestation et de la mise en culture des pentes ont été surestimés (Kiersch et Tognetti, 2002; Bruijnzeel, 2004;. Clément et al., 2009). Ils sembleraient qu'une source importante des sédiments puissent être routes, constructions diverses et notamment les barrages, les terrasses agricoles, les plantations de rente (de type café, hévéa...) ou encore l'érosion des berges (Sidle et al., 2006).

## **2.6- Les pratiques de culture itinérante en question?**

La culture itinérante consiste à couper la végétation, la brûler sur place, puis planter des cultures annuelles sur les terres ainsi défrichées. Cette pratique a souvent été accusée de principale cause d'érosion et de dégradation des sols. Or une fois que les cultures sont récoltées, la terre est laissée «en friche» permettant à la végétation naturelle de repousser. Ce système agricole a traditionnellement été largement pratiqué dans de nombreuses régions des tropiques. Dans certains pays, historiquement, la terre a été laissée en jachère pour aussi longtemps que 20 à 30 ans. Dans les terres de pente du Nord Vietnam, les périodes de jachère sont passées d'environ 8-9 ans au cours des années 1970 à seulement 2 à 3 ans dans la période récente. C'est cette diminution de la période de jachère qui cause à terme la dégradation du sol, et non la pratique de culture itinérante.

En Asie du Sud-Est, quelque 50 millions d'agriculteurs de montagne pratiquent la culture itinérante. Et c'est la réduction progressive et systématique des périodes de jachère, du fait des pressions démographiques de plus en plus fortes sur les terres de pente, qui a fait penser que cette pratique était à éradiquer. En effet, par exemple, au Sommet de la Terre tenu à Rio de Janeiro en 1992, l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture des Nations Unies (FAO) a préconisé de remplacer la culture itinérante à la culture sédentaire continue, jugée moins nocive pour l'environnement. On sait aujourd'hui avec le développement de l'Agriculture de Conservation que cela n'est pas si directe, du fait aussi d'une meilleure efficacité du cycle des nutriments dans les pratiques de cultures itinérantes (Valentin et al., 2008). Ce système d'utilisation des terres est encore actuellement largement appliquée dans les terres en pente de l'Asie du Sud-Est (Mulvaney et al., 2012).

## 2.7- L'érosion des sols dans le Nord Vietnam

Comme vu précédemment, la dégradation des terres est souvent associée à la pauvreté (Pender et al., 2001; Penning de Vries et al., 2002), en particulier dans les régions montagneuses dominées par des gens qui sont souvent politiquement impuissants et économiquement marginalisés. Et le ruissellement accompagné de l'érosion du sol sont souvent les symptômes majeurs d'une mauvaise gestion des terres. Ils contribuent à des impacts négatifs hors site en aval tels que les inondations, la pollution et l'envasement des plans d'eau et des lacs de barrage. Aussi on admet généralement que l'augmentation de l'exploitation des ressources en terres dans les bassins versants d'amont entraîne une augmentation des pertes en sol et donc en nutriments, par des flux de sédiments exportés qui réduisent la qualité des eaux aval et donc leur disponibilité pour les utilisateurs de l'aval (Bruijnzeel, 2004). Ainsi la dégradation des terres amont résultant le plus souvent de changements dans l'utilisation des terres est une préoccupation majeure non seulement pour les agriculteurs des hautes terres, mais aussi pour les utilisateurs des ressources en eau à l'aval.

Par conséquent, l'intérêt général de la société est bien de prendre en compte la gestion des hautes terres, la dégradation environnementale de ces terres ayant un impact sur toute la communauté (Lian, 1993).

L'érosion du sol se produit naturellement. Cependant, l'utilisation des terres agricoles peut considérablement accélérer l'érosion des sols, en particulier sur les terres de pente.

En Asie du Sud-Est, les taux d'érosion sur pente agricole, mesurées sur parcelles de ruissellement cultivées avec du riz pluvial, montrent un très grand ordre de grandeur, de 6 T/ha/an (Valentin et al., 2008) à 60-90 T/ha/an (Sidle et al., 2006). L'énorme différence est en relation directe avec la couverture végétale et la texture du sol, en raison de la durée de la période de rotation jachère. Le riz

pluvial cultivé en rotation avec une jachère pourrait être durable (Valentin et al., 2008), tandis que les forts taux d'érosion se rapportent le plus souvent à de la monoculture continue sur des parcelles avec désherbage dans des stations de recherche pratiquant un travail du sol plus profonds et plus fréquents, qui augmentent artificiellement les pertes de sol par rapport à la réalité des pratiques agricoles utilisées (Maglinao et al., 2003 ; Podwojewski et al., 2008; Phan Hai Ha An et al., 2012; Orange et al., 2012). De plus, les taux d'érosion mesurés à partir de parcelles de ruissellement sont généralement beaucoup plus élevé qu'à l'échelle du bassin versant (Podwojewski et al., 2008), parce qu'il y a peu de possibilités pour le dépôt et le stockage des sédiments sur des parcelles de gradient uniformes. Mais ce n'est pas toujours le cas, en raison de l'érosion en ravine (ou érosion linéaire) (Valentin et al., 2005).

Sur la base d'un réseau de petits bassins versants expérimentaux de référence (réseau SOERE/MSEC), Valentin et al. (2008) soulignent les points majeurs suivants quant à l'érosion sur les sols de pente d'Asie du Sud-Est:

- Les flux de matières par charriage ou suspension, la quantité de sédiments sont principalement influencés par des facteurs d'utilisation des terres;
- Les cultures annuelles, principalement le maïs et le manioc, sont le principal facteur d'érosion, surtout avec deux récoltes par an et semées dans le sens de la pente, donnant une érosion de l'ordre de 5 à 15 T/ha/an;
- Ensuite les larmes de Job, l'association soja / haricot mungo (4,9 T/ha/an), et même le tamarin (3,0 T/ha/an), sont réputées pour être aussi des cultures érosives;
- Les jachères naturelles et les jachères améliorées diminuent largement l'érosion en-dessous de 2 T/ha/an;
- Enfin le fourrage et les plantations d'arbres tels que *Acacia mangium* induisent une réduction de l'érosion en-dessous de 1 T/ha/an, et ils

pourraient stopper l'érosion suite à la création d'une couverture végétale protectrice du sol après deux années de croissance continue.

L'expérience MSEC souligne aussi que la culture itinérante conduit à une faible production d'érosion si le cycle long de jachère est respecté: 0,9 T/ha/an pour 1 année de culture et huit années de jachère, et de 1,4 T/ha/an pour 1 année de culture et quatre années de jachère.

Mais attention, si des effets positifs spectaculaires ont été observés après le remplacement du manioc par des plantations d'arbres et de fourrage au Vietnam (Orange et al., 2012) ou le remplacement de la culture du maïs par le labour en courbe avec des bandes d'herbe et petit bambou le long des crêtes de la pente et remblais aux Philippines (Maglinao et al., 2003), l'analyse bibliographique montre que ces chiffres ne peuvent pas être généralisés. Par exemple, le rôle du couvert forestier dans la réduction de la charge de fond semble être assez limitée et le pourcentage de la surface du couvert forestier n'est pas un indicateur valable ni du ruissellement, ni de l'érosion. Un tel résultat peut sembler paradoxal, étant donné l'opinion très positive de la plantation d'arbres dans une perspective de conservation des sols par la plupart des organismes de gestion et les donateurs. En réalité, les conditions de la surface terrestre en termes d'infiltration et le détachement du sol sont beaucoup plus important que la couverture forestière en soi (Tomich et al., 2004). Par exemple, la cause de la très faible couverture du sol sous plantation de tecks et bambous n'est pas seulement due à l'effet d'ombrage, mais aussi à l'allélopathie qui inhibe la germination des semis et l'établissement du sous-couvert végétal (Eyini et al., 1989;. Rizvi et al, 1999). Comme la couche de litière est rapidement détruit par les termites et l'activité microbienne du sol, une grande partie de la surface du sol reste exposée à l'impact direct de grosses gouttes, qui se concentrent et tombent de l'arbre quitte avec une énergie cinétique qui peut dépasser celle des gouttes en chute libre (Nanko et al., 2004).

En conclusion, même si l'impact local de certaines pratiques de conservation ne peut être contestée, il semble que les pratiques de conservation doivent être adaptées en permanence aux conditions et aux contraintes locales (Orange et al., 2008). Cela confirme l'importance de sensibiliser les agriculteurs et les décideurs sur les pratiques préventives de l'érosion (Orange et al., 2008 ; Orange et Noble, 2010).

## **2.8- Erosion et évènements exceptionnels**

Enfin, il faut souligner l'impact des événements de pluie exceptionnelles sur l'érosion des sols. Un tiers des typhons générés dans le monde se produit en Asie du Sud et du Sud-Est. Ils sont réputés pour entraîner d'énormes catastrophes en termes de pertes humaines et économiques (Hohmann et al., 2003). Les typhons sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes survenant au Vietnam. Même s'ils se produisent surtout sur les zones côtières de la partie centrale du Vietnam, les typhons peuvent aussi conduire à de grandes pertes en sol dans les hautes terres (Imamura et To, 1997). Les concentrations de sédiments en suspension dépassent alors régulièrement les 20 g/L et peuvent atteindre les 60 g/L (Valentin et al., 2008 ; Thotong et al., 2011 ; Orange et al., 2013). Cependant l'impact environnemental de ces événements exceptionnels n'est pas encore bien documenté (Orange et al., 2013).

Au Vietnam, le typhon Koni en juillet 2003 a provoqué sur Hoa Binh un événement exceptionnel de 291 mm de pluie en 39 heures, ce qui représente un temps de retour de 20 ans. La crue occasionnée a été fortement destructrice de matériel et des berges, elle est caractérisée par un temps de retour de 32 ans. Les concentrations de matières en suspension mesurées ont atteint un maximum de 26 g/l. Cet événement a entraîné une exportation solide de 4,9 t/ha, représentant 80% du budget annuel d'érosion de 2003 avec 94% des sédiments sous forme de charge en suspension.

Mais Orange et al. (2013) souligne que finalement cet événement représente près d'un cinquième de la production totale de sédiments enregistré sur une période de 12 ans (de 2000 à 2011). Et sur une période de retour des crues de 32 ans, la contribution annuelle de l'érosion due au typhon est inférieure à 10%, ce qui finalement est inférieur à l'impact des mises en culture des pentes par le manioc. Ce résultat démontre l'importance des pratiques agricoles pour l'érosion des versants sur le long terme, et donc souligne l'importance des politiques agricoles pour l'aménagement durable des terres de pente du Nord Vietnam

## **2.9- Politiques agricoles et développement durable, recommandations**

Il est évident que conservation et utilisation des ressources en terres et en eau sont antinomiques (Lal, 1998, 2005; Mulvaney et al., 2013). Pour répondre à la demande du marché en produits agricoles, les agriculteurs sont confrontés à plusieurs choix : utiliser plus intensivement leurs terres et notamment les terres de pente, utiliser des engrais et des herbicides coûteux, intensifier les cultures de rente, tout cela étant des facteurs d'augmentation de l'érosion et donc de dégradation des sols, entraînant une baisse des rendements. Lorsque ces rendements deviennent économiquement non viable, ces terres dégradées sont converties en plantations forestières. Mais attention, bien que les arbres soient perçus comme étant bénéfiques pour la conservation des sols, il peut exister des différences significatives entre les espèces.

En Asie du Sud-Est et tout particulièrement dans les montagnes du Nord Vietnam, il est admis les points suivants (FAO, 2008):

- Ø Dans les hautes terres d'Asie du Sud-Est, les sols sous culture itinérante sont moins dégradés que les sols subissant d'autres pratiques agricoles, en particulier la production annuellement répétée des cultures de rente comme le maïs et le manioc.

- Ø Avec une période de jachère d'au moins huit fois plus longue que la période de culture, les pertes moyennes de sédiments restent inférieures à 1 T/ha/an, ce qui est bien en deçà des taux naturels de régénération des sols.
- Ø La réduction de la période de jachère augmente non seulement les taux d'érosion des sols, mais réduit également les rendements. Les agriculteurs doivent alors intensifier leur production agricole par l'utilisation d'engrais puis d'herbicides et pesticides, et finalement défricher d'autres espaces.
- Ø De nombreux agriculteurs ne peuvent se permettre ces alternatives coûteuses. Les moyens de subsistance des petits exploitants sont alors affectés. Cette paupérisation entrave le développement à long terme conduisant à de graves problèmes économiques et environnementaux, tant pour l'intérêt individuel au niveau du système d'exploitation que de la région.

Sur la base de ce cadre général, il est communément admis les recommandations suivantes pour le développement durable de l'agriculture dans les montagnes du Nord Vietnam :

- Les politiques agricoles pour l'aménagement du territoire, en général, et pour l'agriculture de montagne et de la protection des forêts, en particulier, doivent se nourrir des principes de l'agriculture de conservation. Un meilleur équilibre est nécessaire entre la préservation de la végétation naturelle et le maintien de l'agriculture de montagne contre la dégradation des sols et pour la protection des zones en aval contre l'augmentation des charges en sédiments.
- Du point de vue de l'eau, une planification minutieuse est également nécessaire. En effet, reboiser les versants amont pour prévenir les rivières et les réservoirs de l'envasement peut avoir un effet pervers négatif en réduisant les volumes d'eau écoulée et donc diminuer la disponibilité en eau pour les utilisateurs de l'aval.
- Pour limiter les flux de sédiments, les zones ripariennes doivent être systématiquement tenues à l'extérieur des zones de cultures annuelles, et être

idéalement protégées par un couvert herbacé pour maintenir leur fonction essentielle de filtrage des sédiments.

- Dans une perspective régionale plus large, les politiques agricoles doivent être accompagnées par des programmes de soutien et de vulgarisation, afin d'aider les populations locales touchées à s'adapter plus facilement. Compte tenu de l'augmentation des densités de population et donc des plus grandes pressions sur l'utilisation des terres, il pourrait être approprié d'introduire des incitations qui soutiennent un passage à des activités non agricoles.

## Chapitre 3

# Impact des lacs de barrage sur la dynamique aval des flux d'eau et de matières en ASE

### **3.1- Développement sans limite des grands barrages hydroélectriques et impacts environnementaux**

L'impact des grands barrages sur l'hydrologie a augmenté de façon spectaculaire au cours des dernières décennies. En effet, environ 70% des fleuves du monde sont interceptés par les grands réservoirs (Kummu et Varis, 2007). Le nombre de grands barrages, de plus de 15 mètres de large, a augmenté dans le monde entier de 5000 à 45 000 au cours de la seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle (WCD, 2000), et plusieurs milliers sont encore prévues à travers le monde. Plus de 8000 km<sup>3</sup> d'eau est estimé être stockés dans les barrages (Chao et al., 2008), ce qui a eu comme conséquence directe d'augmenter l'approvisionnement sécurisé en eau de 28% à l'échelle mondiale au cours des 50 dernières années (Postel et al., 1996; Kummu et Varis, 2006; Gupta et al., 2012.). Actuellement, 2,2% de la production d'énergie primaire dans le monde est produite par les installations hydroélectriques.

En Asie du Sud et du Sud-Est (Figure 3.1), la contribution de l'hydroélectricité au développement économique des années 80 a été d'une importance stratégique capitale (Gupta et al., 2012). Au Vietnam, le décollage économique est concomittant de la mise en service en 1994 du barrage de Hoa Binh (McGregor, 2008), en fournissant jusqu'à 45% des besoins en électricité du pays à la fin des années 1990 (Hirsch, 1998).

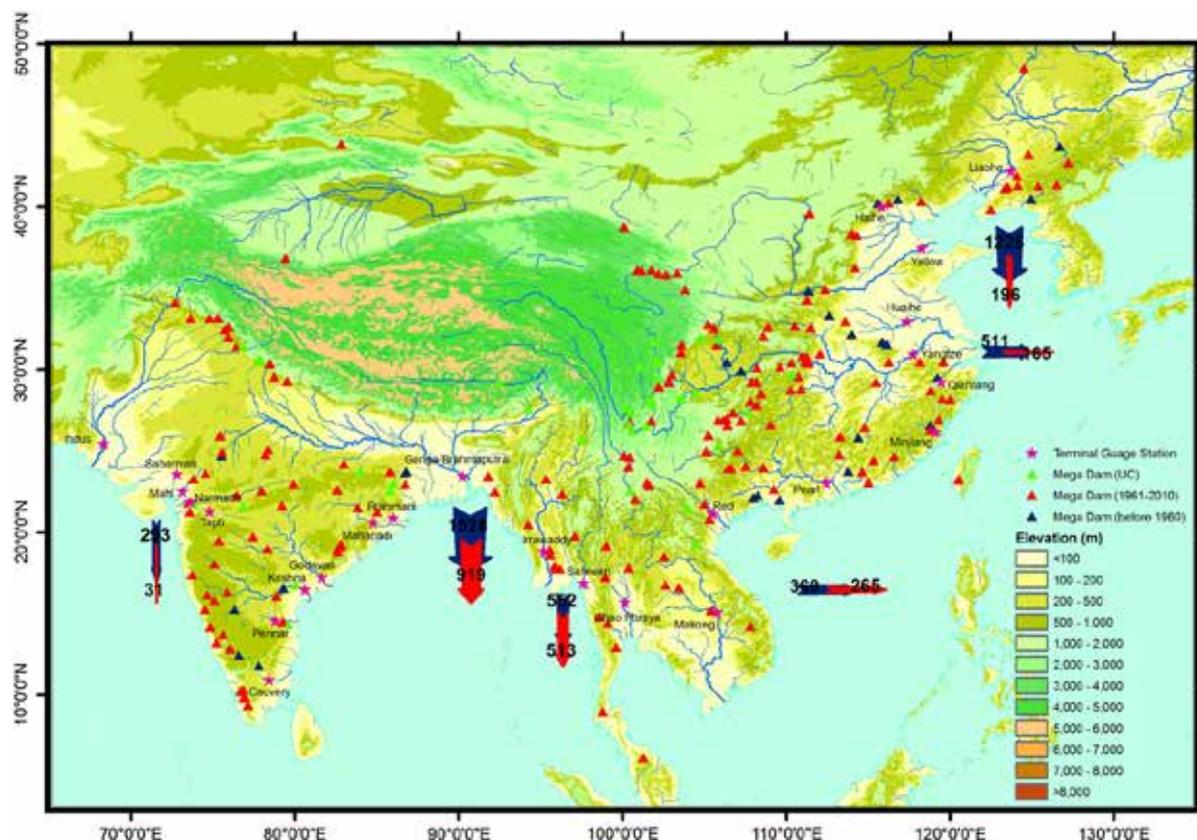


Figure 3. 1: Répartition spatiale des grands barrages hydroélectriques et modifications des flux annuels de sédiments de l'Est, du Sud et du Sud-Est asiatique pour les grandes rivières se déversant dans la mer de Bohai, la mer de Chine orientale, la mer de Chine méridionale, la mer d'Andaman, la baie du Bengale et la mer d'Oman. L'épaisseur de la flèche indique le flux de sédiments historique et le flux actuel par année (en Mt/an). Source: Gupta et al. (2012)

Aussi l'importante contribution de l'hydroélectricité au développement des économies nationales n'est plus à démontrer (Bakker, 1999; Blake, 2001; Golubev, 1993; McCartney, 2007, 2009; WCD, 2000). De plus, de nombreux exemples montrent que l'implantation d'un barrage hydroélectrique a catalysé le développement des économies locales éloignées des marchés, zones souvent

habitées par des populations pauvres et marginalisées. Cela a amené les gouvernements à vouloir planifier une quantité importante de barrages hydroélectriques dans les régions montagneuses d'Asie du Sud-Est (Ananda et Herath, 2003).

Mais les exigences environnementales n'ont souvent jamais été prises en compte ni dans la conception des projets, ni pour l'établissement des règles de fonctionnement de la plupart des grands barrages existants dans le monde. Pour la plupart, ils ont été construits en mettant l'accent sur l'optimisation des retombées économiques de l'utilisation de l'eau, et avec peu ou pas de préoccupation sur les conséquences environnementales à court, moyen et long termes de la modification des écoulements des rivières, aussi bien en quantité d'eau, que pour le calendrier des crues et des étiages, que pour les flux de sédiments ou encore la qualité de l'eau (McCartney, 2007). En effet de par leur retenue d'eau, les barrages modifient de facto l'hydrologie de la rivière, la qualité et la température de l'eau, et les régimes de sédiments (e.g. Balland, 1991; Church, 2006; Dai et Liu, 2013; Kong et al., 2009; Kuper et al., 2002; Le et al., 2007; Magilligana et Nislow, 2005; Meade, 1996; Milliman, 1997; Olofin, 1988; Petts, 1984; Wang et Uwe, 2008; Winterwep et al., 2005; Zhai et al., 2007; Zhang et al., 2013), ce qui affectent la productivité primaire et la morphologie, qui à leur tour provoquent des modifications dans les niveaux trophiques supérieurs (e.g. Petts, 1984; Poff et al., 1997; Acreman et al., 2000; Ledec et Quintero, 2003; McCartney, 2007). Bien sûr, chaque barrage a ses propres caractéristiques. Par conséquent, l'ampleur et la nature des changements environnementaux sont très spécifiques aux sites et il est donc souvent très difficile de prédire avec précision les modifications à venir (McCartney et Acreman, 2001 ; Liu et He, 2012).

Les barrages hydroélectriques ont en effet des implications sur un large éventail de questions sociales et les impacts environnementaux sont nombreux (Poff et al., 1997; Bakker, 1999; WCD, 2000; Gupta et Liew, 2007; Ledec et

Quintero, 2007; McCartney, 2009). Alors que certains impacts ne se produisent que pendant la construction, et parfois avant la construction (on reviendra sur cette question dans les parties 2 et 3) (Nguyen Van Thiet et al., 2012), les impacts environnementaux les plus importants sont généralement dues à :

- l'exploitation des réservoirs (Acreman et al., 2000; Hassane et al., 2000; McCartney et Acreman, 2001; Kuper et al., 2002; Lu et al., 2003; Lu, 2004; Magilligana et Nislow, 2005; McCartney, 2007) ; et
- leur existence à long terme (e.g. Biswas, 1992; Lu et Siew, 2006; Dang et al., 2009; Lu et al., 2014b; Meade et Moody, 2010; Meybeck et al., 2003; Robinson et al., 2007; Vörösmarty et al., 2003; Wang et al., 2011b; Wang et al., 2011c; Yang et al., 2006; Yu et al., 2013; Zhai et al., 2007; Zhang et al., 2008).

La gravité des impacts environnementaux d'un projet hydroélectrique est largement déterminée par le site du barrage (Ledec et Quintero, 2003). Les impacts environnementaux sont toujours en lien avec la modification du cycle hydrologique de la rivière, et par conséquent des cycles écologiques liés à l'eau. Par exemple, les inondations des habitats naturels conduisent à la perte de la faune terrestre, la détérioration de la qualité de l'eau (en amont et aval du barrage), le développement de maladies liées à l'eau, la perte de biodiversité aquatique (Petts, 1984).

Les principaux impacts hydrologiques des grands barrages hydroélectriques sont principalement: (1) l'augmentation du débit moyen de saison sèche en aval, (2) la diminution du débit en saison humide et l'écèlement des débits de pointe, et (3) la diminution des flux de sédiments (Milliman et Syvitski, 1992; Milliman, 1997; Vörösmarty et al., 1997, 2000, 2003; Acreman et al., 2000; Adamson, 2001; Syvitski et al., 2005; Lu et Siew, 2006; Walling, 2005, 2006; Dai et al., 2008 ; Dang et al., 2010; Meade et Moody, 2010; Wang et al., 2011a; Yonggui et al., 2013). Ces changements hydrologiques ont un impact négatif sur

l'écosystème, mais en même temps ils peuvent réduire l'intrusion saline dans les deltas, faciliter la navigation, accroître les possibilités d'irrigation pendant la saison sèche et ainsi de suite.

Enfin, il est important de souligner également que les lacs de retenue des grands barrages hydroélectriques participent aussi à l'émission de gaz de CO<sub>2</sub> et en particulier de CH<sub>4</sub>, deux gaz à effet de serre (GES) produits par la décomposition des matières organiques des forêts et autre biomasse inondées (Fearnside, 2004; Demarty et Bastien, 2011). Cette décomposition peut être rapide si la forêt est coupée et brûlée avant le remplissage du réservoir, comme cela se fait dans la plupart des grands barrages hydroélectriques d'Asie du Sud-Est, tels que les réservoirs de Son La et de Huoi Quang sur la rivière Da (Nord Vietnam). Cependant, certains projets hydroélectriques génèrent suffisamment d'électricité pour pouvoir compenser les gaz à effet de serre, qui autrement auraient été produits par la combustion de combustibles fossiles, comme le gaz naturel, le mazout ou le charbon. Dans leur revue bibliographique, Demarty et Bastien (2011) soulignent que le niveau actuel de connaissance ne permet pas de statuer quant à l'importance et l'étendue des émissions de GES dans les latitudes chaudes en raison des barrages hydroélectriques.

Un autre impact environnemental majeur des grands barrages concerne les flux de sédiments.

### **3.2- Les grands barrages hydroélectriques et les flux de sédiments**

La sédimentation dans les lacs de barrage représente un risque majeur pour leur longévité (William et Wolman, 1984; Mahmood, 1987; Collier et al., 1996; Nagle et al., 1999; Graf, 1999, 2005; Acreman et al., 2000; WCD, 2000; Fu et al., 2008; McCartney, 2009). En effet, les barrages piègent une part importante des flux de sédiments à l'échelle globale (Milliman et Meade, 1983; Petts, 1984; McCully, 1996; Milliman, 1997; Vörösmarty et al., 1997, 2003; Lu et Higgitt,

1998; Yang et al., 1998, 2006; Syvitski et al., 2005; Lu et Siew, 2006; Walling, 2006, 2008; Zhang et al., 2006, 2009; Wang et Uwe, 2008; Hu et al., 2009; Wang et al., 2011b; Wang et al., 2011c; Yang et al., 2011; Yonggui et al., 2013; Lu et al., 2014b), autant de sédiments qui n'arriveront pas aux océans. Et cette quantité de sédiments semble être en constante augmentation (Yang et al., 1998, 2006; Gupta et al., 2012).

Au niveau mondial, la capacité théorique du piégeage de sédiments par les grands barrages hydroélectriques est élevée. En effet, sur les grands réservoirs (ayant un volume d'eau  $>10^7\text{m}^3$ ), elle est généralement supérieure à 90%, en fonction des caractéristiques des sédiments, de la dynamique des flux entrants et du réservoir (Williams et Wolman, 1984; Graf, 2005), alors que l'efficacité de piégeage pour les petits barrages se situe entre 10 et 90% (Brune, 1953; Balland, 1991). Vörösmarty et al. (2003) considèrent que la moitié des réservoirs dans le monde ont une efficacité de 80% ou plus pour le piégeage des sédiments. Et dans certains bassins, comme le Colorado et le Nil, les sédiments sont entièrement piégés du fait de la grande taille des réservoirs et de la perte de vitesse des écoulements (Vörösmarty et al., 2003; Walling et Fang, 2003).

Cette sédimentation a des conséquences directes sur le comblement des barrages et donc leur longévité (Tableau 3.1). On estime que 1% du volume de stockage d'eau existant dans les barrages est perdue dans le monde chaque année (Kummu et Varis, 2007). Une estimation globale révèle que plus de 50% des flux de sédiments des bassins équipés sont potentiellement piégés dans les barrages (Vörösmarty et al., 2003). Et il est souvent admis que les grands barrages de Chine perdent leur capacité de stockage à un rythme annuel de 2,3% (McCully, 1996).

*Tableau 3.1: Exemples d'impacts de la sédimentation sur le remplissage des lacs de barrages*

- 
- Ø Les barrages construits sur le Rhone, France, ont réduit la quantité annuelle de sédiments transportés la Méditerranée de 12 millions de tonnes au 19<sup>e</sup> siècle à seulement 4 à 5 millions de tonnes (Balland, 1991).
-

- Ø Avant la construction du haut barrage d'Assouan, les inondations amenées en moyenne 12 millions de tonnes de limons sur les terres le long du Nil chaque année. Aujourd'hui la réduction de la fertilité des sols due à la perte de la composante azotée de la vase doit être compensée par l'ajout annuel de 13 000 tonnes d'engrais de nitrate de chaux (Biswas, 1992).
  - Ø Entre 1955 et 1982, la superficie des plages de sable en aval du barrage de Hells Canyon sur la rivière Snake, Etats-Unis, a diminué de 75% à la suite de la capture d'environ 5 millions de tonnes de sédiments par an dans les réservoirs en amont (Collier et al., 1996).
  - Ø Dix ans après la construction, l'accrétion sédimentaire en aval du barrage de Tiga sur la rivière Kano, Nigeria, a réduit la largeur utile du canal de 249m à 34m, et sa profondeur de 2m à 1,4m (Olofin, 1988).
  - Ø Sur la rivière Huanghe (fleuve Jaune), le premier réservoir, le Sanmenxia (construit en 1960), avait perdu 46% de sa capacité de stockage quatre ans seulement après sa construction (Peng and Chen, 2009).
  - Ø Sur la rivière Huanghe (fleuve Jaune), le dernier réservoir construit en 1997, le réservoir Xiaolangdi, a piégé environ 84% des sédiments passant: jusqu'à 22% du réservoir a été rempli par les sédiments entre 1997 et 2012, malgré des opérations régulières de chasse de sédiments (Chen et al., 2012).
- 

Du fait de la sédimentation dans le barrage, le stockage direct et la production d'énergie sont réduits au fil du temps, de sorte que beaucoup de barrages hydroélectriques pourraient ne pas être durables sur le long terme. Bien sûr, l'aménagement des bassins versants amont, les politiques agricoles, et les pratiques agricoles, peuvent minimiser l'érosion et donc réduire la sédimentation dans le barrage et ainsi prolonger la vie utile du réservoir. Il s'agit entre autres de contrôler la foresterie, la construction de routes, l'exploitation minière, l'agriculture dans le bassin versant supérieur, ou encore d'instituer des zones dites protégées (e.g. Asquith et al., 2002; Biswas, 1992; Nguyen Van Diep et al., 2007; Sidle, 1988; Sidle et Ochiai, 2006; Sidle et Ziegler, 2010, 2012; Sivitsky et al., 2005; Yu et al., 2013; Ziegler et al., 2013).

Mis à part la gestion du bassin versant amont, des techniques spécifiques liées à la gestion du barrage peuvent être ponctuellement appliquées (Acreman et al., 2000; Brandt, 2000; McCartney et Acreman, 2001; McCartney, 2007; Nagle et al., 1999; Zhang et al., 2009). Ce peut être de construire des infrastructures de contrôle de l'érosion en amont, de protéger les points d'entrée au barrage, de

procéder à des lâchers de sédiments via des vannes de fond ou ouvertures de portes, ou encore d'effectuer des draguages ou d'augmenter la hauteur utile du barrage (McCartney, 2009).

### **3.3- Revue bibliographique sur la sédimentation dans les lacs des grands barrages hydroélectriques en Asie du Sud-Est**

Les rivières d'Asie sont de bons indicateurs de la forte influence des activités anthropiques sur le transport des sédiments (e.g. Adamson, 2001; Arias et al., 2014; Cogels et al., 1997; Dai et al., 2008; Dai et Liu, 2013; Dang et al., 2010; Furuichi et al., 2009; Grumbine et Xu, 2011; Gupta et al., 2012; Hassane et al., 2000; Hu et al., 2009; Keskinen et al., 2010; Kummu et Varis, 2007; Le et al., 2007; Lu, 2004; Lu et al., 2003; Lu et Siew, 2006; Lu et al., 2014a, 2014b; McCormack, 2001; Meybeck et al., 2003; Miao et al., 2011; Milliman et Syvitski, 1992; Ludwig et Probst, 1998; Syvitski et al., 2005; Vörösmarty et al., 2003; Walling, 2006, 2011; Walling et Fang, 2003; Wang et al., 2011b; Wilkinson et McElroy, 2007; Xu, 2003; Yang et al., 2006; Zhang et al., 2013; Zhang et al., 2008; Ziegler et al., 2013).

Il y a dix ans, Syvitski et al. (2005) ont estimé que les rivières d'Asie (à l'exception de l'Indonésie) transportaient environ  $4,74 \pm 0,8$  Gt de sédiments chaque année. Dans le même temps, ils soulignaient que les activités anthropiques ont augmenté le transport continental mondial des sédiments par les rivières de  $2,3 \pm 0,6$  Gt/an à cause de l'érosion des sols. Mais en dépit de cette augmentation, le flux annuel de sédiments atteignant les côtes du monde a été réduit de  $1,4 \pm 0,3$  Gt/an, en raison de la rétention dans les réservoirs des barrages. Aussi il en résulte ainsi un flux total mondial de sédiments de  $12,6$  Gt/an à la fin des années 2000, de 10% inférieur par rapport à la charge pré-Anthropocène de  $14 \pm 0,3$  Gt/an (Farnsworth et Milliman, 2003). Vörösmarty et al. (2003) ont estimé que les grands réservoirs ( $> 0,5 \text{ km}^3$  de capacité maximale de stockage) et les petits

réservoirs piègent respectivement 30% et 23% du flux de sédiments de l'ensemble de leur bassin amont respectif. Par rapport à cette ancienne estimation d'un piégeage de 25-30% des sédiments par les barrages en Asie et dans le monde donnée par Vörösmarty et al. (2003), puis confirmée par Syvitski et al. (2005), les données récemment publiées par Zhang et al. (2008), Hu et al. (2009), Kong et al. (2009), pour respectivement la Perle (Zhujiang), le Yangtze (Changjiang) et le Fleuve Jaune (Huanghe), suggèrent un piégeage des sédiments beaucoup plus élevé (> 70%) derrière les barrages dans la plupart des grands bassins fluviaux asiatiques.

En Asie du Sud et du Sud-Est (Figure 1), tous les grands fleuves ont enregistré de 20 à 90% de baisse dans leurs flux annuels de sédiments (Wang et al., 2011b; Gupta et al., 2012), comme illustré sur la Figure 2, à l'exception du système Irrawaddy-Salween avec l'augmentation de la charge de sédiments au cours des quatre dernières décennies (Hovius, 1998; Robinson et al., 2007; Furuichi et al., 2009), et du système Mékong avec une charge de sédiments stable au cours des quatre dernières décennies (Milliman et Meade, 1983; Walling, 2005, 2008; Fu et al., 2008; Wang et al., 2011b).

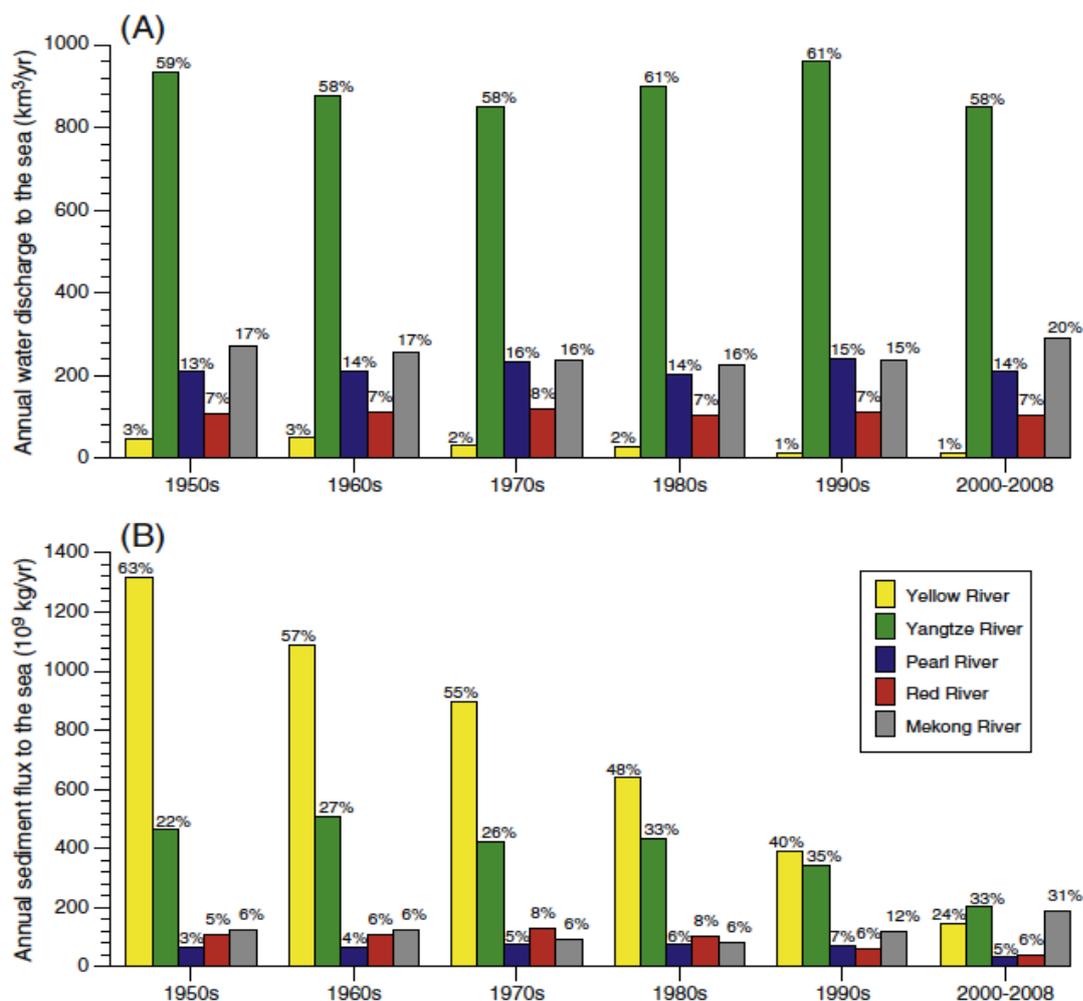


Figure 3. 2: Variations décennales en % du débit annuel à la mer (A) et du flux de sédiments correspondant (B), pour les cinq grands fleuves d'Asie du Sud et du Sud-Est. Source: Wang et al., 2011b.

En moyenne, Gupta et al. (2012) estiment que les flux de sédiments annuels des neuf plus grands fleuves chinois ont diminué de plus de 75% au cours des cinq dernières décennies. Dix grands fleuves péninsulaires indiens ont également enregistré des baisses similaires (> 75%) au cours des 3-4 dernières décennies. Entre 1930 et 2003, la charge sédimentaire de la rivière Indus a considérablement été réduite, de plus de 90% (Gupta et al., 2012). Parmi les rivières d'Asie du Sud-Est, la charge annuelle de sédiments du Chao Phraya (Thaïlande) et du Fleuve Rouge (au Vietnam) ont été réduite respectivement de 83% (Winterwerp et al., 2005) et de 75% (Dang et al., 2010). Pour conclure, tous les auteurs sont d'accord pour confirmer que la construction de plusieurs dizaines de milliers de barrages en Asie, et en particulier en Chine et en Inde, pourrait être

considérée comme la principale raison de la baisse de apports fluviaux mondiaux de sédiments à la mer (Figure 3.3). Les plus grands barrages du monde (> 100 m de hauteur) sont avant tout en Chine, dans les bassins du Changjiang (le Yangtsé) et du Huanghe (le Fleuve Jaune) (Dai et Liu, 2013; Yonggui et al., 2013), avec une réduction annuelle de 90% des débits et de 70% des sédiments en suspension apportés à l'océan (Wang et al., 2011a; Yu et al., 2013). La somme totale des flux annuel de sédiments des grands fleuves chinois a été réduite au cours des 50 dernières années, de 1,8 Gt/an à 600 Mt/an pour Wang et al. (2011b) et à 370 Mt/an pour Gupta et al. (2012).

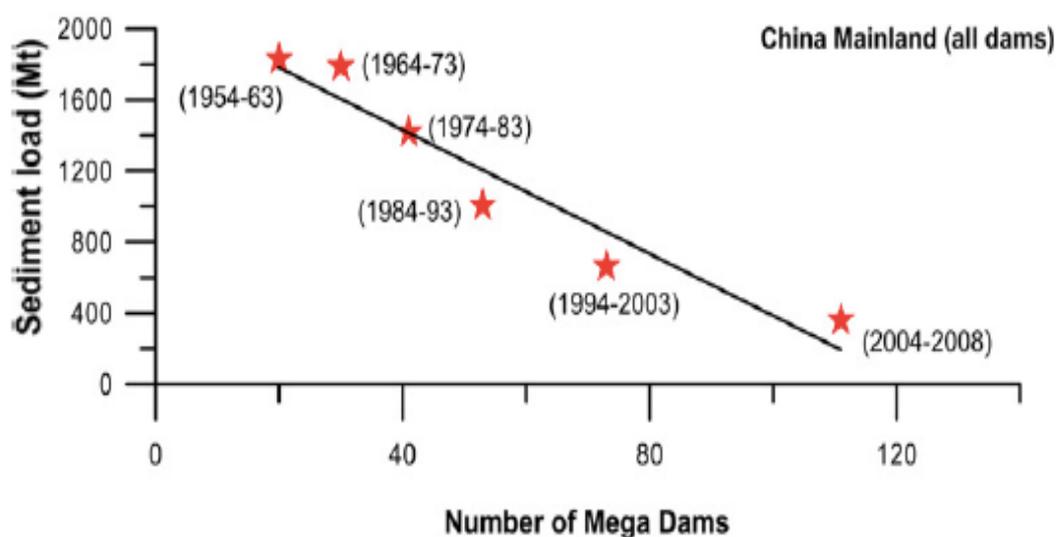


Figure 3. 3: Baisse des flux de sédiments des grands fleuves d'Asie en fonction nombre croissant de méga barrages dans les bassins respectifs à l'échelle décennale. Source: Gupta et al. (2012).

Parmi les cinq plus grands fleuves d'Asie de l'Est et du Sud-Est (Fleuve Jaune, Yangtsé, Pearl, Fleuve Rouge et Mékong) (Figure 3.4), le Fleuve Jaune est un bon exemple de la réduction des flux annuels de sédiment, causée par une combinaison des activités humaines et le changement climatique récent. En voici un résumé à partir des travaux de Yang et al. (1998), Wang et al. (2011c), Gupta et al. (2012), Yu et al. (2013) et Yonggui et al. (2013).

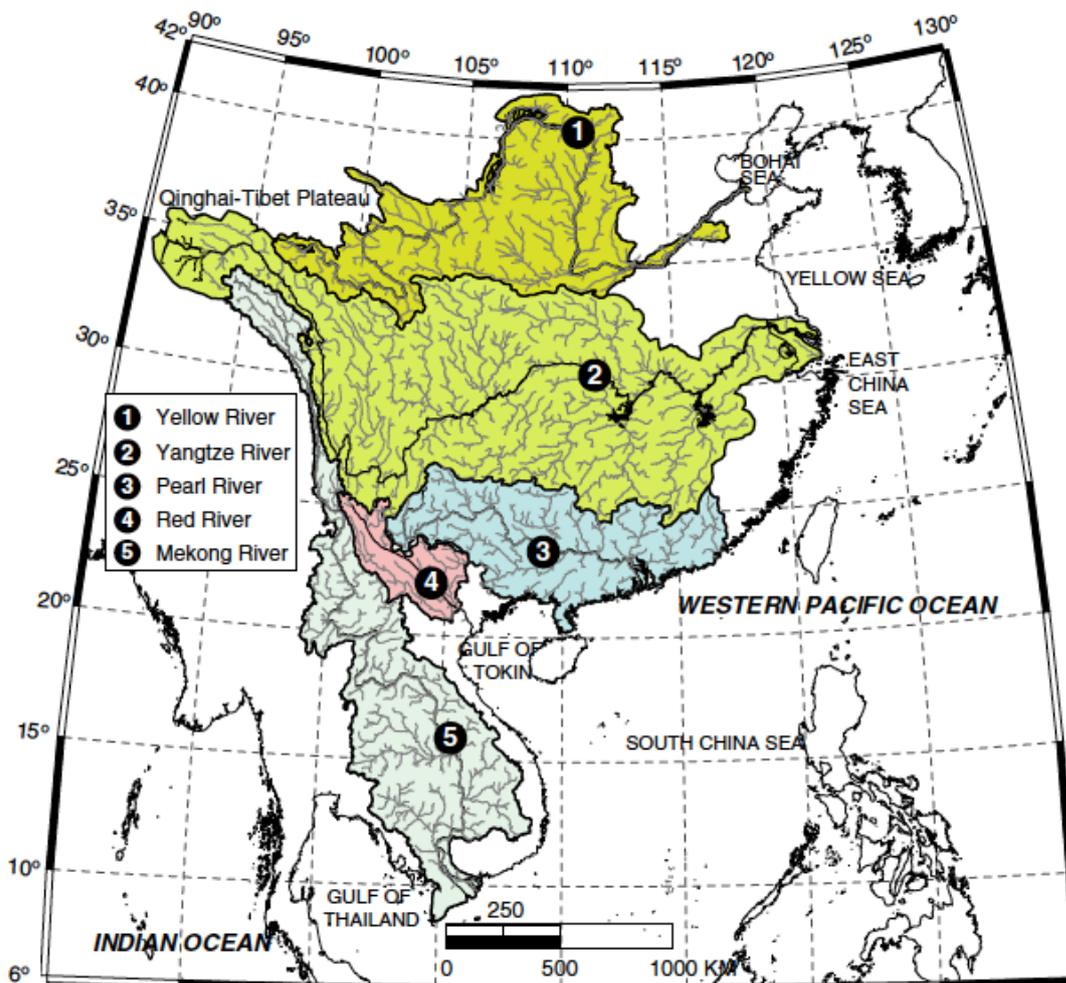


Figure 3. 4: Carte régionale d'Asie de l'Est et du Sud-Est, montrant les cinq fleuves majeurs qui délivrent des sédiments dans l'Océan Pacifique Ouest. Source: Wang et al., 2011b.

Les premiers enregistrements des débits et des flux de sédiments à l'océan datent des années 1950 et le premier grand barrage (avec une hauteur de colonne d'eau d'environ 100 m) a été construit en 1960 (Sanmenxia avec un volume de stockage de  $9,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ), le deuxième en 1968 (Liujiaxia avec un volume de stockage de  $5,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ), le plus grand en 1986 sur la partie supérieure (Longyangxia avec un volume de stockage de  $27,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ), et enfin le dernier en 1999 (Xiaolangdi avec un volume de stockage de  $12,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ) (Yonggui et al., 2013). Dans les années 1950, les pics de crues extrêmes s'élevaient à environ  $17\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Depuis 2003, les pointes de crue n'ont jamais dépassé  $4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ . De plus, le piégeage des sédiments par les réservoirs a été un problème particulièrement grave pour le Fleuve Jaune en raison des très fortes concentrations de sédiments en suspension

dans la partie amont (Hessel, 2002), correspondant aux grands plateaux de loess (Figure 3.5).

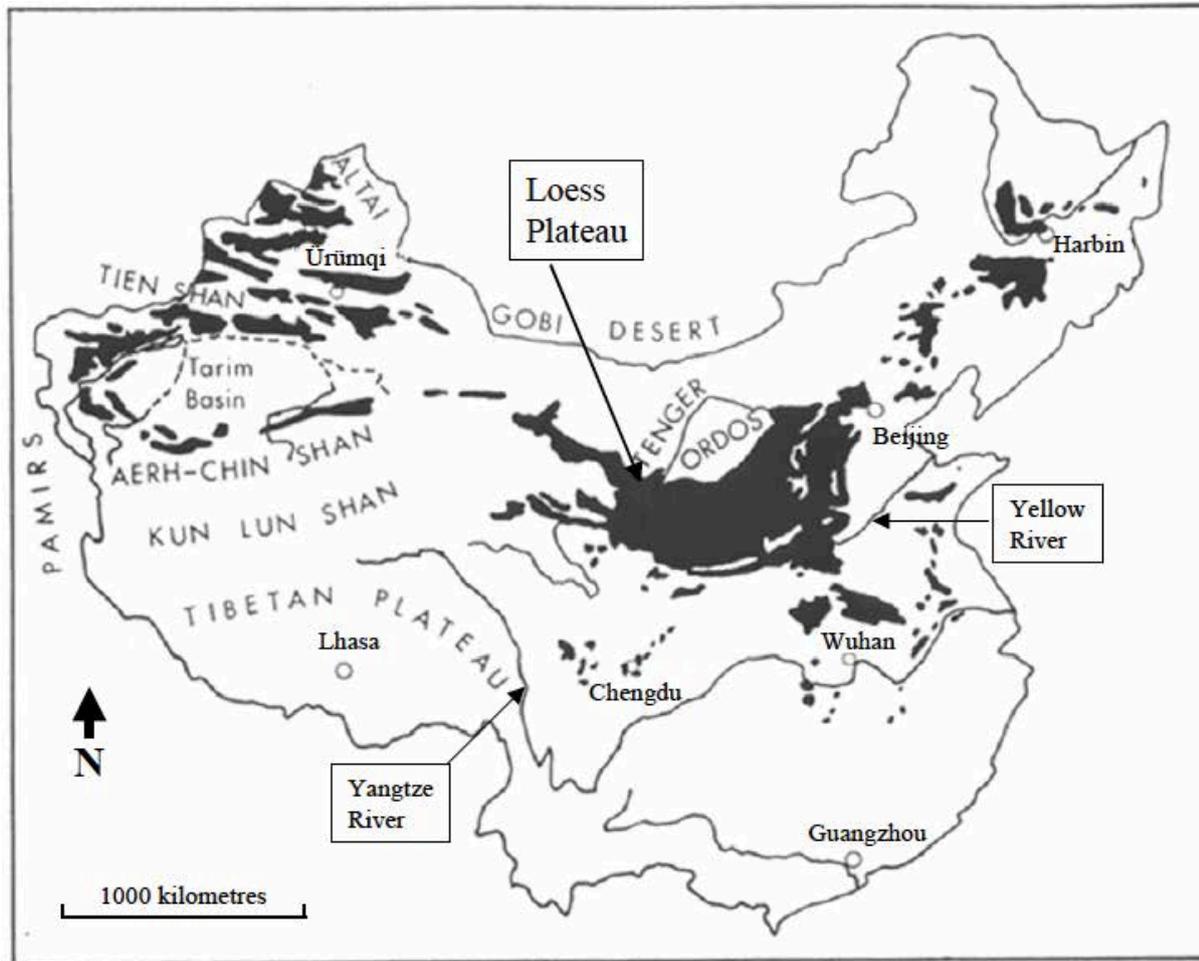


Figure 3. 5: Carte de distribution des loess en Chine. Source: Pye, 1987.

En effet, le premier réservoir construit en 1960, Sanmenxia, a perdu 46% de sa capacité de stockage seulement quatre ans après sa construction, un comblement dramatique qui était inattendue avant sa construction (Yonggui et al., 2013). Et le dernier réservoir construit en 1997, le Xiaolangdi, a piégé environ 84% des sédiments passant : jusqu'à 22% du réservoir a été rempli par les sédiments entre 1997 et 2012, malgré le draguage d'une partie des sédiments piégés (Chen et al., 2012a). En conséquence, la concentration moyenne annuelle aval de sédiments en suspension pendant a varié de 4,4 à 19,2 kg/m<sup>3</sup> entre 2000 et

2012, ce qui est très inférieur aux 10 à 50 kg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la période de 1950 à 1999 (Wang et al., 2010).

Ainsi, il est clair que le régime d'écoulement du Fleuve Jaune a été très largement modifié de son état naturel, ce qui a entraîné une série de problèmes environnementaux sur la partie aval (Chen et al., 2012b). Ces problèmes concernent le rétrécissement de la plaine deltaïque en raison du manque de sédiments, l'altération des environnements écologiques modifiant la biodiversité végétale et animale, la réduction des flux de nutriments apportés en zone côtière, et une modification importante du panache sédimentaire à l'embouchure. Le bilan de la construction des grands barrages sur le Fleuve Jaune est donc ambigu à faire, avec des évaluations à la fois positives et négatives.

### **3.4- Controverse à propos du Mékong**

Le Mékong est un long fleuve de 4 350 km de longueur, étendu du Nord au Sud et traversant 6 pays. Son bassin décrit une grande diversité de paysages et de dynamiques hydrologiques. Parmi eux, le lac Tonle Sap (Figure 3.6) est l'un des systèmes hydrologiques les plus complexes dans le monde (Lambert, 2006; Kummu et al., 2014). La construction en Chine de barrages sur le fleuve Lancang (ou Haut-Mékong) menace cet écosystème complexe de l'aval. Cinq à huit méga barrages ont déjà été construits ou sont en cours, et plusieurs autres sont prévus au Tibet et au Qinghai.

Les flux de sédiments dans la partie chinoise du Mékong ont diminué depuis l'installation du barrage Manwan en 1993 (Kummu et Varis, 2007). Cependant, Liu et al. (2013), avec Walling (2008) et Wang et al. (2011c), n'ont pas observé de diminution substantielle des flux sédimentaires en aval de cette station. Ils estiment à 160 Mt/an d'apport sédimentaire du Mékong à la mer de Chine méridionale, et ils suggèrent que ce chiffre relativement important serait probablement dû à la déforestation au Laos et en Thaïlande. Par ailleurs, Kummu

et al. (2010) suggèrent aussi une augmentation de l'érosion du lit et des berges du Mékong aval en raison d'une diminution de la charge sédimentaire en suspension du fait du piégeage de 60-80% du flux de sédiments par les barrages dans la partie chinoise.

Cependant, récemment Lu et al. (2014a, 2014b) montrent que chaque année, seulement 55% des flux de sédiments mesurés à Mukdahan, amont du Tonle Sap, contribuent au delta. Ils estiment les apports en sédiments du Mékong à la mer à seulement 50 Mt/an, ce qui est largement plus faible que la précédente estimation. En fait, la dynamique des sédiments suit un cycle saisonnier avec une charge sédimentaire élevée du cours principal du Mékong uniquement pendant la période d'inondation.

De plus, le cours inférieur du fleuve Mékong a connu des niveaux d'eau extrêmement bas au cours des dernières années, du fait probablement de la construction et de l'exploitation des barrages en cascade chinois dans la partie supérieure du bras principal du Mékong (Lu et Siew, 2006; Johnston et Kummu, 2012).

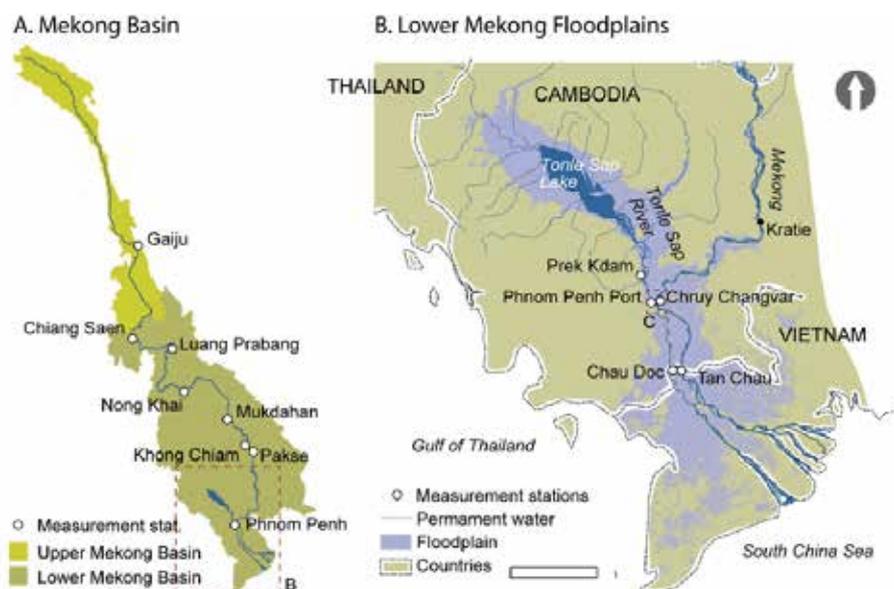


Figure 3. 6: Bassin du Mékong (A) et le système Tonle Sap-Mékong (B). Source: Lu et al., 2014a.

### **3.5- Le cas du barrage de Hoa Binh sur la rivière Da : conséquences sur le Fleuve Rouge**

Le Fleuve Rouge provient des montagnes de la province du Yunnan en Chine (Figure 3.7) et draine le Nord Vietnam. Son bassin couvre une superficie totale de 169 000 km<sup>2</sup>, avec 50,3% de sa superficie située au Vietnam, 48,8% en Chine et 0,9% au Laos, et il comprend un delta fertile et densément peuplé sur 14 000 km<sup>2</sup>. Les principaux affluents du Fleuve Rouge sont la rivière Da, sur sa rive droite, et la rivière Lo, sur sa rive gauche (Figure 3.7). Le Da (ou encore Rivière Noire) a sa source dans la province du Yunnan, voisine de celle du Fleuve Rouge, à une altitude de plus de 2000 m; le Lo vient aussi de Chine à une altitude d'environ 1100 m. Peu de travaux de recherche concerne l'hydrologie du Fleuve Rouge et de son bassin. On peut citer : Le et al. (2007, 2010, 2011), Van Maren (2007), Van den Bergh et al. (2007), Li et al. (2008), Luu et al. (2010, 2011), Dang et al. (2010), Wang et al. (2011b).

A partir de données de débits journaliers et de concentrations en matières en suspension (SPM) enregistrées entre 1960 et 2008 à la station hydrologique de Sontay, en amont de Hanoi, considérée comme le point d'entrée du Fleuve Rouge dans son delta, Dang et al. (2010) estiment le débit moyen annuel du Fleuve Rouge à 3 500 m<sup>3</sup>/s, ce qui est largement supérieur à la valeur de 2 650 m<sup>3</sup>/s retenue par Wang et al. (2011b). Avec un débit moyen annuel de 3 500 m<sup>3</sup>/s, le débit spécifique du Fleuve Rouge s'établit à 20,5 L/s/km<sup>2</sup>, ce qui est du même ordre de grandeur que ceux des plus grands fleuves d'Asie de l'Est et du Sud-Est (e.g. 20,1 L/s/km<sup>2</sup>, 20,9 L/s/km<sup>2</sup> et 16,7 L/s/km<sup>2</sup> respectivement pour le Mékong, la Pearl et le Yangtsé). Il en est de même pour le transport sédimentaire. Au cours de la saison des pluies, la valeur moyenne des concentrations SPM est de l'ordre de 730 mg/L pour un débit de 5 470 m<sup>3</sup>/s. Ces chiffres font du Fleuve Rouge un des grands fleuves du monde avec l'apport spécifique de sédiments les plus élevés, de 580 T/km<sup>2</sup>/an à 1340 T/km<sup>2</sup>/an (Dang et al., 2010), chiffres comparables à ceux de l'Irrawaddy (616 T/km<sup>2</sup>/an), du Gange-Brahmapoutre

(1168 T/km<sup>2</sup>/an) ou du Fleuve Jaune (1403 T/km<sup>2</sup>/an), mais largement supérieurs à ceux du Yangtsé (246 T/km<sup>2</sup>/an) et du Mékong (203 T/km<sup>2</sup>/an).

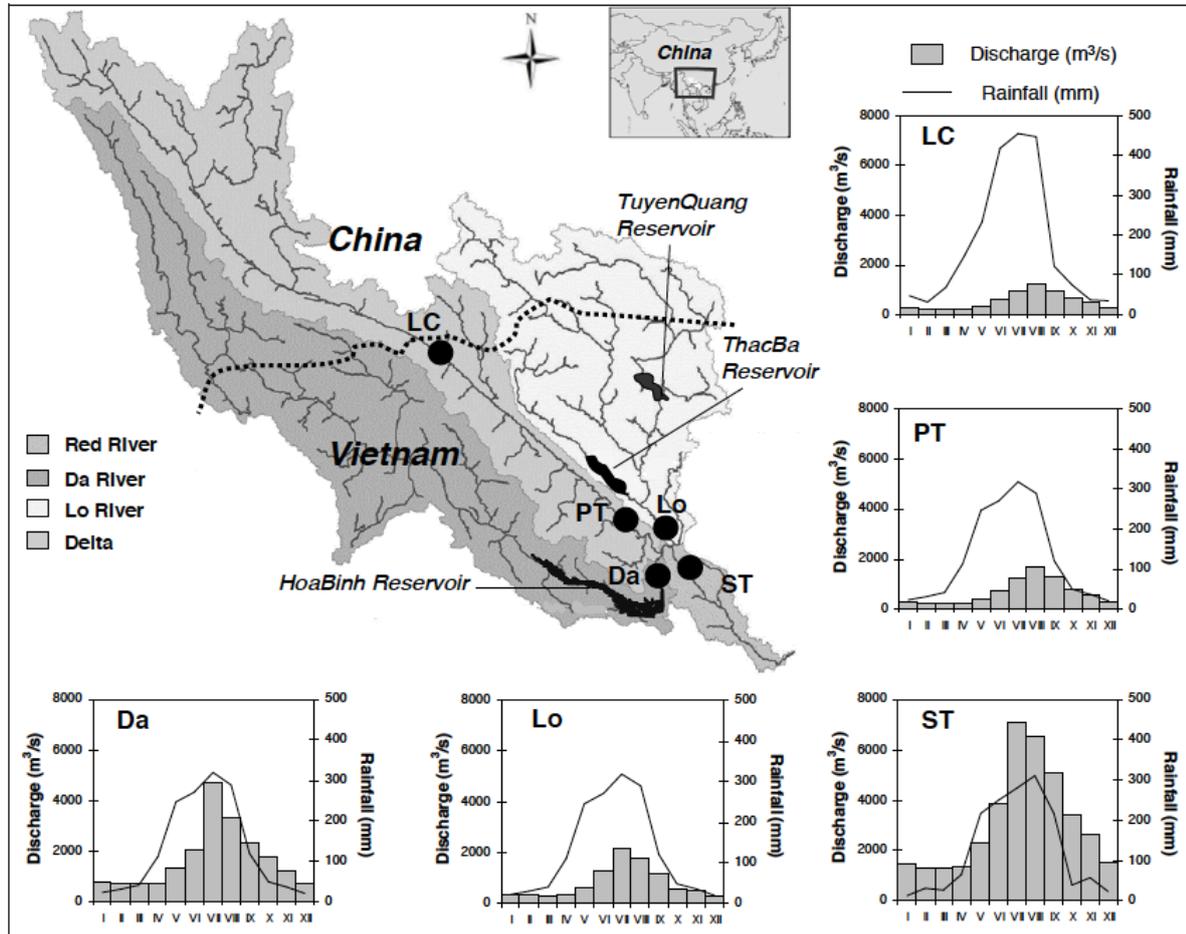


Figure 3. 7: Bassin du Fleuve Rouge et de ses affluents (les rivières Da et Lo): emplacement des stations hydrologiques permanentes (cercles noirs; LC: Lao Cai; PT: Phu Tho; ST: Sontay), et histogrammes des moyennes mensuelles de précipitations et des débits (données de 2003 à 2008; Institut de Météorologie, d'Hydrologie et Environnement du Vietnam). Source: Dang Thi Ha, 2011.

Sur la période 1960-2009, la courbe d'évolution annuelle des flux de sédiments mesurés à Sontay sur le Fleuve Rouge montre une nette cassure en 1986, date de la mise en service du barrage de Hoa Binh sur le Da (Figure 3.8A). Il est clair que c'est le piégeage des sédiments par ce barrage qui provoque la chute de sédiments transportés par le Fleuve Rouge à son entrée dans le delta, la moyenne interannuelle chutant de moitié (passant de 100 Mt/an à 50 Mt/an). Et l'évolution relative des flux sédimentaires en fonction des débits confirme bien que le Fleuve Rouge a subi un changement de fonctionnement hydro-sédimentaire du fait de

l'installation du barrage de Hoa Binh (Figure 3.8B). La mise en service du barrage de Hoa Binh a donc considérablement réduit les flux de sédiments provenant de la rivière Da. Sur la période récente 2003-2008, les flux de sédiments provenant du Da et du Lo sont respectivement de 4,1 Mt/an et 6,6 Mt/an, pour un flux total de 29 Mt/an sur le Fleuve Rouge à Sontay (Dang et al., 2010).

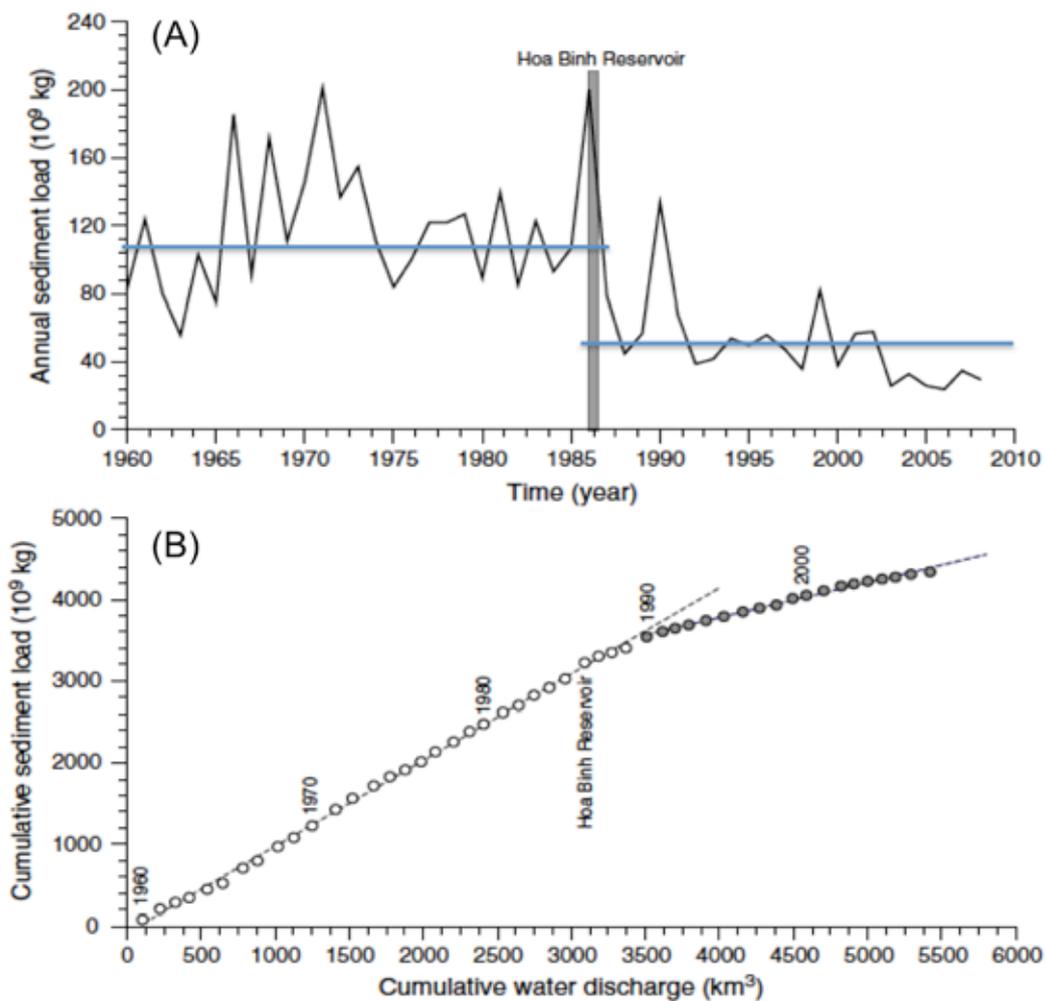


Figure 3. 8: Evolution annuelle de 1960 à 2009 des flux de sédiments transportés par le Fleuve Rouge à la station hydrologique de Sontay (A), et évolution des flux de sédiments annuels cumulés en fonction des débits annuels cumulés sur la même période à Sontay (B). Source: Dang Thi Ha, 2011.

Dang et al. (2010) ont calculé que le barrage de Hoa Binh piègeait environ 90% des flux sédimentaires. Ainsi, la quantité moyenne annuelle de sédiments piégés par le réservoir de Hoa Binh est estimée à environ 50 à 80 Mt/an, selon les années humides ou sèches en fonction de la pluviométrie sur le bassin amont. Cette

valeur est supérieure à celle estimée pour le barrage de Manwan sur le Haut-Mékong, autour de 60 Mt/an pour Kummur et Varis (2007) et seulement 28 Mt/an pour Fu et al. (2008). Ces chiffres soulignent l'énorme capacité de transport de sédiments du Fleuve Rouge.

Basé sur une surface de réservoir de 208 km<sup>2</sup>, Dang et al. (2010) calcule un taux de sédimentation moyen de 52 à 200 cm/an (soit entre 10 m et 40 m de dépôt sédimentaire en 19 ans). Le niveau de comblement sédimentaire maximum autorisé est définie comme étant le niveau d'eau le plus bas que doit conserver le barrage pour produire de l'électricité dans les conditions normales de fonctionnement (Brune, 1953; Grant et al., 2003). Ce niveau est de 80 m pour le barrage de Hoa Binh (Ngo et al., 2007). Aussi avec un taux moyen de sédimentation de 52-200 cm/an, la durée de vie utile du réservoir de Hoa Binh serait de 150 à 40 années.

Ces chiffres soulignent qu'un des problèmes majeurs concernant les barrages hydroélectriques est leur comblement par les flux de sédiments provenant de l'érosion de leur bassin versant amont, induisant des réductions drastiques de leur durée de vie en raison de la diminution du volume de stockage des eaux de surface pour le contrôle des inondations et la production d'hydroélectricité. Cela est tout particulièrement accentué pour les ouvrages construits sur les grands fleuves d'Asie (Komori et al., 2012 ; Ziegler et al., 2012). Par ailleurs, une autre conséquence majeure est le changement du rapport flux d'eau et flux sédimentaire dans les écoulements à l'aval du barrage. Pour le Fleuve Rouge par exemple, le rapport est passé de 1 à 1/2 : pour un même volume d'eau écoulé on a deux fois moins de sédiments transportés (Figure 3.8B). Cela aura forcément un impact sur l'écologie de la rivière aval et sa morphologie.

### **3.6- Conséquences des grands barrages hydroélectriques sur la morphologie des rivières**

Les systèmes fluviaux ont la capacité naturelle d'ajuster leur morphologie à leur hydrologie. Ainsi l'hydrologie de la rivière, le mouvement des sédiments et la morphologie du canal sont en équilibre dynamique (Petts, 1984; Williams et Wolman, 1984; Olofin, 1988; Magilligana et Nislow, 2005). Dans les premiers stades après la construction du barrage, la concentration de sédiments en suspension et les flux transportés dans les cours moyen et inférieur du fleuve diminuent sur une période de 10 ans (Gomez, 1991; Hovius, 1998; Moog et Whiting, 1998; Church, 2006 ; Kong et al., 2009; Meade et Moody, 2010). Puis le régime sédimentaire de la rivière devient stable à l'échelle décennale (Wang et al., 2011c). Les changements majeurs se font principalement à proximité des barrages (Brandt, 2000). Les impacts géomorphologiques sont tout d'abord un affouillement du lit au pied du barrage, puis une augmentation de l'érosion du chenal, amenant la dégradation des fonds et des habitats écologiques (Nagle et al., 1999; McCartney et Acreman, 2001; Hinderer, 2012), un approfondissement du lit et son rétrécissement, l'intensité du changement décroissant de l'amont versans l'aval (McCully, 1996; Adamson, 2001; Grant et al., 2003; Yonggui et al., 2013).

En terme de processus, l'effet direct du piégeage des sédiments par les barrages conduit à diminuer considérablement la concentration de sédiments en suspension à proximité du barrage, alors que la concentration moyenne de sédiments en suspension et leur granulométrie vont augmenter progressivement vers l'aval (Figures 3.9 et 3.10) en raison de l'affouillement du lit de la rivière au pied du barrage, ce qui impacte négativement la productivité de l'écosystème (Zhang et al., 2013; Arias et al., 2014). Sur le long terme, l'érosion du lit de la rivière commence à diminuer 6 à 12 ans après le remplissage du réservoir (Grant et al., 2003), la sédimentation augmentant dans le lit aval de la rivière à la suite de la diminution des flots induisant une perte d'énergie et donc une sédimentation plus facile (Walling, 2006). En terme de bilan des apports sédimentaires fluviaux, cette nouvelle dynamique sédimentaire se mettant en place dans la partie aval au

barrage de la rivière ne fait que se surajouter au piégeage des sédiments dans les barrages.

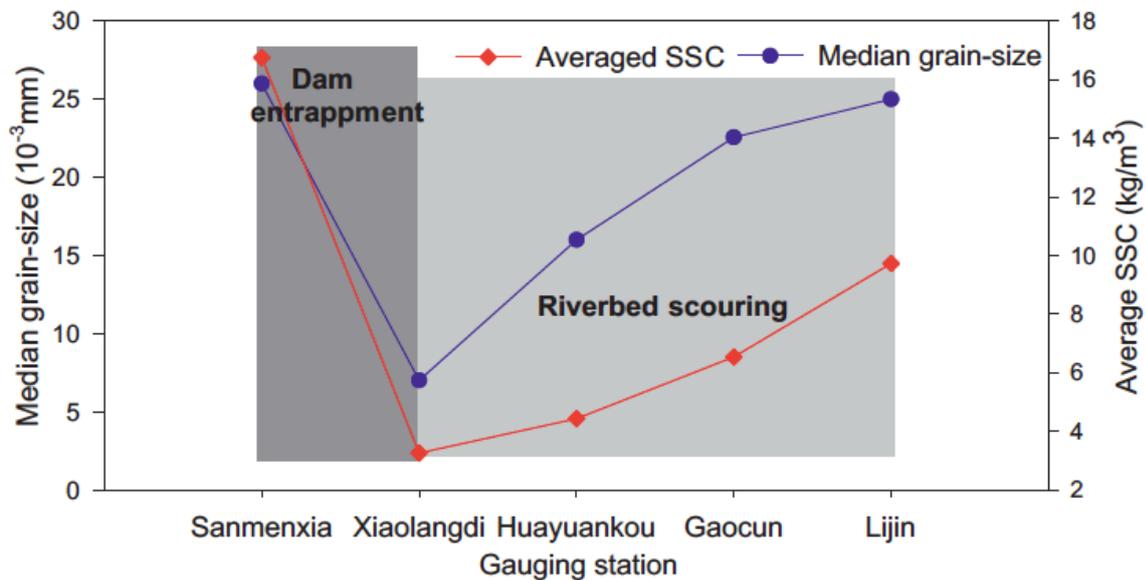


Figure 3. 9: Evolution (moyenne de 2002 à 2012) des concentrations de sédiments en suspension (SSC) et de la taille moyenne des grains, le long du cours du Yangtzé sur quatre stations hydrologiques (barrage Sanmenxia construit en 1960, barrage Xiaolangdi construit en 1997). Source: Yonggui et al., 2013.

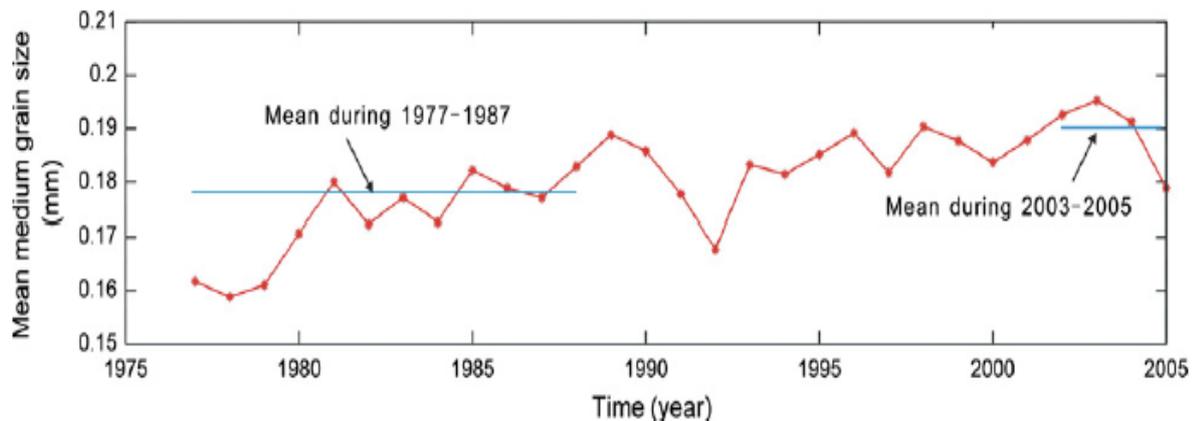


Figure 3. 10.: Evolution de la granulométrie moyenne dans les sédiments fluviaux à la station hydrologique de Datong, dernière station hydrologique avant la ville de Nanjing, sur le fleuve Changjiang (Yangtzé), 1250 km en aval du barrage des Trois Gorges. Source: Dai et Liu, 2013.

### 3.7- Impact des usages agricoles sur la qualité des sédiments

Le transport sédimentaire fluvial se décompose en deux composantes : d'une part le charriage de fond, d'autre part les sédiments en suspension (Holeman, 1968; Slaymaker, 2003; Parsons, 2011; Hinderer, 2012). Alors que le charriage de fond est la partie de matière solide transportée par processus de saltation sur le fond du

lit de la rivière, les sédiments en suspension sont transportés en suspension dans la colonne d'eau (Gomez, 1991). Selon la taille des sédiments (la granulométrie) et l'énergie de l'eau qui coule (la vitesse de l'eau), le matériau solide peut être transporté soit en charriage, soit en suspension, de manière alternative au cours de son long voyage à travers le système hydrologique de la rivière (Church, 2006).

Aussi Ziegler et al. (2013) s'interrogent sur l'impact de la taille des grains de sédiments sur la dynamique des sédiments de piégeage par les réservoirs. Ils soulignent que la contribution du charriage au flux sédimentaire amont alimentant les barrages serait en augmentation au cours de la dernière décennie du fait des pratiques agricoles sur les pentes. En effet, le développement des réseaux routiers, l'expansion et l'intensification de l'agriculture, et l'augmentation de la densité de population dans de nombreux bassins versants d'amont sont sans aucun doute en train de d'augmenter la granulométrie des sédiments transportés et aussi la capacité de charriage des cours d'eau (Nagle et al., 1999; Sidle et al., 2006; Sidle et Ziegler, 2010, 2012; Fox et al., 2012; Sidle et al., 2013; Ziegler et al., 2012, 2013). Dans la période actuelle, l'augmentation annuelle moyenne des débits souvent enregistrée sur les bassins amont des zones de montagne en Asie du Sud et du Sud-Est est attribuée à la déforestation et l'expansion agricole sur les pentes (Liu et al., 2014), ce qui induirait un charriage plus important (Ziegler et al., 2013). La contribution du charriage pourrait dépasser 20 à 40% pour les flux sédimentaires des bassins versants de plus de 10 km<sup>2</sup>, et être encore plus élevée pour les petits cours d'eau. En effet, Valentin et al. (2008) montrent une corrélation positive entre le charriage et les superficies de cultures annuelles sur les terres en pente en Asie du Sud-Est. De plus, Orange et al. (2008) soulignent l'importance du flux de sédiments en suspension dans les petits bassins versants agricoles sur pente (< 1 km<sup>2</sup>) dans le nord du Vietnam, pouvant représenter de 50% à 90% du flux totaux annuels des sédiments exportés. Les charges en suspension sont plus importantes lors des débits de pointe (représentant alors plus de 95% du flux de sédiment) lorsque la vitesse du flux d'écoulement est élevée.

Les flux de matières en suspension seraient plus corrélée avec la vitesse de l'eau qu'avec la superficie de cultures sur pentes (Bui et al., 2014). De la même façon, Orange et al. (2013) soulignent la contribution importante des flux de sédiments en suspension en cas de pluies exceptionnelles, telles que les typhons pouvant atteindre les zones montagneuses d'Asie du Sud-Est.

Cette répartition entre charriage et suspension dans le flux sédimentaire alimentant le barrage est fortement liée à la granulométrie des matières érodées, en estimant que le régime hydrologique amont reste inchangé. Cette répartition est primordiale pour l'estimation des taux de comblement des réservoirs et donc des durées de vie des barrages (Annandale, 2006), puisque plus la granulométrie des sédiments sera élevée, plus important sera le piégeage par sédimentation.

### **3.8- Conclusion**

Le piégeage des sédiments dans les grands barrages hydroélectriques est une réalité importante partout dans le monde, et en particulier en Asie du Sud-Est avec une efficacité de stockage de sédiments autour de 50% à 80% en moyenne. Nous avons vu qu'il peut avoir des conséquences importantes de l'échelle locale à l'échelle globale, à la fois pour la gestion des barrages et leur durée de vie, mais aussi pour la morphologie et l'écologie des bassins fluviaux aval et leur gestion hydrologique.

En Asie du de l'Est et du Sud-Est, le processus de piégeage des sédiments par les barrages est considérablement augmenté pour les raisons suivantes:

- Ø Parce que les cinq plus grands fleuves de l'Asie de l'Est et du Sud-Est (Fleuve Jaune, Yangtsé, Pearl, Fleuve Rouge et Mékong) sont parmi les plus importants contributeurs de transports fluviaux de sédiments dans le monde, en raison de l'intense activité de l'érosion géologique et tectonique augmentée d'une érosion anthropique dense (agricole et urbaine). Ainsi le Fleuve Rouge, et avec lui sa branche fluviale principale constituée du Da où sont aménagés les principaux barrages hydroélectriques du Vietnam, est

une des rivières les plus érosives au monde, avec une érosion spécifique élevée variant de 580 T/km<sup>2</sup>/an jusqu'à 1340 T/km<sup>2</sup>/an, comparable à l'Irrawaddy, au Gange-Brahmapoutre et Fleuve Jaune, et beaucoup plus que le Yangtsé ou encore le Mékong.

- Ø Parce que la déforestation et l'érosion du sol induite augmentent plus rapidement en Asie du Sud-Est que partout ailleurs dans le monde, en raison d'une évolution démographique et économique galopante.
- Ø Parce que l'Asie du Sud-Est est particulièrement soumise à l'influence des typhons qui, de plus, devraient voir leur nombre augmenter en raison du réchauffement climatique. On sait que pendant et après une tempête particulièrement violente une rivière peut transporter autant de sédiments en un évènement que comme elle le ferait durant plusieurs années "normales". De la même façon, les glissements de terrain et coulées de boue courantes en Asie du Sud-Est peuvent aussi avoir un effet dramatique et imprévisible sur le comblement sédimentaire des barrages.

Aussi sur la base de ces trois items, il est admis que dans cette région, la durée de vie utile des réservoirs pourrait considérablement diminuer d'au moins une quarantaine d'année, si aucune gestion du barrage n'est prévue pour y remédier.

De plus, l'hydrologie et l'écologie de la partie aval du barrage sont aussi largement affectées. La réduction des flux de sédiments dans la rivière en aval entraîne une remobilisation de l'érosion des lits et des berges, induisant la disparition des plaines d'inondation et donc la dégradation de la capacité d'auto-épuration des cours d'eau. Les conséquences environnementales sont alors profondes et souvent irréversibles.

La gestion des bassins versants amont et aval du barrage semble donc être une nécessité pour la durabilité de la production hydroélectrique. Ce peut être réduire l'érosion sur les pentes amont par des actions de boisement et la promotion de l'agriculture conservatrice. Bien que ces recommandations soient

souvent faites dans les plans d'application des projets de barrage hydroélectrique, il faut reconnaître qu'elles sont rarement mises en œuvre: les agences de construction de barrages sont généralement plus intéressées à investir leurs fonds sur la construction du barrage que sur la plantation forestière ou l'aménagement des pentes (McCartney, 2009 ; Dao, 2010).

Voyons maintenant ce qu'il en est sur les pentes du Nord Vietnam dans les Provinces de Son La et Lai Chau à la faveur des projets de Huoi Quang et Ban Chat ?

## **Chapitre 4**

# **Présentation géographique de la zone d'étude et situation socio- économique actuelle**

### **4.1- Localisation de la zone d'étude**

La zone d'étude, avec une superficie de 3110 km<sup>2</sup>, se situe à cheval sur deux provinces, la Province de Lai Chau au Nord et la Province de Son La au Sud, entre les provinces de Lao Cai, Yen Bai et Dien Bien (Figure 4.1).

Elle est située à 400 kilomètres environ au Nord-Ouest d'Hanoi. Ses coordonnées sont de 103° 31' 52" E à 104°20' 10" E et de 21° 15' 10" N à 22° 18' 12" N, avec une altitude moyenne de 296 m et un sommet maximum à 3194 mètres, le mont Fansipan (Podwojewski et al., 2011). Par classe d'altitude, les classes d'altitude inférieures à 900 mètres sont les plus largement représentées (Figure 4.2). Les terrains agricoles sur pente sont en général compris entre de 400 et 700 mètres d'altitude.

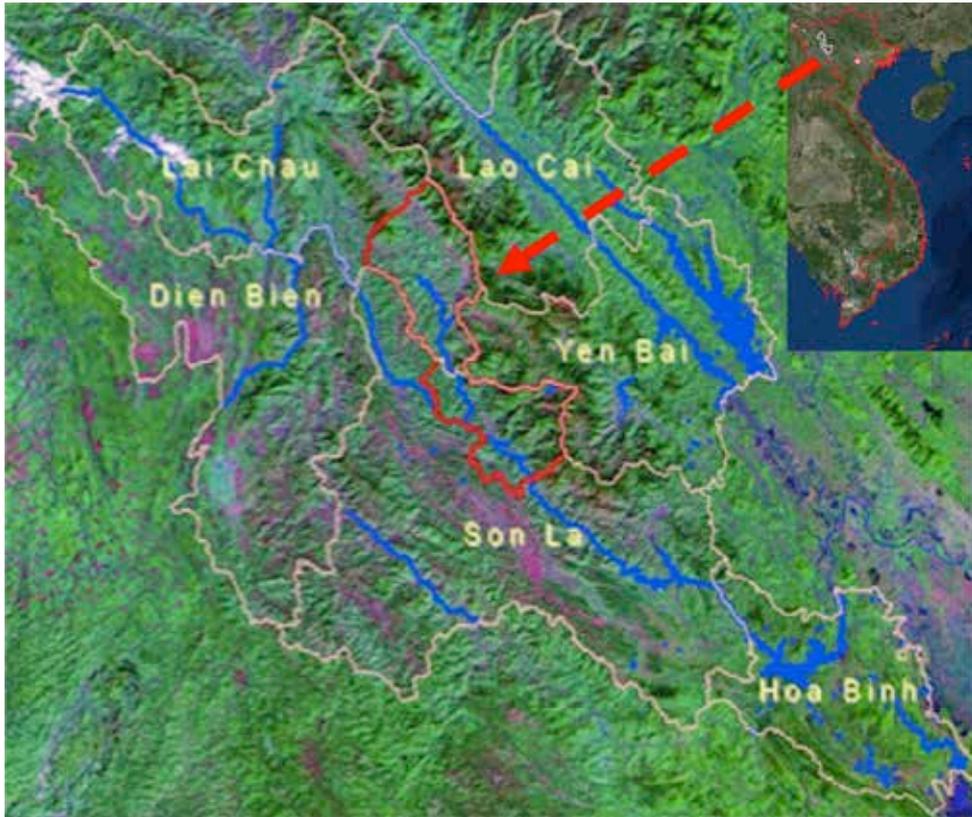


Figure 4. 1: Carte de localisation de la zone d'étude située sur les provinces de Lai Chau au Nord et de Son La au Sud.

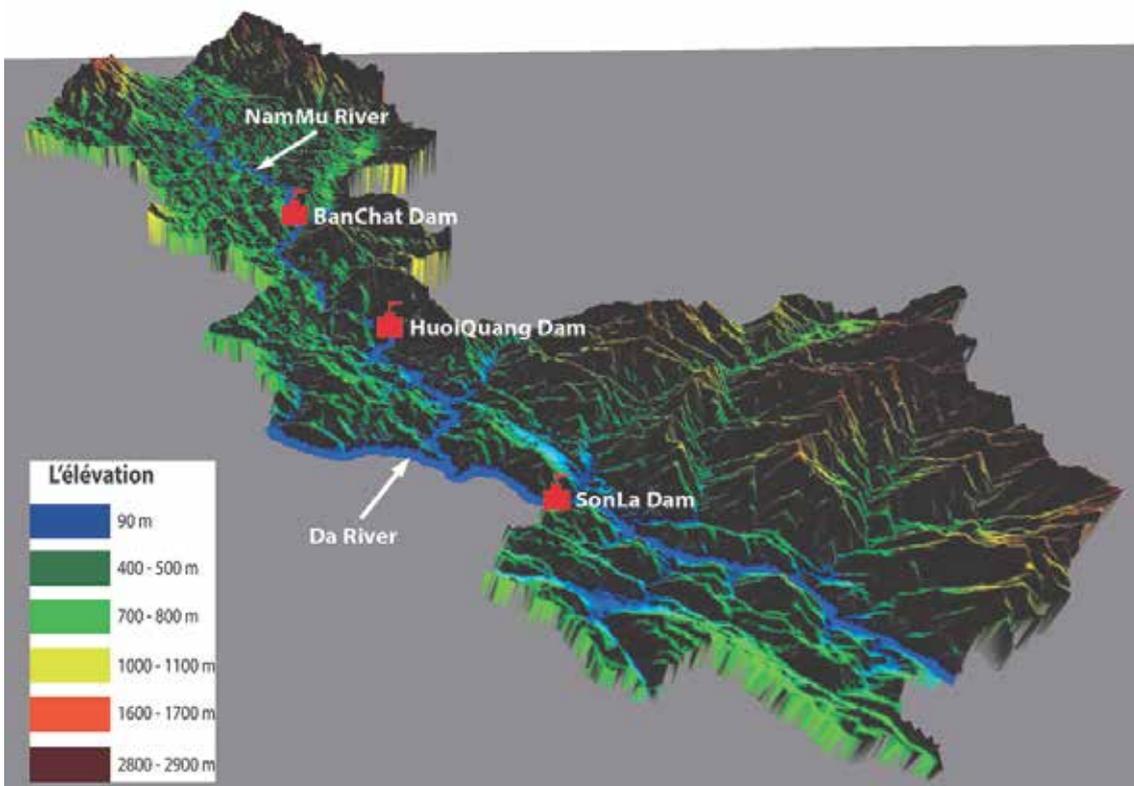


Figure 4. 2: Carte hypsométrique de la zone d'étude.

Son La est une des provinces de la région du Nord-Ouest du Vietnam, de 14 120 km<sup>2</sup>, bordant le Laos au Sud, comprenant 1,134 million habitants (en 2012), 12 districts, 9 villes et 188 communes. Elle est la troisième province la plus étendue du Vietnam. Sa capitale est Son La, située à 320 km seulement au Nord-Ouest de Hanoi, sur la route de Dien Bien Phu. La population est avant tout Thai, les groupes ethniques H'Mong, Muong, Tay, Dao et Kinh sont aussi représentées. La croissance démographique a été de 17% depuis 2004.

C'est une province peu touristique, à l'exception du plateau de Moc Chau, qui est une zone de production laitière. Enfin, c'est une province de montagnes et de hautes terres entre 600 et 700 m d'altitude, constituée essentiellement de forêts, de cultures sur pente (riz pluvial, maïs et manioc, cf. Figure 4.3A), terrasses (Figure 4.3B) et plaines de bas fond (Figure 4.3C), avec un réseau hydrographique bien marqué et de l'eau en abondance, donnant à cette province un capital hydroélectrique exceptionnel. La croissance économique y est de l'ordre de 10 à 15% par an depuis plusieurs années.



(A): Cultures sur pente. De haut en bas : riz pluvial, terrasse en jachère, maïs.

(B): Culture riz irrigué sur terrasse

(C): riz de bas-fond et maïs sur les proches collines.

Figure 4. 3: Pratiques agricoles classiques dans les provinces de Son La et Lai Chau.  
Source : Nguyen VT, Laffly D, Orange D (missions de 2010, 2011 et 2012)

La province de Lai Chau est située à l'extrême Nord-Ouest du Vietnam en frontière avec la Chine. C'est la province la moins densément peuplée du Vietnam, avec 397 500 habitants en 2012 et une superficie de 9 060 km<sup>2</sup>, 7 districts, 7 villes et seulement 96 communes. Les groupes ethniques sont les Thai, H'Mong, Tay, Giay, Dao et Kinh. La capitale est Lai Chau. Et c'est avant tout une province montagneuse de forêt et de petite agriculture similaire à la Province de Son La (Figure 4.4). C'est aussi la province la plus pauvre du Vietnam, mais depuis 2000 la population a augmenté de 20%, la production de riz et maïs a triplé, la production de manioc et de thé a progressé de respectivement 40% et 120% (General Statistics Office, 2009). La croissance économique y est forte, de l'ordre de 15% ces dernières années.



(A): riz de bas-fond, forêt et habitat traditionnel.



(B): habitat traditionnel.

Figure 4. 4: Paysage de la Province de Lai Chau. Source : Nguyen VT, Laffly D, Orange D (missions de 2010 et 2012)

## **4.2- Les caractéristiques biophysiques et environnementales de la zone d'étude**

### **4.2-1. Un climat tropical humide**

La principale caractéristique du climat dans la zone d'étude est un climat de mousson tropicale humide avec un hiver relativement froid et sec et un été à très forte saisonnalité des pluies. Les caractéristiques du climat moyen interprétées ci-dessous sont issues de la banque de données des stations météorologiques de

Muong La (Province de Son La) et Than Uyen (Province de Lai Chau), sur une période observée de 40 ans (de 1973 à 2013).

Dans le district de Muong La (Figure 4.5), la température moyenne mensuelle varie de 16,4°C en décembre-janvier à 26,2°C en juin-juillet, avec des températures de l'air journalières maximales de 39,8°C et 0°C. La pluviométrie moyenne annuelle à Muong La est 1402 mm/an (sur la période 1973-2013), mais les précipitations sont inégalement réparties sur l'année. En moyenne plus de 80% des volumes précipités de l'année tombent entre les mois d'Avril et Septembre. Les mois les plus pluvieux sont souvent les mois de juin à août avec, respectivement, une pluviométrie de 275 mm en juillet, 238 mm en juin et 245 mm en août.

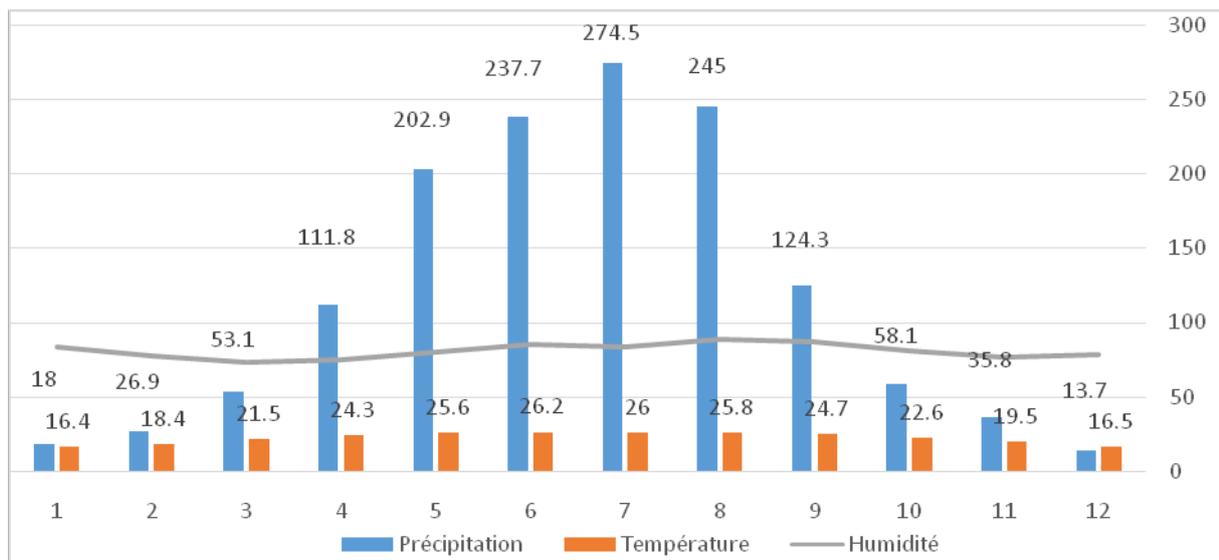


Figure 4. 5: Pluviométrie, température et humidité de l'air moyennes mensuelles dans le district de Muong La. Source: Station météorologique de Son La (1973 - 2013)

Dans les districts de Tan Uyen et Than Uyen (amont de la zone d'étude, dans la province de Lai Chau), la pluviométrie est plus forte que dans le district de Muong La, avec pluie moyenne annuelle de 1592 mm/an (sur la période 1973-2013, Figure 4.6). Par contre, la saisonnalité est la même, avec les mois de juin à

août les plus pluvieux : 267 mm en juin, 325 mmen juillet et 315 mm en août. Ces fortes pluviométries dans une région à fortes pentes sont propices à un fort risque de glissements de terrain, une érosion des sols importante sur les terres de pente cultivée et des crues rapides dans les thalwegs souvent encaissés. Comme la pluie, la température de l'air dans les districts de Tan Uyen et Than Uyen est aussi plus élevée mais varie exactement de la même façon. Les températures mensuelles moyennes varient de 18°C en décembre-janvier à 27,3°C en juin-juillet. Les températures journalières maximales sont de 40°C en été et 0°C en hiver.

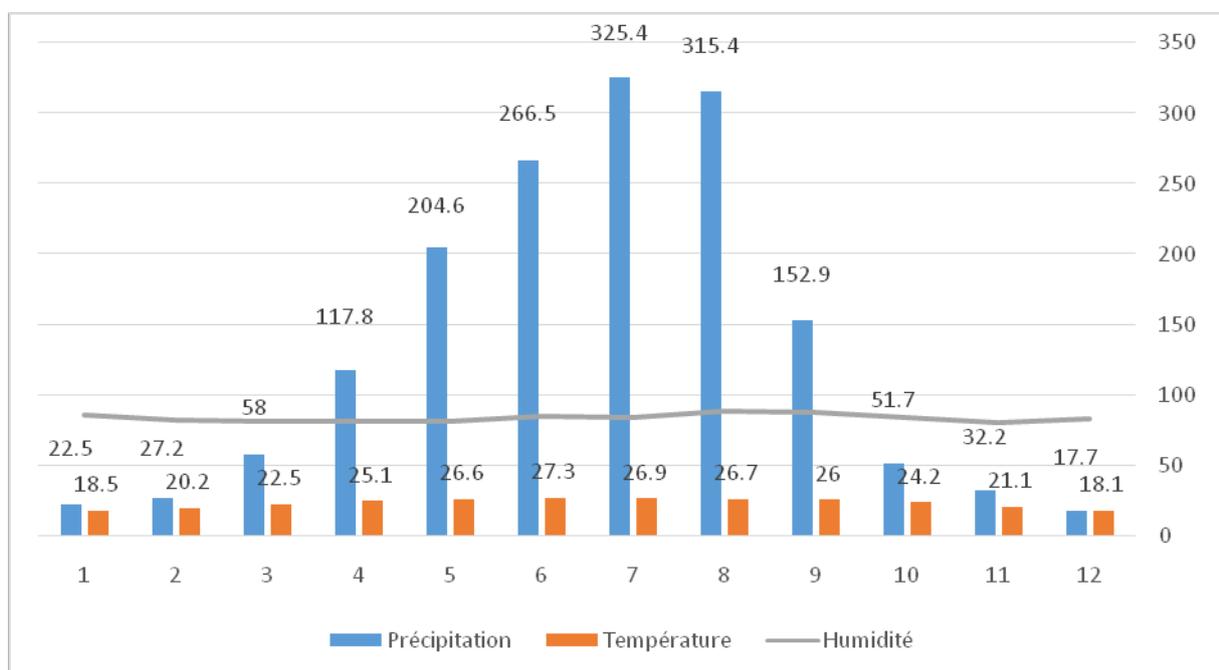


Figure 4. 6: Pluviométrie, température et humidité de l'air moyennes mensuelles dans le district de Than Uyen. Source: Station météorologique de Than Uyen (1973 - 2013)

#### 4.2-2. Une géologie contrastée

Les roches mères sont distribuées de la façon suivante (Figure 4.7) :

- Les roches dites shale, siltstone, sandstone, limestone, basalt (Figure 4.7) sont majoritaires dans notre zone d'étude. Elles s'étendent du Nord au Sud du bassin. Ce sont les roches mères des Haplic Acrisols (classification FAO). On les trouve à une altitude inférieure à 800 m.

- Les roches dites plagiogranite, granodionite et granite-migmatite sont principalement à la cordillère de Hoang Lien Son avec un point culminant qui est le mont Phan Si Fan (3143 m) dans le district de Tan Uyen (Province de Lai Chau). C'est la zone des Alisols (classification FAO), sols très meubles. Elles sont situées dans les zones à très forte pente, avec une altitude supérieure à 2000 m, et des précipitations fortes supérieures à 2300 mm/an. Tout cela indique une zone sensible à l'érosion et aux glissements de terrain.

- Les rhyolite, tuff, sandstone et gritstone sont au Sud-Est de la zone, dans le district de Muong La (Province de Son La), à une altitude de 1700 à 2400 m.

- Les siltstones et l'association trachyliparite-rhyolite-tuff sont principalement dans le Nord et l'Est de la zone, dans les districts de Than Uyen et Tan Uyen (Province de Lai Chau), à une altitude de 1300 m à 2200 m.

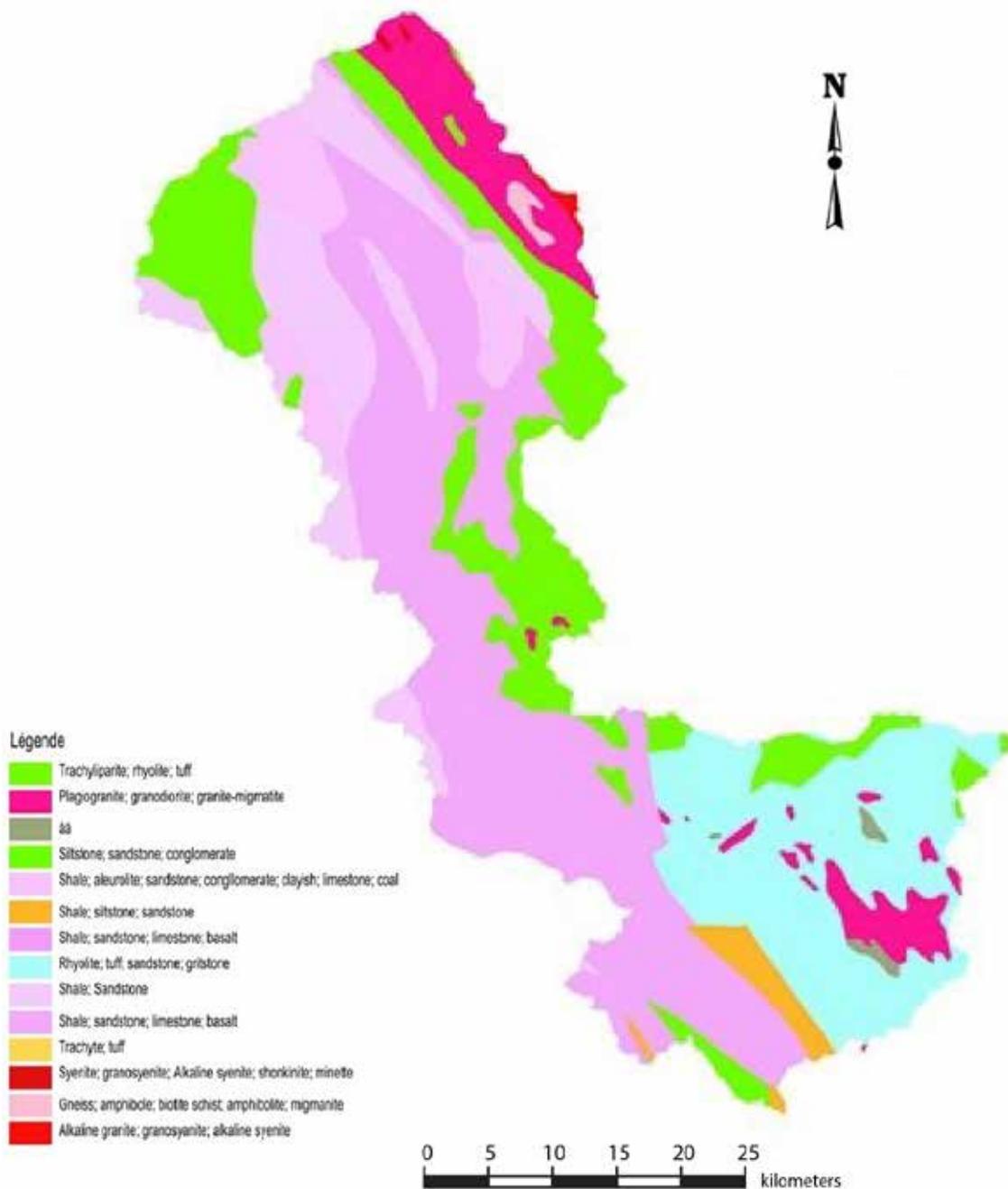


Figure 4. 7: Carte géologique de la zone d'étude. Source : SFRI (Soils and Fertilizers Research Institute, Vietnamese Academy for Agricultural Research)

Les caractéristiques des types de roches mères des sols principaux de la zone d'étude sont comme suit :

- Granite

Le granite est gris ou jaunâtre gris, les cristaux de quartz sont bien exprimés, le pourcentage de quartz est élevé. Les processus d'altération donnent un sol à faible structure. Le Granite est dans les districts de Muong La et de Tan Uyen.

- Schiste

Le schiste se trouve sur l'ensemble de la zone d'étude. Les sols formés sur ces roches ont une granulométrie fine et une bonne structure. Le sol est jaune ou jaune rouge.

- Magma neutre

Ces roches ont une haute teneur en oxyde de fer (9-10%). Dans les conditions tropicales humides, les sols sur magma neutre ont une épaisse croûte altérée, la couleur est brune et rouge vif, la structure du sol est homogène, poreuse, la structure est granulaire et les sols sont plutôt fertiles.

- Alluvions

Les anciennes et nouvelles alluvions sont distribuées principalement à proximité des rivières et dans les vallées en auge. Le sol est de couleur brune, avec horizon de surface gris.

#### **4.2-3. Une diversité des sols**

La carte des sols (Figure 4.8) a été réalisée dans le cadre de mon travail de Master 2, à partir de données acquises dans le programme national « Révision, complétion des cartes de sols pour l'aménagement du territoire, la restructuration des systèmes de cultures et la gestion des ressources en terre » auquel j'ai participé.

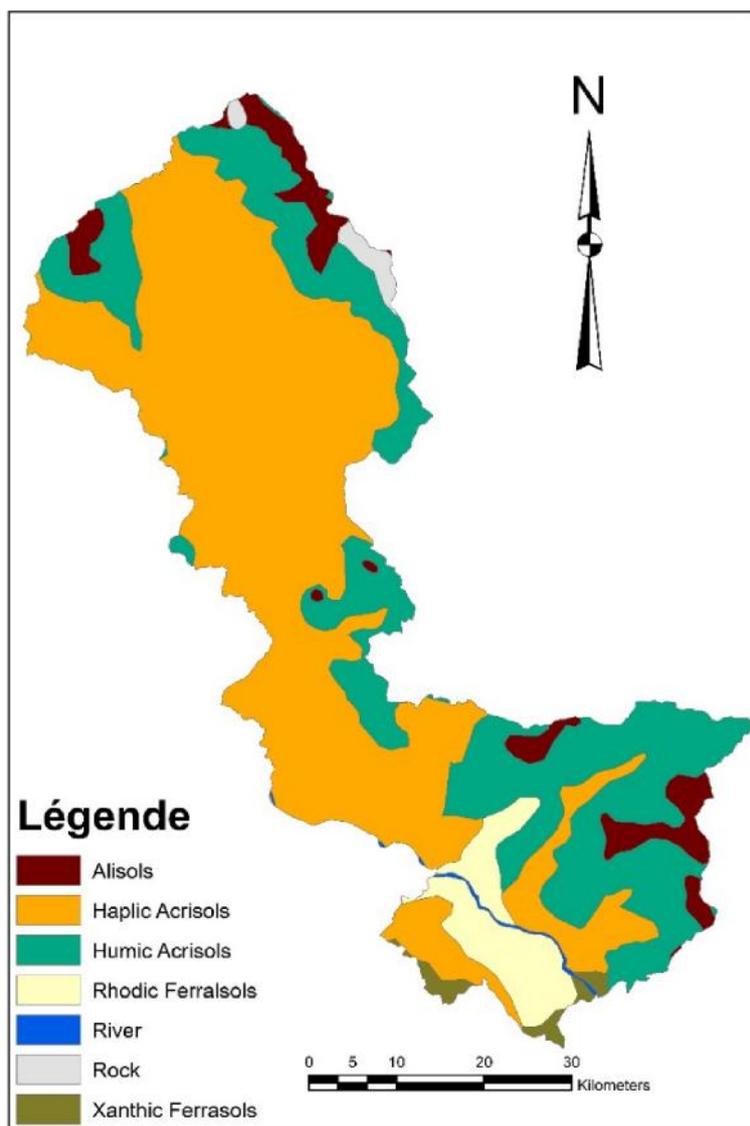


Figure 4. 8: Carte pédologique de la zone d'étude. Source : cette étude.

Les sols principaux dans le bassin versant sont les suivants :

- *Alluvions*

#### PROFILE LAI CHAU 78 (LC78)

Commune de Pac Ta, district de Tan Uyen

Plante : Riz, canne à sucre

Relief : Plat

Roche-mère : Alluvions

## Paysage et profil du sol



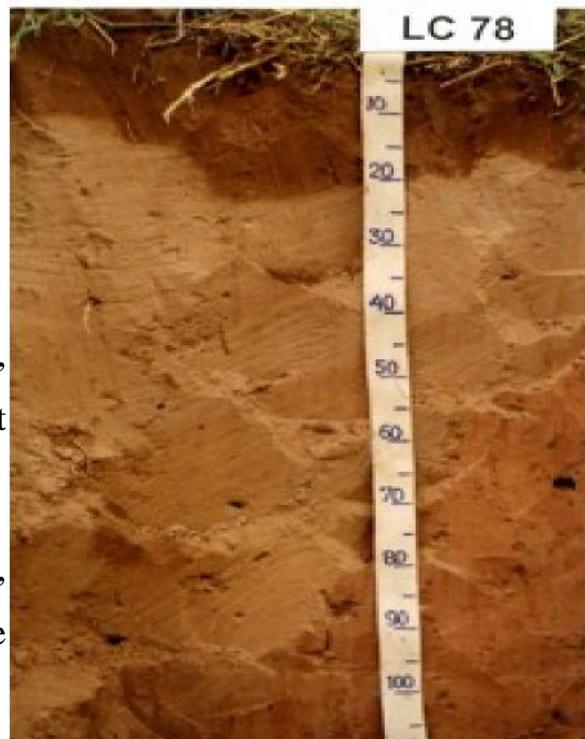
Source : *The National Institute of Agricultural Planning and Projection (NIAPP), 2004.*

### Description de profil LC 78

0 – 20 cm : Argile sableux, humide, brun foncé, meuble, nombreuses racines fines et moyennes, changement d'horizon net.

20 – 75 cm : Argile sableux, humide, brun, meuble, changement d'horizon progressif.

75 – 110 cm : Argile sableux, humide, brun, solide, structure grumeleuse.



Source : *NIAPP, 2004.*

Tableau 4. 1: Propriétés physico-chimiques des sols sur alluvions

Profondeur (cm)	pH KCl	C (g Kg-1)	Teneur en total (%)			Teneur en assimilés (g Kg-1)		EC (cmol kg-1)			Fe <sup>3+</sup> (g Kg-1)	Al <sup>3+</sup> (g Kg-1)	Granulométrie (g Kg-1)		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	CEC			2-0,02	0,02-0,002	< 0,002 mm
0 - 20	4,90	4,07	0,07	0,09	1,14	60,0	74,0	4,80	5,10	22,19	974,4	9,0	720,10	161,70	118,20
20 - 75	5,11	4,07	0,05	0,09	1,21	32,0	75,0	3,50	2,90	15,40	862,4	6,0	786,00	128,40	85,60
75 - 110	5,08	3,08	0,04	0,10	1,13	28,0	59,0	3,20	2,40	13,89	1142,4	3,6	777,40	125,50	97,10

Le tableau 4.1 montre que le sol alluvial a un pH KCl de 4,9 à 5,1. Carbon et azote total du sol sont très faibles (Carbon de 3,08 à 4,07 g kg<sup>-1</sup> ; azote de 0,04 à 0,07%). Le phosphate total est moyen (de 0,09 à 0,10%). Le potassium est de 1,13 à 1,21%. Le phosphate et le potassium en assimilés dans tous les horizons sont faibles. Le CEC est assez élevé (de 5,6 à 9,9 cmol kg-1). La capacité d'absorption est de 13,89 à 22,19 cmol kg-1 sol. La teneur en fer libre est moyenne (de 974,4 à 1142,4 cmol kg-1 sol), l'aluminium libre est faible (< 9,0 cmol kg-1 sol).

• *Haplic Acrisol*

#### PROFILE LAI CHAU 67 (LC

67) Commune de Than Thuoc, district de Tan Uyen

Plante : Théier

Relief : pente ; 10 – 15%

Roche-mère : Ancien alluvions

## Paysage et profil du sol



*Photo : Nguyen Van Thiet (IAE), 2010.*

### Description de profil LC 67

0 – 10 cm : argile sableuse, sec, jaune foncé, structure grumeleuse, nombreuses racines, changement d'horizon progressif.

10 – 30 cm : argile sableuse, humide, jaune, structure grumeleuse, changement d'horizon progressif.

30 -60 cm : argile, humide, jaune claire, structure grumeleuse, changement d'horizon progressif.

60 – 90 cm : argile, humide, brun jaunâtre foncée, structure grumeleuse, mêlée de grains de quartz (environ 5%).



*Source : this study 2010*

Tableau 4. 2: Propriétés physico-chimiques des sols sur Haplic acrisols

Profondeur (cm)	pH KCl	C (g Kg <sup>-1</sup> )	Teneur en total (%)			Teneur en assimilés (g Kg <sup>-1</sup> )		EC (cmol kg <sup>-1</sup> )			Fe <sup>3+</sup> (g Kg <sup>-1</sup> )	Al <sup>3+</sup> (g Kg <sup>-1</sup> )	Granulométrie (g Kg <sup>-1</sup> )		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	CEC			2-0,02	0,02-0,002	< 0,002 mm
0 - 10	3,98	10,23	0,11	0,07	1,08	32,0	41,0	2,50	0,40	9,65	828,8	126,0	515,90	295,00	189,10
10 - 30	4,06	7,5	0,08	0,07	1,16	32,0	29,0	1,90	0,80	7,42	380,8	97,2	450,20	302,60	248,20
30 - 60	5,35	2,03	0,04	0,08	1,74	30,0	26,0	2,20	0,30	8,30	291,2	5,40	348,80	392,60	258,60
60 - 90	5,13	2,03	0,03	0,08	1,48	28,0	25,0	1,30	0,30	7,50	347,2	0,00	388,40	396,50	215,10

Les Haplic Acrisols (Tableau 4,2) ont une structure argileuse, avec un horizon A qui est très acide (le pH KCl 3,98), et acide dans l'horizon B (pH KCl de 3,98-5,35), la capacité d'absorption est de 7,42-9,65 cmol kg<sup>-1</sup> sol, la teneur en fer libre est faible (de 291,2 à 828,8 cmol kg<sup>-1</sup> sol, la teneur en aluminium libre est moyenne (de 5,40 à 126,0) dans l'horizon 0 - 30 cm, La teneur Carbon et azote total du sol dans l'horizon A est moyenne (Carbon de 10,23 g kg<sup>-1</sup>; azote de 0,11%), La teneur en phosphate totale est moyenne (de 0,07 à 0,08%), le potassium est de 1,08 à 1,48%, Le phosphate en assimilés est pauvre < 32,0 g kg<sup>-1</sup> sol, le potassium est très pauvre < 50,0 g kg<sup>-1</sup> sol, Ce type de sol est bon pour les plantes industrielles comme le théier et les fruits tropicaux régionaux,

*Ferric Acrisol*

PROFILE LAI CHAU 82 (LC 82)

Commune de Ban Bo, district de Than Uyen

Plante : Jachère

Relief : pente ; 15 -25%

Roche-mère : Magma acide

## Paysage et profil du sol



Source : NIAPP, 2004,

### Description du profil

0 – 25 : Argile moyenne, sec, jaune gris, solide, nombreuses racines fines et moyennes, mée de grains de quartz, changement d'horizon net,

25 – 65 : Argile moyenne, sec, jaune gris foncé, solide, mée de grains de quartz (environ 70%), changement d'horizon net,

65 – 125 : Argile moyenne, sec, jaune brun, solide, mée de grains de quartz,



Source : NIAPP, 2004,

Tableau 4. 3: Propriétés physico-chimiques des sols sur Ferric acrisols

Profondeur (cm)	pH KCl	C (g Kg-1)	Teneur en total (%)			Teneur en assimilés (g Kg-1)		EC (cmol kg-1)			Fe <sup>3+</sup> (g Kg-1)	Al <sup>3+</sup> (g Kg-1)	Granulométrie (g Kg-1)		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	CEC			2-0,02	0,02-0,002	< 0,002 mm
0 - 25	4,11	16,4	0,21	0,15	1,02	22,0	67,0	1,60	0,48	9,85	452,6	85,0	572,70	239,00	188,30
25 - 65	4,19	10,58	0,15	0,10	1,07	30,0	52,0	0,80	0,48	8,68	487,2	112,0	527,40	267,70	204,90
65 - 125	4,31	6,8	0,10	0,09	1,09	32,0	44,0	1,28	0,32	8,93	503,5	123,2	517,60	275,70	206,70

Le tableau 4,3 montre que les Ferric Acrisols ont une texture argileuse à argile-limoneuse : sable de 517,6 à 572,7 g kg<sup>-1</sup>, argile de 188,3 à 206,7 g kg<sup>-1</sup> et limon de 220,6 à 294,1 g kg<sup>-1</sup>, Le sol est acide (le pH KCl de 4,11 à 4,31), La capacité d'absorption est basse, de 8,68 à 9,85 cmol kg<sup>-1</sup> sol, La teneur en fer libre est faible 452,6 à 503,5 g kg<sup>-1</sup> sol), la teneur en aluminium libre est faible dans l'horizon 0 -25 cm et moyenne dans les horizons inférieurs, Carbon et l'azote total dans l'horizon A sont bons (Carbon de 16,40 g kg<sup>-1</sup>, azote de 0,21%), La teneur en phosphate total est moyenne (de 0,09 à 0,15%), potassium de 1,02 à 1,07% (moyenne), Le phosphate et le potassium en assimilés sont pauvres, < 32,0 g kg<sup>-1</sup> sol et 67,0 g kg<sup>-1</sup> sol,

• *Stagnic Fluvisols*

PROFILE LAI CHAU 15 (LC 15)

Commune de Phuc Than, district de Than Uyen

Plante : Riz

Relief : Plein

Roche-mère : Alluvions sur carbonate

## Paysage et profil du sol



*Photo : Nguyen Van Thiet (IAE), 2010*

### Description de profil LC 15

0 – 15 cm : argileux fort, humide, gris en noir, peu solide, structure grumeleuse, nombreuses racines de riz, changement d'horizon progressif,

15 – 40 cm : argileux fort, humide, gris en noir, nombreuses racines, solide, flexible, gluant, structure grumeleuse, changement d'horizon progressif,

> 40 cm : argileux fort, humide, gris en brun, très solide, structure grumeleuse, trainées d'oxyde de fer,



*Source : this study (2010)*

Tableau 4. 4: Propriétés physico-chimiques des sols sur Stagnic Fluvisols

Profondeur (cm)	pH KCl	C (g Kg <sup>-1</sup> )	Teneur en total (%)			Teneur en assimilés (g Kg <sup>-1</sup> )		EC (cmol kg <sup>-1</sup> )			Fe <sup>3+</sup> (g Kg <sup>-1</sup> )	Al <sup>3+</sup> (g Kg <sup>-1</sup> )	Granulométrie (g Kg <sup>-1</sup> )		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	CEC			2-0,02	0,02-0,002	< 0,002 mm
0 - 15	6,32	21,51	0,21	0,33	1,14	92,0	114,0	34,80	1,20	36,37	0,00	22,4	213,5	357,9	428,6
15 - 40	6,28	24,24	0,24	0,27	1,16	81,0	89,0	32,00	2,40	34,78	0,00	22,4	157,8	252,4	589,8
> 40	6,38	12,62	0,16	0,20	1,26	76,0	71,0	33,70	1,50	35,40	0,00	11,2	132,9	288,3	578,8

Les résultats d'analyse du profil LC 15 (Tableau 4,4) montrent que la granulométrie des Stagnic Fluvisols est très lourde, sableux dans l'horizon A 213,5 g kg<sup>-1</sup> ; l'argile augmente en profondeur du profil de 428,6 à 589,8 g kg<sup>-1</sup>, Le sol est neutre (le pH KCl de 6,28 à 6,38), La CEC est très élevée (> 35 cmol kg<sup>-1</sup> sol), La capacité d'absorption est faible (de 34,78 à 36,37 cmol kg<sup>-1</sup> sol), La teneur carbon et azote total du sol sont élevées (carbon de 12,62 à 24,24 g kg<sup>-1</sup> ; azote de 0,16% à 0,24%), La teneur en phosphate totale est riche (de 0,20% à 0,33%), le potassium de 1,14% à 1,26% (moyenne), La teneur en phosphate et en potassium en assimilés est moyenne (de 71,0 à 114,0 g kg<sup>-1</sup> sol),

#### **4.3- Des caractéristiques socio-économiques dominées par l'agriculture**

La zone d'étude est située dans l'un des zones très pauvres du Vietnam. Les habitants se composent de différents groupes ethniques. Et les activités agricoles constituent les principaux revenus. La population a augmenté significativement dans les années 1970 et 1980 en raison des migrations de Kinh organisées par l'Etat, à partir du delta du Fleuve Rouge. Selon les chiffres de l'Office des statistiques des districts, la population dans la zone d'étude est de 261 919 habitants en 2013, se répartissant entre le district de Than Uyen (avec 74 711 hab), le district de Tan Uyen (avec 68 418 hab) et le district de Muong

La (avec 118 790 hab). La densité est environ de 84,3 hab/km<sup>2</sup> avec 10 groupes ethniques minoritaires qui sont : Thai, Kinh, Tay, Muong, H'Mong, Dao, Giay, Kho Mu, Khang, Cao Lan, Laos et Nung. Mais les Thai, Kinh, H'Mong et Kho Mu sont les ethnies principales. Les Thai représentent environ 60% de la population totale, les Kinh 15% et les autres minorités ethniques majoritaires sont les H'Mong puis les Kho Mu, etc.

Chaque groupe ethnique a ses propres coutumes traditionnelles, et les pratiques agricoles d'utilisation des terres qui sont adaptés à leur culture et les conditions environnementales locales.

Les Thai vivent dans les villages en bas avec les maisons sur pilotis en bois et culture du riz, notamment rizières en terrasse (Figures 4.9 et 4.10).



*Figure 4. 9 : Village de Thai et culture de Riz*      *Figure 4. 10: Handcraft making par Thai*

Les Kinh vivent principalement dans les maisons en béton au centre du district ou dans les zones à population dense, le long des routes nationales ou départementales. Les revenus des Kinh viennent principalement de l'agriculture et du commerce (Figure 4.11).



*Figure 4. 11: Village de Kinh et culture de Riz*

Les H'Mong, Khomu, Khang vivent dans les bungalows en bois dans les zones plus isolées et plus haut sur pente (Figure 4.12). De manière traditionnelle, ils pratiquent la culture itinérante. Dans les années 1980, le riz pluvial itinérant (sur pente) était encore la principale culture. Le riz pluvial épuise rapidement les nutriments du sol. Par conséquent, les cultivateurs itinérants doivent déménager tous les deux ou trois ans et laissent habituellement leurs champs des hautes terres en jachère pendant cinq ou dix ans. Mais du fait d'un concours de facteurs (croissance démographique, immigration Kinh sur les terres de plaine, réglementation, développement des cultures de rente, etc.), la période de jachère a été raccourcie et les sols s'en sont trouvés appauvris puis inutilisables. Ces extrêmes ont pu conduire à des érosions énormes pouvant dépasser 50 t/ha/an sur des cultures de maïs (Pomel et al., 2007; Valentin et al., 2008).



Figure 4. 12: Culture de Riz et Mais par les H'Mong.

#### **4.4- Les bouleversements sociétaux et paysagers liés à l'aménagement des grands barrages hydroélectriques**

##### **4.4-1. Barrages hydroélectriques et planification économique**

Selon la décision n° 240/QĐ-TTg<sup>3</sup> daté le 28/01/2013 par le premier Ministre du Gouvernement Vietnamien, et la résolution n° 52/2012/NQ-HĐND<sup>4</sup> daté du 19/12/2012 par l'Assemblée Populaire du District de Muong La, la zone d'étude fait partie de la circulaire faisant acte de la planification générale du développement économique de la Province de Lai Chau et du District de Muong La pour la période 2012-2020 (Figure 4.13). Cette planification correspond à une restructuration économique pour faciliter l'accès aux marchés économiques et favoriser la production de : l'hydroélectricité, l'économie forestière, les ressources minérales, les plantes industrielles (caoutchouc et thé), l'élevage et le tourisme.

---

<sup>3</sup>Décision n° 240/QĐ-TTg « Approuver le plan général de développement socio-économique pour la province de Lai Chau en 2020 »

<sup>4</sup>Décision n° 240/QĐ-TTg « Adopter l'ajustement supplémentaire de la planification générale du développement socioéconomique du district de Muong La dans la période 2012-2020 »

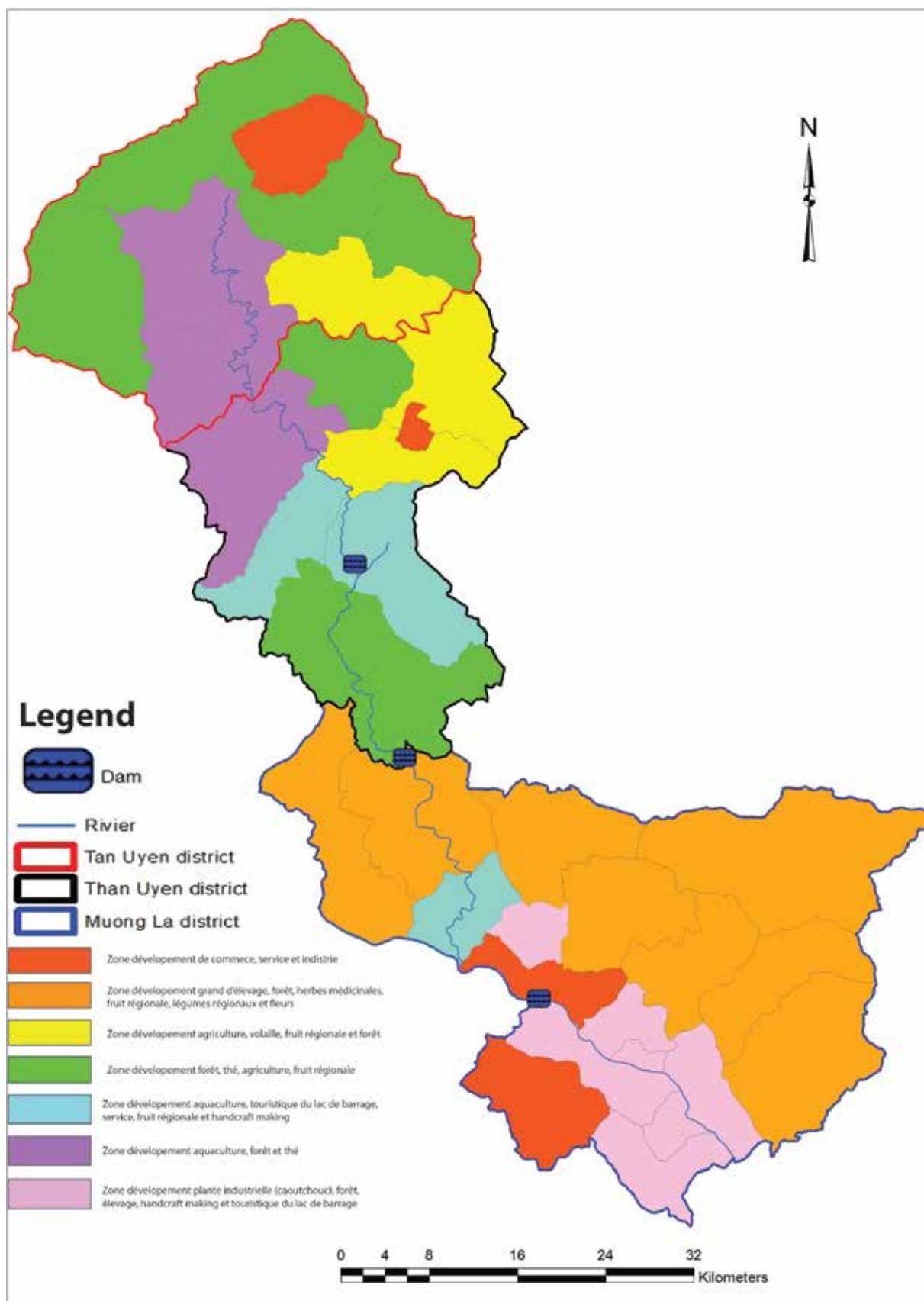


Figure 4. 13: Planification générale du développement économique de la zone d'étude, selon la résolution n° 52/2012/NQ-HĐND.

7 catégories de zones de développement prioritaires sont définies (Figure 4.13) :

- Ø zone 1 (rouge) : Zone de développement des commerces, des services et de l'industrie ;
- Ø zone 2 (orange) : Zone de développement du grand élevage, des forêts, des plantes médicinales, des fruits et légumes régionaux, des fleurs ;
- Ø zone 3 (jaune) : Zone de développement de l'agriculture, des volailles, des fruits régionaux et de la forêt ;
- Ø zone 4 (vert) : Zone de développement de la forêt, du thé, de l'agriculture et des fruits régionaux ;
- Ø zone 5 (bleu) : Zone de développement de l'aquaculture, du tourisme autour du lac de barrage, des fruits régionaux et de l'artisanat ;
- Ø zone 6 (violet) : Zone de développement de l'aquaculture, de la forêt et du thé ;
- Ø zone 7 (rose) : Zone de développement des cultures industrielles (hévéa), de la forêt, de l'élevage et l'artisanat et du tourisme autour du lac de barrage.

Il apparaît que les 2 grands barrages, à savoir Ban Chat au Nord et Son La au Sud, sont des axes régionaux de développement touristique à la faveur de leur lac de barrage (zone 5 et zone 7). Le barrage de Son La représente aussi un pôle fort pour le développement de l'industrie (zone 1). Et bien sûr, les deux grandes villes, Lai Chau au Nord et Son La au Sud, mobilisent aussi les forces pour le développement industriel, du commerces et des services (zone 1).

Il est remarquable que plus de 50% du district de Muong La sont destinés au développement du grand élevage, des forêts, des plantes médicinales, des fruits et légumes régionaux, des fleurs (zone 2). Et l'autre partie, entourant les zones de développement industriel, est destinée au développement des plantations d'hévéa (zone 7). Par contre, on retrouve le thé

(zone 4) dans l'extrême Nord de la zone d'étude et au centre (autour du barrage de Huoi Quang), en fait dans les régions les plus pauvres. Aquaculture (zone 6) et volaille (zone 3) se répartissent également entre Tan Uyen et Than Uyen. Enfin, la forêt et la petite agriculture couvrent l'ensemble de la région.

#### **4.4-2. Réalisation du barrage de Son La : premières conséquences ?**

Selon les prévisions de la demande d'électricité jusqu'à 2020 et le potentiel hydroélectrique du Vietnam, la rivière Da représente le plus grand potentiel hydroélectrique du Vietnam, avec une capacité totale d'environ 30 960 millions kWh/an (Tableau 2.3). Mais à coté de ces objectifs de production électrique, la planification des PDP VI et VII (cf. chapitre 2) prévoit que les projets de grands barrages hydroélectriques soient aussi des projets multi-usagers. Les principaux objectifs sont donc :

- Ø de fournir de l'électricité,
- Ø de fournir de l'eau pour l'irrigation,
- Ø et de contribuer à l'amélioration du développement socio-économique dans la région du Nord-Ouest.

Pour des raisons purement économiques, Electricité du Vietnam (EVN) a reçu l'autorisation du gouvernement pour réduire le temps de construction de 2 ans par rapport au plan initial afin de permettre d'augmenter plus rapidement la croissance économique du pays. La construction du barrage de Son La a commencé le 2 décembre 2005 dans le district de Muong La. Puis le 8 janvier 2006, la construction de deux autres barrages hydroélectriques (Ban Chat et Huoi Quang) a commencé sur la Mu River. Au lieu de 2015, les six unités de production du barrage de Son La étaient opérationnelles en octobre 2012 (Shestopalov et al., 2013), avec une première mise en route en 2010. Les barrages de Ban Chat et Huoi Quang étaient opérationnels à partir de 2014 et

2015, respectivement (Tableau 2.6). Ce gain de deux ans a permis de dégager un bénéfice de 1 milliard USD pour l'Etat (Dao, 2010).

En 2013, les lacs de barrages étaient donc déjà remplis et les régions impactées déjà inondées, comme indiqué sur l'image Landsat de la Figure 4.14.

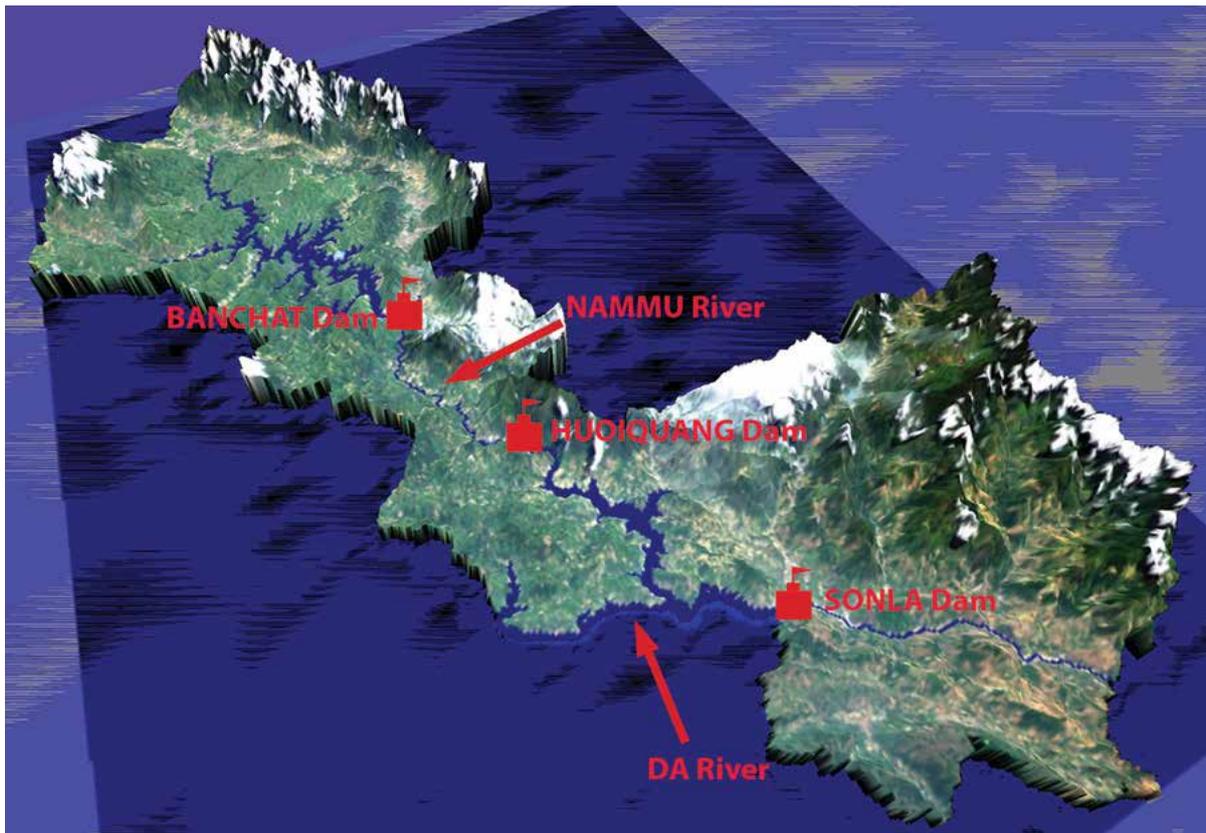


Figure 4. 14: La zone d'étude en 2013 vue en 3D à partir de l'image Landsat 8 OLI.

Aussi pour la mise en service de ces trois barrages, un total de 114 570 personnes, correspondant à 22 400 foyers, ont du être déplacées sur l'ensemble des 3 barrages : 91 100 personnes pour le barrage de Son La ; 4 732 personnes pour le barrage de Huoi Quang et 15 738 personnes pour le barrage de Ban Chat.

Comme recommandé par la WCD (2000), ces 3 projets de barrage hydroélectrique sont accompagnés d'un programme d'indemnisation,

d'assistance et de réinstallation, dont le principe est de garantir le maintien des modes de vie et des conditions de travail des personnes déplacées, et si possible d'augmenter leurs revenus, et petit à petit d'améliorer les infrastructures locales. De même, les équipements d'infrastructure et la vie culturelle doivent aussi être améliorés. Ainsi le projet de barrage hydroélectrique doit devenir aussi un projet d'amélioration des conditions de vie économiques, sociales et environnementales, durable et équitable. Il est donc important d'organiser suffisamment de terres de production pour la réinstallation des ménages déplacés, en particulier des terres agricoles appropriées, garantir les intérêts mutuels et l'équilibre entre les communautés réinstallées et les communautés d'accueil. Qu'en a-t-il été ?

#### **4.4-3. Historique sur les politiques de réinstallation au Vietnam**

Il est ici important de rappeler qu'avant 1992 la terre appartenait légalement à l'Etat. Aussi avant cette date, la seule politique de réinstallation des populations était prise en charge par les coopératives et les People Committees des communes, sur ordre de l'Etat. C'est en 1993-1997, lors du projet de barrage de Yali (dans le centre du Vietnam), qu'il a été demandé pour la première fois aux investisseurs de prévoir des compensations et négociations avec les institutions représentatives des provinces. Ainsi par exemple, lors de la mise en place du barrage de Hoa Binh au début des années 1980, aucune compensation n'avait été prévue pour les 58 000 personnes déplacées. En effet, les réinstallations ont commencé en 1979 et le programme d'indemnisation a été mis en place en 1983 seulement, mais les premières compensations mettront dix ans pour être payées. Le processus total aura duré plus de 30 ans ; en 1998, 500 familles devaient encore être bougées (Dao, 2010). De plus, l'indemnisation ne correspondait qu'à payer le prix de la terre perdue à la valeur de 1976 (Trang, 1995). Les conflits furent alors nombreux et sérieux.

On relève des problèmes de droit de propriété, d'accès à l'eau, de terres non fertiles, de non accès au réseau routier (enclavement), à l'école, etc., tout cela s'accompagnant de non accès à la santé, au travail, entraînant famine, pauvreté et mortalité (Trang, 1995).

Fort de cette mauvaise et triste expérience, l'Etat Vietnamien s'est rapproché activement de la WCD dès 1998. En février 2000, le Vietnam accueille la Consultation Régionale de la WCD pour l'Asie de l'Est et du Sud-Est. Et deux ans plus tard, en 2002, le Vietnam approuve le rapport issu de cette consultation, le DDP (Dams and Development Projects), publié alors en vietnamien et diffusé par le MARD. Enfin, c'est en 2004 que le Vietnam statue par le Décret 197/2004/ND-CP sur les procédures et réglementations de compensation, assistance et réinstallation, qui seront appliquées pour les barrages récents de Son La, Huoi Quang et Ban Chat.

Ce décret sépare l'indemnité de compensation de l'indemnité de réinstallation, et indique aussi les conditions de calcul de ces indemnités. Il impose un soutien et accompagnement auprès des personnes déplacées pour faciliter l'accès au travail et retrouver leur outil de travail. Il recommande d'allouer plus de terre que les terres expropriées et de s'assurer de la qualité des terres et de leur approvisionnement en eau. Enfin, un point important est que ce décret oblige les investisseurs et le gouvernement local à mettre en place des programmes de soutien et d'assistance pour permettre aux personnes déplacées d'accéder à de nouvelles compétences économiques.

En conclusion, on peut dire que les politiques de réinstallation ont été très largement améliorées au Vietnam entre la construction du barrage de Hoa Binh et les constructions récentes dans les provinces de Son La et Lai Chau. Le Vietnam est maintenant effectivement engagé auprès des autorités internationales pour une « bonne pratique » des mises en place de barrages hydroélectriques qui protège à la fois la production électrique, le

développement économique de la région (amont et aval du barrage), l'intégrité et harmonie sociale des populations locales, et enfin l'environnement et son écologie.

Il ya aussi un débat plus ouvert avec les ONG et les médias sur les questions de réinstallation. Ces changements sont bien formalisés dans la loi. Aussi nous essaierons de voir dans la partie 3, comment ces nouvelles pratiques ont impacté la vie des gens dans notre zone d'étude, à savoir dans les districts de Muong La, Than Uyen et Tan Uyen ?

#### **4.4-4. Barrage de Son La, une nouvelle politique de gestion des projets hydroélectriques au Vietnam**

Le barrage de Son La a été un projet très controversé du fait du très grand nombre de personnes impactées, de l'ordre de 100 000, principalement des minorités ethniques qui ont été déplacées jusqu'à 100 km de la zone du réservoir où ils vivaient auparavant, ce qui est le plus grand programme de réinstallation de l'histoire vietnamienne (Dao, 2010). Parmi les personnes déplacées, 83% faisaient partie du groupe ethnique minoritaire Thai, 6% de l'ethnie La Ha, et le reste était composé de groupes ethniques Kinh, Mong et Giay. 80% des personnes réinstallées fondaient leurs subsistances uniquement sur l'agriculture. Leur réinstallation a été problématique pour de nombreuses raisons, y compris en raison de la disponibilité très limitée de terres arables et l'absence de consultations locales dans le processus engagé.

Par ailleurs, le processus de déplacement des personnes a dû être accéléré de deux ans, et en conséquence les constructions des infrastructures nécessaires dans les sites de réinstallation n'avaient pas eu suffisamment de temps pour être réalisées avant que les gens ne se déplacent. Par ailleurs, d'autres problèmes sont apparus du fait que beaucoup de ménages réinstallés

ont été déplacés dans des communautés d'accueil qui ont dû renoncer à une partie de leurs propres terres pour faire place aux personnes réinstallées.

Mais derrière l'ensemble de ces problèmes inhérents à la relocalisation d'un grand nombre de personnes et au manque d'expérience des institutions régionales et locales, l'ensemble des observateurs est d'accord pour affirmer qu'il y a eu beaucoup d'effort et d'amélioration dans les règles et la mise en œuvre des programmes de réinstallation par les autorités. Elle a été plus organisée et planifiée. Au lieu de la méthode de calcul économique de l'Union soviétique précédemment utilisée, la valeur actuelle nette (VAN), méthode préconisée par les organismes internationaux, a été utilisée pour le calcul des compensations et indemnités. De plus, contrairement aux procédures suivies pour le barrage de Hoa Binh, le coût de la réinstallation et de la réhabilitation a été inclus dans le budget total du barrage. Le coût de réinstallation a été d'environ 29% du coût total du projet (Com Pop Son La, 2006). L'inclusion des frais de relocalisation dans le budget du projet est un changement positif majeur, de même que le soutien de l'Assemblée Nationale très préoccupée par les impacts sociaux et environnementaux du projet (Dao, 2010).

C'est une décision ministérielle de 2007 qui a établi les instructions détaillées pour l'indemnisation, l'assistance et la réinstallation dans le projet de Son La. Elle comprenait des modifications et suppléments relatifs à des pratiques et des avantages de gestion pour les populations relocalisées et les communautés d'accueil. Ensuite, la mise en œuvre de la réinstallation a été attribuée aux autorités locales. Ainsi les provinces de Son La et Lai Chau étaient entièrement responsables de la réinstallation des populations dans leurs circonscriptions. Par conséquent, chaque gouvernement provincial a publié un certain nombre de décisions en donnant des instructions pour mettre en œuvre les décisions du gouvernement national dans leurs propres localités.

Le plan de réinstallation et de réhabilitation a été préparé à l'avance. Le schéma directeur pour la réinstallation a été réalisé avant la construction du barrage. Les enquêtes et les interviews sur les sites de réinstallation ont été largement menés par les institutions professionnelles telles que l'Institut National de la Planification Agricole et Projection (NIAPP) et l'Institut National de Géographie (NIG), entre autres, dans les années 1990. Les responsabilités de mise en œuvre de réinstallation ont été décentralisées de la province vers le district, la commune et même au niveau des villages. Les populations relocalisées ont été informées de la réglementation et des procédures de compensation avant d'être délocalisées. Les villageois ont été invités à visiter leur nouveau site avant de bouger. Et le programme de réinstallation prenait attention à la fois à la qualité de l'espace pour le logement et la qualité des terres pour l'agriculture.

Enfin, il est remarquable qu'après un programme pilote de réinstallation dans les communes de Tan Lap et Si Sa Phin, où les personnes déplacées ont emménagé dans des maisons en béton déjà construites, les autorités de la province ont pour la première fois accepté la demande des gens pour changer la politique de logement. En effet, les populations déplacées demandaient la possibilité de démonter leur ancienne maison et de la reconstruire dans le nouvel emplacement (Figure 4.15). Cette nouvelle politique fut acceptée et a aidé les gens à leur nouvelle intégration en gardant leurs formes coutumières de logement.



*Figure 4. 15: Déplacement des populations de la Province de Son La.  
Source : Nguyen VT, Orange D (missions de 2010)*

#### **4.4-5. Barrage de Son La, encore des efforts à faire**

Malgré cette volonté majeure de changement exprimée par les membres de l'Assemblée Nationale pour la prise en compte des impacts sociaux et environnementaux des projets de grands barrages hydroélectriques, un certain nombre de choses n'ont pas encore changé (Dao, 2010).

Tout comme pour le barrage de Hoa Binh, le projet de réinstallation de Son La est encore un processus directif venant des autorités (Figure 4.16), en dépit de l'accueil formel des recommandations de la WCD. Aussi Dao (2010) affirme que le projet de Son La n'a finalement répondu à aucune des recommandations clés du rapport de la WCD, à savoir gagner l'acceptation des populations et régler les conflits sociaux liés aux barrages (Figure 4.17). Aucune mesure n'a été prise pour promouvoir l'inclusion de ces recommandations dans la mise en œuvre du projet de Son La. Ainsi par exemple, les personnes affectées ont été informées sur le calendrier de déplacement de leurs foyers, mais pas consultées pour déterminer si elles acceptaient le projet ou non.



Figure 4. 16: Entretiens avec les autorités locales. Source : Nguyen VT, Orange D (missions de 2010)

Et selon le droit de l'environnement vietnamien, tout projet de développement qui entraîne des impacts négatifs sur l'environnement et les moyens de subsistance doit faire l'objet d'une évaluation d'impact environnemental avant l'approbation du projet. Or la construction du barrage de Son La a commencé en décembre 2005, bien avant l'examen final de son étude d'impact environnemental, qui a été faite en mai 2007.



Figure 4. 17: Village déplacé près de Ban Chat ; Les conflits liés à la fertilité des terres et l'accès à l'eau reste d'actualité. Source : Nguyen VT, Orange D (missions de 2010)

Malgré un certain nombre de changements réels dans la réglementation et la planification des projets de barrage, de nombreux aspects de l'approche sur le terrain n'ont toujours pas changé. Il est clair que pour le gouvernement vietnamien et les autorités locales, le barrage de Son La et les deux barrages associés sur la Mu sont avant tout un facteur clé pour la sécurité énergétique du pays et jouent un rôle essentiel dans la modernisation, l'industrialisation et à la croissance économique du Nord-Ouest Vietnam, comme l'écrit le Comité Populaire de Son La (Com Pop Son La, 2006), avant d'être un projet de développement social pour les populations locales.

#### **4.5- Conclusion**

Le Nord-Ouest du Vietnam, et en particulier les provinces de Son La et Lai Chau, sont des zones à grand potentiel pour le développement hydroélectrique et le développement agricole. Mais ce sont aussi des régions les plus pauvres du Vietnam, avec plus de 80% de la population dépendant de l'agriculture et avec de nombreux groupes ethniques. Ainsi les projets de barrages hydroélectriques dans ces régions sont à la fois une opportunité pour le développement économique et un défi pour le développement socio-économique et le maintien de la paix sociale et de l'intégrité environnementale.

En effet, les barrages, et en particulier les barrages au Vietnam, sont généralement associés à la relocalisation des populations plus ou moins volontaire. Il est réputé que les problèmes les plus critiques liés à la relocalisation sont l'étendue et la qualité de terres agricoles disponibles sur le nouveau site, et également l'accès aux autres ressources nécessaires à l'agriculture (comme l'eau, la fertilité du sol, etc.) (Figure 4.17). Cernea (1990, 1999), un ancien sociologue de la Banque Mondiale impliquée dans la création des lignes directrices et des politiques de la Banque Mondiale relatives aux déplacements des populations, démontre que l'expropriation des terres

supprime le fondement principal sur lequel les moyens de subsistance sont construits.

Par ailleurs, la plupart des terres perdues pour les barrages sont particulièrement fertiles, du fait qu'elles sont dans les bas-fonds. Aussi les populations déplacées sont souvent relocalisées dans des endroits où les terres sont plus pauvres et moins productives. Et la compensation n'est souvent pas suffisante pour contrebalancer le manque de fertilité des sols alloués, et donc le revenu agricole moyen des agriculteurs diminue toujours après la réinstallation (Dao, 2010). De plus, les agriculteurs déplacés sont pour la plupart issus des ethnies de montagne qui ont un faible niveau d'éducation. Après le déplacement, ils se trouvent démunis et sans vraies options de revenus. Le risque de paupérisation, lié à ce déplacement involontaire, devient alors extrême (Cook, 1993; Mburugy, 1994; Rew et al., 2000).

Après cette présentation générale de la situation passée et récente des mises en place des projets de grands barrages hydroélectriques dans le Nord-Ouest Vietnam, notre recherche va examiner les conséquences socio-économiques et environnementales (en terme d'érosion) dans le cas particulier des trois barrages construits en cascade de Ban Chat, Huoi Quang et Son La sur une période de moins de 10 ans. C'est à partir d'images satellitales et de documentations locales au niveau des districts (pour la partie 2), puis d'enquêtes et interviews auprès des populations déplacées ou non (partie 3) que nous avons analysé le devenir des pratiques agricoles et de l'utilisation des terres par groupe ethnique, groupesocio-économique et groupe géographique.

S'il est évident que la construction des barrages hydroélectriques est un atout majeur pour le développement économique de la région (Figure 4.13), qu'en est-il pour les personnes habitant à proximité des barrages, déplacées ou non ?



## **Deuxième partie**

# **Approche régionale de l'érosion dans les zones hydroélectriques du Nord Vietnam**



*Réservoir du barrage de Ban Chat*



## Introduction

L'érosion des sols est primordialement liée à l'utilisation agricole des terres, en particulier les terres agricoles sur pente (Morgan, 2005). Cette érosion est d'autant plus forte que la pression agricole sur les terres sera importante, ainsi la croissance démographique sera souvent un facteur aggravant (Valentin et al., 2008). En Asie du Sud-Est, croissance économique et croissance démographique s'associent pour intensifier les usages agricoles sur les terres de pente. On assiste en effet depuis deux décennies à une rapide anthropisation des zones forestières et à l'apparition de systèmes de production intensifs (Clément et al., 2009). Or, environ quatre décennies sont nécessaires entre deux défriches consécutives pour permettre à la forêt de se régénérer (Béteille, 2000), dans un contexte de gestion durable de la forêt. Ainsi donc, les usages inappropriés des sols sont reconnus depuis longtemps comme la cause principale des problèmes d'érosion (Lal, 1998, 2005). De plus, l'érosion est la première origine des baisses de rendements dans les systèmes de production des pays en développement (Valentin et al., 2008). Aussi quantifier l'impact des usages du sol sur l'érosion est indispensable non seulement pour l'amélioration des pratiques agricoles mais aussi pour l'amélioration de l'aménagement du territoire. On sait par exemple que l'érosion peut représenter une menace grave pour la vie et longévité des barrages hydroélectriques en Asie du Sud-Est (cf. chapitres 3 et 4).

Dans cette deuxième partie, après quelques rappels fondamentaux sur les processus d'érosion et les techniques de modélisation de l'érosion à l'échelle régionale (chapitre 5), nous proposons une analyse diachronique d'images Landsat pour analyser la dynamique de l'érosion depuis les années 1970 à nos jours, en fonction des usages des terres dans notre zone d'étude présentée au chapitre 4.



## **Chapitre 5**

# **Rappels fondamentaux sur l'érosion et modélisation RUSLE**

Depuis fort longtemps, il est universellement reconnu que les usages des terres affectent l'érosion et la fertilité des sols. Les premiers vestiges de lutte anti-érosive sont retrouvés il y a 7 000 ans. Mais les recherches sur le processus d'érosion ne commencent qu'en 1930 aux USA.

### **5.1- Les facteurs de l'érosion hydrique**

#### **5.1-1. Le processus d'érosion**

Erosion vient de "*ERODERE*", verbe latin qui signifie "ronger". L'érosion résulte d'un processus en deux étapes, consistant d'une part en une déstructuration (chimique et/ou mécanique) du sol lui faisant perdre sa cohésion, appelée détachement, et d'autre part en un entraînement du sol par un flux mécanique, appelé transport. Il peut y avoir de l'érosion éolienne (liée au vent), mais la principale érosion est hydrique (liée à l'eau), celle dont on

parlera ici. L'érosion est alors causée par l'action combinée de la pluie et du ruissellement et son intensité varie en fonction de la résistance du milieu (sol, couvert végétal, pratiques culturales) et de la topographie.

Dans le cas de l'érosion hydrique, les principaux mécanismes de détachement sont la désagrégation par éclatement, fissuration ou dispersion, ainsi que l'arrachement de particules par l'énergie cinétique provoquée par le rejaillissement des gouttes de pluie (effet splash) ou par les eaux de ruissellement (Foster et Meyer, 1977; Wischmeier et Smith, 1978; Julien, 1998).

Les conséquences de l'érosion se ressentent à deux niveaux, tout d'abord sur les terres érodées (Figure 5.1), où les dégradations se situent au niveau du potentiel agronomique, le sol étant lessivé d'une grande partie de ses éléments nutritifs. Mais les conséquences se situent aussi en aval des terres de pente avec des problèmes de qualité des eaux, de coulées de boue, de comblement des systèmes d'irrigation et des barrages...

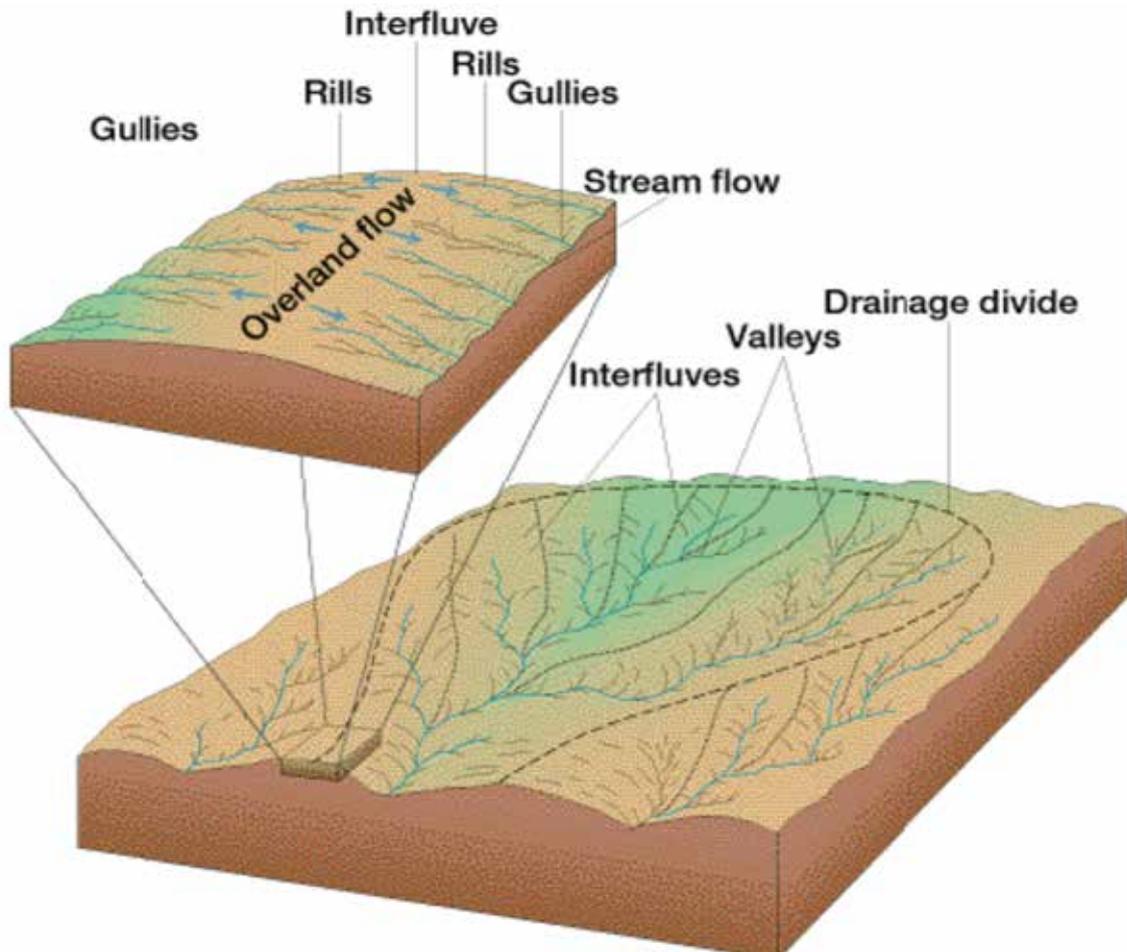


Figure 5. 1: Erosion linéaire, en ravines (rills et gullies) et en nappe (overland flow) dans un bassin versant.  
 Source: Harmon et Doe, 2001.

La Figure 5.1 illustre bien que les mécanismes de l'érosion linéaire interviennent directement dans la structuration du réseau de circulation de l'eau à la surface du sol, via la formation de rigoles, ravines puis thalwegs et rivières qui concentrent le flux d'eau. Or lorsque ce flux est concentré, il peut causer une érosion plus agressive. Les sols les moins structurés sont très sensibles à l'érosion en rigoles. Il est donc évident que l'érosion linéaire entraîne des bouleversements rapides et importants dans le paysage avec l'apparition de ravines et l'impossibilité de cultiver les terres concernées.

Par contre, l'érosion en nappe induit une diminution lente de la couche de sol cultivable, dont le principal symptôme est une baisse de la fertilité du sol.

## **5.1-2. Les paramètres fondamentaux de l'érosion**

Les facteurs principaux influençant l'érosion des sols sont: le climat, la topographie, les sols, la végétation et l'activité de l'homme (Roose, 1994, 1996 ; Lal, 1998 ; Morgan, 2005).

### ***5.1-2.1. L'influence du climat***

Le rôle de la pluie est reconnu déjà depuis longtemps. En 1877, Wollny décrivait les processus de désagrégation de la surface du sol et de fermeture de la porosité du sol sous l'impact des gouttes de pluie par l'« effet splash » (Figure 5.2). Ellison a montré en 1944 que l'érosion par les gouttes de pluie est positivement corrélée à la taille des gouttes et à la vitesse de vent. L'impact des gouttes de pluie sur le sol peut briser les mottes ou les agrégats. Il s'ensuit un détachement partiel ou total des particules du sol à l'endroit de l'impact ainsi qu'une projection de ces particules à une certaine distance de l'impact, soit à l'intérieur des gouttes précédente, soit de façon séparé. C'est que l'on appelle l'« effet splash ». L'état hydrique du sol est un paramètre déterminant dans la description du processus de « splash », où on peut distinguer trois étapes (Yariv, 1976). Sur un sol sec non agrégé (état initial), la plupart de l'énergie est transformée dans l'éclatement des particules ou dans leur déformation. Puis au fur à mesure que la teneur en eau du sol augmente, les forces des cisaillements diminuent. Le sol devient extrêmement vulnérable à l'entraînement. La dernière étape est le plaquage à mesure que le « splash » commence à interagir avec le ruissellement (Bresson et Valentin, 1992 ; Valentin, 1999).



Figure 5. 2: Effet splash d'une goutte d'eaux (source : image google)

La pluie est donc un des principaux facteurs de l'érosion hydrique, dont l'intensité dépendra de la durée et de l'intensité de la pluie. En effet, pour une même quantité d'eau tombée, la capacité de détachement d'une pluie intense est supérieure à celle d'une pluie fine. Il est admis dans la littérature que le phénomène d'érosion n'apparaît qu'à partir d'une intensité de 25mm/h. L'intensité d'une pluie est le rapport d'une hauteur d'eau à une durée exprimée en mm/h ou en mm/min. On distingue l'intensité réelle ou instantanée de l'intensité moyenne qui est le rapport du volume total de la pluie à la durée effective de la pluie (Macary et Berville, 2003).

Cette force érosive de la pluie peut être modifiée par action du vent, du couvert végétal et des conditions hydriques du sol. De plus, l'impact des gouttes de pluie affecte aussi les processus d'érosion en modifiant les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement (Janeau et al., 2003). Enfin, Yong et Wiersma (1973) ont étudié l'importance relative de l'impact de la pluie par rapport au ruissellement dans les processus d'érosion sur des bacs contenant trois sols limoneux de différentes textures. Ils ont démontré que le

ruissellement entraîne une baisse de 89% de l'énergie des gouttes d'eau arrivant au sol et induisait alors une diminution de 90% à 94% de l'érosion.

### ***5.1-2.2. L'influence de la pente et de la topographie***

Les paramètres topographiques sont fondamentaux pour expliquer l'importance des phénomènes érosifs. Le relief influence inévitablement la vitesse d'écoulement de l'eau sur une parcelle. Plus la vitesse d'écoulement est élevée et plus les particules de sol seront susceptibles d'être détachées.

D'après Roose (1977), sur fortes pentes, le ruissellement de surface décroît quand la pente s'accroît. En effet, quand la pente augmente, le sol reçoit pour une même surface et une même pluie, moins d'eau. Enfin, les travaux de l'équipe MSEC démontrent que sur les bassins versant fortement pentus d'Asie du Sud-Est, les pentes comprises entre 35 et 40% témoignent de l'érodibilité la plus importante sur des parcelles de 1 mètre carré de sols nus (Janeau et al., 2003). A l'échelle du versant, dans plusieurs cas, on a observé une réduction du volume ruisselé lorsque la pente augmente, mais le plus souvent, l'érosion augmente avec la pente car se développe une érosion en rigole dix fois plus agressive que l'érosion en nappe (Roose, 1994).

Enfin, la position topographique est prépondérante : l'érosion se manifeste sur les glacis ou terrasses des bas de pente et remonte vers le sommet des versants plus inclinés (Roose, 1994). Quant à la longueur de pente sur laquelle les manuels d'agriculture de lutte contre l'érosion ont basé la lutte antiérosive classique, il semble que son influence sur la naissance des rigoles dépende de diverses interactions entre la rugosité et la perméabilité du sol, le type et l'abondance du couvert végétal (Liu et al., 2000).

### ***5.1-2.3. L'influence des sols et l'érodibilité des sols***

La formation d'un mètre de sol nécessite de 30 000 à 100 000 ans selon les milieux morphopédoclimatiques. Mais l'érosion peut l'anéantir en une génération ou moins (Roose, 1994).

L'érodibilité des sols est liée à la résistance du sol soumise à deux sources d'énergie : d'une part, la battance des gouttes de pluies à la surface du sol, et d'autre part, à l'entaille du ruissellement entre les mottes dans les griffes ou les rigoles. Cette érodibilité, qui caractérise la sensibilité à l'érosion et au ruissellement, est dépendante des nombreuses caractéristiques du sol. En 1926, Bennett a initié des recherches sur les relations entre les propriétés du sol en Caroline (USA). Middleton en 1930 a formalisé le concept d'érodibilité et proposé des indices d'érodibilité du sol. Ces indices combinent des propriétés affectant le ruissellement et la détachabilité des particules (Cerdan, 2001).

Depuis, de nombreuses études se sont appliquées à tester, affiner, modifier ou remplacer ces facteurs par des indices d'érodibilité universellement applicables. Mais, il est très difficile de prendre en compte la variabilité temporelle des propriétés du sol. En effet, les propriétés du sol jouent un rôle sur l'érosion comme l'aggrégation ou la résistance selon des amplitudes et prédictibilités variables. Les difficultés à formaliser l'érodibilité des sols en fonction de leurs caractéristiques ont poussé vers une approche systémique.

Ainsi, outre les types de sols, les conditions climatiques et l'histoire de l'occupation du sol ont une influence sur l'érosion. En pratique, les propriétés des sols, notamment la cohésion des agrégats, la densité et la vitesse de sédimentation des sédiments, la vitesse d'infiltration dominant la réponse érosive. Ces propriétés influencent collectivement et directement le

mouvement de l'eau, la répartition des forces érosives et la résistance à l'entraînement. Un des mécanismes prépondérants réside dans l'influence de ces propriétés sur la réponse initiale de la surface du sol à l'impact de la pluie.

#### ***5.1-2.4. L'influence de la couverture végétale***

Certains auteurs ont montré qu'un couvert végétal bien développé protège le sol de l'action de la pluie. En effet, l'effet « splash » des gouttes d'eau est atténué par un bon couvert. De plus, un couvert dense maintient une bonne porosité et les racines en place des particules emprisonnées dans un réseau racinaire dense, ce qui ralentit le ruissellement. Selon Roose (1994), on distingue trois types de couverts végétaux :

- les couverts présents toute l'année comme les forêts, les jachères, les prairies de plus d'un an... qui limitent l'érosion et le ruissellement. De plus, la mésofaune qui y vit comme les termites et les vers de terre, entretient la bonne porosité du sol.
- les sols nus ou jachères peu couvertes favorisent l'érosion et le ruissellement, celui-ci étant d'autant plus important que la pente est forte et le climat agressif.
- les couverts non présents durant une partie de l'année comme pour les cultures vivrières ou fourragères qui dépendent surtout des pratiques culturales.

Ainsi, si un sol est couvert à 100%, l'effet protecteur n'est efficace que si la surface du sol ne s'est pas dégradée avant que la végétation se soit suffisamment développée pour assurer cette protection. On ne peut donc pas parler de l'action protectrice d'un couvert végétal sans évoquer les techniques culturales utilisées pour l'obtenir.

### 5.1-3. L'intégration des faits anthropiques

L'érosion est accélérée par l'homme. Après à une exploitation imprudente du milieu est de 10 à 1000 fois plus rapide que l'érosion normale (Roose, 1977). La mise en œuvre d'un système de culture détermine au cours du temps une évolution des états de surface et de l'occupation du sol. Chaque système de culture implique une répétition d'opérations culturales qui induisent des discontinuités dans l'évolution des propriétés physiques du sol. Aussi l'exploitant peut contribuer à l'accélération ou au contraire au ralentissement de la dégradation des sols par les pratiques agricoles utilisées. Les opérations culturales modifient l'état structural du sol, les conséquences sont différentes selon les techniques utilisées et leur date de réalisation par rapport aux périodes pluvieuses.

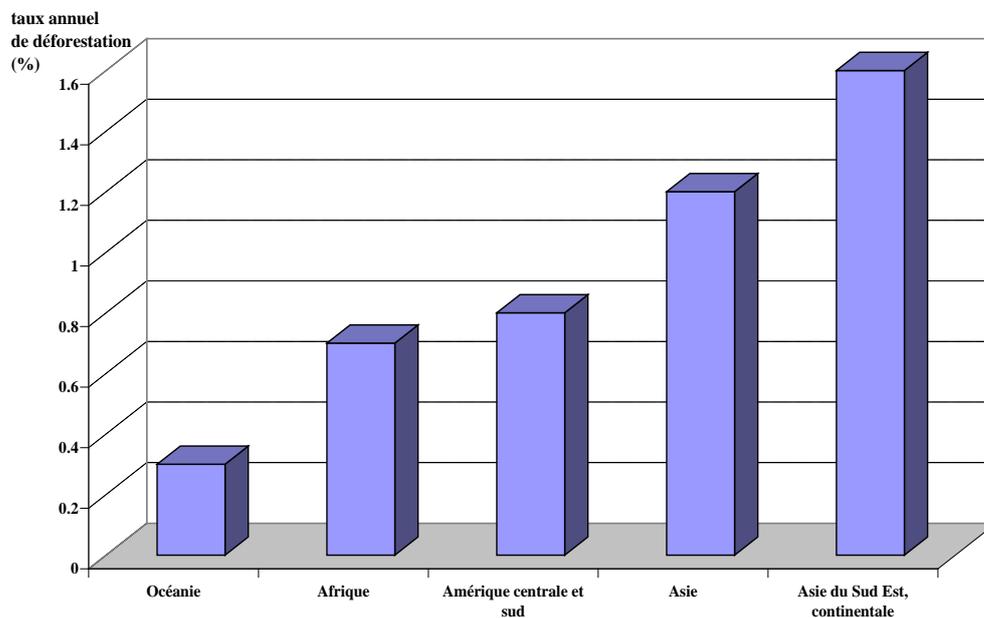


Figure 5. 3: Taux annuel de déforestation selon les régions.

Source : Bergonzini et Lanly (2000)

Prenons comme exemple la déforestation, qui est un problème qui concerne tout particulièrement l'Asie du Sud-Est (Figure 5.3). Au Vietnam, on a estimé les taux annuel de déforestation au cours du XX<sup>ème</sup> siècle à 276 000 ha/an, non compris la coupe du bois de chauffe. Ainsi la proportion de superficie

forestière a diminué de 43% en 1943 à 28% en 1995 (Nguyen Cong Tan, 1999).

Cette déforestation a mis en évidence la dégradation du rôle régulateur de la forêt sur les réserves en eau et ses conséquences sur l'érosion, notamment au Nord-Vietnam :

- augmentation des inondations (plus fréquentes et plus importantes);
- augmentation de l'érosion des sols;
- dégradation de la qualité du sol ;
- diminution des quantités disponibles en eau dans certaines régions;
- dégradation de la qualité des cours d'eau.

Selon Bergonzini et Lanly (2000), les causes de la déforestation sont :

- la pression démographique ;
- un rendement trop faible sur les parcelles cultivées ;
- des politiques de planification des terres qui, si elles existent, ne prennent pas suffisamment en compte le caractère multifonctionnel des forêts, la diversité des usages et des intérêts dont elles sont l'objet, la complexité du statut foncier de ces espaces ; l'impossibilité de planifier et d'investir à long terme dans la conservation des ressources naturelles vient souvent d'un besoin urgent de liquidité dû au poids de la dette et les ressources sylvicoles sont souvent plus rémunératrices que l'agriculture, en partie à cause de la concurrence déloyale des produits agricoles subventionnés du nord sur le marché international.

## ***5.2- Modélisation de l'érosion***

### **5.2-1. Les différents modèles d'érosion et leur domaine d'application**

Avec le développement des technologies informatiques, la modélisation de l'érosion s'est largement développée depuis les années 1980. Les modèles sont construits sur un certain nombre de théories reproduisant les 3 phases actives de l'érosion, que sont : le détachement, le transport et le dépôt (ou sédimentation), auxquelles sont additionnés un certain nombre de paramètres caractérisant les facteurs de l'érosion, à savoir : le climat, la topographie, les sols, la végétation et l'activité de l'homme.

Par ailleurs, de nombreuses études ont souligné que le modèle d'érosion pourrait constituer un outil d'aide à la décision efficace pour faciliter la prise en compte des risques érosifs dans les projets d'aménagements du territoire, les projets de politiques agricoles (Kirkby, 1976 ; Nearing et al., 1994 ; Beven, 2001 ; Breuer et al., 2009 ; Clark et al., 2009 ; Sidorchuk, 2009 ; Bui et al., 2014).

En général, on distingue trois types de modèles d'érosion : les modèles empiriques, les modèles physiques et les modèles conceptuels (Ambroise, 1999). Ils peuvent être globaux ou spatialisés (i.e. distribués) ou encore semi-spatialisés. Dans ce dernier cas, le bassin est découpé en sous-unités supposées homogènes et considérées chacune globalement (exemple du modèle SWAT). Enfin, les modèles peuvent être cinématiques (descriptifs) ou dynamiques (explicatifs), selon que l'évolution temporelle est simplement décrite ou mise en relation avec les forces qui la causent.

#### ***5.2-1.1. Les modèles empiriques***

Les modèles empiriques sont une représentation simple des processus naturels basée sur une extrapolation d'un grand nombre observations, souvent basées

sur l'expérimentation. Les erreurs avec ces types de modèles sont très variables (Nearing et al., 1994). Les modèles empiriques sont souvent utilisés pour la modélisation de processus trop complexes pour être physiquement appréhendés. Ils sont particulièrement utilisés pour identifier les sources de sédiments (Merritt et al., 2003).

Les modèles empiriques les plus connus sont : Universal Soil Loss Equation - USLE (Wischmeier and Smith, 1978); Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE (Renard et al., 1991, 1997) ; etc...

Ces modèles sont très largement utilisés pour donner des prévisions d'érosion potentielle. Ils peuvent être entièrement intégrés à une plateforme SIG, comme TOPMODEL (e.g. Beven, 2001).

### ***5.2-1.2. Les modèles physiques***

Les modèles physiques se proposent de décrire chaque processus physique individuellement et de les combiner pour représenter le processus naturel d'érosion. Les équations physiques décrivent donc les processus naturels, tels que le débit des cours d'eau et le transport des sédiments (Merritt et al., 2003). Cette approche complexe nécessite une haute résolution spatiale et temporelle des données d'entrée et une très forte paramétrisation. Les modèles physiques sont donc souvent développés pour des applications spécifiques, le plus souvent à destination de la recherche. Ils peuvent expliquer la plupart des variabilités spatiales et des caractéristiques de la surface étudiée comme la topographie, la pente, la rugosité, la végétation, le sol, ainsi que les paramètres climatiques, y compris les précipitations, la température et l'évaporation (Legesse et al., 2003).

De très nombreux modèles d'érosion et de transport basés sur des lois physiques ont été développés ces 10 dernières années, principalement dans le

domaine du suivi de la pollution liée à l'écoulement hydrographique :CREAMS (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System, Foster et Meyer, 1972); ANSWERS (Beasley et al., 1989); EROSION 2D (Schmidt, 1991); EROSION 3D (Werner, 1995); EUROSEM (European Soil Erosion Model, Morgan, Quinton et Rickson, 1994); GUESS (Griffith University Erosion Sedimentation System, Rose et al., 1983); KINEROS (Kinematic Erosion Simulation, Woolhiser et al., 1990); LISEM (Limburg Soil Erosion Model, De Roo et al., 1994); SHE (Abbot et al., 1986); SLURP (Kite, 1998); SWAT (Soil and Water Assessment Tool, Arnold & al., 1995); THALES (Grayson, 1992); WEPP (Water Erosion Prediction Project, Nearing & Lane, 1989); etc.

### ***5.2-1.3. Les modèles conceptuels***

Les modèles conceptuels reposent sur une certaine conceptualisation du fonctionnement du bassin versant en faisant intervenir des relations empiriques et des relations physiques. Ils sont un intermédiaire entre modèle empirique et modèle physique. Leur application répond à des questions globales (Ambroise, 1999). Ils associent des descriptions générales des processus hydrologiques dans le bassin versant (Merritt et al., 2003).

Par exemple, un bassin versant est représenté par ses systèmes de stockage sous forme de réservoirs. Ces modèles fournissent avant tout une indication quantitative et qualitative du processus érosif dans le bassin versant. Souvent les modèles mixent approche physique et approche conceptuel, cf. le modèle PLER (Predict and Localize Erosion and Runoff, Bui et al., 2014) ou encore le modèle SWAT, tout deux étant des modèles conceptuels à base physique. Les plus connus sont : Sediment Routing Model (Williams and Hann, 1978); Agricultural Catchment Research Unit - ACRU (Schulze 1995);

Hydrologic Simulation Programme - Fortran (Walton and Hunter 1996), etc...

## **5.2-2. Le modèle RUSLE**

### ***5.2-2.1. La généralisation d'un modèle empirique: USLE***

En 1958, Wischmeier, statisticien du Service de Conservation des Sols américain, fut chargé de l'analyse et de la synthèse de plus de 10 000 mesures annuelles de l'érosion sur parcelles et sur petits bassins versants dans 46 stations de la Grande Plaine américaine. L'objectif de Wischmeier et Smith était d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle du champ cultivé pour permettre aux techniciens de la lutte antiérosive de choisir le type d'aménagement nécessaire pour garder l'érosion en-dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production. Le modèle de prévision de l'érosion USLE a été publié en 1978. Il est constitué d'un ensemble de cinq sous-modèles (Wischmeier et Smith, 1978):

Ø R, indice d'érosivité des pluies, est égal à l'énergie cinétique des pluies, que multiplie l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes. Cet indice correspond aux risques potentiels liés à l'érosion en nappe sur une parcelle nue de 9 % de pente. Il augmente avec la quantité de pluie et l'intensité de la pluie ;

Ø K, érodibilité des sols, est fonction des matières organiques et de la texture des sols, de la perméabilité et de la structure du profil. Il varie de 70/100ème pour les sols les plus fragiles à 1/100ème sur les sols les plus stables. Il se mesure sur des parcelles nues de référence de 22,13 m de long sur des pentes de 9 % et sur un sol nu, travaillé dans le sens de la pente et qui n'a plus reçu de matières organiques depuis trois ans ;

- Ø SL, le facteur topographique, dépend à la fois de la longueur de pente L et de l'inclinaison de la pente S. Il varie de 0,1 à 5 dans les situations les plus fréquentes de culture et peut atteindre 20 en montagne ;
- Ø C, le couvert végétal, est un simple rapport entre l'érosion sur sol nu et l'érosion observée sous un système de production. On confond dans le même facteur C, à la fois le couvert végétal, son niveau de production et les techniques culturales qui y sont associées. Ce facteur varie de 1 sur sol nu à 1/1000ème sous forêt, 1/100ème sous prairies et plantes de couverture, 1 à 9/10ème sous cultures sarclées ;
- Ø P est un facteur qui tient compte des pratiques purement antiérosives. Il varie de 1 sur un sol sans aucun aménagement antiérosif à 1/10ème environ ;

USLE est donc un modèle empirique réalisé pour répondre à des besoins de services techniques agricoles qui, avec peu de données, sont obligés de chercher des solutions raisonnables à des problèmes pratiques. Toutefois il est limité :

- Ø dans l'espace :
  - la source d'énergie prise en compte est uniquement la pluie: il ne s'applique donc pas à l'érosion linéaire, ni à l'érosion en masse dont la participation dans les processus érosifs augmentent avec la pente. Ce modèle a été mis en place d'après des expérimentations sur des pentes de 1 à 20 % et son utilisation sur des zones à plus forte pente donne des erreurs pouvant atteindre 500 % (Cerdan, 2001).
  - les relations proposées entre l'énergie cinétique des pluies et leur intensité ne sont valables que dans la plaine américaine.

Ø dans le temps : les prédictions de ce modèle sont des moyennes sur 20 ans et ne peuvent donc en aucun cas être utilisées à l'échelle de l'averse.

Cependant, c'est sûrement le modèle le plus largement utilisé et accepté pour le calcul de l'érosion en nappe et rigoles des sols, basé sur des parcelles agricoles (Renard et al., 1997 ; Kouli et al., 2009). Son succès est largement expliqué par sa facilité d'utilisation et son efficacité (Desmet et Govers, 1996).

### ***5.2-2.2. RUSLE : adaptation de USLE pour l'échelle du bassin versant***

De nombreuses variantes de l'USLE ont été développées, dont RUSLE (Revised USLE) développé par l'USDA (Renard et al., 1991, 1997), disponible sous forme d'un programme Windows© et permettant l'estimation de l'érosion des sols pour des pentes aux alentours de 20%.

Le modèle RUSLE a été développé pour permettre le calcul de l'érosion à l'échelle du bassin versant. L'hypothèse de RUSLE est que le détachement et le dépôt sont contrôlés par la teneur en sédiment de l'écoulement. Le matériau de l'érosion n'est pas une source limitée, mais l'érosion est limitée par la capacité de charge de l'écoulement. Lorsque la charge de sédiments atteint la capacité de charge de l'écoulement, le détachement ne peut plus se produire. La sédimentation doit aussi se produire au cours de la partie de descente des eaux de l'hydrogramme, lorsque le débit diminue.

Basé sur la même équation que ULSE, ce sont les définitions des facteurs de l'équation qui ont évolué. RUSLE utilise la pluviométrie mensuelle, la longueur de pente et l'inclinaison de la pente, l'utilisation des terres, les propriétés du sol, en tant que paramètres dans l'équation suivante :

$$A = R \times L \times S \times K \times C \times P$$

A exprime la perte en sol moyenne par unité de surface pour la période choisie pour R. Le facteur d'érosivité (facteur R) est calculé comme la somme

moyenne annuelle des valeurs de l'indice d'érosion (EI) pour chaque année étudiée et basé sur 11 stations météorologiques qui entourent de bassin versant étudié (Arekhi et al., 2012). Longueur de pente (L) et inclinaison de la pente (S) sont directement calculés à partir du MNT (Modèle Numérique de Terrain). Le facteur d'érodibilité du sol (K) représente à la fois la sensibilité des sols à l'érosion et le taux de ruissellement. Le facteur de couverture végétale (C) est estimée à partir du NDVI calculé sur les images de télédétection de la zone étudiée. Enfin, le facteur de la pratique culturale (P) reflète l'impact des pratiques anti-érosives sur le taux d'érosion annuel. Classiquement, la valeur de  $P = 1$  est choisie pour tout calcul de l'érosion dans des bassins versants non aménagés (Kouli et al., 2009).

Le modèle d'érosion RUSLE a été utilisé pour calculer et estimer l'érosion des sols en zones de montagne (Millward et Mersey, 1999 ; Hoyos, 2005 ; Zhou et al., 2008), et aussi pour obtenir une information sur le changement d'utilisation des terres (Shi et al., 2004 ; Zhou et al., 2008 ; Arekhi et al., 2012).

### **5.3- Apport de la télédétection et des SIG pour quantifier l'érosion**

#### **5.3-1. Les SIG pour intégrer les données spatialement géoréférencées**

Un système d'information géographique (SIG) est un outil très utile pour faire face au grand nombre de données spatiales et permettre la mise en relation des données à partir de diverses sources (ESRI, 2005). Les SIG sont utilisés dans diverses applications environnementales depuis les années 1970. Toutefois, l'application des SIG à la modélisation hydrologique et cartographique pour la gestion des inondations n'a pas commencé avant les années 1990 (Moore et al., 1991; De Roo, 1996 ; Maidment et Djokic, 2000). La capacité de représenter l'altitude en terme de surface topographique est un avantage certain pour les

analyses géomorphologiques. Le SIG permet une représentation spatiale géoréférencée de la distribution des sols, de la végétation, des aménagements, du réseau hydrologique et de la répartition des pluies, autant de paramètres qui permettront le calcul de l'érosion (Brooks et McDonnell, 2000). Les avantages des modèles d'érosion des sols sur SIG sont les suivants:

- La possibilité de produire rapidement des données d'entrée pour simuler des scénarios différents à différentes échelles spatiales et temporelles ;
- La possibilité d'utiliser de très grands bassins avec de nombreux pixels, de sorte que le bassin versant peut être simulés avec plus de détails ;
- La visualisation des résultats du modèle peut être utilisée pour afficher et animer des séquences d'images de sortie à diverses échelles spatiales et temporelles.

De plus, l'utilisation couplée de la télédétection et des SIG rend l'estimation de l'érosion des sols et de sa distribution spatiale réalisable à des coûts raisonnables et avec une meilleure précision sur des zones plus grandes que les méthodes classiques (Millward et Mersey, 1999; Bartsch et al. 2002; Wang et al., 2003; Chen et al., 2011). De nombreux auteurs ont montré que de telles méthodes fournissent des résultats significativement meilleurs que l'utilisation des méthodes traditionnelles (Zhao et al., 2002 ; Zhou et Wu, 2005 ; Arekhi et al., 2012). Les données de télédétection étaient principalement utilisées pour produire des images de couleur permettant des classifications de couverture terrestre (Millward et Mersey, 1999; Ma et al., 2003), tandis que les outils SIG ont permis d'utiliser les images pour la dérivation des facteurs topographiques, la construction des DEM, et finalement l'interpolation nécessaire pour le calcul de l'érosion (Millward et Mersey, 1999; Bartsch et al., 2002; Wang et al., 2003).

Enfin, Desmet et Govers (1996) montrent que l'utilisation combinée du modèle d'érosion RUSLE avec l'outil SIG apporte une meilleure fiabilité pour

estimer l'intensité et la répartition spatiale de l'érosion (e.g. Cox et Madramootoo, 1998; Millward et Mersey, 1999; Fernandez et al., 2003; Lim et al., 2005; Fu et al., 2006 ; Onori et al., 2006 ; Erdogan et al., 2007 ; Winchel et al., 2008 ; Kouli et al., 2009 ; Chen et al., 2011).

## 5.4- Calcul des facteurs du modèle RUSLE

### 5.4-1. Les données altimétriques GDEM

Dans cette étude, le logiciel ArcGIS est utilisé pour la simulation de l'érosion des sols sur la base de l'équation RUSLE, selon l'algorithme représenté en Figure 5.4.

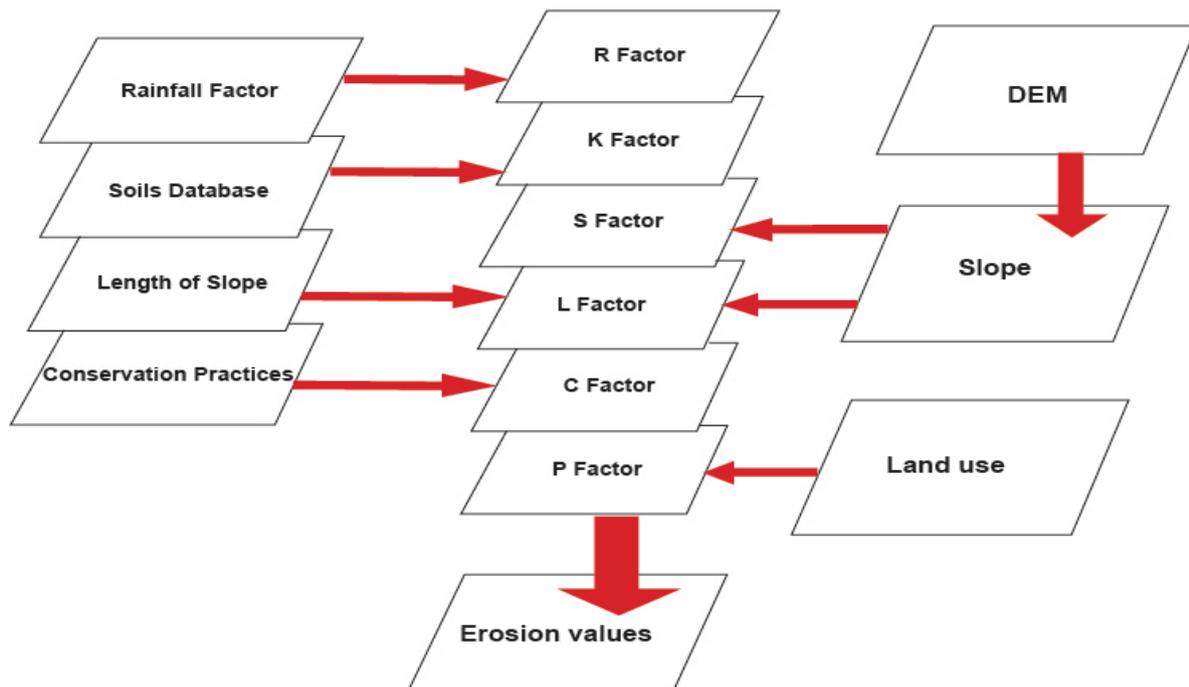


Figure 5. 4: Procédures de mise en œuvre du model RUSLE.

La topographie de la zone d'étude est définie à partir du de Digital Elevation Model (DEM, ou MNT) avec une résolution spatiale de 30 m. Le DEM a été extrait à partir des données ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation

Model) de résolution spatiale 30m. Le GDEM a été récupéré sur internet depuis le site <http://www.jspacesystems.or.jp>. Le Global Digital Elevation Model (GDEM) 1 arc-second(environ 30 m) a été développé par Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) of Japan et the United States National Aeronautics and Space Administration (NASA). Les données sont en format GeoTIFF avec coordonnées géoréférencées(en latitude, longitude) au système géodésique WGS84 et des altitudes en mètres. Les précisions initiales estimées pour l'ASTER GDEM sont de 20 mètres pour les valeurs d'altitude et de 30 mètres pour le positionnement horizontal avec un niveau de confiance de 95%.

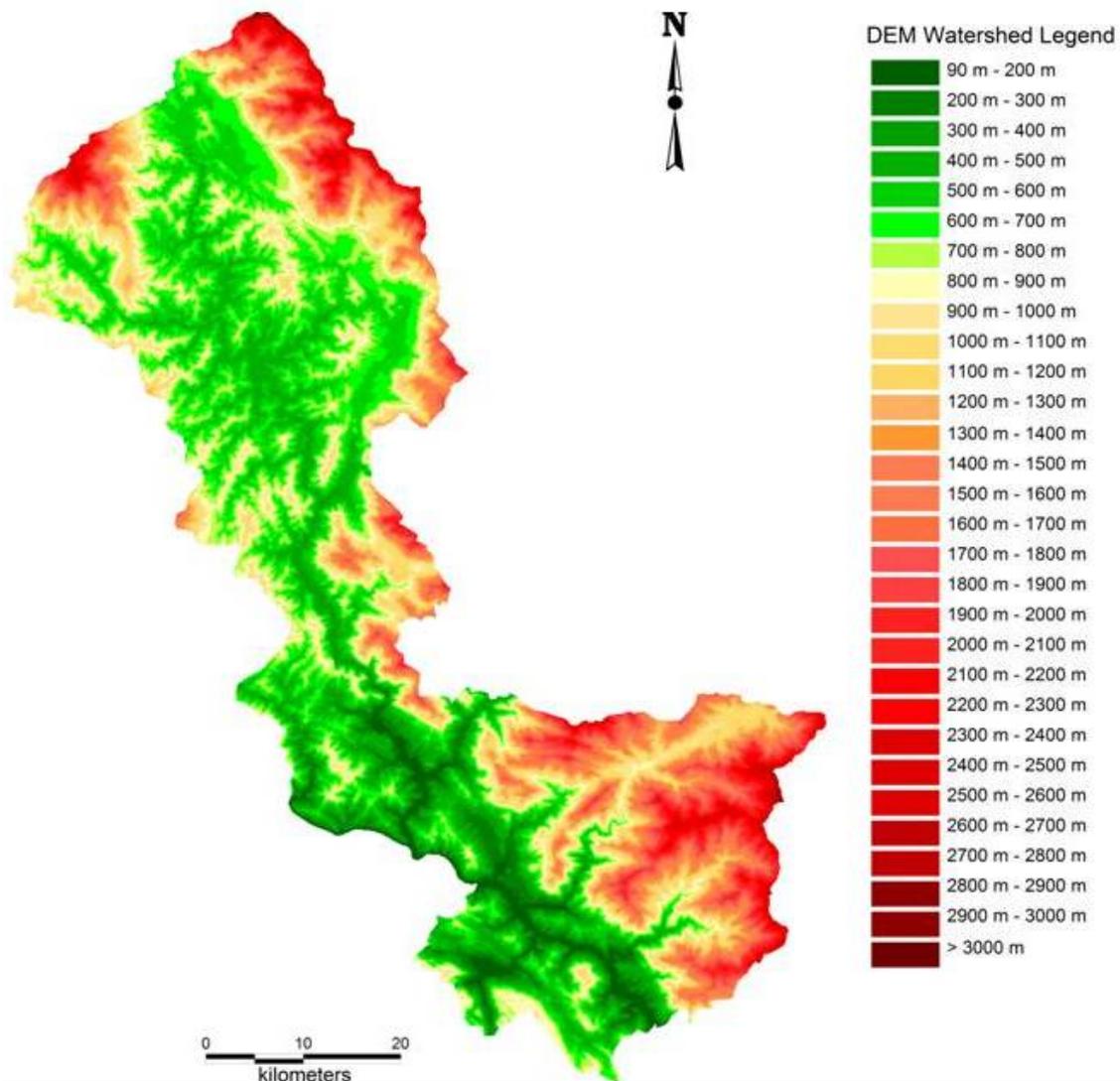


Figure 5. 5: Modèle Numérique de Terrain (ou DEM)de la zone d'étude

L'altitude de la zone d'étude varie de 296 mètres à plus de 3000 mètres (Figure 5.5). Plus de 75% de la superficie est représentée par la classe des altitudes inférieures à 900 mètres. Les terrains agricoles sont compris de 400 à 700 mètres d'altitude.

Le DEM sert à déterminer les caractéristiques suivantes de notre zone d'étude : (1) la zone de drainage (ou encore limite des bassins versants) et les caractéristiques topographiques (longueur de pente, pente, inclinaison de la pente) ; (2) les caractéristiques du réseau hydrographique.

#### **5.4-2. Calcul des variables topographiques L et S, dérivées du MNT**

La longueur de pente L et l'angle de pente S ont été calculés à partir du modèle numérique de terrain (Figure 5.4) selon la procédure présentée par Desmet et Govers (1996), puis Lewis et al. (2005) et Winchell et al. (2008).

En effet, le calcul du facteur LS de l'équation RUSLE qui décrit la longueur de pente multipliée par la pente S, a été adapté pour intégrer l'impact des zones amont contributives à l'érosion sur la convergence des flux (Desmet et Govers, 1996). L'équation modifiée pour les calculs du facteur LS à un point  $r = (x, y)$  sur un versant s'exprime alors de la manière suivante (Desmet et Govers, 1996) :

$$LS(r) = (m+1) [ A(r) / a_0 ]^m [ \sin B(r) / b_0 ]^n \quad (eq. 1)$$

Où :

A(r) : la surface amont contributive;

B(r) : la pente (degré) ;

m et n sont des paramètres ;

$a_0 = 22,13$  m (est la longueur de la parcelle USLE standard) ;

$b_0 = 0.0896 = 9\% = 5,16$  degré (est la pente de la courbe de USLE standard).

La prise en compte de la surface contributive de la zone amont reflète mieux l'impact des flux concentrés contribuant à l'érosion (Lewis et al., 2005). Et il a été montré que les valeurs de  $m = 0,6$  et  $n = 1,3$  donnent des résultats en accord avec le facteur LS de RUSLE pour les longueurs de pente  $<100\text{m}$  et une pente  $<14^\circ$  (Moore et Wilson, 1992).

Nous avons utilisé le DEM pour créer une grid de pente et appliquer l'équation (eq.1) pour calculer le facteur LS avec le logiciel ArcGIS. La carte LS du bassin versant est présentée en Figure 5.6. Le facteur LS évolue entre 0 et 6400 m.

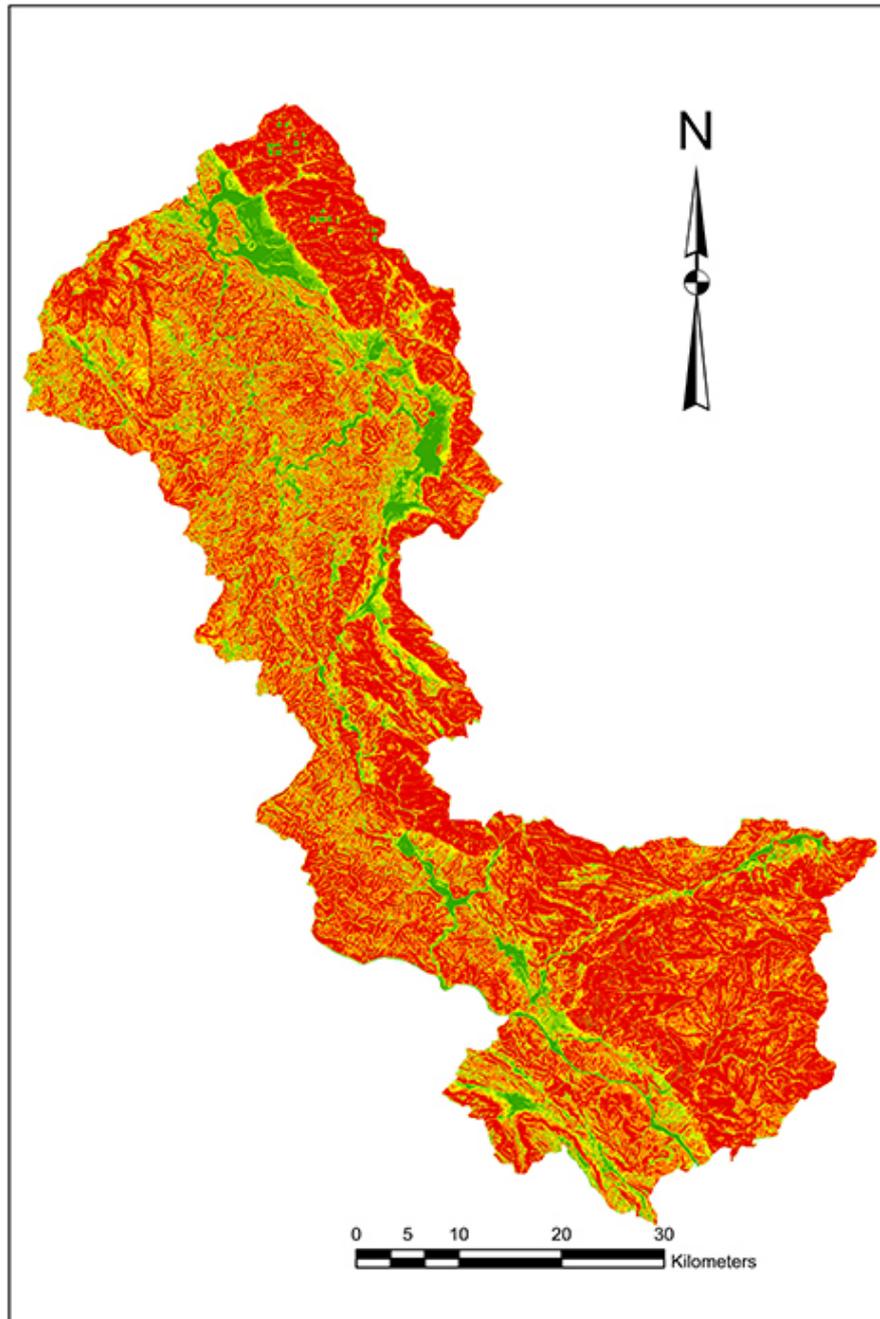


Figure 5. 6: Carte du facteur LS de la zone d'étude

### 5.4-3. Calcul du facteur C d'occupation du sol à partir du NDVI

Le couvert végétal est le second facteur le plus important (après la topographie) qui contrôle le risque d'érosion des sols (Desmet et Govers, 1996). Dans RUSLE, l'effet du couvert végétal est incorporé à l'effet de l'occupation du sol par le facteur C, qui est défini comme un ratio entre la

perte en sol sur des terrains cultivés sous des conditions spécifiques et la perte en sol correspondante sur un terrain en jachère (Wischmeier et Smith, 1978). Le facteur C représente donc in fine le type d'utilisation des terres, et il peut être décomposé en sous-fonctionnalités qui incluent l'utilisation antérieure des terres, le couvert forestier, la couverture de la surface du sol, la rugosité de surface et l'humidité du sol. Les effets de mulch, des résidus de récolte et des opérations de labour sont aussi être pris en compte par le facteur C (Renard et al., 1997). Les valeurs du facteur C varient entre 0 et 1.

Le facteur C dépend donc du type de végétation, du stade de croissance et du pourcentage de couverture végétale (Gitas et al., 2009). Or le couvert végétal peut être estimé à l'aide des indices de végétation dérivés d'images satellitaires (de type Landsat). Les indices de végétation nous permettent de délimiter la répartition de la végétation et des sols sur la base des modèles de réflectance caractéristiques de la végétation verte. L'indice de végétation normalisé (NDVI), l'un des indices de végétation le plus utilisé, mesure la quantité de végétation verte. La différence de réflectance spectrale entre le proche infrarouge (NIR) et le rouge est utilisée pour calculer NDVI (Jasinski, 1990 ; Jensen, 2005). Les valeurs du NDVI vont de -1,0 à 1,0, où les valeurs les plus élevées sont pour la végétation verte, et les valeurs faibles pour les autres matériaux de couverture. Le sol nu est représenté avec des valeurs NDVI qui sont le plus souvent proches de 0, et les plans d'eau sont représentés avec des valeurs de NDVI négatives (Jasinski, 1990; Sader et Winne, 1992).

De nombreuses études d'érosion basées sur l'utilisation de RUSLE ont utilisé le NDVI pour le corrélérer avec le facteur C (e.g. De Jong et al., 1999; Post et al., 1999 ; Van der Knijff et al., 2000 ; Karaburun, 2010 ; Chen et al., 2011). Il existe cependant des biais à cette méthode du fait de l'impact non négligeable du pourcentage de couvert, de la qualité de l'atmosphère

(température de l'air) ou même des précipitations sur les valeurs du NDVI (Martinez et Mollicone, 2012 ; Durigon et al., 2014).

Pour notre étude, nous avons utilisé des images satellites MSS 1973, TM1993, TM2000, TM2009 et Landsat 8 OLI en 2013. Nous avons utilisé la bande proche infrarouge (NIR) et la bande rouge (R) pour définir les indices de couverture végétales pour calculer le NDVI par l'équation classique :

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Ensuite, pour convertir les valeurs NDVI en valeurs du facteur C, nous avons recueilli 68 échantillons de vérité terrain. L'estimation des valeurs terrain du facteur C a été réalisée pour différents types de couverture végétale et différents types d'usage de sol. Les coordonnées ont été enregistrées par GPS. Le calcul de C est fait selon la méthode décrite par Renard et al. (1997) qui définit le facteur C par l'équation suivante :

$$C = PLU \times CC \times SC \times SR$$

PLU exprime les effets résiduels des récoltes antérieures et l'influence du travail du sol sur l'érosion. Pour cette étude, selon les recommandations de Renard et al. (1997), une valeur de 0,5 pour les zones forestières et une valeur de 1,0 pour les zones agricoles ont été retenues.

CC qui caractérise le type de couvert végétal, est estimé en fonction de la surface au sol du végétal (Fc) et la hauteur (H) de la chute des gouttes de pluie depuis le sommet du feuillage, selon :

$$CC = 1 - Fc \times \exp^{(-0.1 \times H)}$$

SC est la surface de couverture végétale, estimée à partir du pourcentage de surface du sol (Sp), de la rugosité (Ru) et d'un coefficient empirique b, comme suit:

$$SC = \exp(-b \times Sp \times (\frac{0.24}{Ru})^{0.08})$$

Nous avons utilisé les valeurs recommandées par Renard et al. (1997):

b = 0,050 pour l'érosion linéaire ;

b = 0,025 pour l'érosion inter-rang ;

b = 0,035 pour l'érosion des terres cultivées ;

Ru = 0,61 cm

Enfin, la rugosité de surface (SR) est estimée comme suit:

$$SR = \exp(-0.66 \times (Ru - 0.24))$$

A partir des valeurs du facteur C ainsi calculées, il existe une corrélation très significative entre le NDVI et le facteur C, avec un coefficient de régression de  $R^2 = 0,86$  (Figure 5.7). L'équation de conversion du NDVI en valeur du facteur C s'établit donc comme suit :

$$C = 0,939NDVI - 0,038$$

Sur la zone d'étude, les valeurs de C évoluent entre 0,01 et 0,6. La répartition spatiale du facteur C ainsi obtenue sera utilisée pour discriminer les catégories d'utilisation des terres.

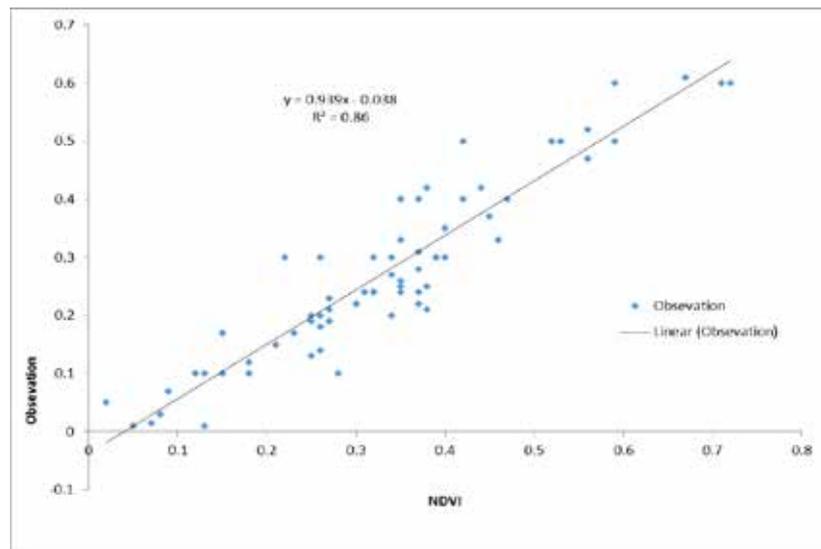


Figure 5. 7: Régression linéaire entre le facteur C calculé à partir d'échantillonnage terrain et le NDVI

#### 5.4-4. Calcul du facteur d'érosivité de la pluie R à partir du réseau de stations météorologiques

Wischmeier et Smith (1978) proposent la formulation suivante pour calculer le facteur d'érosivité R (en MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.hr<sup>-1</sup>):

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^m (E) (I_{30}) k \right]$$

Où k décrit le nombre d'évènements pluies par année, m étant le nombre de pluies par an ; j décrit le nombre d'année de la période étudiée, n étant le nombre total d'années ; E (en MJ/ha) est l'énergie cinétique de la pluie considérée ; I30 (en mm/hr) est l'intensité maximale de la pluie sur 30 minutes.

Idéalement, le facteur d'érosivité devrait être construit à partir de relevés pluviométriques quotidiens sur au moins deux décennies (Wischmeier et Smith, 1978). Malheureusement, ces données ne sont pas souvent disponibles. Aussi la pluviométrie annuelle et mensuelle ont souvent été utilisées pour estimer le facteur R (e.g. Kouli et al., 2009). Pour cela, l'index modifié de

Fournier, MFI, est largement utilisé (e.g. Renard et Freimund, 1994 ; Lee et Heo, 2011 ; Plangoen et al., 2013b ; Hernando et Romana, 2015) :

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Où  $p_i$  est la pluie mensuelle, P la pluie annuelle.

La relation entre MFI et le facteur R montre le meilleur ajustement suivant une distribution exponentielle (Ferro et al., 1999), de la forme :

$$R = a \cdot MFI^b$$

Où a et b sont des paramètres d'ajustement empiriques.

Pour nos calculs, nous avons choisi d'utiliser les valeurs des paramètres a et b issues du travail de thèse de Vu Chi Kim (2007) réalisé dans la Province de Son La. Le meilleur ajustement est obtenu par l'équation suivante que nous utiliserons (R exprimée en MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.hr<sup>-1</sup>):

$$R = 227 MFI^{0,584}$$

Nous avons utilisé la banque de données pluviométriques nationale du Vietnam : 32 stations pluviométriques sur 40 ans (1973-2013) de données mensuelles. La moyenne pluviométrique interannuelle de la zone d'étude est de 1902 mm/an (sur 1973-2013). La variabilité régionale est importante, puisque les moyennes interannuelles pluviométriques vont de 1185 mm/an à 3150 mm/an sur le Mont Fansipan. Les mois les plus humides sont juillet et aout avec chacun 360 mm/mois.

Le facteur R moyen annuel (sur la période 1973-2013) varie entre 527 et 602 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.hr<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, selon les stations. Ces valeurs correspondent à un facteur R mensuel variant de 44 à 50 (Figure 7.7). A partir d'une méthode de krigeage, la valeur moyenne sur 40 ans du facteur R annuel pour la zone

d'étude serait de  $519,44 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{hr}^{-1}.\text{an}^{-1}$ . Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles calculées en Thaïlande et Philippines, deux l'Etats à proximité du Vietnam se situant dans des conditions environnementales et climatiques similaires. Les valeurs R sont de 200 à  $800 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{hr}^{-1}.\text{an}^{-1}$  pour la Thaïlande (Srihajan et al., 1984). Aux Philippines, le calcul fait sur 39 ans donne une valeur moyenne annuelle de R de  $335,85 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{hr}^{-1}.\text{an}^{-1}$  (Schmitt, 2009), ce qui est inférieur à notre valeur tout en restant du même ordre de grandeur.

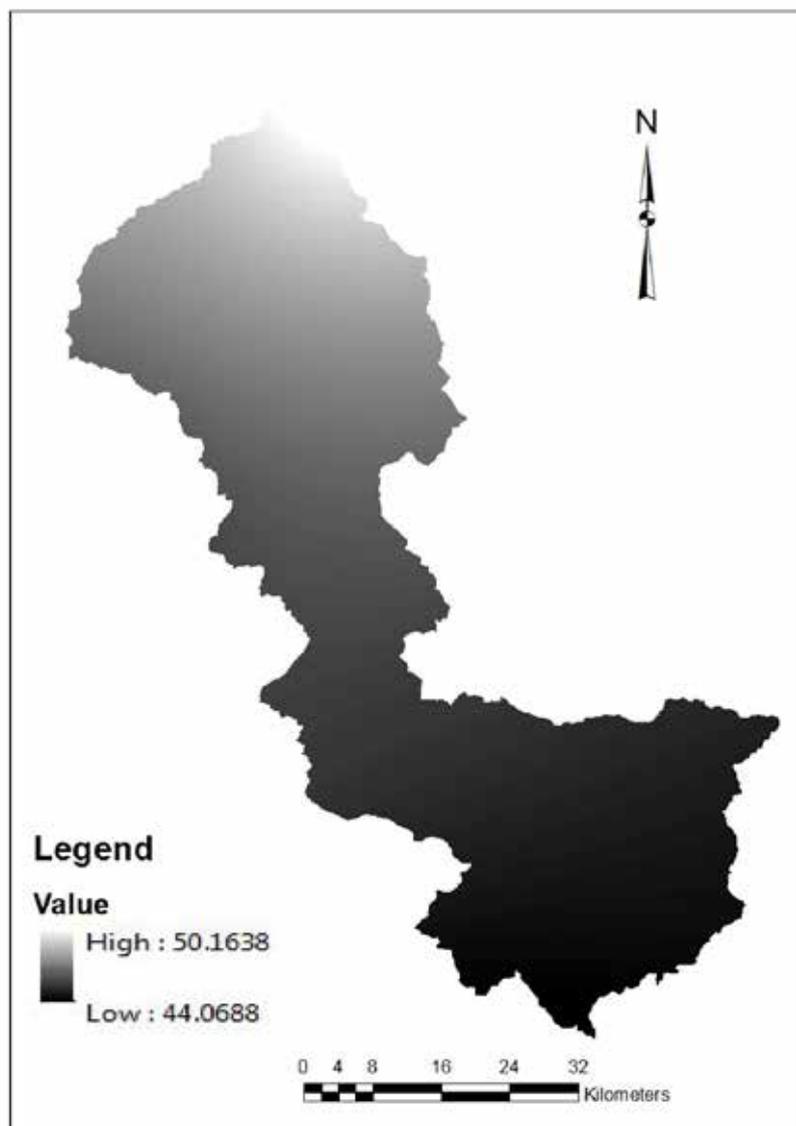


Figure 5. 8: Représentation spatiale du facteur R moyen mensuel, sur la période 1973-2013.

Enfin, dans le détail mensuel, les érosivités sont maximales de mai à septembre. Le facteur R mensuel moyen (sur 1973-2013) varie durant cette saison de 62 à 86 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.hr<sup>-1</sup>, respectivement pour les mois de septembre et août. Durant cette saison, les valeurs du facteur R maximum et minimum mensuels sont respectivement 40 et 100 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.hr<sup>-1</sup>.

Dans cette étude, l'estimation du risque d'érosion a pour but de donner un aperçu synthétique du risque d'érosion aux niveaux régionaux, sous l'influence des changements d'usage des sols et des aménagements hydroélectriques. Aussi nous retiendrons cette équation moyenne du calcul du facteur R pour la suite de l'étude.

#### **5.4-5. Facteur d'érodibilité du sol (K)**

L'érodibilité des sols (K) représente la sensibilité du matériau du sol et de la surface du sol à l'érosion et aussi la transportabilité des sédiments. La valeur de ce facteur est liée à la quantité d'eau de ruissellement en fonction d'une précipitation donnée, dans les conditions standard de Wischmeier et Smidt (1978), à savoir une parcelle de terrain de 22,13m de long avec une pente de 9%, maintenue en jachère plusieurs années et labourée de haut en bas de versant.

Le facteur d'érodibilité du sol (K) est donc obtenu à partir de mesures directes du ruissellement sur des parcelles naturelles soumises à des simulations de pluie (Roose, 1977 ; Janeau et al., 2003 ; Podwojewski et al., 2008).

Une attention considérable a été accordée à la mesure de l'érodibilité du sol tels que la distribution de taille des gouttes d'eau, la granulométrie de la surface du sol, la teneur en matière organique, la densité des sols érodés (Wischmeier et Smith, 1978 ; Collinet et Valentin, 1984 ; Roose, 1994). La Figure 5.8 présente un exemple de graphe utilisé pour déterminer le facteur K

pour un sol, en fonction de sa texture (% de limon, et de sable très fin, % sable, % de matière organique), de sa structure et sa perméabilité (Wischmeier et Smith, 1978).

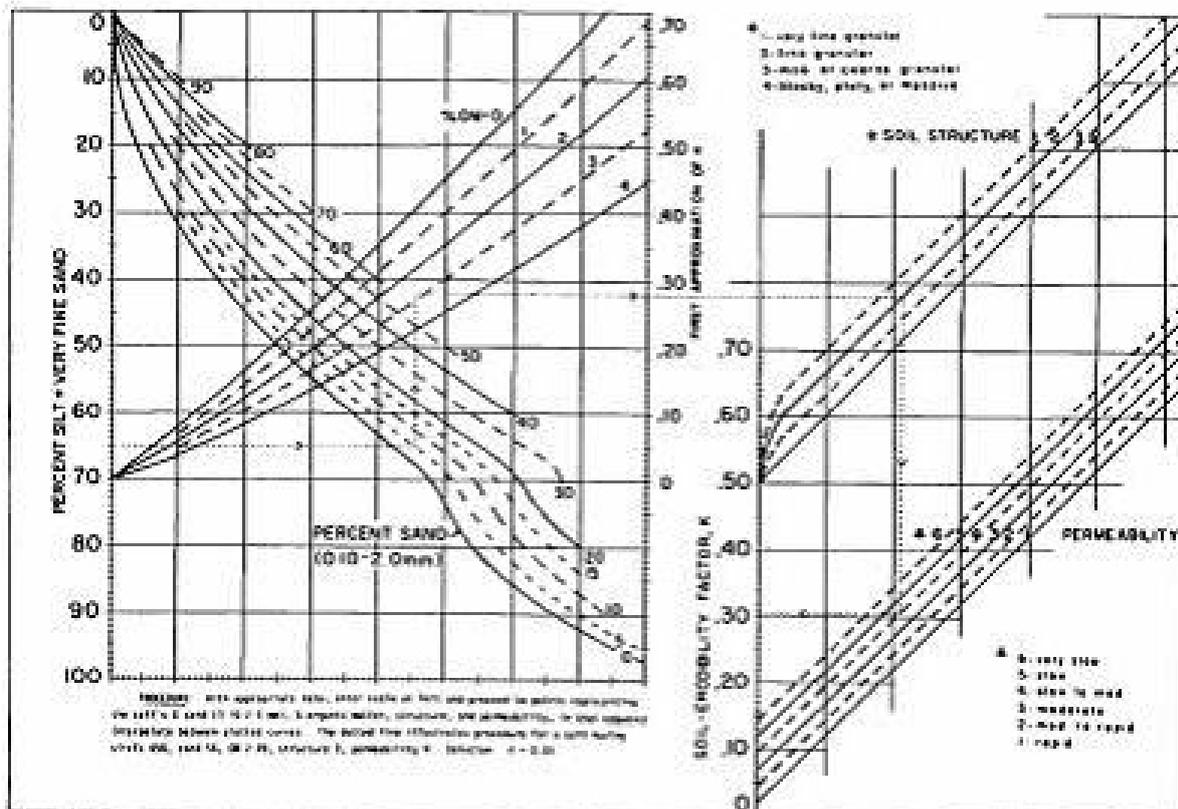


Figure 5. 9: Mono-graphique d'érodibilité du sol (d'après Wischmeier et Smith, 1978).

Au Vietnam, en 2000, le *National Institute of Agricultural Planning and Projection* (NIAPP) a publié une carte détaillée des sols de notre zone d'étude à l'échelle 1 : 50 000, accompagnée d'une notice de description des sols avec leurs analyses physiques et chimiques. C'est à partir de cette carte et description que j'ai construit la carte du facteur d'érodibilité des sols (K), en utilisant aussi l'équation suivante reconnue (Renard et al., 1996):

$$K = [2,1 \times 10^{-4}(12 - OM)M^{1,4} + 3,25(s - 2) + 2,5(p - 3)] / 0,0759$$

Où

K : facteur d'érodibilité du sol;

OM : % matière organique dans le sol;

M : (%limon) × (%limon + % sable);

s : nombre entier représentant la structure du sol,

p : Classe de la perméabilité du sol en fonction de la texture du sol.

Dans cette étude, la valeur K est basée sur les tables utilisées au Vietnam pour les zones montagneuses du nord (Nguyen Trong Ha, 1998 ; Vu Kim Chi, 2007).

Dans notre zone d'étude, les valeurs d'érodibilité des sols varient de 0,15 à 0,23 (Figure 5.9).

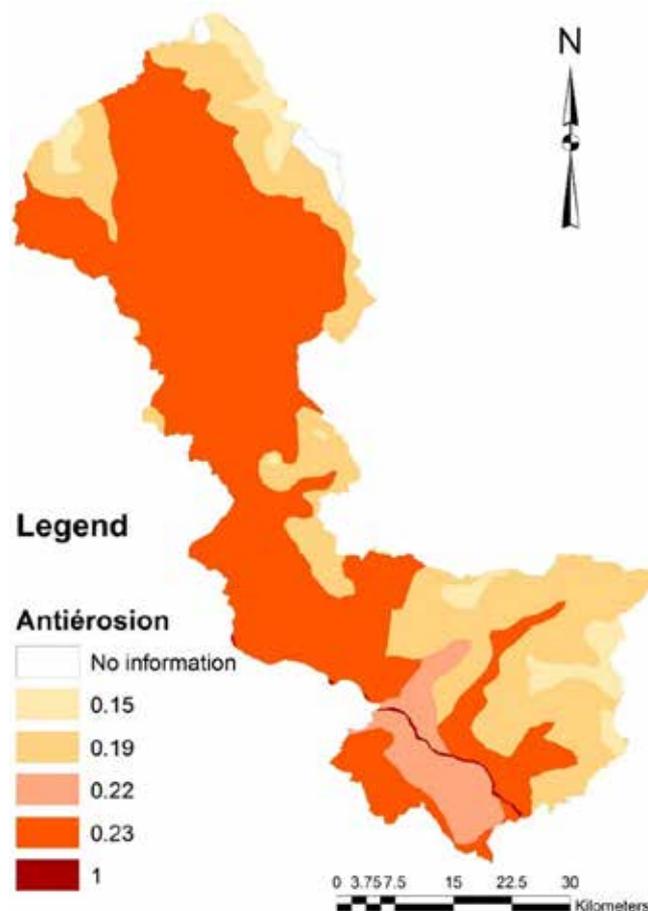


Figure 5. 10: Carte de l'érodibilité des sols dans la zone d'étude.

### 5.5- Intégration des cartes thématiques pour élaborer une base de données renseignées pour la modélisation RUSLE

Toutes les données recueillies sont intégrées dans une plateforme SIG pour être traitées. Nous avons utilisé le logiciel ArcGIS pour construire les cartes thématiques, présentées ci-avant. Chaque carte thématique est un paramètre d'entrée pour le modèle RUSLE. Toutes les cartes sont établies dans le même système de coordonnées WGS84 et converties sur une grille de résolution spatiale de 30 m pour calculer l'érosion des sols dans la zone d'étude selon l'organisation représentée en Figure 5.10.

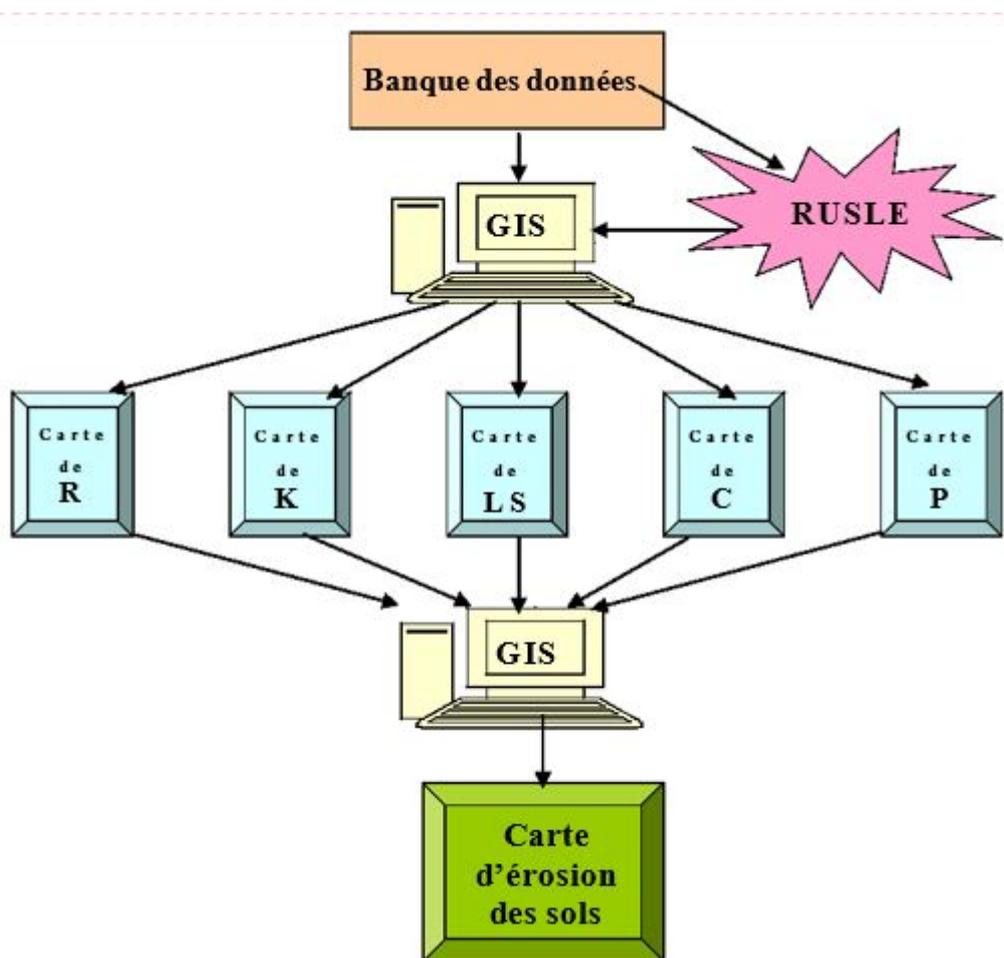


Figure 5. 11: Synthèse de l'architecture utilisée pour le calcul de l'érosion des sols selon le modèle RUSLE dans la plateforme ArcGIS.

## **Chapitre 6**

# **Analyse diachronique de l'érosion dans la Province de Son La depuis 1970**

Cette étude est basée sur l'analyse diachronique des images satellites Landsat à cinq dates différentes, qui couvrent une période de 40 ans: 1973, 1993, 2000, 2009 et 2013. Huit catégories d'utilisation des terres ont été définies par la comparaison entre la cartographie de l'analyse des images satellites avec la cartographie d'utilisation des terres des départements agricoles régionaux des trois districts étudiés en 1973, 2000 et 2009.

Sur cette base, le propos de ce chapitre est double:

- Identifier les usages agricoles qui amènent le plus d'érosion dans la zone étudiée, en comparant les résultats de la modélisation RUSLE avec les chroniques des districts ;
- Evaluer les changements d'usages des terres dans un aspect spatiotemporel dynamique pour éventuellement identifier ou non l'impact des trois grands barrages hydroélectriques de la région, que sont, du Nord au Sud : Ban Chat, Huoi Quang et Son La.

Toutes les images satellites Landsat (1973, 1993, 2000, 2009 et 2013) seront traitées en version colorée pour l'extraction des usages des terres à partir du NDVI (cf. chapitre 5). Le calcul du changement d'usage, LUC (pour Land Use Change), est évalué à partir du Digital Number de chaque point (x,y) fourni par l'imagerie Landsat et qui traduit la texture du pixel considéré (Kowalik et al., 1982), selon la formule suivante :

$$LUC_{x,y}(t+\Delta t) = DN_{x,y}(t) - DN_{x,y}(t+\Delta t)$$

Où:

$LUC_{x,y}(t+\Delta t)$ : Index de valeur de changement d'usage entre les pixels de coordonnées (x,y) des images prise au temps t et au temps t+dt,

$DN_{x,y}(t)$  : Valeur du Digital Number DN du pixel (x,y) de l'image prise au temps t,

$DN_{x,y}(t+\Delta t)$ : Valeur du Digital Number DN du pixel (x,y) de l'image prise au temps t+ $\Delta t$ .

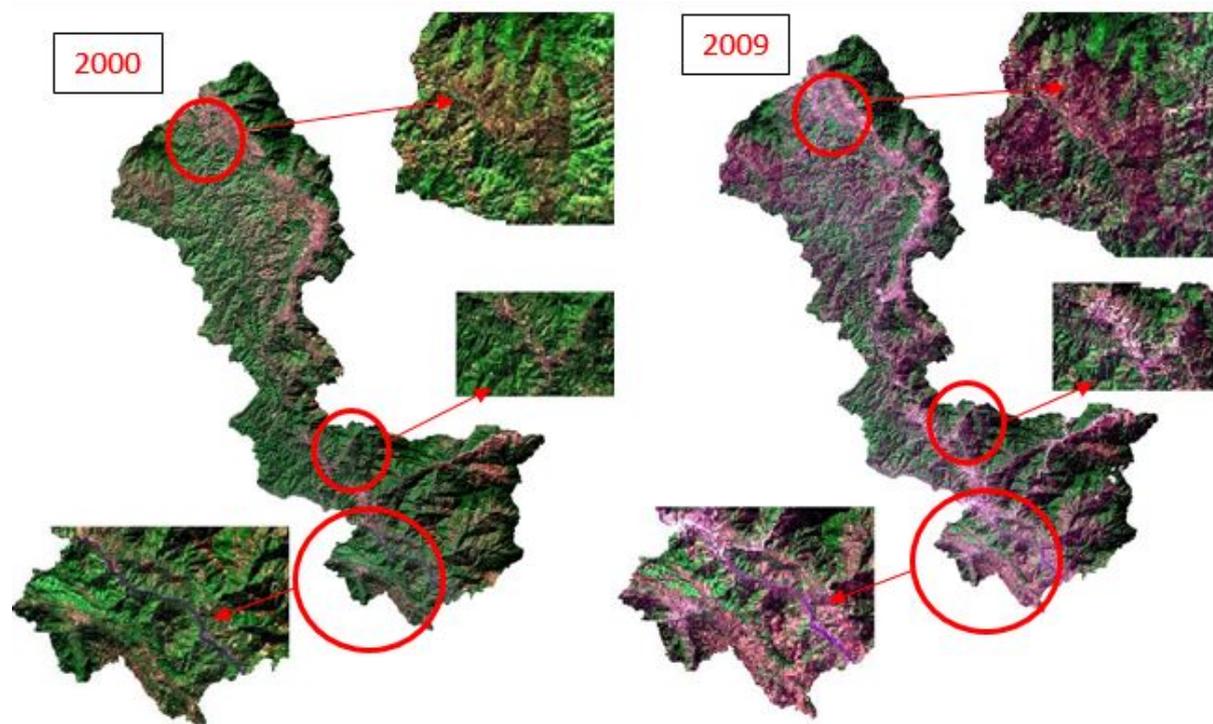


Figure 6. 1: Exemple de calcul de l'index de changement d'usage, LUC, entre un temps t (ici, t=2000) et un temps t+ $\Delta t$  (ici t+ $\Delta t$  = 2009).

Comme nous l'avons vu, l'érosion des sols est un processus complexe sous influence d'une part, de facteurs naturels liés principalement à la topographie, pédologie et au climat, et d'autre part, aux activités humaines d'usage du sol et d'aménagement du territoire.

Sur une période de 40 ans, de 1973 à 1993, nous considérerons que topographie et pédologie n'ont pas évolué (cf. chapitre 4). Nous verrons en premier lieu ce qu'il en a été du climat en s'intéressant uniquement à la pluviométrie de la région. En second lieu, nous analyserons les images Landsat pour identifier les changements éventuels d'usage des sols. Puis nous analyserons cet ensemble de faits pour identifier l'impact ou non des politiques et/ou construction des barrages hydroélectriques.

### **6.1- L'évolution des pluies de 1973 à 2013**

Nous avons déjà vu au chapitre 5 que la moyenne pluviométrique interannuelle de la zone d'étude est de 1902 mm/an sur la période 1973-2013, avec une variabilité régionale importante allant de 1185 mm/an à 3150 mm/an du fait de la forte variation topographique liée au Mont Fansipan, point culminant d'ASE.

Pour avoir une vision globale de l'évolution de la pluviométrie dans la région, indépendamment des effets liés à l'altitude, nous avons calculé la moyenne pluviométrique annuelle à partir de 11 stations synoptiques couvrant et encadrant la zone d'étude (Figure 6.2).

L'évolution décennale des pluies (Figure 6.3) est relativement faible, mais est constamment décroissante. On passe successivement de 1780 mm en décennie 70, à 1680 en décennie 80, 1660 en décennie 90 et 1640 en décennie 2000. Cette faible évolution confirme notre choix de garder la même relation pour le calcul du facteur R d'érosivité sur la période de 40 ans. Et l'image de la

distribution spatiale des pluies à partir de la moyenne interannuelle (Figure 6.4) est donc représentative de toutes les décennies.



Figure 6. 2: Cartographie des stations pluviométriques synoptiques de la zone d'étude (moyenne sur 11 stations).

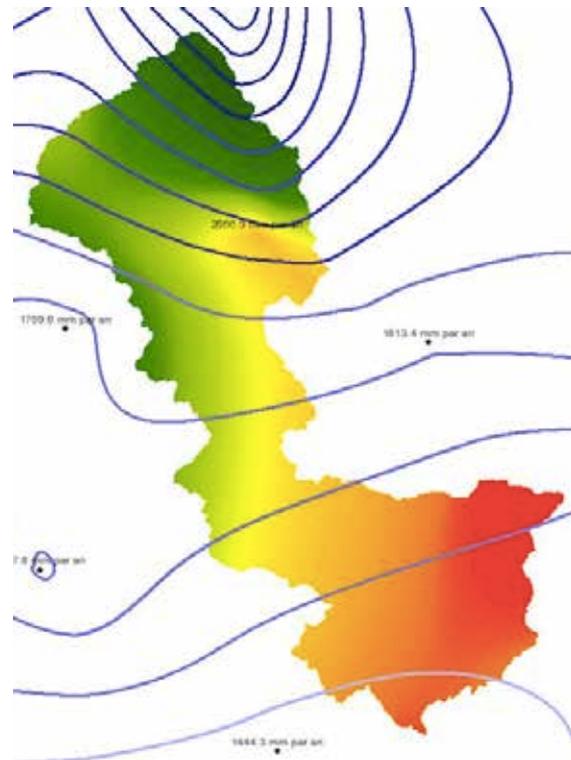


Figure 6. 3: Isohyètes interannuelles de la distribution des pluies dans la zone d'étude (moyenne sur 11 stations de 1973 à 2013) et distribution géographique du facteur R d'érosivité moyen interannuel (de vert foncé à rouge foncé : de faible à fort).

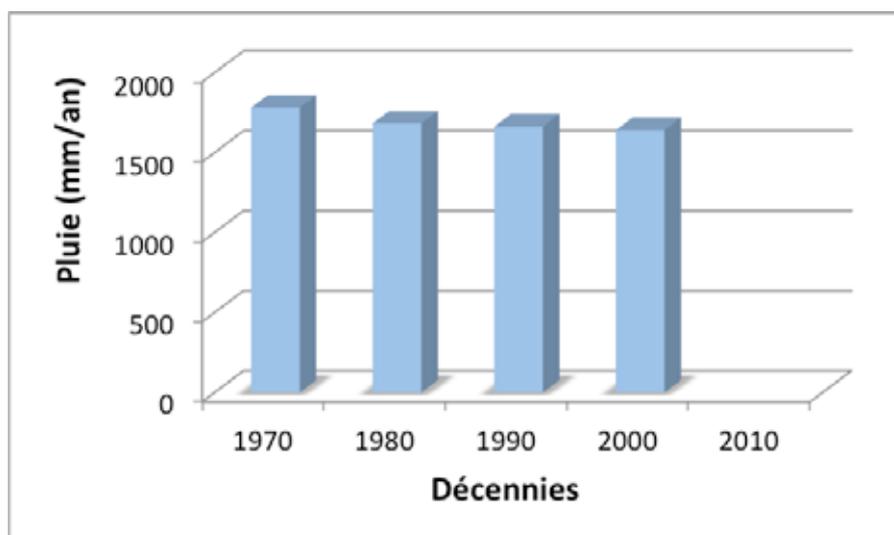


Figure 6. 4: Evolution des moyennes décennales des pluies dans la zone d'étude (moyenne sur 11 stations).

## 6.2- Le point sur les changements d'usage des sols

### 6.2-1. Sur la période de 1973 à 1993

#### 6.2-1.1. Définition des catégories d'usage des sols

A partir de l'image satellite 1973, dix catégories d'usage des sols peuvent être identifiées (Tableau 6.1). :

Tableau 6. 1 : Catégories d'usage des sols identifiées par imagerie en 1973 et leur superficie dans la zone d'étude (en ha et %).

<b>Catégories</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
Plante annuelle sur versant	1 719,72	0,6
Sol nul, ou construction	1 288,44	0,4
Rizière de bas-fond	7 967,52	2,5
Eau et sédimentation	2 940,48	0,9
Versant à l'ombre	4 6909,8	15,1
Jachère	74 548,08	24,0
Forêt	28 562,40	9,2
Théiers et plantation sur versant	93 946,68	30,2
Rizière en terrasse	24 591,96	7,9
Blanc (nuage ou chantier)	28 718,28	9,2

Pour préciser les types réels d'usage des sols en 1973, nous avons fait une comparaison avec les données statistiques des districts produites en 1973 (Tableau 6.2).

Tableau 6. 2: Catégories d'usage des sols en 1973 listées par les données statistiques des districts et leur superficie dans la zone d'étude (en ha et %).

<b>Catégories</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
Plantation sur versant	24 856,0	8,0
Jachère	107 812,9	34,7
Forêt	77 985,7	25,1
Théiers	88 549,5	28,5
Rizière de bas-fond	9 321,0	3,0
Urbanisation	310,7	0,1
Autre	1 864,2	0,6

A partir de ces données statistiques des districts, nous avons pratiqué des regroupements par type d'usage des sols sur la base de comparaison des superficies collectées en 1973. Ainsi, la catégorie « blanc (nuage ou

chantier ) » est assimilée à la catégorie « jachère »; la catégorie « versant à l'ombre » est assimilée à la catégorie « forêt ». Et nous créons une nouvelle catégorie intitulée « Plantation pluri-annuelle sur versant (théier) » qui regroupera les théiers et les plantations d'arbre dans les décennies suivantes.

La nouvelle liste de catégories d'usage des sols retenue pour notre étude recoupe donc 8 classes (Tableau 6.3). Nous rappelons que la superficie totale de la zone d'étude est de 3110 km<sup>2</sup> (cf. chapitre 4).

En 1973, la région est avant tout constituée de jachère pour 33,2% de la superficie totale et de 24,3% de forêt. Ainsi près de 60% de la zone d'étude est peu ou pas utilisée par l'homme. Seulement 11% du terrain est cultivé en plante annuelle (8,5 % sur pente avec seulement 0,6% en terrasse, et 2,5 % dans les bas-fonds). Enfin, il est remarquable de voir que 30% de la surface est utilisée pour la production de thé.

*Tableau 6. 3: Catégories d'usage des sols retenues (après regroupement) pour la zone d'étude et leur superficie en 1973 (en ha et %).*

<b>Code</b>	<b>Catégories</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
1	Culture annuelle sur versant	24 592	7,9
2	Jachère	103 266	33,2
3	Forêt	75 472	24,3
4	Rizière de bas-fond	7 968	2,5
5	Sol nul ou construction	1 288	0,4
6	Eau et sédimentation	2 940	0,9
7	Plantation pluri-annuelle sur versant (théier)	93 947	30,2
8	Rizière en terrasse	1 719	0,6

### ***6.2-1.2. Evolution des catégories d'usage des sols de 1973 à 1993***

La comparaison des deux cartes d'usage des sols entre 1973 et 1993 montre de grands changements (Figure 6.5). La Figure 6.6 en donne le détail.

En 1993, 60 000 ha de théiers et près de 30 000 ha de forêt ont disparu. Il est remarquable aussi que les plantes annuelles sur versant ont diminué de

plus de 20 000 ha. Mais on note une augmentation des surfaces de rizières (40 000 ha) et surtout des zones de construction (46 000 ha). Il n’y a donc pas une désertification de la région mais une transformation drastique des modes de vie. C’est juste la fin de la guerre et le début du nouveau Vietnam.

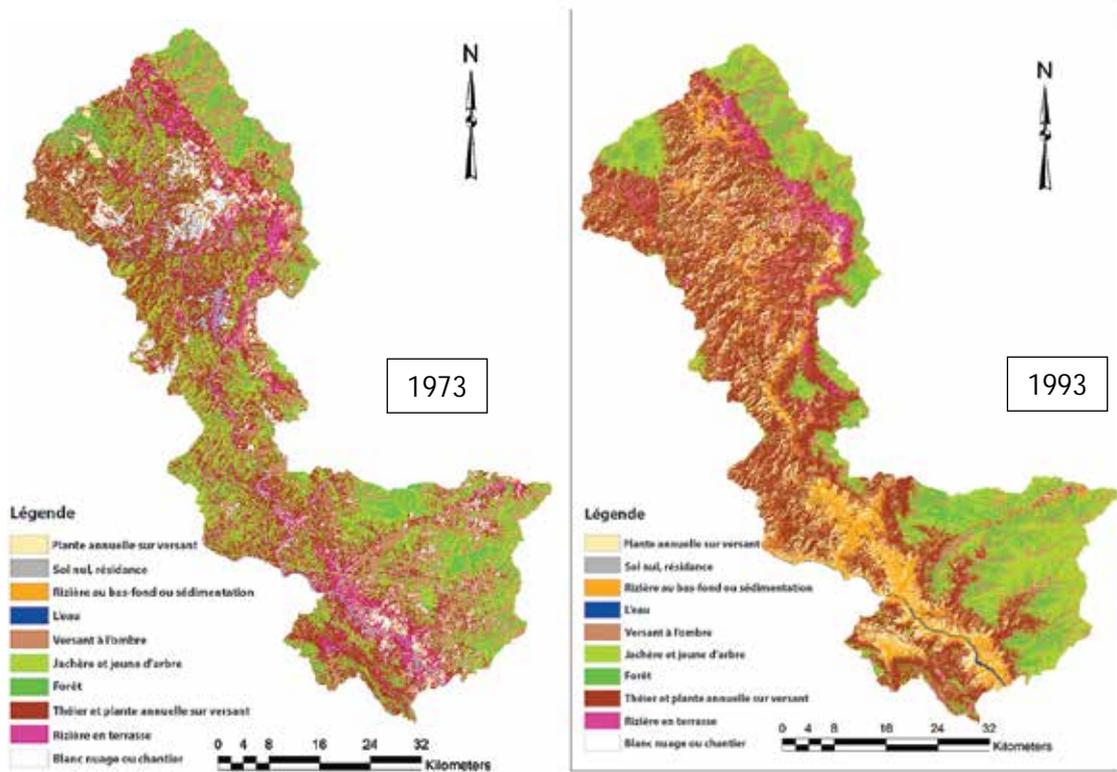


Figure 6. 5: Cartes d'usages des sols dans la zone d'étude en 1973 et en 1993.

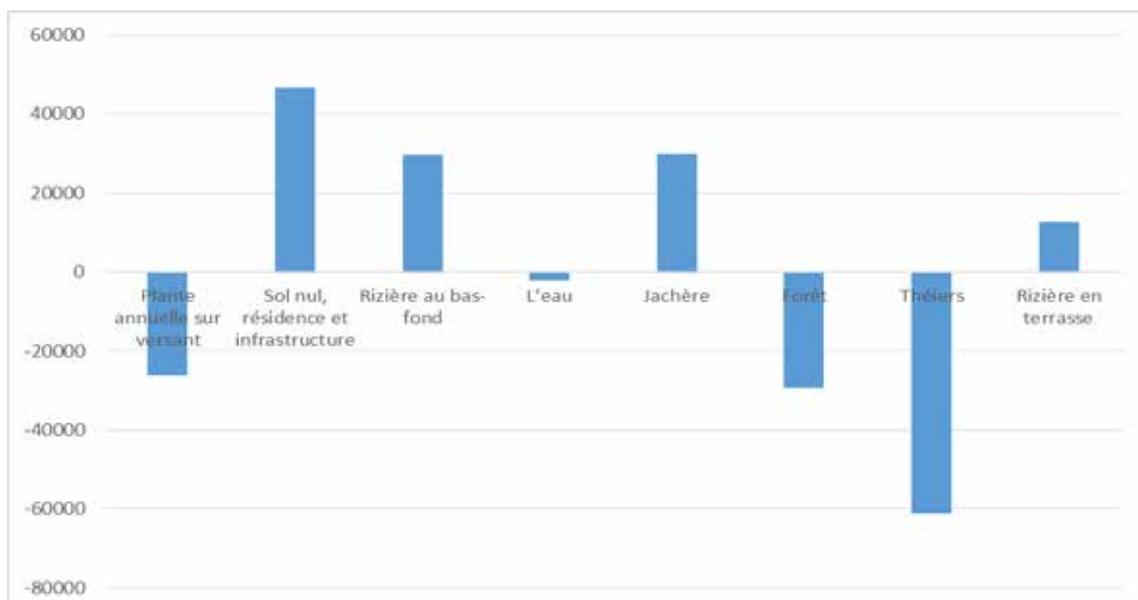


Figure 6. 6: Les changements d'usage des sols dans la zone d'étude entre 1973-1993.

Le calcul de l'érosion pour le modèle RUSLE (cf. chapitre 5) indique une érosion très faible pour 1973 et 1993. La plus faible classe de risque d'érosion « 0,5-1 ton/ha/an » est toujours majoritaire (Figure 6.7). Cependant, la classe de risque d'érosion suivante, de « 1-5 ton/ha/an », a augmenté de 7% en 20 ans (représentant 33% de surface en 1973 à 40% de surface en 1993).

Ces chiffres issus de la modélisation RUSLE sont logiques et confirment notre approche. La superficie de forêt et de thé diminuant à la faveur des zones de construction, il est normal que l'érosion augmente.

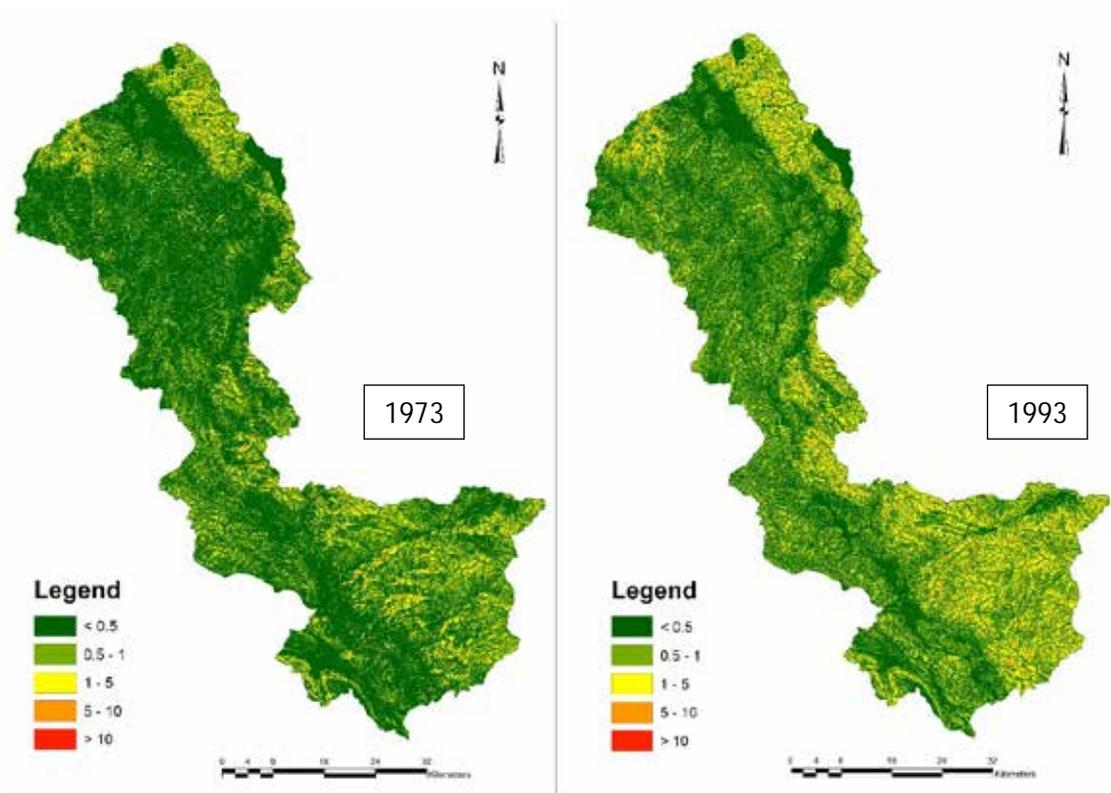


Figure 6. 7: Cartes d'érosion des sols dans la zone d'étude en 1973 et 1993, simulées par le modèle RUSLE.

### 6.2-2. Sur la période de 1993 à 2000

La comparaison des deux cartes d'usage des sols entre 1993 et 2000 montre des changements encore plus importants que durant la période précédente (Figure 6.8). La Figure 6.9 en donne le détail.

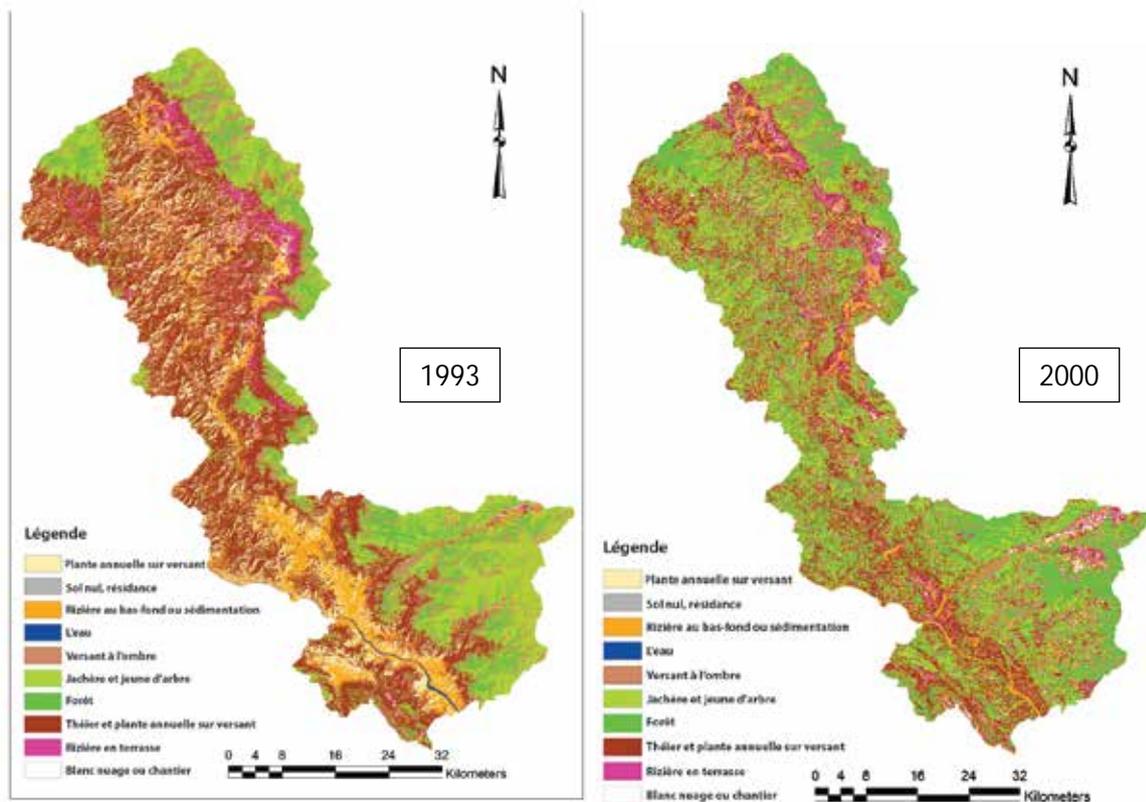


Figure 6. 8: Cartes d'usages des sols dans la zone d'étude en 1993 et en 2000.

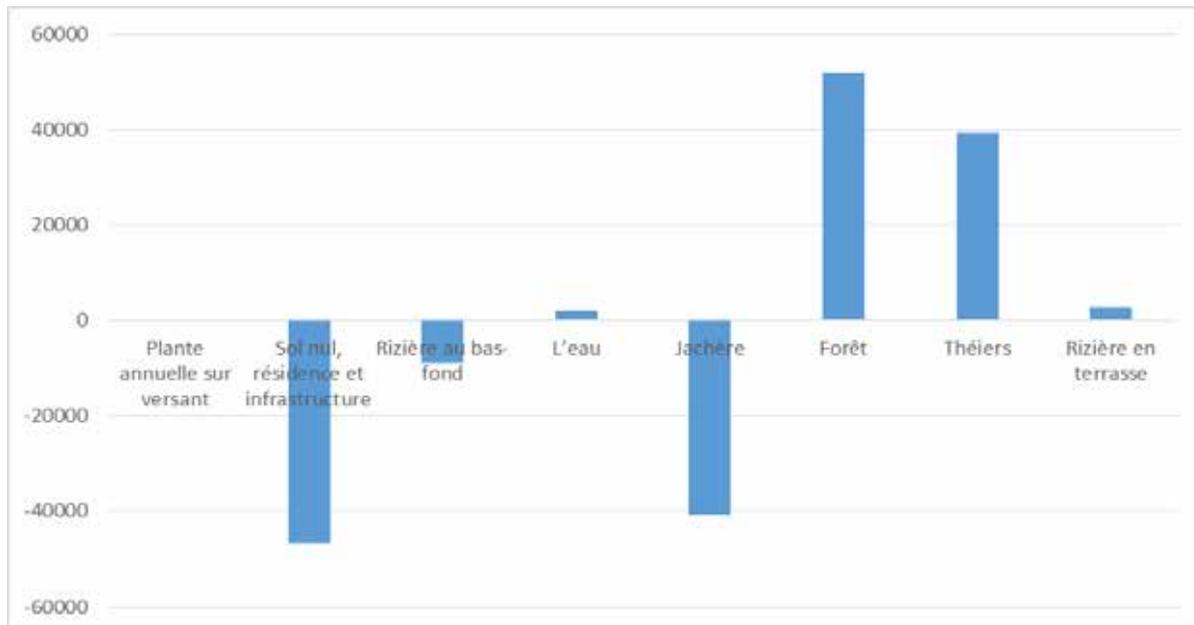


Figure 6. 9: Les changements d'usage des sols dans la zone d'étude entre 1993-2000.

La période 1993-2000 est une période de changements politiques importants au Vietnam, connue sous le nom de « Doi-Moi » (Castella et Dang Dinh Quang, 2002). Elle correspond à l'ouverture du Vietnam à l'économie moderne. C'est

entre autre le démarrage de grands programmes de protection et de replantation de la forêt au Vietnam avec le programme national de replantation « 5 millions ha »<sup>5</sup>, <sup>6</sup>, <sup>7</sup>. (Clément et al., 2009). C'est aussi la nouvelle redistribution des terres aux populations avec un droit privé à l'utilisation des productions agricoles. Aussi durant cette période (qui ne représente que 8 ans), la superficie de jachère a diminué de 40 753 ha (-13%), de même que la superficie de sols nus et construction (de 46 558 ha, soit -15%). Par contre, la forêt a augmenté de 51 920 ha (+16,7 %) et la surface à thé de 39 356 ha (+12,6%).

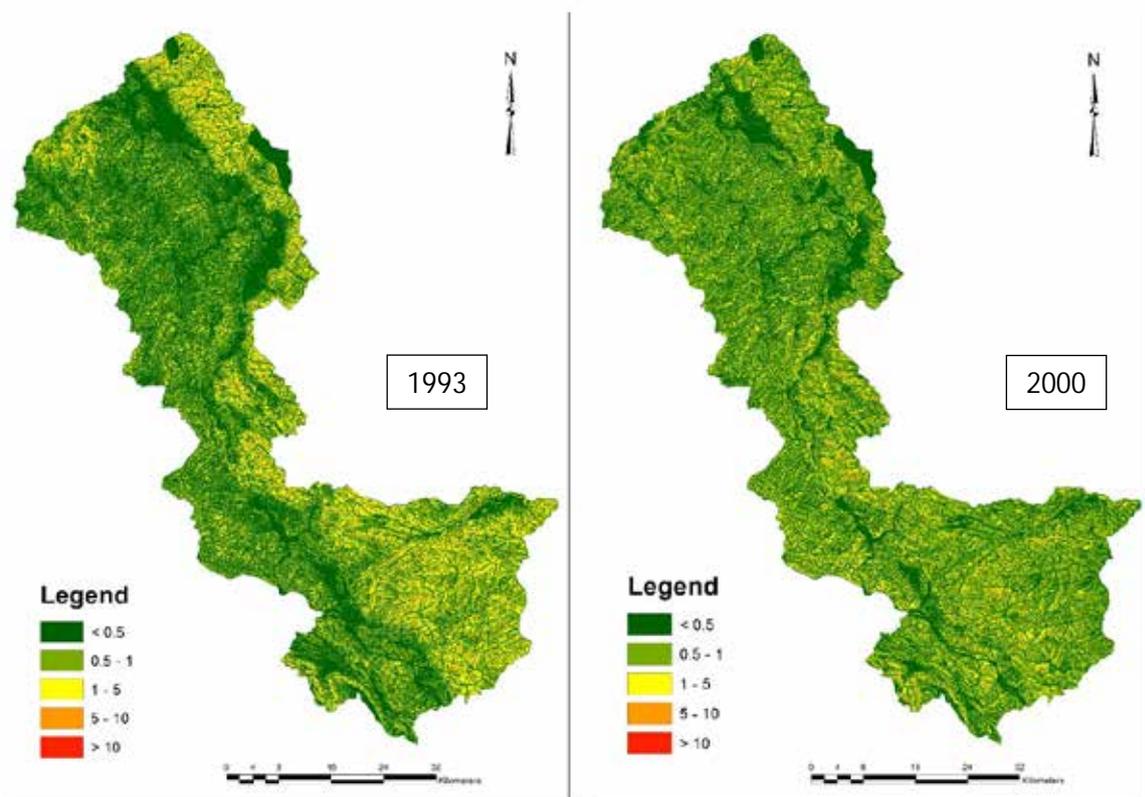


Figure 6. 10: Cartes d'érosion des sols dans la zone d'étude en 1993 et 2000, simulées par le modèle RUSLE.

<sup>5</sup>Décision n° 327-CT par le premier ministre gouvernement Vietnamienne daté le 15 Septembre 1992 sur « Les politiques d'utilisation des terres, sols nus, forêt, zone côtière et surface en eau »

<sup>6</sup>Annoncen° 10-TT/LB daté le 11 décembre 1996 par ministère de plan et d'investissement, ministère de l'agriculture et du développement rural et ministère de la finance pour « unifier, organiser et guider les pratiques du programme 327 »

<sup>7</sup>Décision n° 556/QĐ-TTg par le premier ministre gouvernement Vietnamienne daté le 12 Septembre 1995 sur « Ajustement et complément la décision n° 327-CT par le premier ministre gouvernement Vietnamienne daté le 15 Septembre 1992 »

Bien que l'occupation des sols ait beaucoup changé, la cartographie de l'érosion des sols donnée par RUSLE ne montre pas de grand changement (Figure 6.10). On a l'impression que la classe de risque d'érosion « 1-5 ton/ha/an » (jaune) est mieux répartie sur l'ensemble de la zone. L'érosion est donc encore faible et a fluctué de 0,5 à 5 ton/ha/an un peu partout.

### **6.2-3. Sur la période de 2000 à 2009**

La comparaison des deux cartes d'usage des sols entre 2000 et 2009 montre à nouveau des changements importants (Figure 6.11). La Figure 6.12 en donne le détail.

Sur cette période, la forêt continue à augmenter (de 25 000 ha, +7,5%), mais c'est surtout l'apparition importante des rizières en terrasse qui est notable, pour un accroissement d'environ 22 000 ha (+7%). La surface de jachère continue à diminuer (de 28 036 ha, -9%). Par contre, le changement par rapport à la période précédente 1993-2000 est la diminution importante des rizières de bas-fond (réduit de 19 840 ha, -6.4%) et l'inversement de la tendance pour la classe des « sols nus et construction » qui augmente quelque peu (6 700 ha, +2%), tout comme les cultures de versant.

En fait, l'augmentation de la superficie des rizières en terrasse est concomitante de la mise en eau des bassins versants, comme montré sur notre simulation hydrologique de la Figure 6.13 (d'après Nguyen Van Thiet et al., 2011 ; Nguyen Van Thiet et al., soumis). Durant cette période, les trois lacs de barrage ont inondé 30 000 ha de bas-fonds, dont plus d'un tiers était des espaces agricoles comprenant des plaines à riz, des jardins maraîchers et des étangs à poissons (Dao, 2010). Les rizières de bas-fond inondées, les populations locales n'ont eu que le choix de remonter vers les pentes et faire des terrasses pour continuer à cultiver leur plante vivrière majeure qui est le riz.

On reviendra dans le détail sur ce point dans le chapitre 8 avec l'étude détaillée d'une commune.

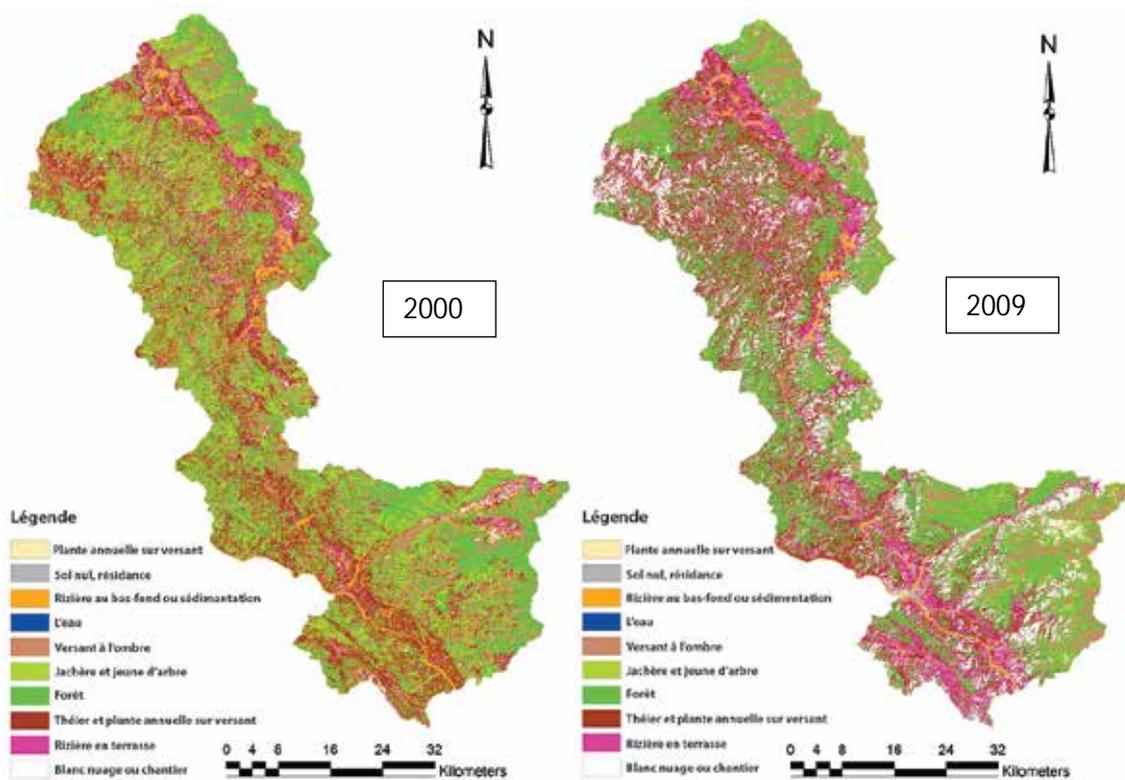


Figure 6. 11: Cartes d'usages des sols dans la zone d'étude en 2000 et en 2009.

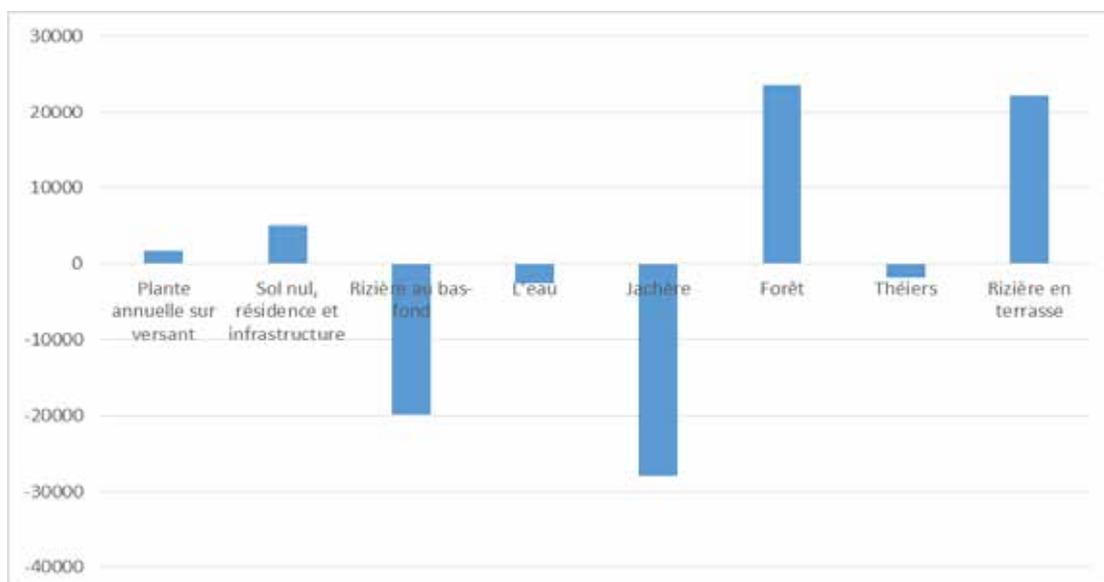
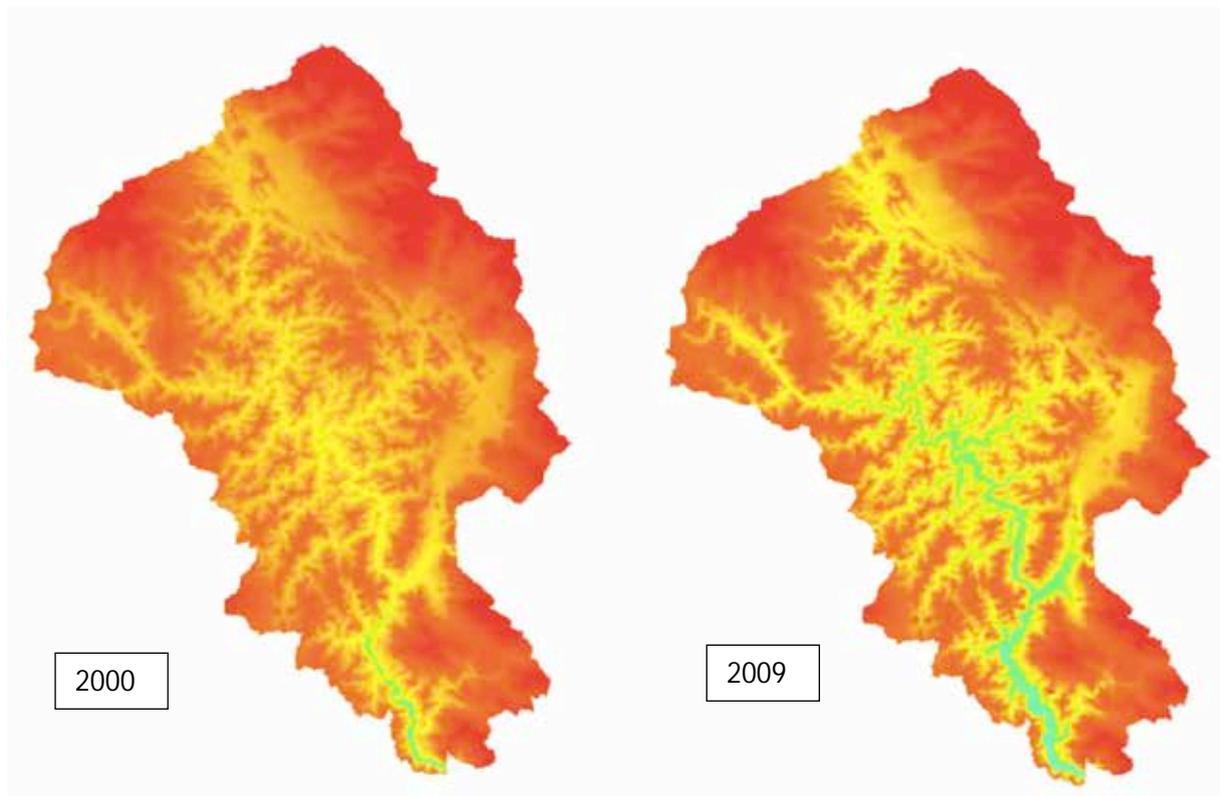


Figure 6. 12: Les changements d'usage des sols dans la zone d'étude entre 2000-2009.



*Figure 6. 13: Cartes de simulation de l'inondation due aux barrages de Huoi Quang et de Ban Chat dans les districts de Than Uyen et de Tan Uyen, situations simulées comparées entre 2000 (avant construction des barrages) et 2009 (après fermeture des barrages). Source : Nguyen Van Thiet et al., 2011.*

En terme d'érosion, la classe de risque d'érosion « 1-5 t/ha/an » continue à se répandre dans toute la zone, avec une prédominance dans le district de Muong La, au Sud de la zone d'étude (Figure 6.14).

Il semblerait que ce soit lié au barrage hydroélectrique de Son La à proximité de Muong La. En effet, dans cette zone en 2009, l'érosion aurait par endroit dépassé les 14 ton/ha/an.

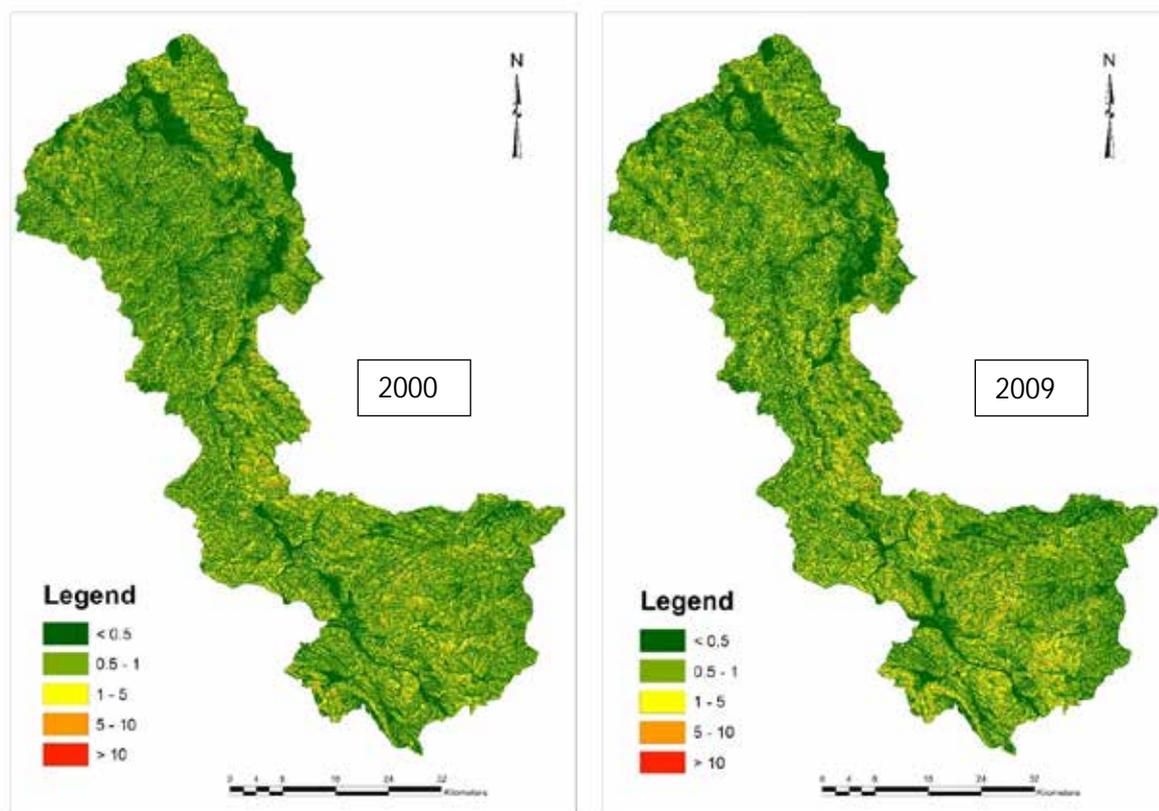


Figure 6. 14: Cartes d'érosion des sols dans la zone d'étude en 2000 et 2009, simulées par le modèle RUSLE.

#### 6.2-4. Sur la période de 2009 à 2013

La comparaison des deux cartes d'usage des sols entre 2009 et 2013 montre à cette fois des changements spectaculaire sur une période d'uniquement 4 ans (Figure 6.15). La Figure 6.16 en donne le détail.

On peut qualifier cette période d' « extraordinaire ». En effet, la superficie des cultures annuelles sur versant a explosé : elle a augmenté d'environ 85 000 ha (+27%) en 5 ans, soit un taux d'augmentation de 5,5%/an. C'est énorme. La jachère a également augmenté (40 000 ha, +13%) du fait de la perte de forêt (57 000 ha, -18%) et surtout de théiers (62 000 ha, -20%). Les rizières en terrasse ont également diminué (24 400 ha, -7.8%).

Il semble, d'après nos interviews (cf complément en partie 3), qu'après déplacements, les nouveaux champs de rizière en terrasse n'ont pas donné le

rendement escompté, les terres de pente étant classiquement largement moins fertiles que les terres de bas-fond. Dès lors, les populations ont préféré cultiver directement les pentes. De plus, quelques surfaces de rizière en terrasse n'ont pas eu assez d'eau (cf. chapitre 8) et les habitants ont dû les abandonner comme jachère. On enregistre aussi la réduction de moitié du riz de bas-fond (- 4 100 ha) et surtout l'explosion des surfaces en eau (+22 000 ha).

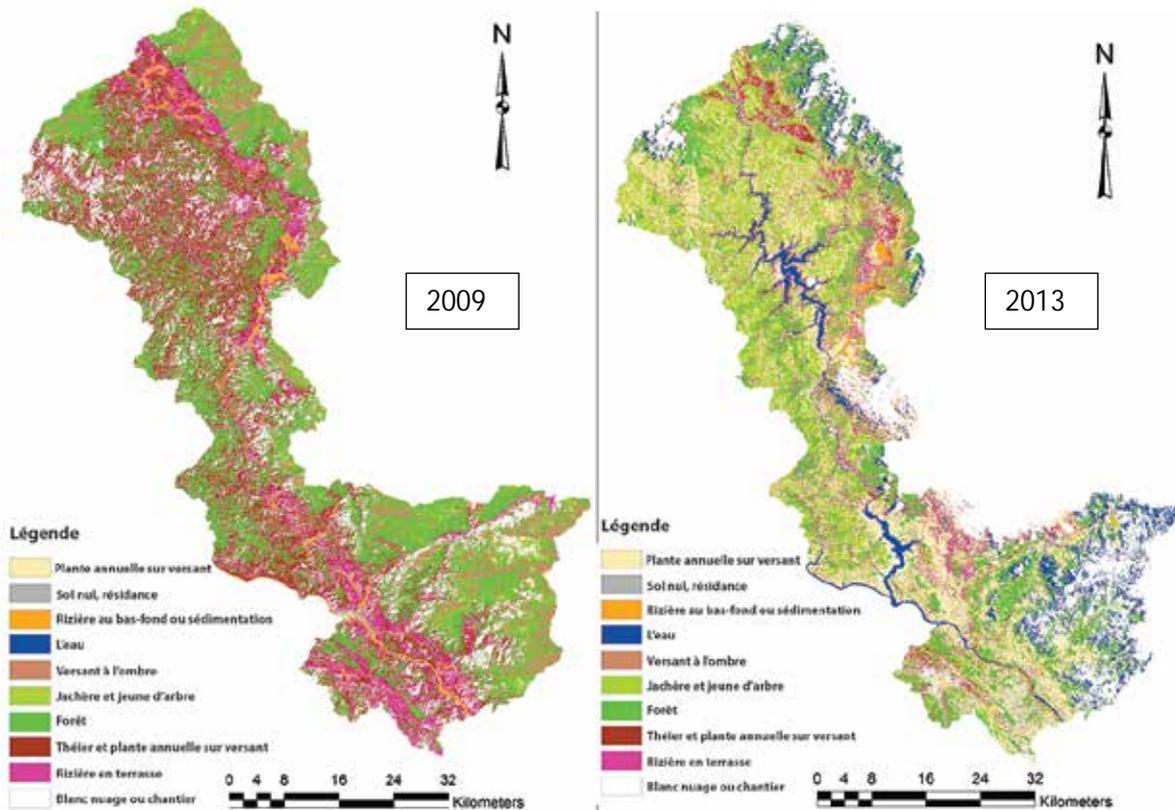


Figure 6. 15: Cartes d'usages des sols dans la zone d'étude en 2009 et en 2013.

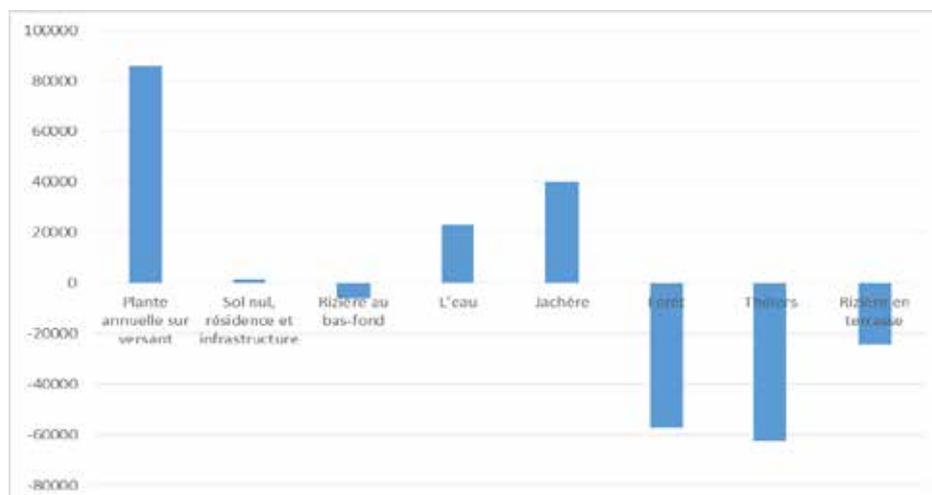


Figure 6. 16: Les changements d'usage des sols dans la zone d'étude entre 2009-2013.

Durant cette dernière période, le risque d'érosion des sols a continué à augmenter sur l'ensemble de la zone (Figure 6.17). Cette fois, les 3 districts peuvent atteindre des risques érosifs majeurs de 15 ton/ha/an, ce qui est largement supérieur à ce qu'un sol peut subir (Lal, 1998, 2005 ; Valentin et al., 2008). On voit ici la conséquence directe de l'extension des terres cultivées sur pente. Toutefois, la simulation RUSLE indique toujours un risque d'érosion de l'ordre de 1-5 ton/ha/an en moyenne sur toute la zone. Les risques érosifs majeurs ne sont pas encore interconnectés et restent donc des phénomènes isolés. Ainsi par exemple, le risque érosif au niveau de la commune est le plus important dans le district de Muong La, avec 7 communes sur 16, représentant 47% de la superficie du district, qui enregistrent une érosion annuelle comprise entre 7 et 9 ton/ha/an ; mais l'érosion moyenne annuelle du district est de seulement 5,3 ton/ha/an ; mais l'érosion moyenne annuelle du district est de seulement 5,3 ton/ha/an, égale à celle du district de Tan Uyen. Le district de Than Uyen enregistre l'érosion moyenne annuelle la plus forte (6,1 ton/ha/an).

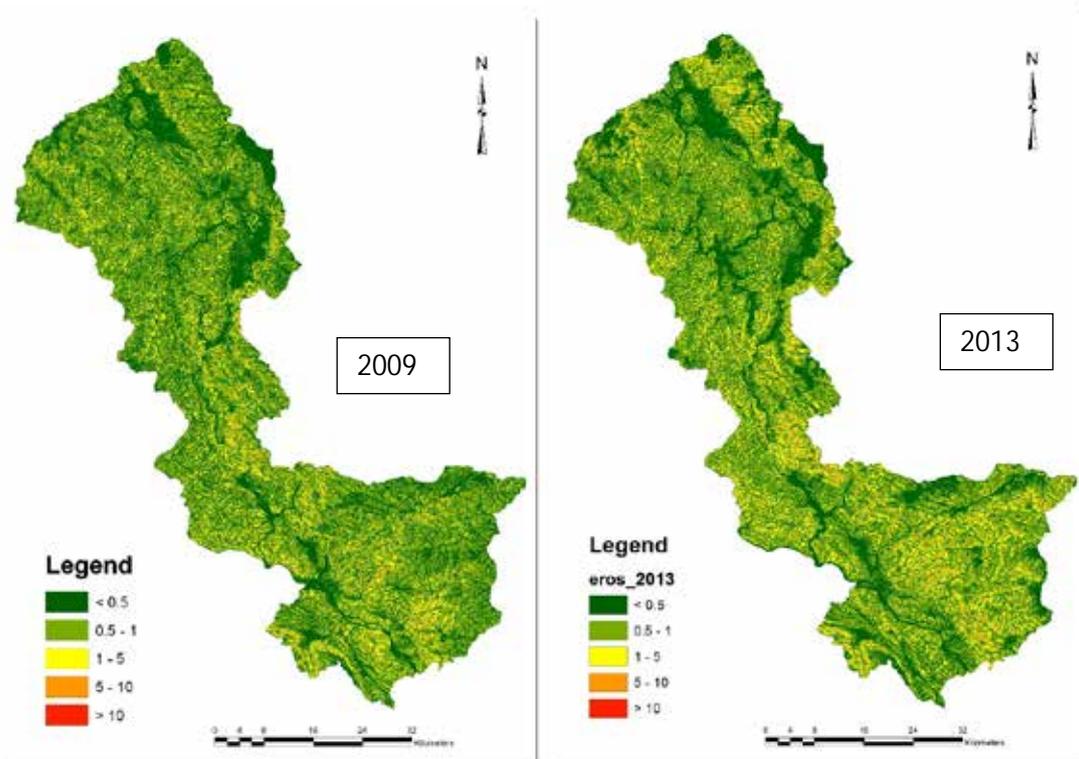


Figure 6. 17: Cartes d'érosion des sols dans la zone d'étude en 2009 et 2013, simulées par le modèle RUSLE.

### 6.3- Dynamique comparée de l'érosion et du développement socio-économique : impact des projets de barrage avant leur mise en construction

La distribution des catégories d'usage des sols a donc fortement évolué dans le temps, sans montrer aucune tendance temporelle (Figure 6.18). Le fait sûrement le plus remarquable est l'augmentation des surfaces cultivées sur pente en cultures annuelles, de type manioc et maïs, pour lesquelles on passe de quasi 0 ha à près de 100 000 ha sur une période de 5 ans, de 2009 à 2013 (Figure 6.19).

Cette augmentation des cultures sur pente s'accompagne une augmentation des jachères qui sont également sur pente et d'une réduction de la forêt, qui retrouve en 2013 son niveau de 1973. On ne fait pas ici la part des arbres plantés pour des cycles courts sur 6-8 ans, comme l'Acacia Mangium.

Les rizières de bas-fond ont disparu à la faveur des zones inondées dont la superficie a explosé en 2013 (on ne le voit pas sur le graphique de la Figure 6.18). Cela crée des possibilités pour le développement de l'aquaculture.

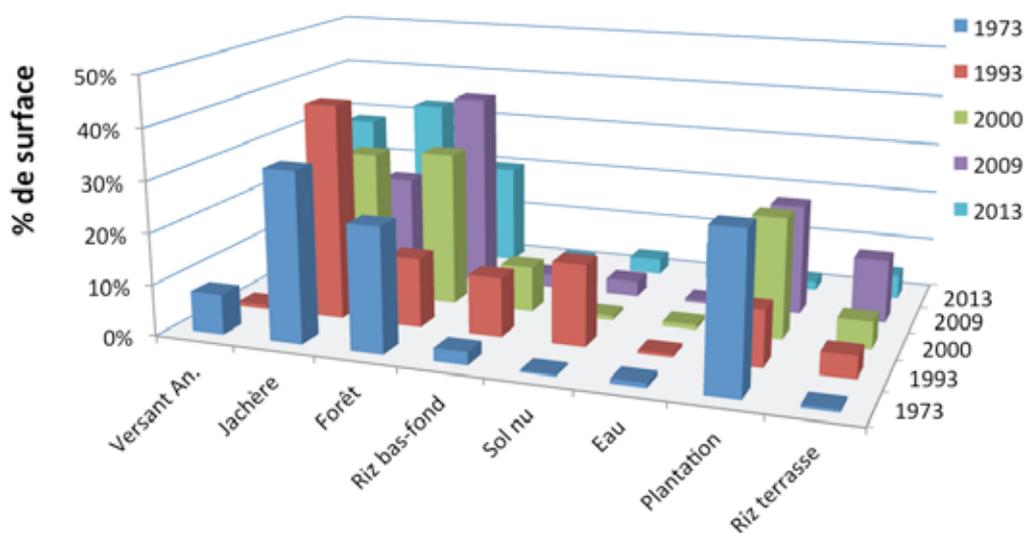


Figure 6. 18: Distribution des catégories d'usage des sols, de 2009 et 2013.

Ces changements d'usage ont été accompagnés d'une explosion démographique. La population est passée de 90 000 habitants en 1973 à 264

500 hab. en 2013 (Tableau 6.4), représentant une augmentation globale de 200% sur 40 ans. Les plus fortes augmentations ont eu lieu en 1993, et surtout en 2013 avec une augmentation annuelle de 7,2%. Dans le détail, en 2012, la population était déjà de 262 000 hab.. Il est donc clair que l'augmentation de population s'est réalisée vraiment au cours des années 2010-2012, qui correspondent à la mise en route des productions d'hydroélectricité par les 3 barrages étudiés (cf. chapitre 4) .

Tableau 6. 4: Catégories d'usage des sols retenues (après regroupement) pour la zone d'étude et leur superficie en 1973 (en ha et %).

<b>Année</b>	<b>Population (Habitants)</b>	<b>(1)</b>	<b>Croissance annuelle de population</b>	<b>Culture annuelle/versant(ha)</b>	<b>Er-RUSLE (t/ha/an)</b>	<b>Er(Pnorm) (t/ha/an)</b>	<b>Pluie (mm/an)</b>
1973	90 000			24 600	4,9	4,9	1 781
1993	129 000	+43%	3,9%/an	2 600	5,1	5,0	1 802
2000	154 500	+19%	2,4%/an	2 600	4,4	4,9	1 586
2009	194 500	+26%	2,6%/an	4 000	4,1	4,9	1 477
2013	264 500	+36%	7,2%/an	89 000	5,6	5,3	1 895

(1) : pourcentage d'augmentation de la population entre deux périodes Landsat observées consécutives.

Dans le même temps, le risque d'érosion RUSLE a explosé en dépassant pour la première fois dans la région l'érosion moyenne annuelle de 5,5 t/ha/an (Tableau 6.4). Mais ce risque d'érosion est aussi fonction de la pluie. Or la pluie a été plus forte en 2013. Aussi nous avons recalculé un risque d'érosion normé par rapport à la pluie, Er (Pnorm). Ainsi il apparaît qu'à pluie équivalente, le risque d'érosion est resté stable de 1973 à 2009, autour de 4,9 t/ha/an ; et il a augmenté de 8% en 2013 pour atteindre 5,3 t/ha/an. Comme vu dans l'analyse géospatiale précédente, ces chiffres globaux d'érosion ne représentent pas certaines réalités locales où les érosions ont pu atteindre des moyennes communales de 7 à 10 t/ha/an.

L'évolution au cours du temps sur la période de 40 ans observée indique que le risque d'érosion a augmenté du fait non seulement de la population mais aussi de la mise en culture des terres de pente (Figure 6.19). En effet,

l'augmentation de population de l'année 1993 ne se traduit pas par une augmentation d'érosion.

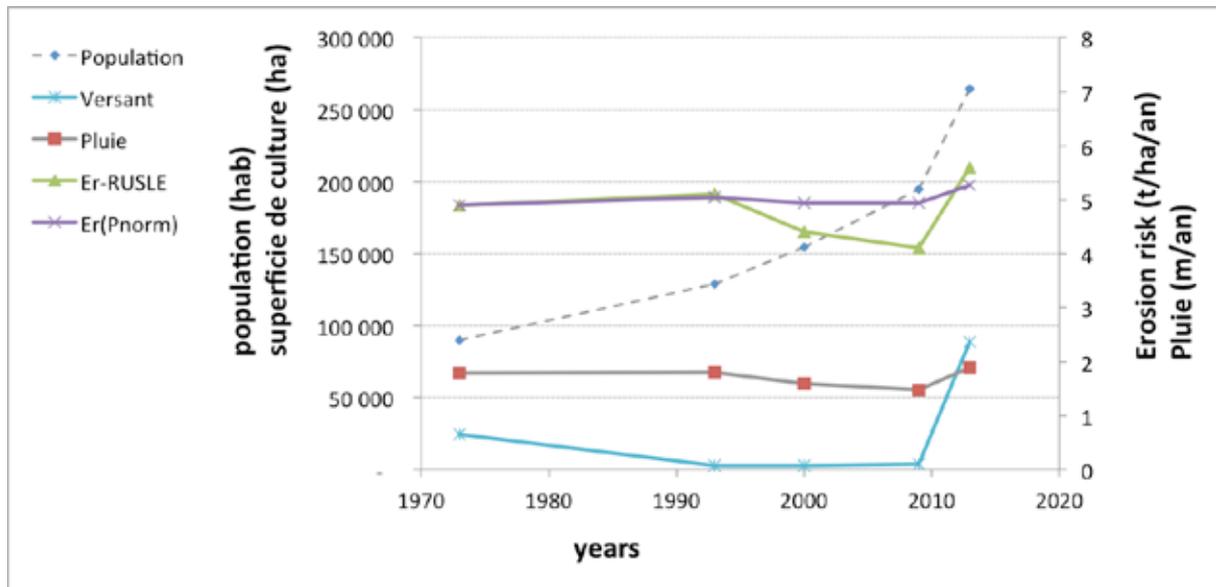


Figure 6. 19: Evolution au cours du temps (de 2009 à 2013) de la population (en nombre d'habitants), des cultures annuelles sur versant (Versant en ha), de la pluie annuelle (en m/an), du risque d'érosion RUSLE (en t/ha/an) et du risque d'érosion normé par la pluie  $Er(P_{norm})$  (en t/ha/an).

Enfin, nous devons remarquer que le risque d'érosion moyen annuel ne permet pas de mettre en évidence l'augmentation importante du nombre de localités passant d'un risque de 0,5-1 t/ha/an à 1-5 t/ha/an, enregistrée à la fois en 2000 et 2009 (Figures 6.10 et 6.14).

Il est évident que dans cette région les changements d'usages ont été extrêmement rapides et versatiles, du fait des politiques d'aménagement du territoire. Le seul moyen d'expliquer les changements importants en 2009 est la politique d'installation des barrages hydroélectriques. Il semble alors que les changements soient intervenus avant la mise en construction des barrages, surtout autour du barrage de Ban Chat. Nous confirmerons cela dans la partie 3 avec l'étude détaillée de la commune de Nam Can.

Pour ce qui est des changements drastiques vus en 2013, ils sont évidemment liés à la mise en eau des barrages intervenues entre 2009 et 2012.

#### **6.4- Conclusion**

La plus grande leçon de cette analyse diachronique est la dynamique « explosive » des changements d'usage des sols dans cette région. Il semble évident que cette dynamique est directement liée à l'explosion démographique, notamment avec 7%/an d'augmentation du nombre d'habitants entre 2009 et 2013.

L'analyse géospatiale des changements d'usage des sols et du risque d'érosion montre aussi que :

- Les politiques nationales et régionales influencent directement d'une part, la répartition des populations, et d'autre part, les usages des sols, dans notre zone d'étude ;

- Les risques d'érosion ont augmenté sur l'ensemble de la zone d'étude largement avant la mise en eau des barrages ;

- Les risques d'érosion ont fortement augmenté après la mise en eau des barrages, du fait de la mise en culture annuelle des pentes due à l'abandon des techniques de terrasses ;

- Le risque d'érosion moyen annuel a augmenté de 8% du fait des barrages ;

- Mais la distribution spatiale des risques d'érosion n'est pas homogène et l'érosion peut atteindre les 10 ton/ah/an dans 50% du territoire de la zone d'étude.

Notons que notre étude ne permet pas de faire la part de l'érosion qui pourrait être liée à l'exploitation des forêts plantées d'*acacia Mangium*, courantes dans la zone, dont la coupe intervient tous les 5-7 ans.

Enfin, il est clair que ce dynamisme d'implantation des populations mis en évidence milite pour penser que les politiques d'aménagements des lacs de

barrage hydroélectrique devraient apporter une opportunité réelle de développement économique dans la région.

Cependant pour conclure sur cette très positive assertion, il reste à confirmer ce qu'il en est au niveau des stratégies locales des populations. Ainsi par exemple, pourquoi les pratiques de terrasse ont été abandonnées ? Qu'en est-il réellement de la reforestation ? Le développement des zones aquatiques est-il une opportunité réelle de développement économique de l'aquaculture ? Pourquoi les plantations de thé ont été abandonnées si rapidement ? Autant de questions que cette approche régionale ne permet pas de solutionner.

Ce sera l'objectif de la troisième partie qui à partir de questionnaires socio-économiques et d'entretiens de proximité dans une sélection de commune essaiera de faire le point sur la dynamique des pratiques sociospatiales.

Les principaux résultats de ce chapitre ont été publiés dans les proceedings du réseau international UNESCO-PHI<sup>8</sup>/FRIEND :

**Nguyen Van Thiet**, Orange D. Laffy D., Pham Van Cu, 2012. Consequences of large hydropower dams on erosion budget within hilly agricultural catchments in Northern Vietnam by RUSLE modeling. Hanoi. FRIEND-Water, IRD, 2012, 8 p. multigr. *International Conference on Sediment Transport Modeling in Hydrological Watersheds and Rivers*, Istanbul (TUR), 2012/11/14-16. IAHS Ed., Paper ID 615131.

---

<sup>8</sup> PHI : Programme Hydrologique International, soutenu par l'UNESCO, en coopération avec l'AISH (Association Internationale des Sciences Hydrologiques).

## Troisième partie

# Les pratiques sociospatiales dans le Nord Vietnam et leurs évolutions



*Aquaculture sur le réservoir du barrage de Ban Chat*



## **Introduction**

Dans cette troisième partie, il s'agira de regarder l'impact des politiques de barrage sur les stratégies paysannes, leurs pratiques socio-professionnelles et leurs déplacements. Cette analyse sera basée sur la notion de pratiques sociospatiales, qui sont une expression de l'intégration de l'humain dans le paysage (Shields, 1989). Cette insertion sociale dans l'espace géographique se fait entre deux échelles de décision, que sont la région et la localité. Comme nous l'avons vu en partie 1, la région appelle au développement économique via des politiques de barrages hydroélectriques menées autoritairement et rapidement. Mais qu'en est-il des populations locales ?

Nous étudierons les liens que tissent les sociétés locales avec leur environnement en combinant les analyses spatiales des images satellites de la partie 2 précédente aux enquêtes de terrain qui seront présentées ici dans le chapitre 7.

Le chapitre 8 essaiera de faire ressortir une évolution ou des tendances quant aux pratiques sociospatiales dans les Provinces de Son La et Lai Chau, sous fortes pressions de l'Etat central pour l'aménagement du territoire via les grands barrages hydroélectriques en cascade. La partie 2 a confirmé notre hypothèse de travail basée sur l'idée que la rapidité et l'importance conjuguée de l'accroissement démographique et économique (induit par l'implantation dirigiste de grandes infrastructures technologiques que sont les barrages hydroélectriques) impliquent des changements d'usage rapides chez les populations locales qui sont visibles dans le paysage à l'échelle infra-décennale. Mais qu'en est-il des stratégies des populations locales ?

Un élément important dans cette analyse sera la prise en considération de la relocalisation des populations.



## **Chapitre 7**

# **Techniques d'enquête et analyse de données pour caractériser les pratiques sociospatiales**

Le chapitre 7 présente la méthodologie d'enquête et les techniques d'analyse des données que nous avons utilisé pour déterminer les impacts de la construction des barrages hydroélectriques sur les pratiques sociospatiales. Deux enquêtes socio-économiques ont été réalisées durant les étés 2011 et 2012, soit un total de 852 entretiens ont été effectués. A chaque fois, nous avons passé plus de trois semaines sur le terrain dans 16 communes, couvrant trois districts des Provinces de Son La et de Lai Chau. Notre enquête visait à examiner toutes questions relatives à l'installation des trois barrages hydroélectriques que sont, de l'amont vers l'aval, Ban Chat, Huoi Quang et

Son La. Ainsi on étudiera tout particulièrement les conditions de relocalisation des populations, et leurs liens avec les populations non bougées. Les thèmes observés seront : la politique de dédommagement, le logement, l'état des nouvelles terres allouées et leur fertilité, la mode de vie et les revenus, les changements dans le travail et la performance économique, l'organisation de la réinstallation, l'accès à l'eau et l'assainissement, les relations sociales au sein des communautés...

Par conséquent, nous avons utilisé des questions fermées et des questions ouvertes auprès de deux types de populations impactées par la construction des barrages, que sont les foyers déplacés et les foyers non déplacés. Nous chercherons à identifier les points positifs et négatifs, ainsi que les similitudes et les différences dans les problèmes entre ces deux communautés. Puis nous ferons une comparaison des situations actuelles dans 13 communes enquêtées. La combinaison des entretiens approfondis avec les agriculteurs au niveau communal donne un aperçu géographique des trajectoires individuelles vécues pour la réinstallation du travail dans chaque commune. Les entretiens approfondis ont été menés sur 462 foyers, dont 268 déplacés (soit 58% du corpus).

## **7.1- Techniques d'enquête et statistiques associées**

### **7.1-1. Principes généraux de la mise en place des enquêtes et entretiens**

L'enquête et l'entretien semi-directif sont des approches complémentaires qui font appel à une méthodologie statistique commune pour exploiter au mieux les contenus des informations collectées *in situ*. Nous verrons en détail plus bas les choix retenus pour fixer un échantillon représentatif tant du point de vue géographique que thématique.

Notons d'ores et déjà qu'à la différence de l'enquête, les entretiens semi-directifs consistent à sélectionner un nombre réduit d'individus (autorités administratives et coutumières, responsables des services techniques, élus locaux, etc.) en fonction de critères de compétence et/ou d'administrations reconnus en rapport avec le sujet d'étude. À ce petit nombre sera donc demandée une grille d'investigation très poussée et complète. Au cours de ses entretiens, assez longs d'une manière générale, on peut même recourir à des zonages géographiques (méthodologie ZADA, zonage à dire d'acteurs) pour délimiter ce qui fait sens dans la représentation de l'espace. La confrontation de ses zonages entre acteurs et par rapport aux réalités de terrain sont souvent édifiantes. À contrario, l'enquête repose sur un questionnaire moins fouillé, plus succinct mais elle concernera en revanche le plus grand nombre d'individus (390 en 2011, en ce qui concerne cette étude).

On privilégie dès lors les questions fermées<sup>9</sup> ou qualitatives qui se prêtent facilement à un codage adapté à une population importante. Les entretiens en revanche reposent sur un discours, de la sémantique approfondie qui nécessite une l'analyse du contenu poussée, exigeante et délicate à mener. En quelque sorte, il faut extraire la « *substantifique moelle* » du discours pour le résumer en une liste de points saillants, d'idées clés qui composent dès lors un champ nouveau de variables qualitatives et quantitatives qui se prêtent au codage et donc à l'analyse des données. On peut dire qu'à une translation près, nous sommes en présence de matrices identiques tel que traduit dans la Figure 7.1.

---

<sup>9</sup> Question qui renvoie à un nombre réduit et imposé de réponses possibles

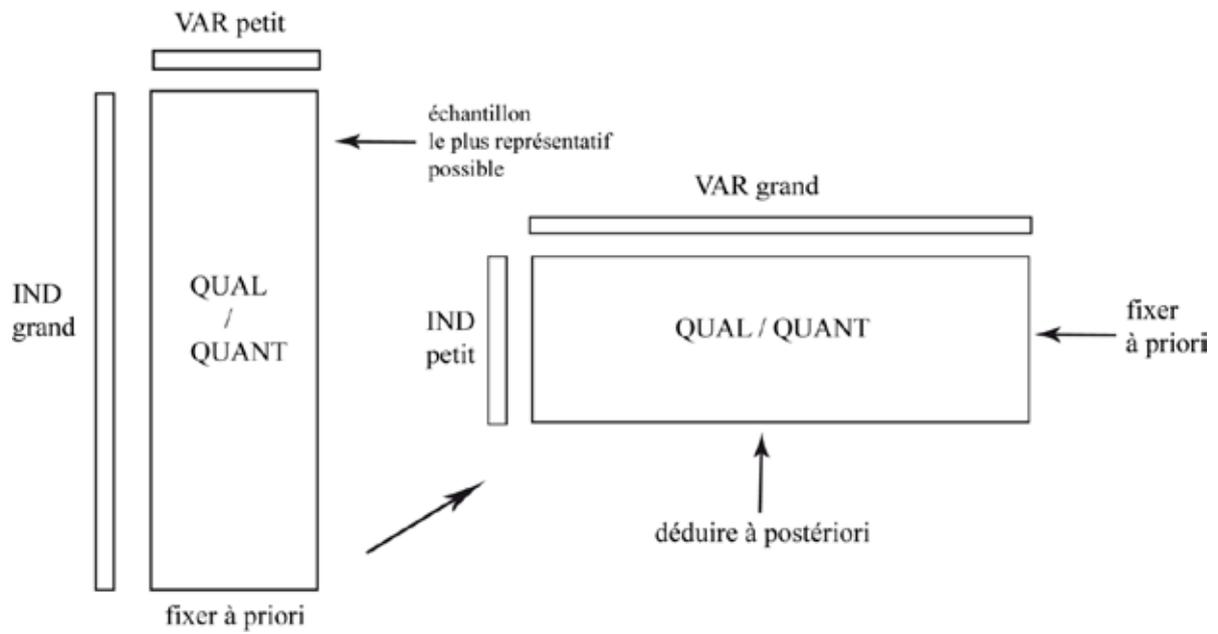


Figure 7. 1: Les matrices issues de l'enquête et des entretiens.

### 7.1-2. La stratégie d'une pré-enquête

La préoccupation première a été d'élaborer une statistique d'échantillonnage la plus efficace possible aux vues des contraintes du terrain et de la disponibilité des populations.

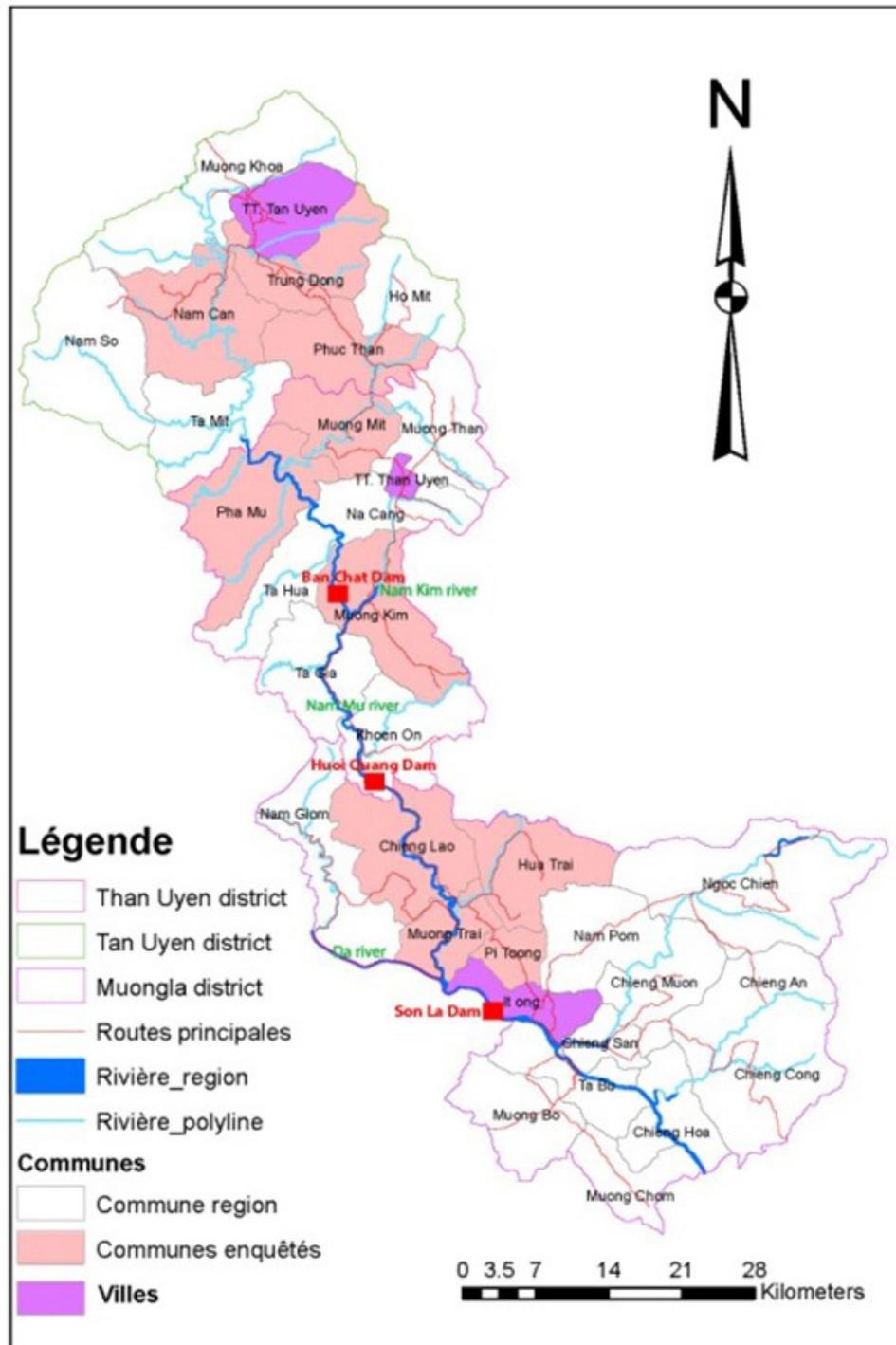


Figure 7. 2: Les 13 communes pré-enquêtées en 2011 (en couleur rose et violet).

Pour cela, en 2011, un séjour d'un mois a été organisé pour réaliser une pré-enquête dans trois districts de la zone d'étude (Figure 7.2) : le district de Tan Uyen (Province de Lai Chau) qui est le plus à l'amont de la zone d'étude, à l'extrême Nord; le district de Than Uyen (Province de Lai Chau), où se trouve le barrage hydroélectrique de Ban Chat et à l'amont du barrage de Huoi

Quang, le dernier en construction ; et le district de Muong La (Province de Son La), situé entre Huoi Quang à l'amont et le très grand barrage hydroélectrique de Son La à l'aval.

À partir des groupes socioprofessionnels, un questionnaire de 19 questions, ouvertes ou fermées, a été mis en place pour examiner la politique de dédommagement, le logement, l'état des nouvelles terres allouées et leur fertilité, la mode de vie et les revenus, les changements dans le travail et la performance économique, l'organisation de la réinstallation, l'accès à l'eau et l'assainissement, les relations sociales au sein des communautés,... Les investigations ont été effectuées directement dans la maison communale de chaque village des 13 communes enquêtées.

Pour faire les enquêtes, nous étions divisés en 5 équipes de 4 personnes par équipe, avec le supports des chercheurs de l'Institut de Recherche des Sols et des Fertilisants (SFRO), de l'Institut de l'Environnement Agricole (IAE) et des techniciens du Département de l'Agriculture des trois districts.

Les données secondaires recueillies auprès des provinces, des districts et des communes sont les données socio-économiques statistiques annuelles de la zone d'étude.

C'est sur cette base que 462 foyers ont été sélectionnés pour réaliser l'année suivante les entretiens approfondis. Nous verrons leur analyse complète en chapitre 8.

### **7.1-3. Dépouillement et statistique associée**

D'un point de vue statistique, outre la phase de dépouillement, c'est-à-dire de description univariée, on se trouve face à deux matrices à  $n$  et  $m$  dimensions<sup>10</sup> pour lesquelles on cherche une quelconque structure qui sous-tend

---

<sup>10</sup> $n$  lignes ou individus et  $m$  variables ou colonnes

l'organisation des données. On a recours à toute la batterie de la statistique déductive paramétrique<sup>11</sup>, les analyses :

- Ø univariée (paramètres de position, de dispersion, d'étendue et forme ainsi qu'une représentation graphique de la distribution) ;
- Ø bivariée (les données sont-elles liées entre elles, si oui quelle est l'intensité de cette liaison voire sa forme) ;
- Ø multivariée de type variable indépendante et variables dépendantes (régressions multiples ou analyse de variance multiple MANOVA) ;
- Ø multivariée plus globale de type analyse factorielle en général (toutes les données individus et variables peuvent être confrontées directement).

C'est la nature des données qui imposera in fine le choix des éléments statistiques comme le résume la Figure 7.3. D'un point de vue logiciel, nous avons principalement recours à Tanagra, voire R (difficile à maîtriser, même partiellement, pour un non spécialiste), deux applications disponibles en open source.

---

<sup>11</sup> On parle de statistique paramétrique lorsque l'on a recours à des paramètres statistiques qui reposent sur l'hypothèse fondamentale de normalité – distribution de Laplace-Gauss – d'où deux possibilités, une première dite inductive qui renvoie à une connaissance *a priori* de modèles de distributions que l'on teste en retour et une autre, dite déductive, qui consiste à défricher sans connaissance *a priori* les modèles qui sous-tendent l'organisation des données. La statistique non paramétrique est celle qui ne *présuppose* pas l'hypothèse fondamentale de normalité soit parce que les données ne s'y prêtent pas (variable qualitative) soit parce que les populations sont très réduites.

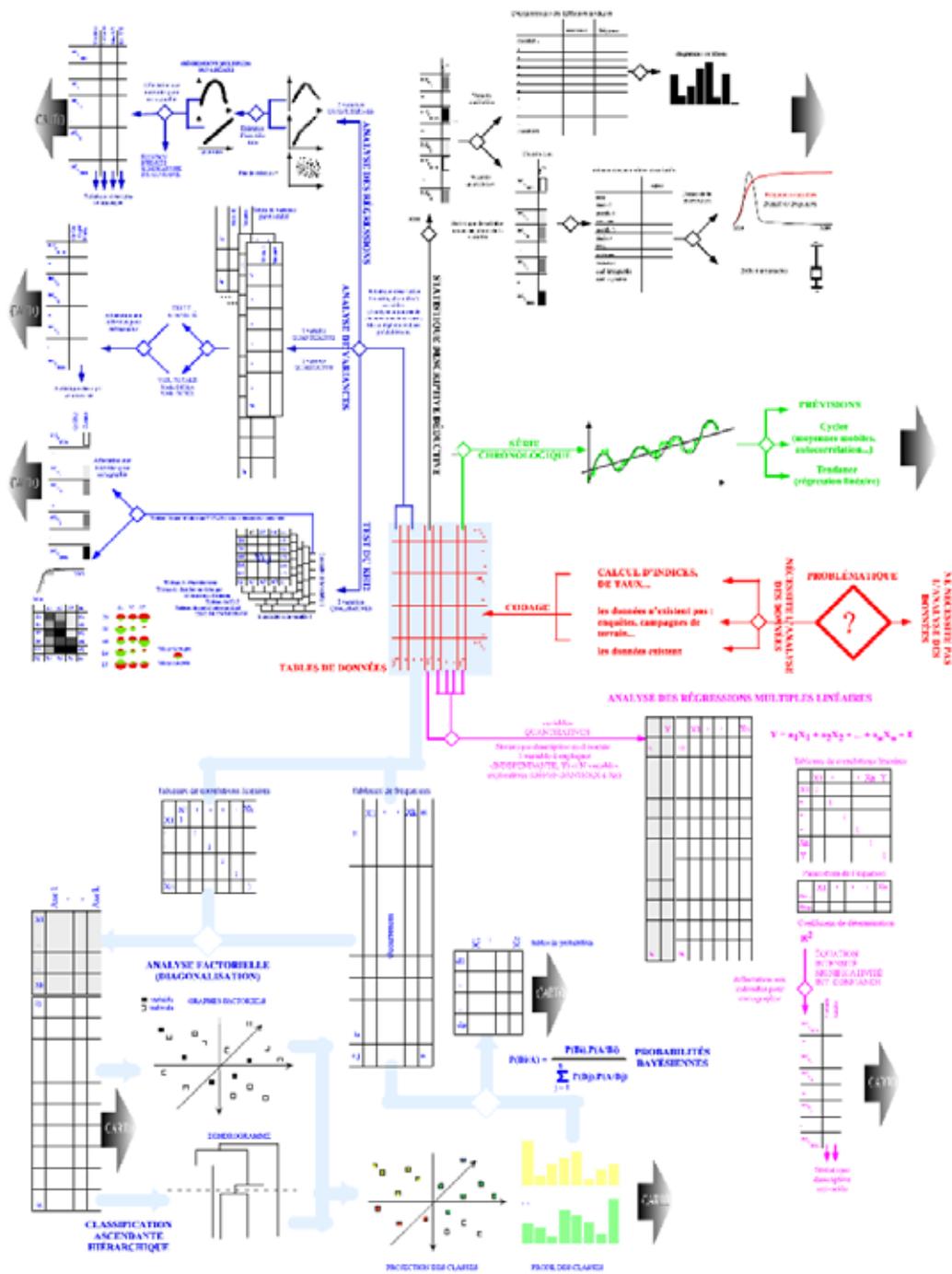


Figure 7. 3: Chaîne méthodologique de traitement de l'information. Source : Laffly (2005)

Au-delà des méthodes statistiques, on cherche en fait à réduire le nombre de dimensions initiales du nuage de points formés par les données dans le but d'y voir plus clair, tout simplement. C'est-à-dire déterminer comment les variables et les individus, au sens statistique, s'organisent mutuellement.

Dans le cas d'enquêtes de terrain, nous nous plaçons de facto dans le cas de figure dit de statistiques non paramétriques. Donc nous ne pouvons formuler d'hypothèse initiale par absence a priori de connaissance du système étudié lui-même décrit exclusivement ou presque par des données catégorielles. Nous procédons dès lors à de l'exploration des données – démarche dite exploratoire – pour dégager a posteriori le sens caché de l'information... s'il y en a un. Dans le cas de l'enquête, le grand nombre d'individus assurent en théorie la meilleure représentativité des variables (questions) arrêtés à *priori*. On connaît en premier le contenu thématique attendu, et en second la ou les relations des individus à ce contenu avec comme garant de représentativité du nombre élevé de personnes enquêtées si l'échantillonnage a été défini correctement (Figure 7.1). Ce qui sera d'ailleurs à tester eu égard aux quelques données de recensement qui sont disponibles.

Dans le cas des entretiens, on connaît à l'inverse les personnes enquêtées, au nombre réduit, mais au « *savoir* » supposé « *reconnu* ». C'est de l'analyse du contenu de leur discours qu'un nombre important de variables sera déterminé pour fixer à *posteriori* la sémantique de la thématique. C'est ici la connaissance présupposée des interlocuteurs qui garantit la meilleure représentativité de l'information.

De fait, enquêtes et entretiens sont des protocoles robustes complémentaires mais extrêmement délicats à mobiliser. Il est beaucoup plus difficile de mesurer une opinion qu'une distance, par exemple, mais cela n'empêche en rien d'y appliquer *in situ* une métrique statistique. Il est primordial de procéder en deux temps, une première phase de test permet de finaliser le questionnaire en identifiant ce qui n'a pas de sens ou ce qui manque dans les variables mais aussi pour vérifier si une hypothèse faite *a priori* est déjà confirmée dans la phase de test.

Nous avons procédé ainsi pour vérifier si l'impact des barrages est un élément majeur dans les pratiques socio-spatiales. Et nous verrons plus bas que oui puisque le troisième axe d'une analyse multivariée réalisée sur cette enquête fait ressortir cet élément derrière la structuration par les revenus et la taille des foyers familiaux.

Les méthodes présentées dans ce qui suit résument notre investigation statistique, elles doivent être complétées par des ouvrages spécialisés pour une formalisation rigoureuse de la mathématique mobilisée. De plus, nous avons focalisé l'analyse statistique sur les données issues de l'enquête (voir le questionnaire en annexe), essentiellement des données catégorielles (qualitatives), de contingence pour les structures familiales et continues pour quelques données relatives aux superficies agricoles ou à la gestion financière des ménages.

## **7.2- Description statistique des données issues des enquêtes**

### **7.2-1. Le dépouillement comme description univariée**

Également appelée dépouillement ou tri à plat des enquêtes. On cherche à déterminer les caractéristiques propres à chaque variable, quantitative ou qualitative.

#### **7.2-1.1. Variable quantitative**

Dans la *Variable quantitative*, les données expriment une mesure ou un dénombrement (âge, poids, densité, taux, etc.).

On cherche à définir les paramètres statistiques (Figure 7.4) qui permettent de mesurer au mieux les paramètres: de position (minimum, maximum, quantiles d'ordre  $k$ , moyenne arithmétique...),

d'amplitude (amplitude, amplitude interquartile...), de dispersion (variance, écart-type, coefficient de variation...) et de forme (coefficient d'asymétrie, coefficient d'aplatissement ou Kurtosis).

D_TotRec_InMaiz			
Nbr de valeurs utilisées	367		
Nbr de valeurs ignorées	0		
Nbr de val. min.	2		
% de val. min.	0.545		
Minimum	-15000.000		
1er quartile	0.000		
Médiane	0.000		
3ème quartile	1200.000		
Maximum	7000.000		
Etendue	22000.000	Min	-15000
Somme	74550.000	D1	-1800
Moyenne	203.134	D2	-300
Moyenne géométrique		Q1	0
Moyenne harmonique		D3	0
Aplatissement (Pearson)	9.717	D4	0
Asymétrie (Pearson)	-2.082	M	0
Aplatissement (Fisher)	9.937	D6	0
Asymétrie (Fisher)	-2.099	D7	800
CV (écart-type/moyenne)	12.785	Q3	1200
Variance d'échantillon	6725909.800	D8	1960
Variance estimée	6744286.602	D9	3000
Ecart-type d'échantillon	2593.436	Max	7000
Ecart-type estimé	2596.976	Moy	203.1335
Ecart absolu moyen	1468.658	ECT	2596.976
Ecart-type de la moyenne	135.561	Asym	-2.09904

Figure 7. 4: Statistiques descriptives plus ou moins détaillées qui accompagnent la description d'une variable quantitative.

On génère enfin un graphe donnant à voir la forme de la distribution (Figure 7.4), généralement une boîte à moustaches ou une courbe de fréquences cumulées<sup>12</sup>.

<sup>12</sup>Très rapidement cependant les seules paramètres de description statistique suffisent pour « voir » la forme de la distribution sans réaliser une figure. Notons cependant qu'avec R (<http://www.r-project.org/>) la généralisation des graphes est très facile à mettre en œuvre.

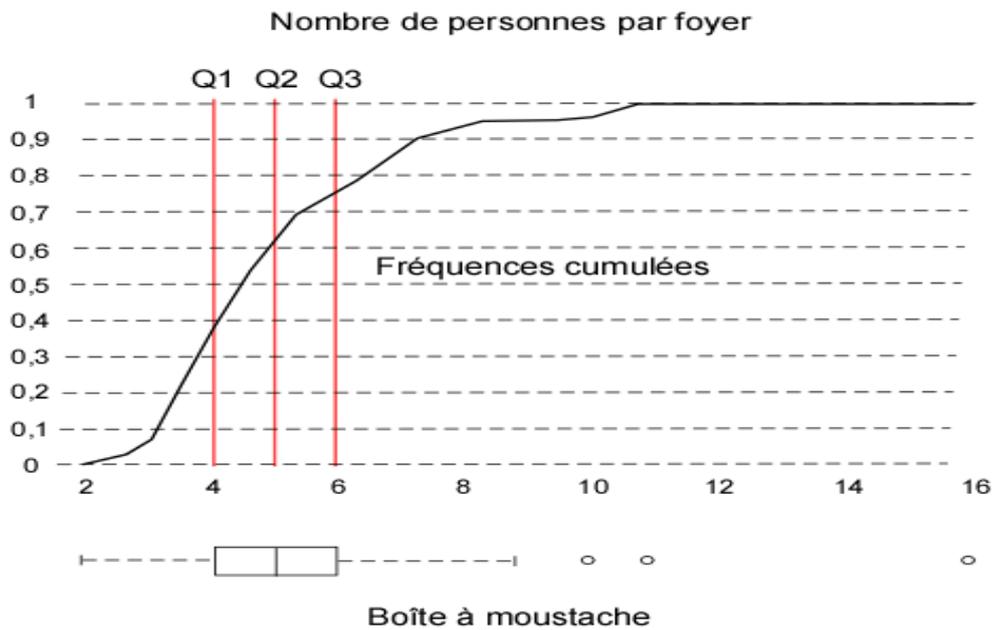


Figure 7. 5: Fréquences cumulées et boîte à moustache, deux modes de représentation de la forme d'une distribution.

### 7.2-1.2. Variable qualitative

Dans la *Variable qualitative*, les données expriment une catégorie (variable à choix unique, choix multiple avec ou sans préférence, etc.).

La description d'une telle variable consiste à dénombrer les modalités présentes (occurrences et/ou fréquences d'apparition) et de les représenter sous forme de graphes en secteurs ou en bâtons à l'exception de tout autres graphes qui laisseraient supposer qu'il y a une gradation de valeurs pour peu que les catégories soient identifiées par des nombres (cf. Figure 7.6).

Notons que selon le type de variable qualitative le nombre de modalités réellement présentes n'est pas connu *a priori* (on distingue principalement les données booléennes, à choix simple, à choix multiple avec ou sans classement).

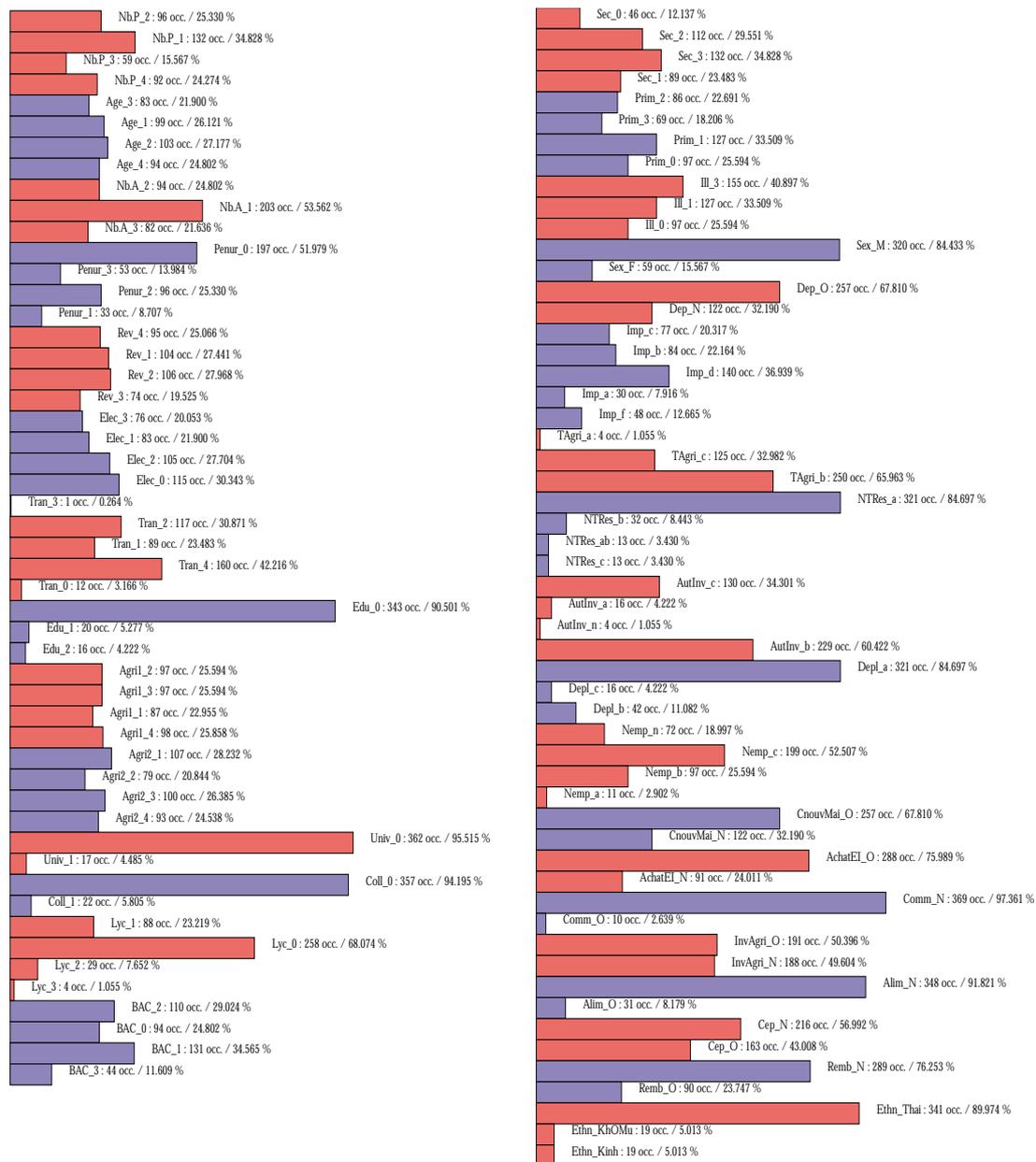


Figure 7. 6: Description de variables qualitatives et graphes associés (basé sur la pré-enquête de 2011). À chaque alternance de couleurs, il y a changement de variable.

## 7.2-2. L'analyse croisée des variables pour déterminer les liens statistiques bivariés

Trois méthodes principales sont mobilisées selon la nature des données mises en relation (Tableau 7.1). Toutes ont en commun la même question : existe-t-il un lien entre les variables ? Et si c'est le cas, quelle est sa représentativité, voire sa forme ?

Tableau 7. 1: Analyse bivariée

	<b>Quantitative</b>	<b>Qualitative</b>
<b>Quantitative</b>	Régression	ANOVA
<b>Qualitative</b>	ANOVA	Chi <sup>2</sup>

### 7.2-2.1. Régression et fonction d'ajustement

Bien que faisant appel à des calculs matriciels, la méthode de régression s'explique assez facilement d'un point de vue graphique. Si un lien statistique existe entre une variable X et une autre Y, ce lien doit se « voir » dans un graphique de type nuage de points par une forme assez compacte qui épouse une droite ou une courbe. À l'inverse, s'il n'y a pas un lien entre les valeurs de X et celles de Y, là aussi, cela doit s'exprimer clairement d'un point de vue graphique avec un nuage de points dispersé sur l'ensemble des valeurs de X et Y.

Le principe général est de définir une situation théorique autour de la moyenne arithmétique de X et Y qui passe au mieux par tous les points, puis de comparer cette situation avec celle observée – les données sources – en retenant comme critère d'estimation, pour le cas linéaire, le cosinus de l'angle entre les deux droites d'ajustement (X et Y sont tantôt la variable dépendante, tantôt indépendante, soit respectivement à expliquer ou explicative). En statistique c'est l'équivalent du coefficient de corrélation – variant de -1 à 1 – dont le carré est le coefficient de détermination – variant de 0 à 1, et qui peut être exprimé en pourcentage. La différence entre la valeur observée (X ou Y) et la valeur estimée ou théorique (X' ou Y') est appelée résidu (Figure 7.7).

En mathématique, ajuster « au mieux » signifie trouver la situation pour laquelle la somme des résidus au carré est la plus petite, c'est l'ajustement par les moindres carrés.

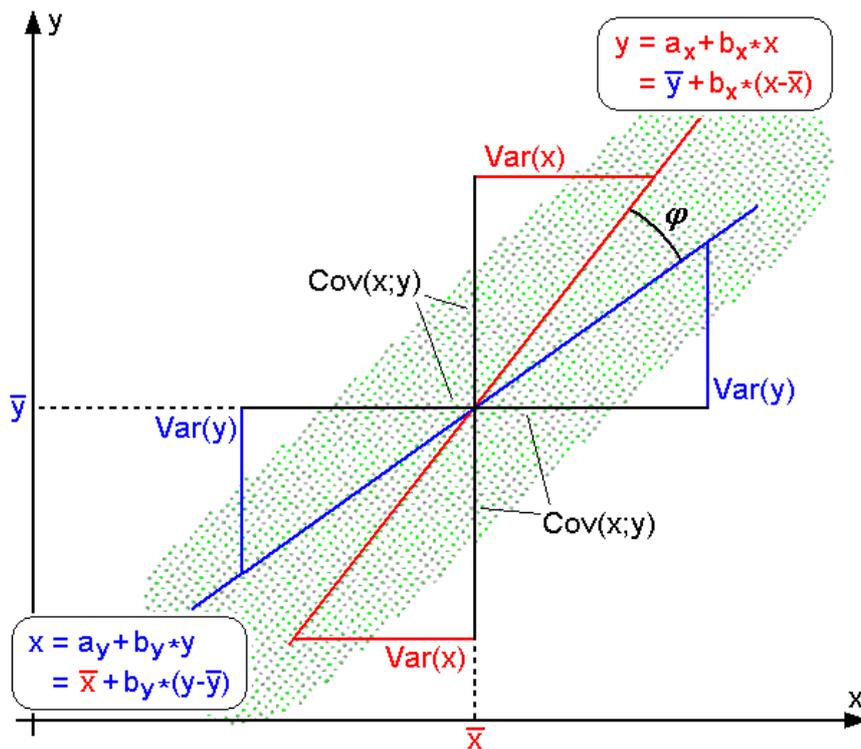


Figure 7. 7: Les deux droites de régression et leurs résidus. Source : wikipédia-statistiques

Une liaison linéaire signifie que les valeurs de la variable Y varient de manière croissante ou décroissante, en même temps que varient les valeurs de la variable X. On traduit cela par une équation affine ou polynôme de degré 1 :

$$\hat{Y} = a_1 X + b_1 \text{ et } \hat{X} = a_2 Y + b_2$$

Où  $\hat{Y}$  et  $\hat{X}$  : estimation des variables dépendantes Y et X ;

X et Y : variables indépendantes ;

$a_1$  et  $a_2$ : pentes de la fonction, données par :

$$a_1 = \frac{CovXY}{VarX} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \text{ et } a_2 = \frac{CovXY}{VarY} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$$

avec  $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i$  et  $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum y_i$

$b_1$  et  $b_2$ : facteurs de translation, donnés par :

$$b_1 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \text{ et } b_2 = \bar{x} - a_2 \bar{y}$$

Le coefficient de corrélation linéaire est donné par :

$$Cor = \frac{Cov_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Et le coefficient de détermination par :

$$Det = \sqrt{Cor}$$

On admet généralement qu'une corrélation – si elle est significative du point de vue de la distribution des résidus – a du sens si la valeur absolue du coefficient de corrélation est supérieure à 0,8 soit un coefficient de détermination de 0,64 ou : 64 % « d'explication » des valeurs prises par la variable dépendante sont expliquées par celles de la variable indépendante. Les nuages de points associés expriment clairement ces liaisons comme on le constate sur la Figure 7.8.

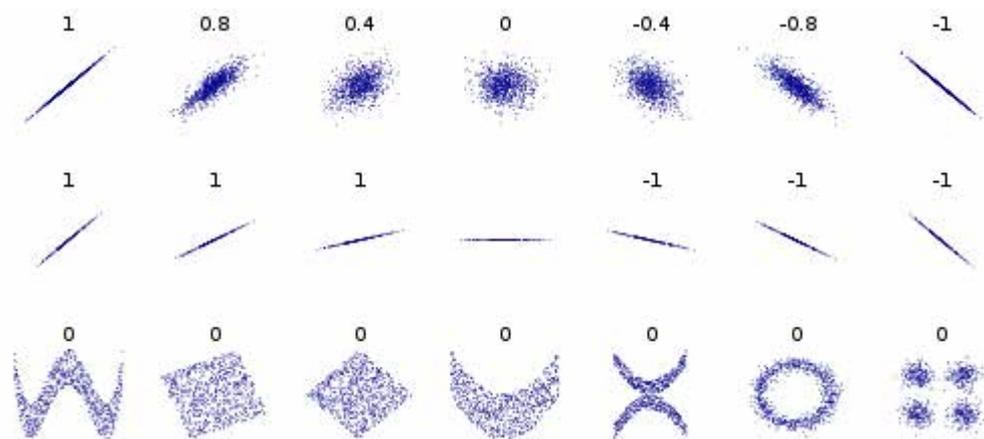


Figure 7. 8: Nuages de points et corrélations linéairse. Source : wikipédia-statistiques

Le principe présenté peut être généralisé pour des ajustements non linéaires de formes diverses. La Figure 7.9 donne à voir des distributions exponentielles

qui ont l'avantage de faire appel aux mêmes équations statistiques que pour l'ajustement linéaire à une transformation près. Nous verrons que les fonctions polynomiales de degré supérieur ou égal à 2 font référence aux calculs matriciels.

Dans le cas d'une forme exponentielle on observe qu'une des variables varie de façon géométrique ce qui répond à l'équation :  $y = b.a^x$ . Par le biais d'une transformation logarithmique, on revient à une forme linéaire :

$$\text{Log}(Y) = \text{Log}(b.a^x) = \text{Log}(b) + x.\text{Log}(a)$$

Lorsque ce sont les deux variables qui varient de manière géométrique on ajuste les données par une fonction puissance :  $y = b.x^a$ . On retrouve la forme linéaire comme suit :

$$\text{Log}(Y) = \text{Log}(b.x^{ax}) = \text{Log}(b) + a.\text{Log}(x)$$

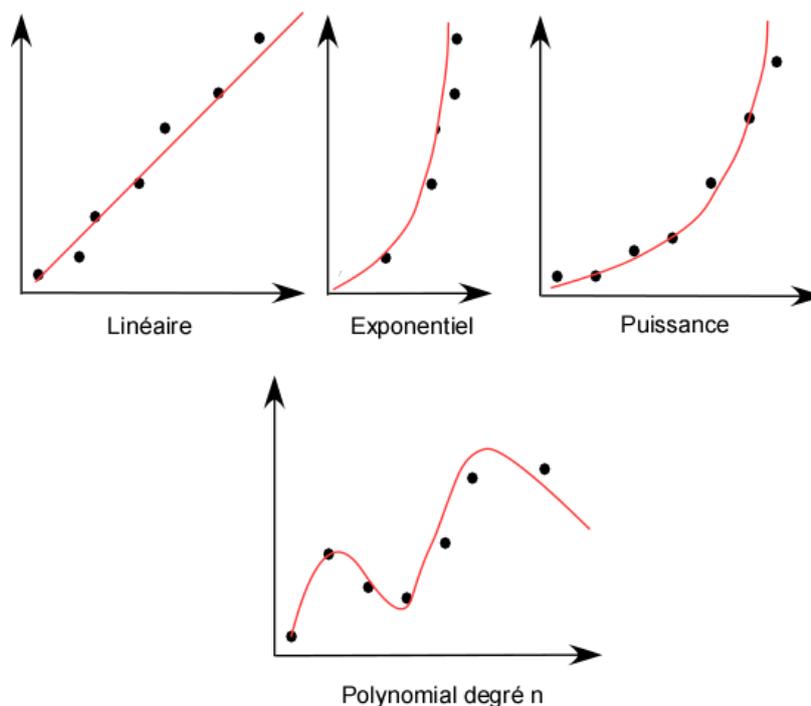


Figure 7. 9: Différentes formes de distribution : linéaire, exponentielle, puissance et polynomiale.

Les fonctions polynomiales ne peuvent pas être linéarisées. On fait dès lors appel à des calculs matriciels pour les résoudre. Présentée très simplement, une fonction polynomiale de degré n est en quelque sorte une régression multiple où les variables dépendantes sont différentes puissances de la variable dépendante, on a par exemple :

$$\text{Polynôme de degré 2 : } \hat{Y} = a_1X + a_2X^2 + \varepsilon$$

$$\text{Polynôme de degré 3 : } \hat{Y} = a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + \varepsilon$$

Et ainsi de suite...

Notons qu'avec un polynôme de degré 2, le calcul revient à déterminer un plan d'ajustement dans un espace à trois dimensions, X, X<sup>2</sup> et Y, ce qui s'apparente à une surface de tendance de degré 1 en régression multiple, surface couramment utilisée pour extrapoler et spatialiser des données à partir d'un semis de points. Augmenter le degré du polynôme revient à courber la surface pour réduire la somme des carrés des résidus. Les résidus sont calculés comme précédemment et on parle de coefficient de corrélation et de détermination non-linéaires.

### 7.2-2.2. Analyse de Chi<sup>2</sup>

Avec deux variables qualitatives, la solution retenue consiste en quelque sorte à prêcher le faux pour connaître le vrai. Il n'existe pas de méthode pour définir un lien statistique entre deux variables qualitatives. Mais on sait en revanche démontrer leur indépendance totale donnée par la formule suivante :

$$\text{Théo. } i, j = \frac{(n_{.i} \times n_{.j})}{n_{..}}$$

Avec :      n.i : somme des occurrences de la ligne i ;

$n_{j.}$  : somme des occurrences de la colonne  $j$  ;

$n_{..}$  : somme de toutes les occurrences.

La différence entre valeur théorique et valeur observée est sujette à mauvaise interprétation du fait que dans le travail avec des effectifs (10 de différence ne peut s'interpréter de façon identique avec  $N = 100$  ou  $N = 10\ 000$ ), on calcule donc une différence pondérée comme suit :

$$chi_{i,j}^2 = \frac{(obs - theo_{i,j})^2}{theo_{i,j}}$$

On obtient un  $Chi^2$  total :

$$Vchi^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m chi_{ij}^2$$

Cette valeur est comparée à celle théorique  $U$  donnée par la distribution du  $Chi^2$  en fonction de  $n$  et  $m$  par un risque  $\alpha$  :

- si  $VChi^2 > U$  : l'hypothèse n'est pas vérifiée, il y a donc dépendance ;
- si  $VChi^2 < U$  : l'hypothèse est vérifiée, il y a donc indépendance.

Enfin, l'intensité de la relation est donnée par la formule de Tschuprow :

$$T = \sqrt{\frac{chi^2}{N - \sqrt{(n-1)(m-1)}}$$

### 7.2-2.3. Analyse de variance ou ANOVA

La méthode retenue pour analyser l'existence d'un lien entre une variable qualitative ou quantitative repose sur la décomposition de la variance sachant que :

$$var_{tot} = Var_{intra} + Var_{inter} + \sigma$$

La variance intraclasse se décompose elle-même en étant la somme des variances calculées pour chaque classe. D'où il est facile de déduire :

$$V_{\text{intra}} = V_{\text{tot}} - V_{\text{intra}}$$

L'intensité de la relation est donnée par le coefficient de Fischer:

$$F = \frac{V_{\text{tot}}}{V_{\text{Intra}}}$$

### **7.2-3. Dégager les structures organisationnelles par les méthodes factorielles et les classifications associées**

On distingue au sein des méthodes d'analyse multivariée, celles qui ont pour but d'expliquer une variable dépendante à partir de n variables indépendantes, et les méthodes qui intègrent simultanément toutes les variables. Les premières consistent en l'analyse multiple de variance ou MANOVA, la régression logistique ou la régression multiple. Nous n'insisterons pas sur leur particularité n'ayant pas à les utiliser. En revanche, les secondes méthodes reposent sur l'analyse factorielle et sont un des piliers de l'analyse des enquêtes.

#### **7.2-3.1. Les méthodes factorielles**

Les méthodes factorielles consistent à extraire des axes principaux du nuage de points initial dans le but de réduire le nombre de dimensions significatives exprimées par un % d'inertie. On distingue l'analyse factorielle en composantes principales ou ACP, appliquée à des variables exclusivement quantitative, de l'analyse factorielle des correspondances ou correspondances multiples (AFC ou AFCM) appliquées à des tableaux de contingence ou de contingence multiple (BURT). Ces dernières sont celle auxquelles nous avons recours dans notre travail d'analyse des enquêtes. Il s'agit en fait d'analyses

quasiment identiques si ce n'est que ce sont les variables elles-mêmes et les transformations qu'on leur fait subir qui introduisent les nuances. En ACP, on cherche les valeurs propres – on parle de diagonalisation – sur une matrice de corrélation normée (les données sont centrées réduites de manière à avoir toutes une moyenne égale à 0 et un écart-type égal à 1). L'espace calculée sur les variables est ensuite appliquée aux individus si on désire les représenter, mais en aucun cas ils ne peuvent être interprétés simultanément sur le graphe contrairement à l'AFC qui autorise la double représentation des données. La matrice diagonalisée par l'AFC/AFCM est une matrice dite du Chi<sup>2</sup> où les valeurs initiales ont été pondérées par les sommes marginales<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> Wikipédia, principes de l'AFC : Le principe de ces méthodes est de partir sans a priori sur les données et de les décrire en analysant la hiérarchisation de l'information présente dans les données. Pour ce faire, les analyses factorielles étudient l'inertie du nuage de points ayant pour coordonnées les valeurs présentes sur les lignes du tableau de données. La "morphologie du nuage" et la répartition des points sur chacun de ces axes d'inertie permettent alors de rendre lisible et hiérarchisée l'information contenue dans le tableau. Mathématiquement, après avoir centré et réduit le tableau de données que l'on a affecté d'un système de masse (par exemple, les sommes marginales de chaque ligne), on calcule la matrice d'inertie associée et on la diagonalise (la répartition de l'information selon les différents axes est représentée par l'histogramme des valeurs propres). On effectue alors un changement de base selon ses vecteurs propres, c'est-à-dire selon les axes principaux d'inertie du nuage de points. On projette alors les points figurant chaque ligne sur les nouveaux axes. L'ensemble de l'information est conservée, mais celle-ci est maintenant hiérarchisée, axe d'inertie par axe d'inertie. L'histogramme des valeurs propres permet de voir le type de répartition de l'information entre les différents axes et l'étendue en dimension de celle-ci. Le premier axe d'inertie oppose les points, c'est-à-dire les lignes du tableau ayant les plus grandes distances ou "différences". La première valeur propre d'inertie, (associée à ce premier axe) mesure la quantité d'information présente le long de cet axe, c'est-à-dire dans cette opposition. On analyse ainsi les différents axes, en reconstituant progressivement la totalité des données. Plusieurs méthodes d'analyse des correspondances existent, qui diffèrent par le type de représentation de l'information, c'est-à-dire de métrique, ou de système de masse qu'elles utilisent. L'analyse factorielle des correspondances AFC développée par Jean-Paul Benzecri et ses collaborateurs emploie la métrique du chi-deux : chaque ligne est affectée d'une masse qui est sa somme marginale, le tableau étudié est le tableau des profils des lignes, ce qui permet de représenter dans le même espace à la fois les deux nuages de points associés aux lignes et aux colonnes du tableau de données ; elle est par ailleurs très agréablement complétée par des outils de classification ascendante hiérarchique (CAH) qui permettent d'apporter des visions complémentaires, en particulier en construisant des arbres de classification des lignes ou des colonnes. Pour chaque point représentatif des lignes ou des colonnes du tableau de données, nouvel axe par nouvel axe, on s'intéresse à ses nouvelles coordonnées, au cosinus carré de l'angle avec l'axe (ce qui est équivalent à un coefficient de corrélation), ainsi qu'à sa contribution à l'inertie expliquée par l'axe (c'est-à-dire à sa contribution à la création de l'axe). Deux contraintes particulières sur les données sont à signaler : d'une part, les tableaux ne peuvent comporter de cases vides et d'autre part, seules des valeurs positives sont permises. De plus, compte tenu de la métrique du chi-deux employée par l'AFC, cette méthode accorde une importance plus grande aux lignes de somme marginale élevée. Si nous utilisons des tableaux quantitatifs et souhaitons équilibrer la contribution de chaque ligne au calcul de l'inertie, nous devons transformer le tableau pour assurer à chaque ligne une somme marginale égale. Pour ce faire, on peut dédoubler chaque ligne, en lui adjoignant un tableau de complément. À chaque valeur  $f_{ij}$ , on fait correspondre une valeur dédoublée  $k \cdot f_{ij}$ , avec  $k = \max(f_{ij})$ . Par l'AFC, il est tout autant possible d'analyser des

En fait les AFC sont des ACP – double ACP pour être exact, une sur les profils lignes, l'autre sur les profils colonnes – à la différence près que les ACP intègrent directement des tableaux de mesures alors que les AFC pondèrent les contingences initiales par rapport à une distribution théorique d'indépendance mathématique, la métrique du  $\text{Chi}^2$  calculée à partir des fréquences marginales. Ainsi la matrice traitée par l'AFC est celle des écarts à la situation d'indépendance.

L'appareillage mathématique mis en œuvre avec ces méthodes est relativement compliqué et dépasse largement nos compétences. Retenons cependant que, contrairement à une droite de régression qui minimise le résidu de la variable dépendante dans le cas d'une régression à 2 dimensions, un axe principal minimise les résidus des variables présentes simultanément. L'AFC permet selon ce principe de réduire considérablement les dimensions de l'espace initial pour ne retenir que deux, voire trois ou quatre, dimensions, rarement plus, tout en donnant la meilleure représentativité de l'information<sup>14</sup>.

Comme toutes les techniques factorielles, l'interprétation thématique est réalisée *a posteriori*, ce qui n'est pas toujours évident. Il est alors nécessaire de traquer dans la disposition des individus et des variables ce qui fait sens. Car et c'est là un des fait saillants de l'AFC, les individus et les variables sont représentés dans un même espace, sans déformation comme nous l'avons déjà signalé. On parle également d'équivalence distributionnelle. Les matrices soumises à l'AFC sont par définition des tableaux de contingence, des tableaux

---

tableaux contenant des mesures quantitatives que des indications qualitatives, (par exemple une donnée "couleur"), ces deux types ne pouvant être mélangés. Un cas particulier de la deuxième catégorie de tableau est constituée par les tableaux "disjonctifs" ; plusieurs variables constituent les colonnes : elles sont toutes découpées en plusieurs modalités, dont une et une seule est vraie par individu. Lors d'une analyse factorielle, on peut rajouter des données "supplémentaires", c'est-à-dire que l'on ne fait pas intervenir dans le calcul de l'inertie, mais que l'on projette sur les axes.

<sup>14</sup> Comprendons bien qu'en toute rigueur il y a  $n-1$  dimensions calculées, avec  $n$  la dimension de la matrice diagonalisée, mais en pratique seuls les premiers axes (généralement 3 voire 4) suffisent à rendre compte en détail de la structure des données.

de contingence multiple et, par extension, des tableaux booléens de codage en présence/absence ou disjonctif complet. Ce dernier est celui auquel nous avons systématiquement recours : pour chaque modalité d'une variable catégorielle, le codage disjonctif complet associé une variable codée en 0 ou 1 selon que l'individu possède ou non la modalité. Un individu ne pouvant posséder qu'une et une seule modalité, la somme des colonnes associées à une variable catégorielle est donc égale à 1. Notons que les rares variables continues sont, après leur description statistique univariée, découper en classes pour être intégrées au codage disjonctif complet et ainsi mise aussi en relation avec toutes les autres variables (Figure 7.10).

Id	Age	Sexe	C_Age	S_G	S_F	A1	A2	A3	A4
1	17	G	1	1	0	1	0	0	0
2	35	F	2	0	1	0	1	0	0
...				à	...				
n	67	G	4	1	0	0	0	0	1

Figure 7. 10: Codage disjonctif complet.

La diagonalisation évoquée plus haut est une opération matricielle. Une matrice diagonalisée n'est remplie que de zéro à l'exception de la diagonale. Ces valeurs sont les valeurs propres qui permettent de déterminer les équations appliquées pour calculer les coordonnées des variables et des individus sur les axes factoriels. Notons qu'à partir de ces valeurs propres il sera aussi possible de déterminer les coordonnées factorielles d'individus et/ou de variables supplémentaires.

On a souvent recours aux données supplémentaires pour tester si des variables structurent ou non l'espace factorielle (une AFC avant en les intégrant dans le calcul et AFC après en les positionnant uniquement) ou pour suivre l'évolution entre deux dates des individus et/ou des variables. Quoi qu'il

en soit, la puissance des méthodes factorielles s'exprime aussi par la simplicité et la logique des rendus graphiques qui les accompagnent. Non pas qu'il soit aisé de débusquer le sens caché de l'information mais la logique inhérente à cette quête répond à un espace euclidien qui nous sied, comme par exemple représenté en Figure 7.12 à partir de nos données de pré-enquêtes (voir interprétation dans le chapitre 8).

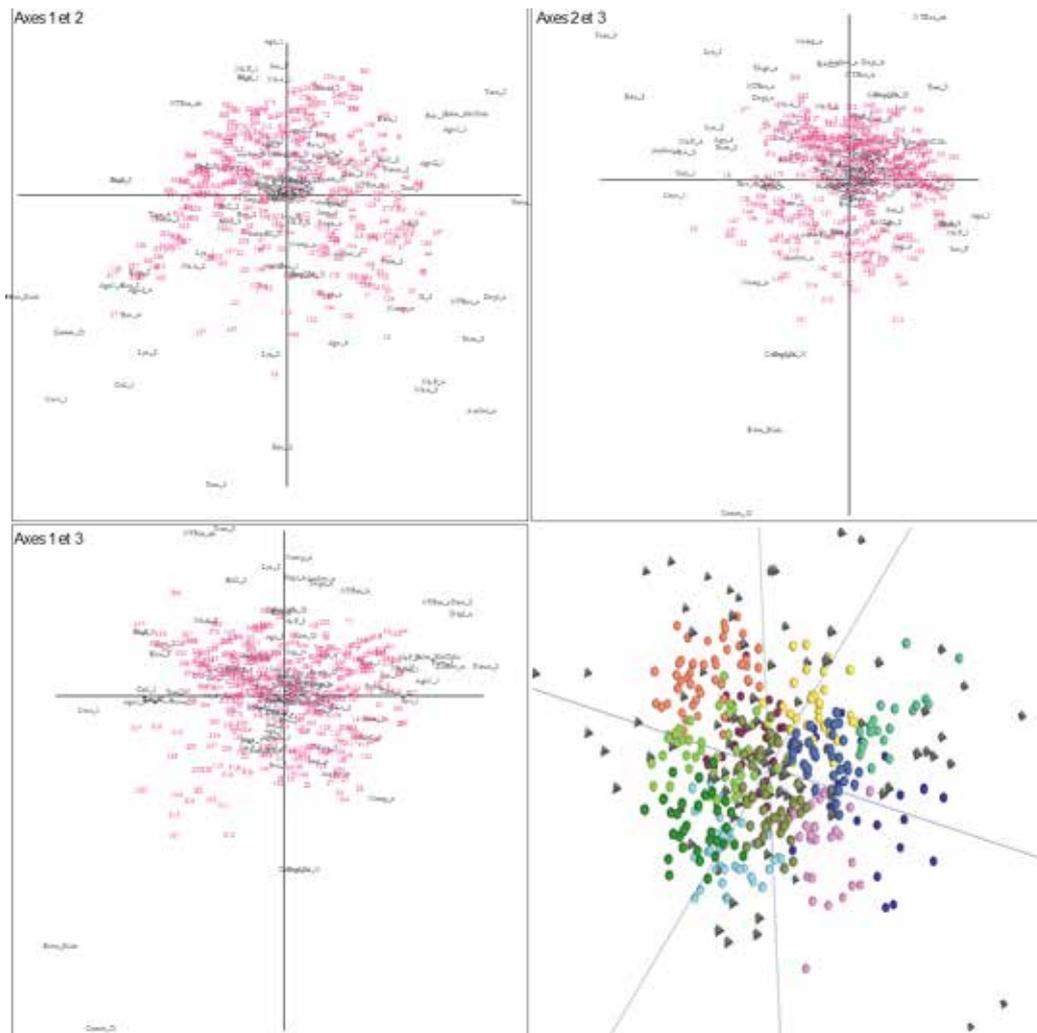


Figure 7. 11: Exemples de graphes factoriels des plans et vue 3D, à partir de la pré-enquête de 2011.

L'interprétation des axes repose sur les principes suivants :

- Ø Quelques précautions préliminaires sont à respecter. Les points individus et les variables (respectivement rouge et noir sur l'exemple de la Figure 7.11) proches du centre de gravité ne sont pas décisifs, car ils n'ont pas

une dimension significative dans la détermination mathématique des axes qui repose sur le principe du moment d'inertie. Selon ce principe, des points très isolés en opposition avec une masse compacte de toutes les autres données traduit ce que l'on appelle un effet unijambiste. Les points isolés dans l'espace factoriel sont tellement atypiques que l'analyse ne fait ressortir que cette structure. Très souvent, cet effet est lié au fait que certaines modalités ne sont présentes que trop rarement. Il faut dès lors éliminer les individus qui possèdent cette modalité (donc on élimine aussi la modalité) ou recoder ces mêmes individus pour les associer à une autre modalité, si c'est possible. Notons bien que par éliminer, on entend supprimer de l'analyse globale, ce qui n'empêche en rien de garder en commentaire ce premier fait saillant.

- Ø Lorsqu'on a vérifié la bonne tenue de l'analyse on procède comme suit :
- a. Les points éloignés du centre de gravité sur chacun des axes sont ceux qui ont le plus de signification thématique à analyser.
  - b. Un point variable et un point individu proches signifie que l'individu en question possède la variable ou enregistre un fort score avec cette variable.
  - c. Des points variables proches signifient qu'elles ont un profil identique sur les individus.
  - d. Des points individus proches signifient qu'ils sont caractérisés par à peu près les mêmes variables.
  - e. Axe par axe, déterminons ce que les points groupés à une des extrémités ont en commun, ce qui les oppose à ce qu'ont en commun d'autres points groupés à l'autre extrémité de l'axe. Très rapidement l'interprétation est complexe puisque des points peuvent avoir en commun des caractéristiques sur un axe, mais au

contraire s'opposer sur un autre, et de nouveau avoir des points communs sur un troisième, etc.

### **7.2-3.2. Classification associée aux AFC**

La double représentation des données, nous l'avons vu, permet une lecture graphique aisée des espaces factoriels où la proximité visuelle traduit aussi une proximité thématique. La distance entre tous les points peut être calculée de manière à les ordonner des plus proches aux plus éloignés. En d'autres termes, des plus semblables aux plus différents.

En statistiques, on parle de classification hiérarchique ascendante. Et plusieurs distances d'agrégation peuvent être envisagées. Les points sont regroupés dans un arbre hiérarchique ou dendrogramme, et un graphe des distances d'agrégation lui est également associé (Figure 7.12).

Pour obtenir l'agrégation finale, on découpe le dendrogramme généralement à une distance correspondant au point d'inflexion de la courbe des distances d'agrégation. On obtient ainsi une typologie en  $n$  classes qui peuvent être décrites statistiquement pour aller plus loin dans l'interprétation. Chaque classe est constituée de  $n$  individus qui constituent une sous population aux caractéristiques statistiques distinctes.

Dans le cas d'un tableau disjonctif complet, on dressera des diagrammes en bâtons de la répartition de chaque modalité (Figure 7.14). Chaque classe est une sous-population de la population initiale, chaque classe est définie par des occurrences de modalités des variables catégorielles ou des paramètres de statistiques descriptives pour des données continues.

Nous verrons plus bas qu'il est dès lors possible d'appliquer des règles de probabilités des causes de Bayes. Concrètement, il sera possible de calculer la probabilité d'apparition d'une modalité quand on connaît la classe auquel

appartient un individu ou la probabilité d'appartenir à une classe quand on connaît le profil d'un individu.

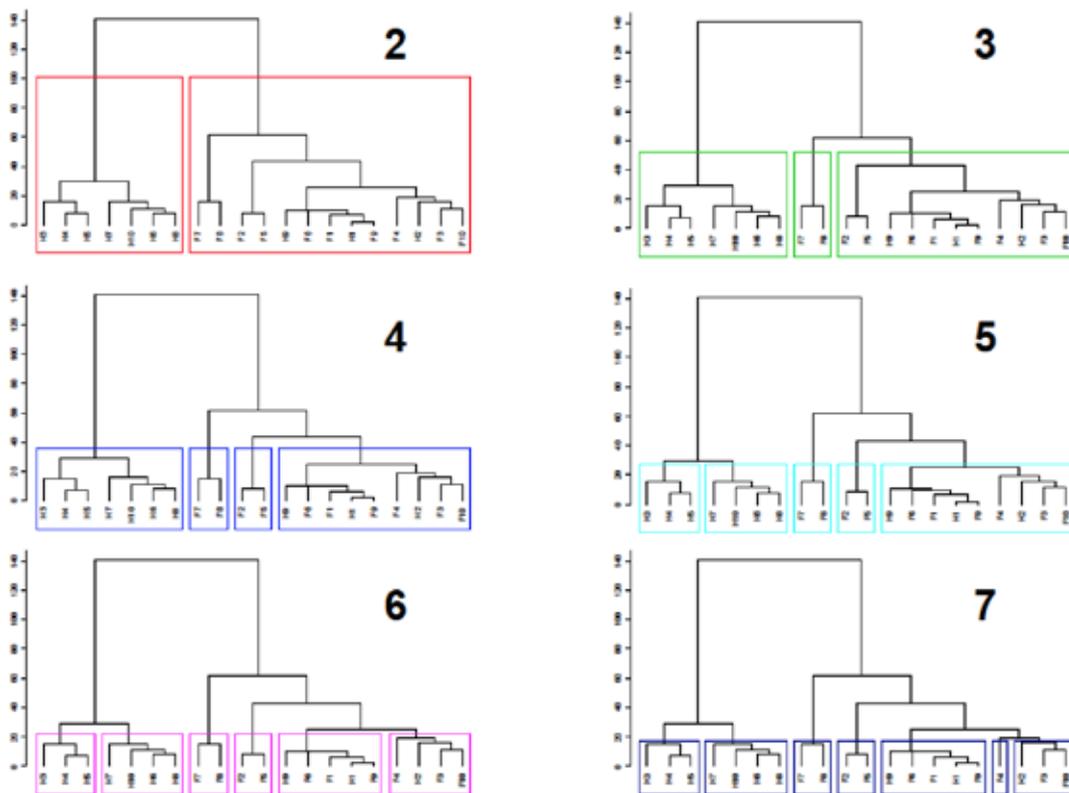
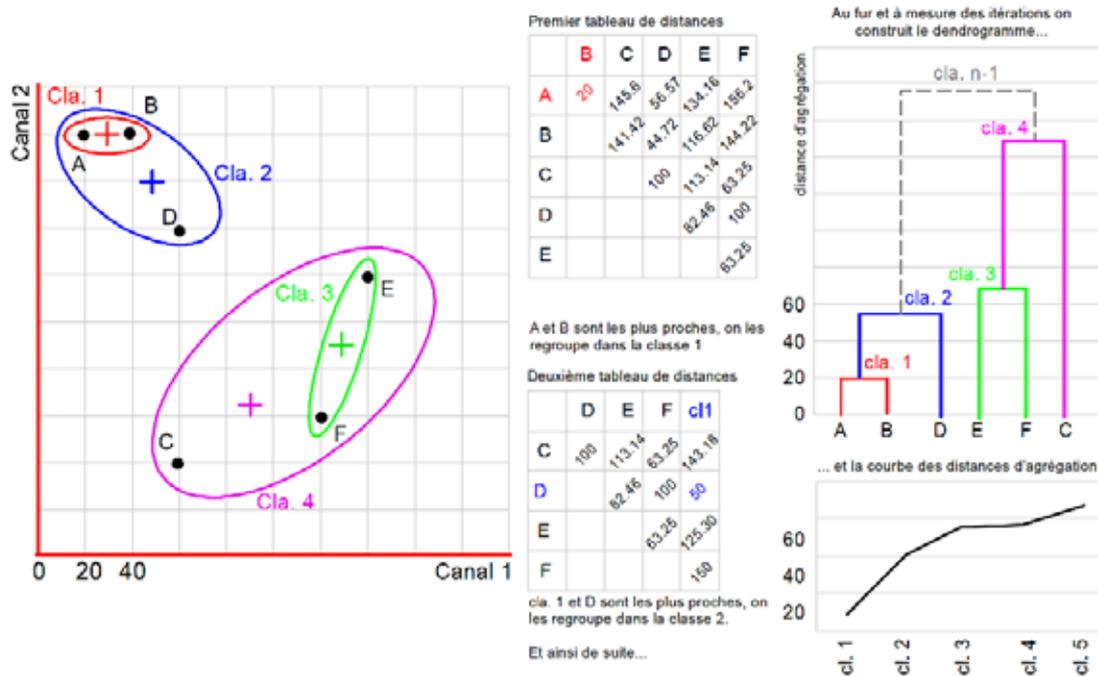
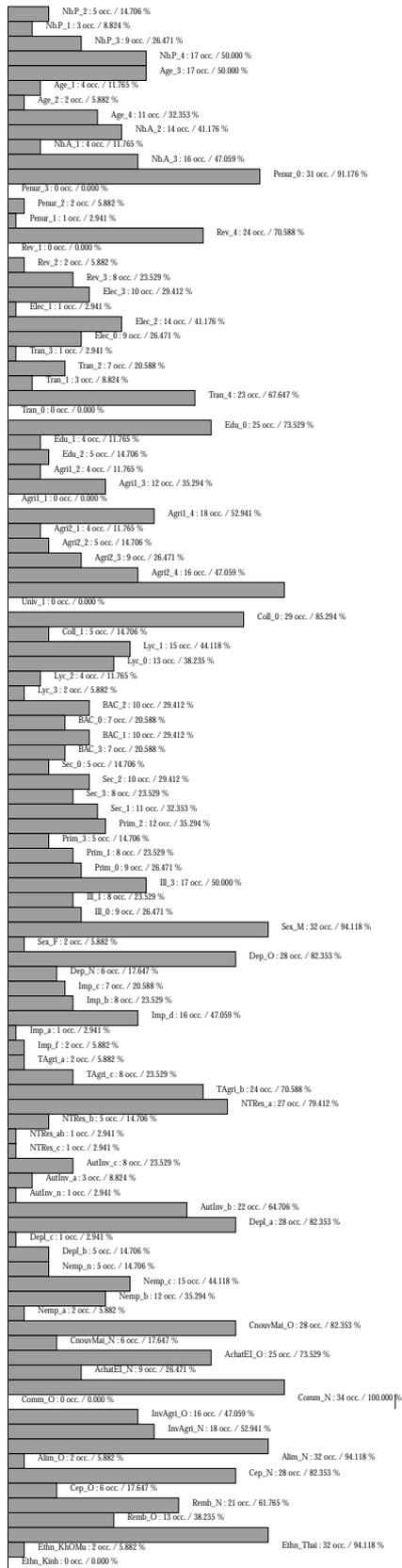
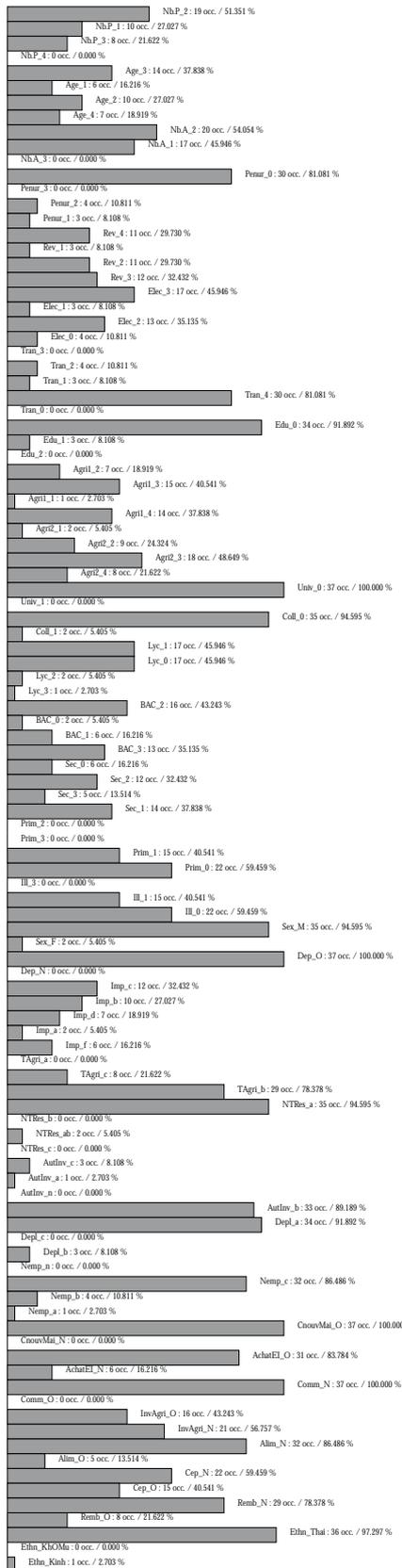


Figure 7. 12: Principe d'une Classification Ascendante Hiérarchique CAH. Source : modifié d'après Laffly (2009) et <http://perso.math.univ-toulouse.fr/dejean/formation/>

Classe : 1 - effectif : 34 (8.971 %)  
 Profil général classe



Classe : 2 - effectif : 37 (9.763 %)  
 Profil général classe



Classe : 3 - effectif : 26 (6.860 %)  
 Profil général classe

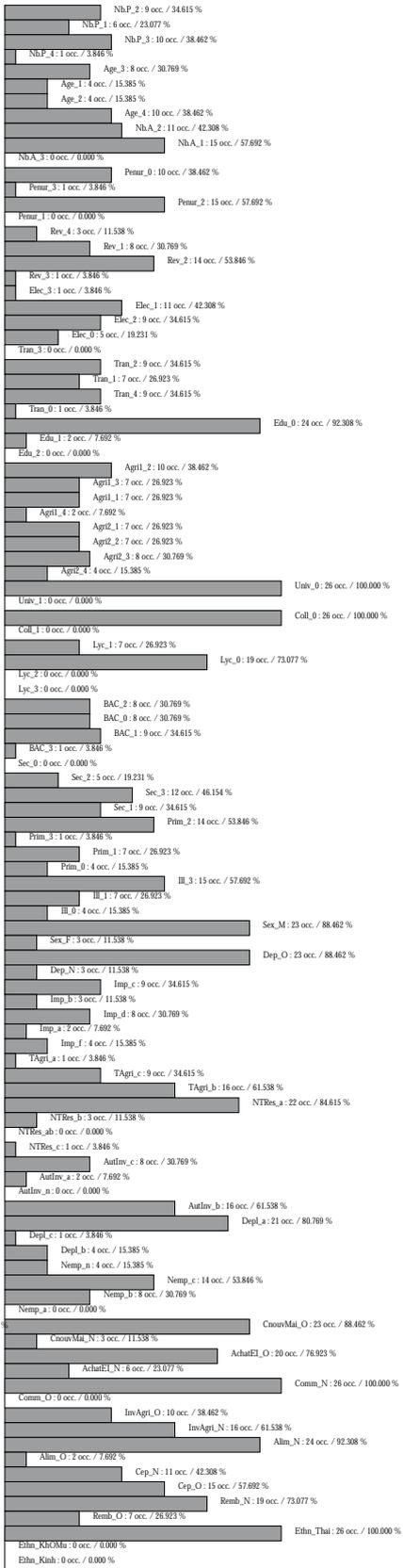


Figure 7. 13: Exemples de profils de classes (pré-enquête 2011).

Comme souvent en analyse exploratoire des données, les stratégies d'analyse ne sont pas figées. Ainsi la CAH, Classification Ascendante Hiérarchique (Figure 7.13), peut être appliquée uniquement aux variables ou aux individus ou à toutes les données simultanément... Généralement, du fait de fréquences marginales plus faibles, les points variables sont moins éclatés que les points individus dans l'espace factoriels (les individus possèdent tous une modalité par variable alors que les variables peuvent n'être représentées que par quelques individus uniquement). D'où le risque d'obtenir des classes uniquement composées d'individus si on traite tous les points simultanément. Ces classes sont alors difficilement interprétables puisque ce sont les variables qui portent le sens thématique. D'où la solution de classer en premier les variables et de définir pour chaque classe les coordonnées de leur centre de gravité (moyenne arithmétique pour tous les axes factoriels), puis d'agréger autour de ces centres les individus selon la plus petite distance ou une stratégie probabiliste. Avec des données d'effectifs, la méthode bayésienne<sup>15</sup> de la probabilité des causes – ou de maximum de vraisemblance avec des données continues – est alors très usitée, elle répond à la formule suivante :

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

où :  $P(A)$  : probabilité *a priori* de A (dite marginale) ;

$P(B)$  : probabilité *a priori* de B ;

$P(A|B)$  : probabilité *a posteriori* de A sachant B (ou encore de A sous condition B) ;

$P(B|A)$  : pour un B connu, fonction de vraisemblance de A.

---

<sup>15</sup>Le théorème de Bayes est un résultat de base en théorie des probabilités, issu des travaux du révérend Thomas Bayes et retrouvé ensuite indépendamment par Laplace. Dans son unique article, Bayes cherchait à déterminer ce que l'on appellerait actuellement la distribution a posteriori de la probabilité p d'une loi binomiale. Ses travaux ont été édités et présentés à titre posthume (1763) par son ami Richard Price dans « Un essai pour résoudre un problème dans la théorie des risques » (An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances). Les résultats de Bayes ont été redécouverts et étendus par le mathématicien français Laplace dans un essai de 1774, lequel n'était apparemment pas au fait du travail de Bayes. (Wikipédia)

Dans tous les cas, il est possible de projeter les classes dans l'espace factoriel dans le but d'optimiser l'interprétation de celui-ci (Figure 7.14). On seuille le diagramme généralement à une distance correspondant au point d'inflexion de la courbe des distances d'agrégation. On obtient ainsi une typologie en n classes qui peuvent se positionner dans l'AFC pour faciliter les interprétations.

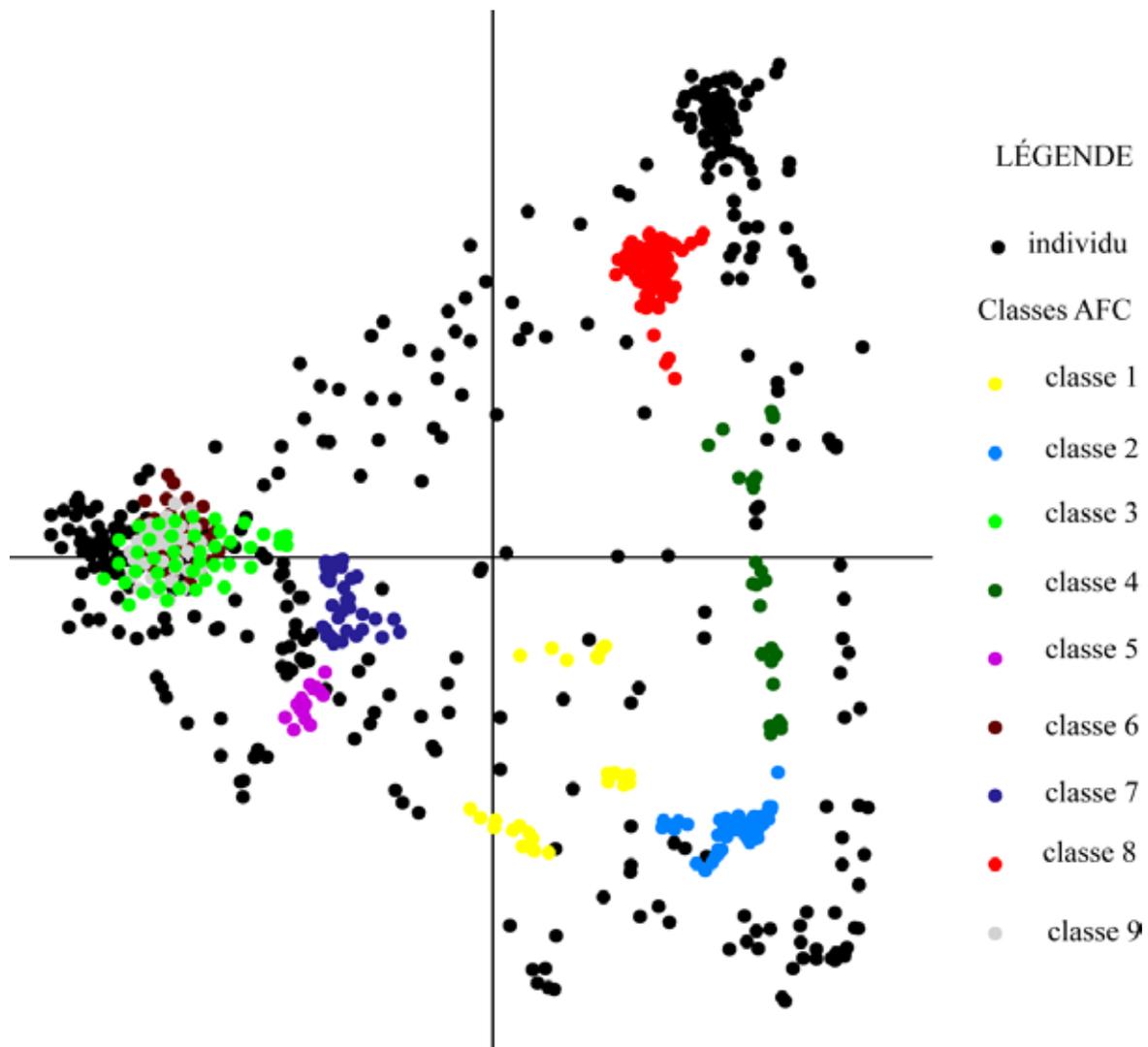


Figure 7. 14: Exemple de classes AFC d'après notre prè-enquête de terrain de 2011.

### 7.3- L'intégration cartographique des données

La cartographie statistique est d'une grande importance en complément de l'analyse des données de terrain. Zanin et Trémélo (2002) diront que : « la carte est l'instrument privilégié de la Géographie, c'est son langage ».

La cartographie statistique repose sur des règles de sémiologie graphique imposée par la nature des données (Figure 7.16). Des cartes par plage, dites choroplètes, servent à la représentation des données catégorielles ou continues selon deux logiques radicalement différentes.

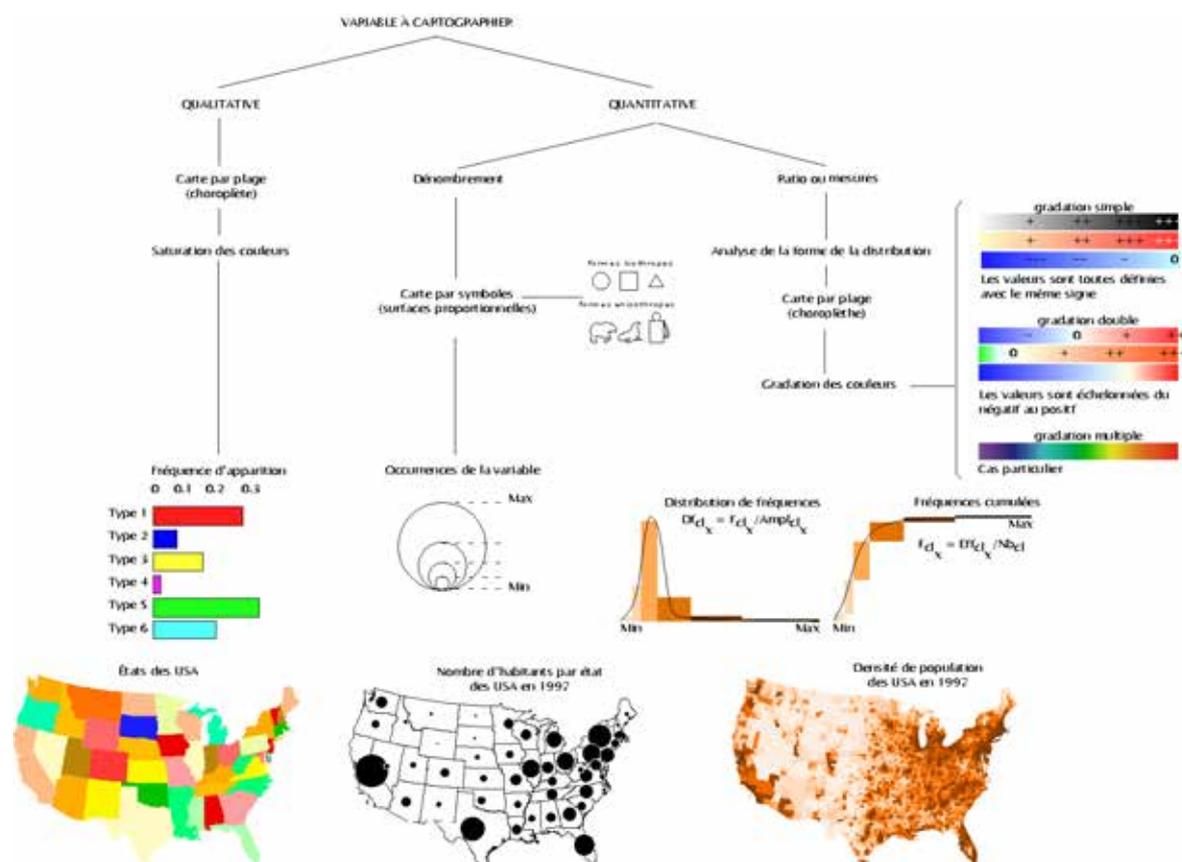


Figure 7. 15:Les règles de sémiologie graphique de la cartographie statistique. Source : modifié d'après Laffly (2009)

Pour les premières, on cherche à saturer au maximum les teintes appliquées à chaque modalité de manière à éviter tout risque d'interprétation d'une quelconque structure d'ordre, là il ne peut y en avoir.

Pour les secondes, au contraire, on cherche à respecter le plus possible la forme de la distribution tant par la méthode de seuillage choisie, que par la gradation de teintes arrêtée.

Enfin les données de contingences sont représentées généralement par des cercles dont la surface est proportionnelle à la valeur statistique. Comme il s'agit d'effectifs et qu'en statistique les effectifs sont trompeurs, ce mode de représentation permet d'éviter tout risque abusif d'interprétation d'un phénomène qui ne serait lié en fait qu'à la taille des unités auxquelles il se rapporte. Autrement dit, par exemple : plus la commune est peuplée, plus il y a d'écoles, de voitures, de restaurants... ce qui ne présuppose pas qu'on y trouve les meilleurs taux d'équipements en voitures, en écoles, en restaurants... Dans le domaine de l'enquête, c'est plus la stratégie d'échantillonnage qui fixe les effectifs mais la règle sémiologique est conservée.

L'interprétation de ces cartes démontre l'intérêt de coupler systématiquement cartographie statistique et analyse des données à partir d'enquêtes réalisées sur le terrain. Les données sont par nature géolocalisées et leur représentation sous forme de cartes est incontournable. La cartographie doit être mobilisée à tous les stades de l'analyse, et pas seulement pour le dépouillement.

Ainsi la représentation cartographique des résidus à un modèle de régression ou bien encore de la contribution au  $\text{Chi}^2$  peut compléter avantageusement la description bivariée des données.

Au terme même de l'analyse multivariée, des cartes en composition colorée présentent d'une manière synoptique la synthèse de l'information

portée par les axes factoriels ou bien encore - comme on peut le voir sur la Figure 7.17 - la distribution des classes issues d'une CAH appliquée aux résultats d'une AFC dans l'espace géographique, assure une vision ubiquiste des phénomènes étudiés.

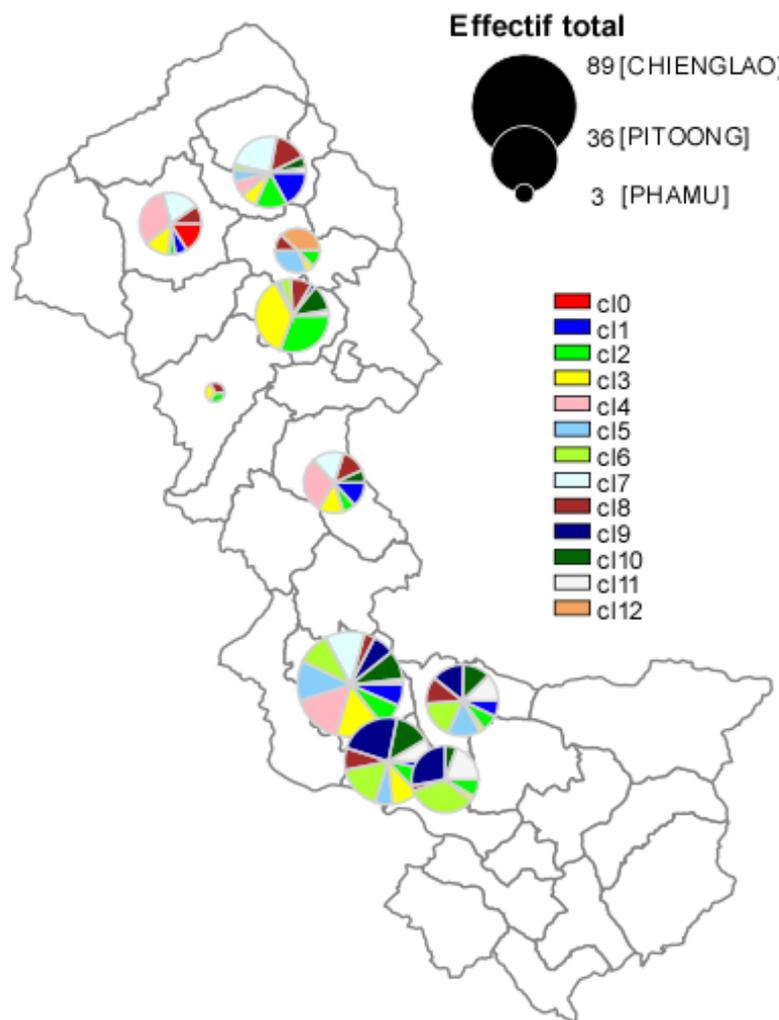


Figure 7. 16: Exemple d'utilisation de la cartographie de la distribution des classes factorielles aux termes de l'analyse multivariée, basé sur la pré-enquête de 2011.

Certes, l'interprétation de tels documents ne va pas de soi, mais elle est riche d'un apport thématique sans pareil. C'est l'objet du chapitre 8 qui suit.

## Chapitre 8

# Des évolutions liées aux politiques de barrages à l'échelle régionale

Comme présenté dans le chapitre 7, l'enquête socio-économique a été menée en deux temps. En 2011, une première phase de pré-enquête a permis d'identifier les hypothèses qui n'avaient pas de sens ou ce qui manquait dans les variables pré-listées. La pré-enquête a également permis de vérifier si une hypothèse faite *a priori* est déjà confirmée dans la phase de test. C'est sur cette base que le questionnaire destiné aux entretiens détaillés dans 367 foyers a pu être établi (cf. le questionnaire en annexe).

Rappelons que notre hypothèse majeure était de vérifier si l'impact des politiques de barrages hydroélectriques a été un élément majeur dans les pratiques sociospatiales de la région.

Et nous verrons que oui puisque l'analyse multivariée géospatiale réalisée sur cette enquête fait ressortir cet élément derrière la structuration par les revenus et la taille des foyers familiaux mis en évidence par l'AFC.

## 8.1- Présentation des communes enquêtées

Comme dit précédemment, les enquêtes socio-économiques ont été menées dans 13 communes (Tableau 8.1), se répartissant dans 3 districts, respectivement du Nord au Sud (Figure 7.2): le district de Tan Uyen (Province de Lai Chau) qui est le plus à l'amont de la zone d'étude, à l'extrême Nord, avec 4 communes enquêtées et 128 foyers ; le district de Than Uyen (Province de Lai Chau), où se trouve le barrage hydroélectrique de Ban Chat et à l'amont du barrage de Huoi Quang, le dernier en construction, avec à 5 communes enquêtées et seulement 100 foyers ; et le district de Muong La (Province de Son La), situé entre Huoi Quang à l'amont et le très grand barrage hydroélectrique de Son La à l'aval, avec 7 communes enquêtées et 274 foyers. Tout cela fait un total de 502 foyers enquêtés, dont 41% sont des foyers déplacés (207 foyers déplacés).

Tableau 8. 1 : Liste des communes enquêtées (classées du Nord au Sud) en 2012.

Commune	Code commune	District	Distance barrage aval en km	Nombre de foyers fixes enquêtés	Nombre de foyers déplacés enquêtés	% foyers déplacés
Tan Uyen (*)	C1	Tan Uyen	37 (BC)	21	0	0%
Trung Dong	C2	Tan Uyen	31 (BC)	21	18	46%
Nam Can	C3	Tan Uyen	28 (BC)	33	13	28%
Phuc Than	C4	Tan Uyen	24 (BC)	27	16	37%
Muong Mit	C5	Than Uyen	17 (HQ)	14	29	67%
Pha Mu	N1	Than Uyen	7 (HQ)	0	3	100%
Than Uyen (*)	C6	Than Uyen	13 (HQ)	17	0	0%
Na Cang	C7	Than Uyen	7 (HQ)	11	0	0%
Muong Kim	C8	Than Uyen	0 (HQ)	16	10	38%
Chieng Lao	C9	Muong La	19 (SL)	30	18	38%
Hua Trai	C10	Muong La	13 (SL)	17	8	32%
Muong Trai	N2	Muong La	10 (SL)	0	56	100%
Pi Toong	N3	Muong La	3 (SL)	0	36	100%
Muong La (*)	C11	Muong La	0 (SL)	43	0	0%
Muong Bu	C12	Muong La	9 (SL)	35	0	0%
Muong Chum	C13	Muong La	27 (SL)	31	0	0%

Sur les 523 foyers enquêtés, 52% proviennent du district de Muong La, 28% du district de Tan Uyen et 19% du district de Than Uyen. Cela correspond à peu près au ratio des populations entre districts. En effet, le district de Muong La est largement le plus habité avec 45% de la population totale de la zone d'étude, alors que les districts de Thanh Uyen et Tan Uyen représentent respectivement 29% et 26% de la population totale de la zone d'étude.

La distribution du nombre de foyers par commune est indiquée en Figure 8.1. Elle est relativement équitable entre les communes de Trung Dong, Nam Can et Phuc Than au Nord (C2, C3, C4) et les communes de Muong La, Muong Bu et Muong Chum au Sud (C11, C12, C13), avec une quarantaine de foyers enquêtés chacune (Tableau 8.1).

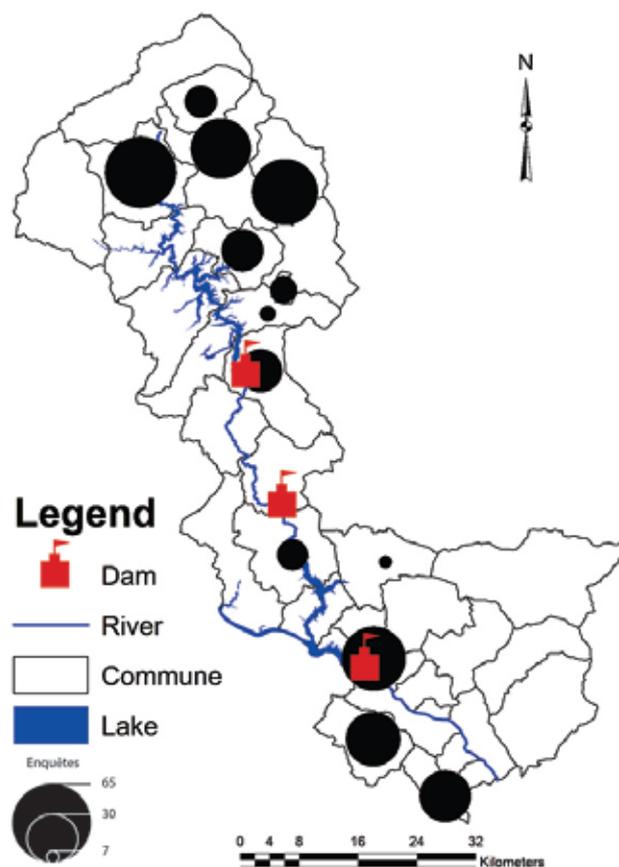


Figure 8. 1: Distribution des enquêtes par commune dans la zone d'étude.

Enfin, notons que 3 nouvelles communes appartiennent au corpus enquêté : Pha Mu (N1 à Than Uyen), Muong Trai et Pi Toong (N2 et N3 à Muong La), représentant un total de 92 foyers déplacés (Tableau 8.1 et Figure 7.2).

La structure de base enquêtée est le foyer, et non pas la commune (ou village) ou l'individu, du fait que c'est d'abord le foyer qui est impacté par les politiques de barrage qui concernent d'abord la relocalisation des personnes (Dao, 2010). C'est donc bien l'influence des barrages hydroélectriques sur la pratique sociospatiale des foyers qui sera questionnée au cours de notre étude.

Les populations enquêtées ont été scindées en trois groupes, en fonction d'un *a priori* sur la différence d'impact des barrages hydroélectriques sur leurs propres pratiques sociospatiales. Ainsi on a considéré différemment les populations déplacées des populations non déplacées, et les populations des capitales de district.

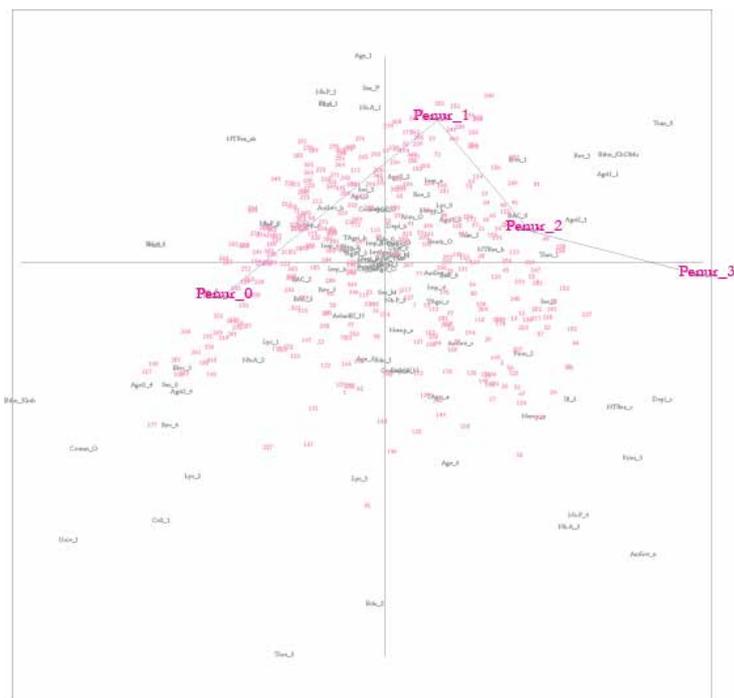
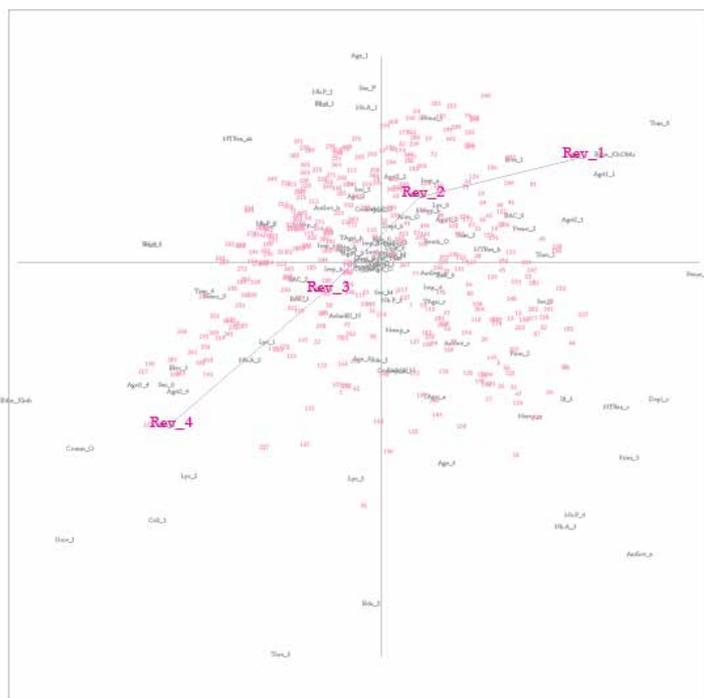
## **8.2- Des structures familiales et économiques à évolution lente**

### **8.2-1. Des pratiques induites par les structures familiales**

L'AFC réalisée sur l'ensemble des 367 foyers enquêtés (représentant les individus de l'AFC) et des 44 variables considérées (cf. leur liste en annexe) met en évidence une structuration de l'espace factoriel en fonction du revenu et de la capacité à la mobilité du foyer selon l'axe 1 (Figure 8.2), de la structure du foyer selon l'axe 2 (Figure 8.3), et des activités de production du foyer selon l'axe 3 (Figure 8.4).

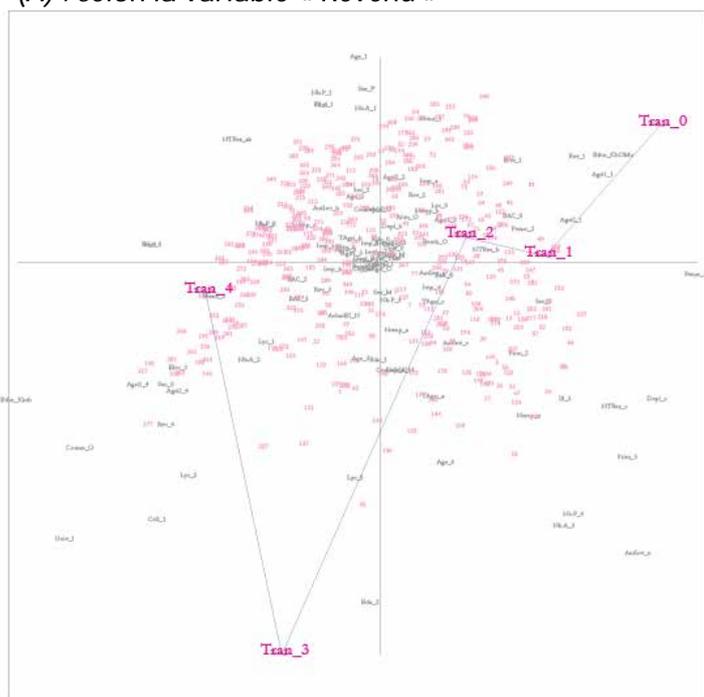
Il est donc clair ici que :

- d'une part, les pratiques sont largement liées à la structuration familiale,
- et d'autre part, l'impact sur le revenu et les moyens de vie sera fonction de ce premier ensemble.



(A) : selon la variable « Revenu »

(B) : selon la variable « Pénurie de vivre »



(C) : selon la variable « Transport »

Figure 8. 2: Représentation des variables explicatives majeures de l'axe 1 de l'espace factoriel (AFC) de notre enquête. (A) : selon la variable « Revenu » ; (B) selon la variable « Pénurie de vivre » ; (C) selon la variable « Transport ».

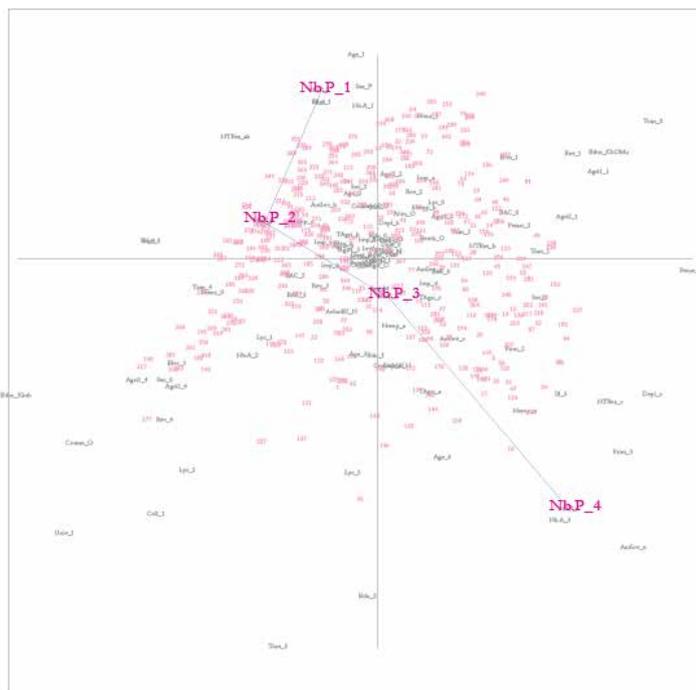
Sur l'axe 1 du premier plan factoriel (Figure 8.2), on distingue les populations tout d'abord selon leurs revenus (Rev), et par conséquent par le nombre de journées de pénuries dont elles peuvent être victimes (Penur) et leur possibilité d'avoir recours aux moyens de transports pour les déplacements (Tran). En effet, ce sont les populations les plus riches qui utilisent régulièrement les transports et qui ne subissent aucune journées de pénuries opposées à celles les plus pauvres régulièrement touchées par des pénuries et n'ayant jamais recours aux transports.

Sur l'axe 2 du premier plan factoriel (Figure 8.3), les populations enquêtées se distribuent selon la taille du foyer (Nb.P), qui va de paire avec une le nombre d'actifs (Nb.A) et l'âge du chef de famille (Age). Ainsi, les foyers les plus jeunes et donc les moins peuplées s'opposent aux foyers les plus âgées et les plus peuplés. Et bien sûr, ces foyers les plus anciens ont un nombre d'actifs plus important.

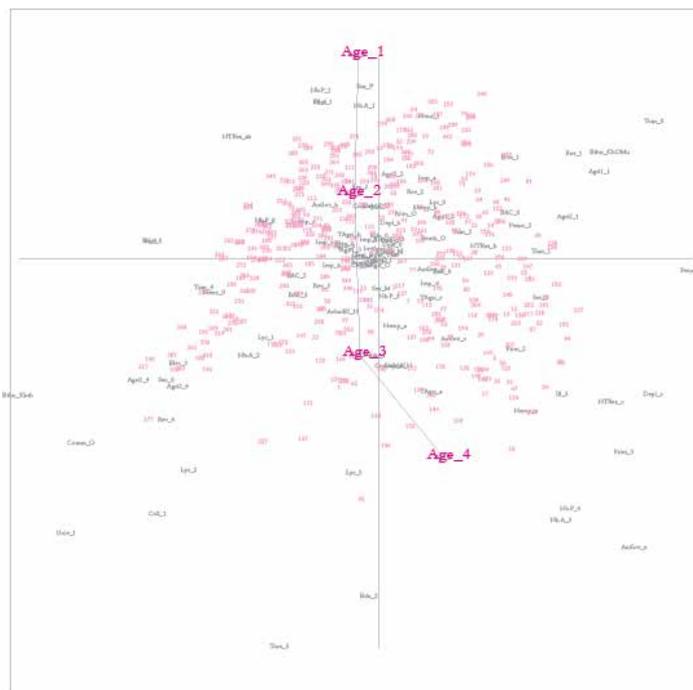
Cette structuration se retrouve sur l'axe 3 (Figure 8.4), où l'on voit une relation forte entre les pratiques agricoles et les ressources financières du foyer.

En effet, dans la zone d'étude, les activités agricoles représentent les ressources principales de revenus des foyers. A partir des données provenant des districts et de nos enquêtes, les deux sources de revenus agricoles sont d'une part les ressources financières liées à l'activité de cultures agricoles, et d'autre part les ressource financières liées à l'activité d'élevage.

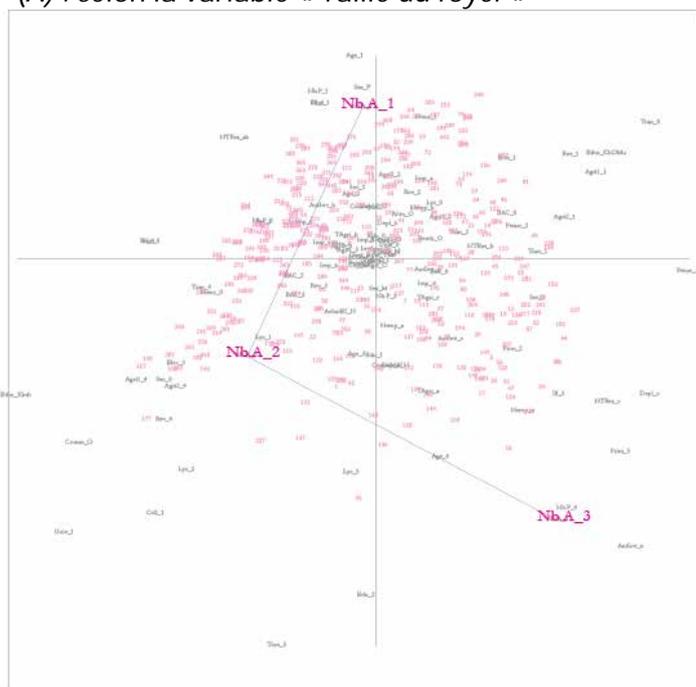
L'AFC met en évidence l'importance de la structuration du foyer, mais ne permet pas de voir l'impact on non des politiques de barrage.



(A) : selon la variable « Taille du foyer »



(B) : selon la variable « Age du chef de famille »



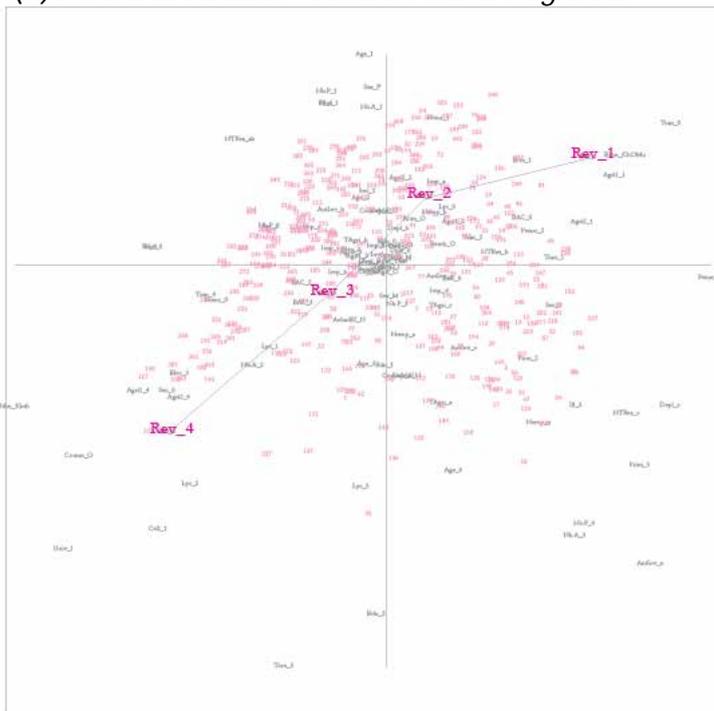
(C) : selon la variable « Nombre d'actifs »

Figure 8. 3: Représentation des variables explicatives majeures de l'axe 2 de l'espace factoriel (AFC) de notre enquête. (A) : selon la variable « Taille du foyer » ; (B) selon la variable « Age du chef de famille » ; (C) selon la variable « Nombre d'actifs ».



(A) : selon la variable « Activité Culture agricole »

(B) : selon la variable « Activité Elevage »



(C) : selon la variable « Revenu »

Figure 8. 4: Représentation des variables explicatives majeures de l'axe 3 de l'espace factoriel (AFC) de notre enquête. (A) : selon la variable « Activité Culture agricole » (Agri1) ; (B) selon la variable « Activité Elevage » (Agri2) ; (C) selon la variable « Revenu ».

Sur la base de notre enquête, il est donc clair que l'impact des politiques de barrage se différenciera en fonction du niveau de vie des foyers, lui-même

explicité par la structure du foyer qui induit le type d'activités agricoles. Cette différenciation des foyers enquêtés selon la structure familiale met en évidence une relation entre la composition familiale des foyers et les revenus.

Dans cette région, les populations appartiennent fortement majoritairement à la classe socio-économique paysanne. Dans ces familles, classiquement, la superficie de production agricole dépend directement du nombre de personnes dans le foyer (axes 1 et 2). Dans les familles traditionnelles Vietnamiennes, notamment dans les ethnies des régions montagneuses du Vietnam, les enfants restent vivre avec leurs parents et grands-parents pour aider à l'exploitation de la terre, en raison des caractéristiques topographiques accidentées qui demandent des forces de travail importantes. Lorsque le nombre d'actifs diminue, alors la force de travail diminue, entraînant la baisse des revenus agricoles et donc l'apparition des risques de pénurie (axes 1, 2 et 3).

### **8.2-2. L'accès au marché, un poids important de structuration de l'espace**

Sur l'ensemble de la zone d'étude, le développement de l'économie locale est entièrement lié à l'activité agricole. Et les systèmes de production sont avant tout autarciques. Ainsi 98% de la population travaille dans le domaine de l'agriculture. Il est donc évident que le marché économique de la région est avant tout subordonné par le type de productions agricoles. Par ailleurs, comme tout système de marché économique, il existe trois filières de vente: directement aux particuliers, sur le marché ou directement à une compagnie.

Sur la base des relevés de districts et de notre enquête, nous avons retenu 12 produits agricoles à vendre (Tableau 8.2): 11 peuvent être vendus directement de particulier à particulier, 8 sont disponibles sur le marché et uniquement 5 peuvent être vendus directement à une compagnie.

Tableau 8. 2: Attributs des produits agricoles à vendre en fonction des trois filières économiques.

Désignation	Vente aux particuliers	Vente au marché	Vente aux compagnies
Riz irrigué de printemps	P_Irr_Ric_Sp	P_Irr_Ric_Sp	
Riz irrigué d'été	P_Irr_Ric_Sum	P_Irr_Ric_Sum	
Riz pluvial	P_Rain_Ric		
Manioc	P_Cassava	M_Cassava	
Mais	P_Maize	M_Maize	
Fruits	P_Fruit		C_Fruit
Thé		M_Tea	C_Tea
Légumes	P_veg		
Buffle	P_Buf		
Poulet	P_Poultry	M_Poultry	C_Poultry
Canard	P_Duck	M_Duck	C_Duck
Cochon	P_Cochon	M_Cochon	C_Cochon

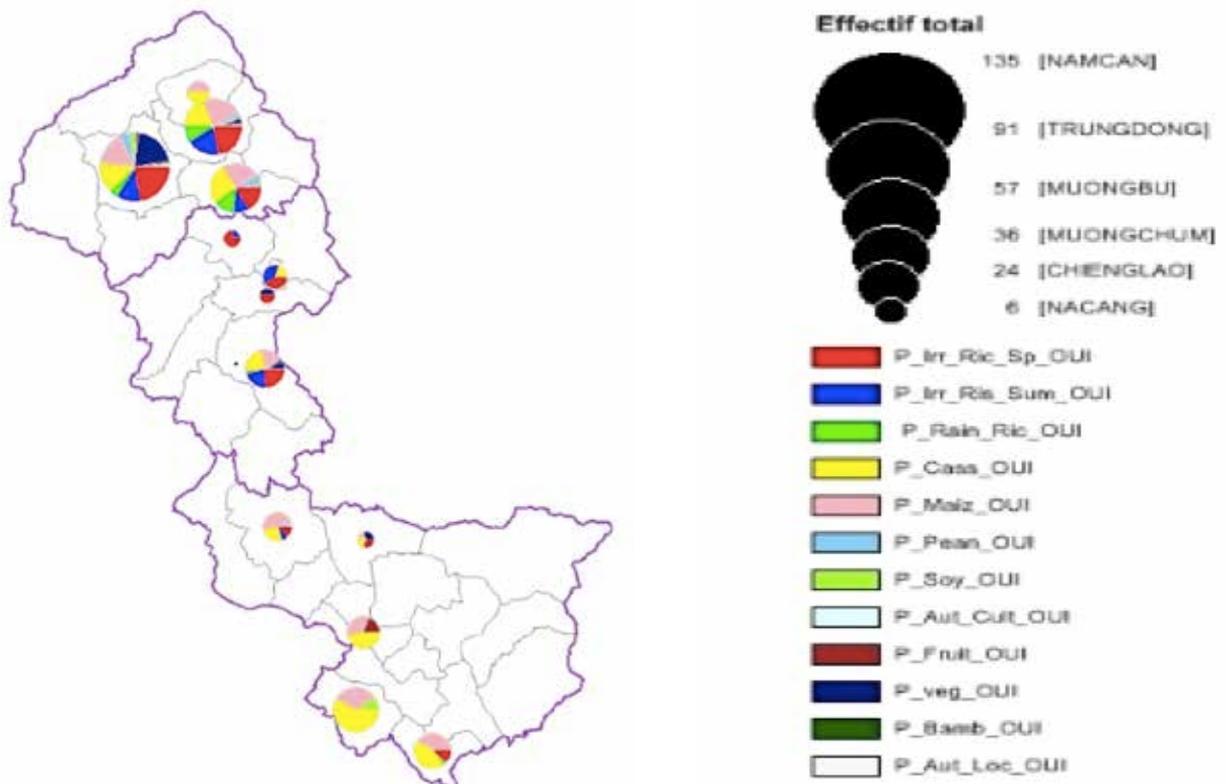
### Les ventes de particulier à particulier

Le cochon est le produit le plus vendu de particulier à particulier : 50% des foyers vendent du cochon de particulier à particulier (Tableau 8.3). Ensuite dans l'ordre décroissant, on trouve : le manioc 40%, le maïs 35%, le poulet 30%, le riz irrigué de printemps 26%, le canard 20%, le riz irrigué d'été 16%, les légumes 10%, puis moins de 10% des foyers vendent du buffle, du riz pluvial ou encore des fruits.

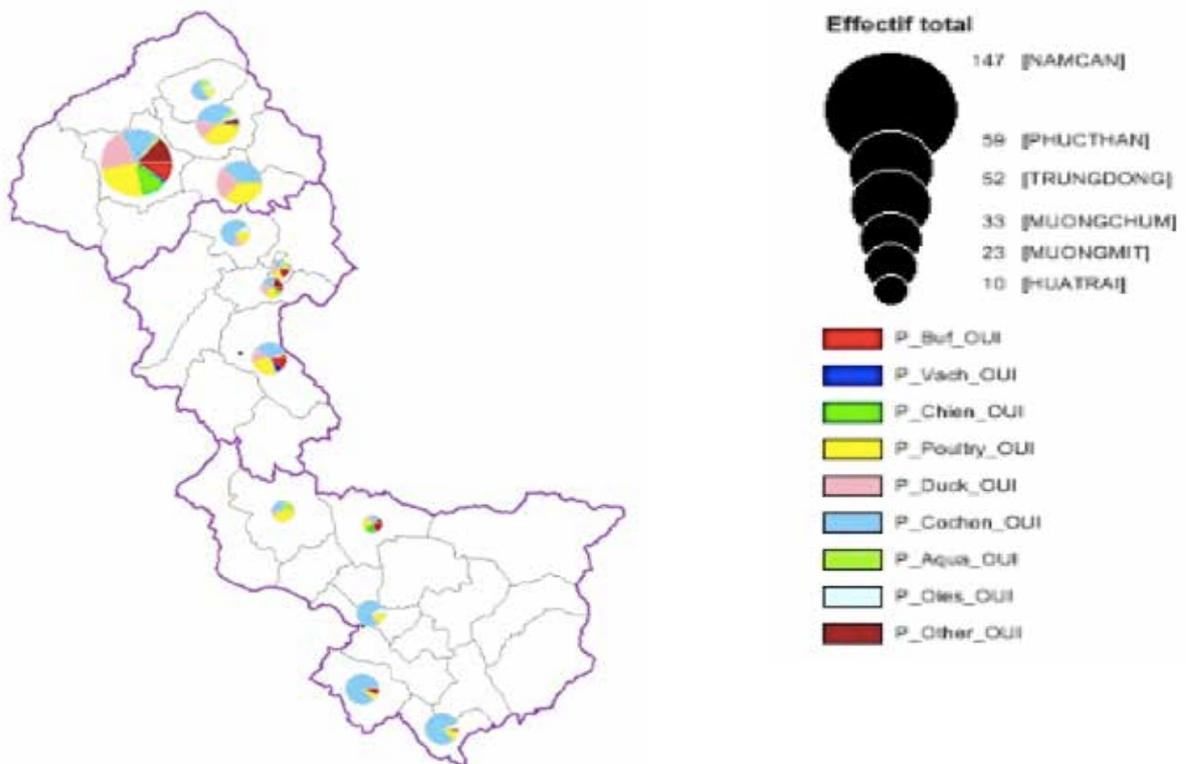
La répartition spatiale (Figure 8.5) indique que les communes du Nord vendent la plus grande diversité des produits, aussi bien pour les produits de récolte (Figure 8.5 A) que les produits d'élevage (Figure 8.5 B). Dans le Sud, les ventes de particulier à particulier ne concernent que le cassava, le maïs et le cochon (et un peu de poulet).

Tableau 8. 3: Distribution des produits agricoles vendus de particulier à particulier sur le corpus total enquêté (367 foyers).

Attribute	Gini	Distribution			
P_Irr_Ric_Sp	0.3837	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	272	74.11 %	
		OUI	95	25.89 %	
P_Irr_Ris_Su_m	0.2661	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	309	84.20 %	
		OUI	58	15.80 %	
P_Rain_Ric	0.1270	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	342	93.19 %	
		OUI	25	6.81 %	
P_Cassa	0.4780	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	222	60.49 %	
		OUI	145	39.51 %	
P_Maize	0.4575	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	237	64.58 %	
		OUI	130	35.42 %	
P_Fruit	0.0530	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	357	97.28 %	
		OUI	10	2.72 %	
P_veg	0.1856	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	329	89.65 %	
		OUI	38	10.35 %	
P_Buf	0.1270	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	342	93.19 %	
		OUI	25	6.81 %	
P_Poultry	0.4219	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	256	69.75 %	
		OUI	111	30.25 %	
P_Duck	0.3154	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	295	80.38 %	
		OUI	72	19.62 %	
P_Cochon	0.5000	Values	Count	Percent	Histogram
		NON	185	50.41 %	
		OUI	182	49.59 %	



(A) : Produits de récolte à vendre aux particuliers



(B) : Produits d'élevage à vendre aux particuliers

Figure 8. 5: Répartition géographique des produits de récolte (A) et d'élevage (B) vendus de particulier à particulier, par le corpus de foyers ayant des produits à vendre.

Pour chaque commune, nous avons regardé l'impact de la distance au barrage situé à l'aval de la commune et la distance à la capitale du district. Et pour

pouvoir comparer les communes entre elles, nous avons calculé le ratio entre le nombre de OUI enregistré à une question, divisé par le nombre de foyers enquêtés dans la commune. Nous avons ainsi déterminé le ratio des produits de récolte, ratio Agr., et le ratio des produits d'élevage, ratio Elev., de la Figure 8.6.

Aucune corrélation n'apparaît en fonction de la distance pour les produits d'élevage. Par contre, il semble bien que la distance au barrage et également la distance à la capitale explique le comportement de vente au particulier. La vente à particulier augmente avec l'éloignement du barrage, mais diminue avec l'éloignement de la capitale. En bref, plus on est loin du barrage et plus on est près de la capitale, plus la vente de particulier à particulier est importante.

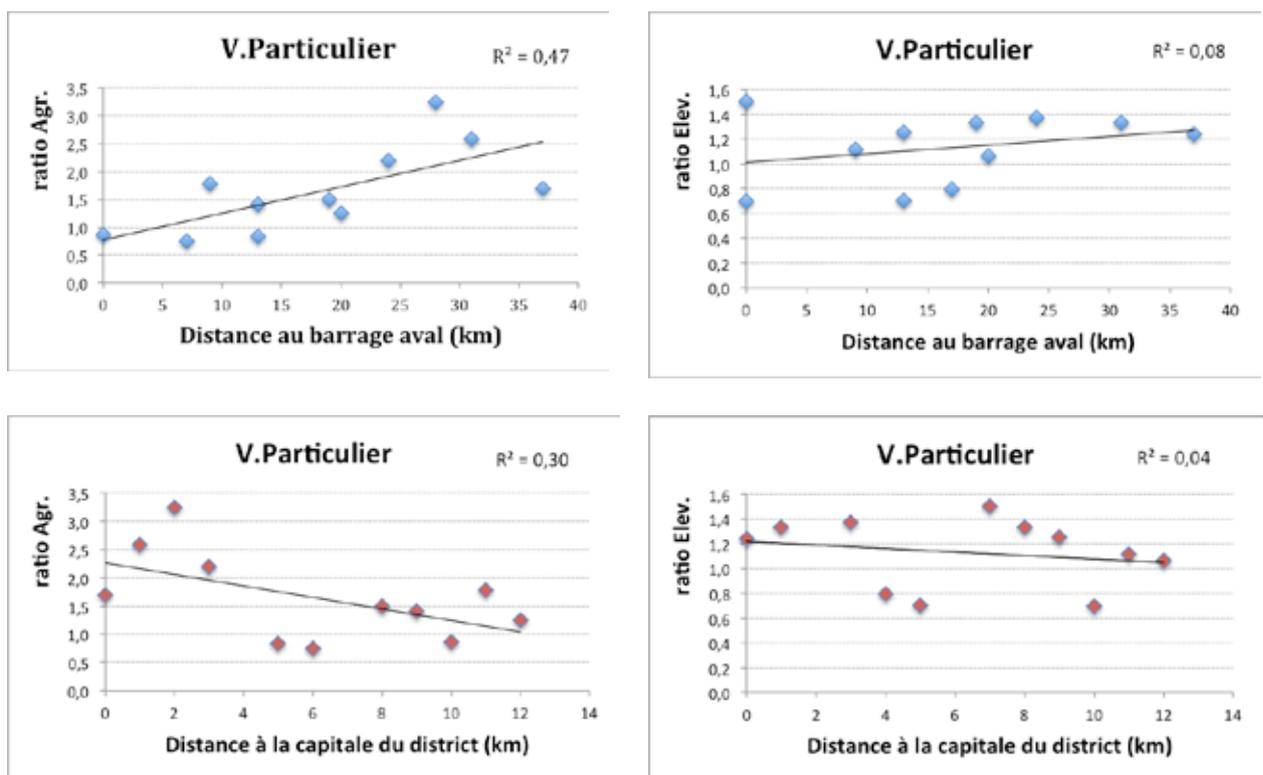


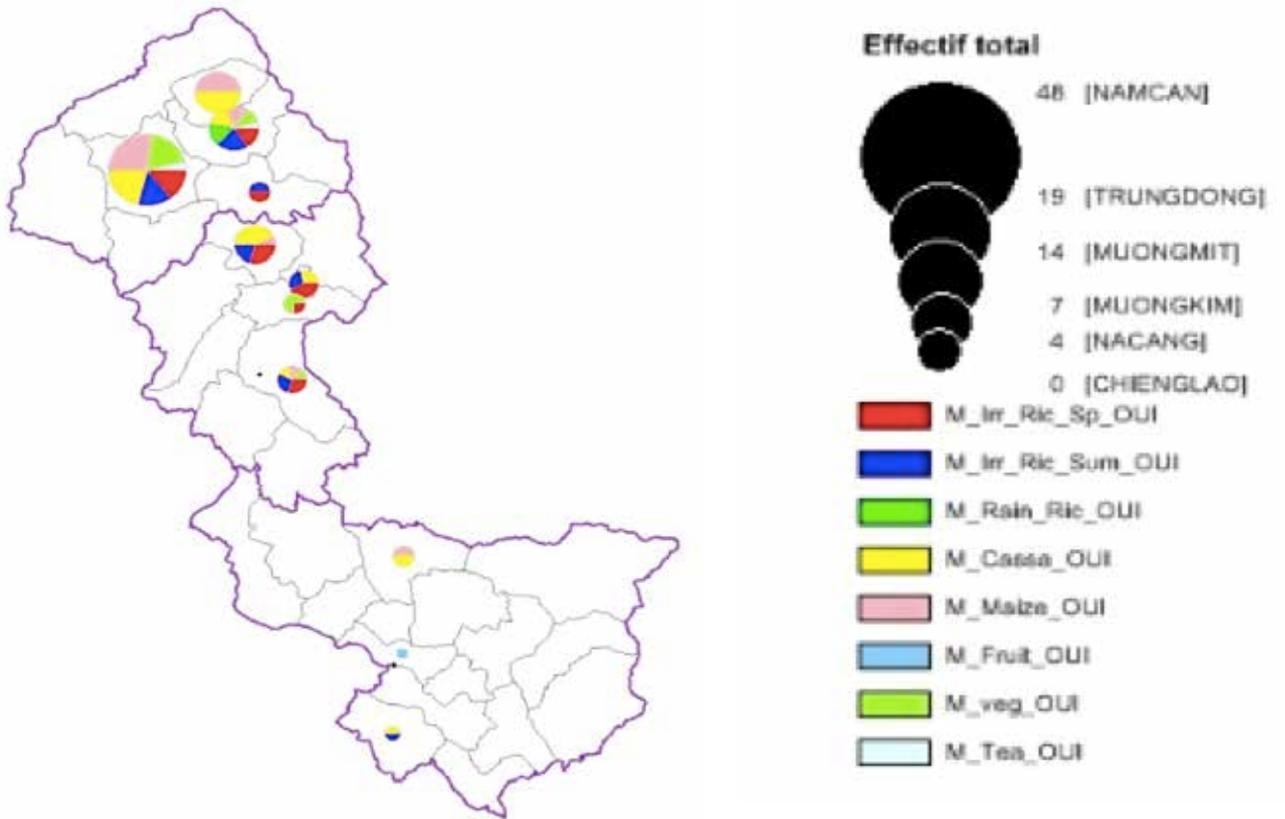
Figure 8. 6: Distribution des ratio de vente des produits de récolte (ratio Agr.) et d'élevage (ratio Elev.) vendus de particulier à particulier, en fonction de la distance de la commune au barrage aval, ou de la distance de la commune à la capitale du district.

### Les ventes sur le marché

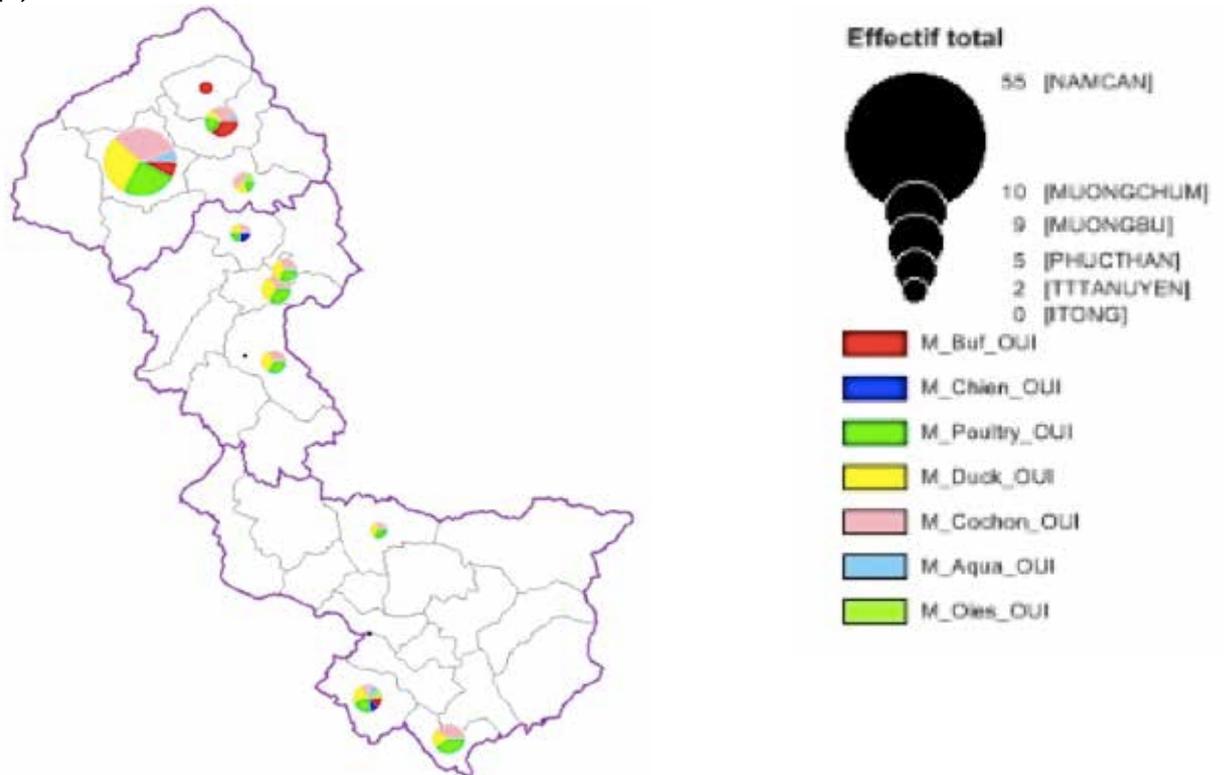
Il est remarquable que peu de produits sont vendus au marché. En règle générale, 90 à 100% des foyers enquêtés et pour toutes les communes, ne vendent pas leur produit au marché (Tableau 8.4). Cela souligne bien l'importance des ventes aux particuliers.

Tableau 8. 4: Distribution des produits agricoles vendus au marché.

Attribute	Gini	Distribution			
		Values	Count	Percent	Histogram
M_Irr_Ric_Sp	0.1127	NON	345	94.01 %	
		OUI	22	5.99 %	
M_Irr_Ris_Sum	0.1079	NON	346	94.28 %	
		OUI	21	5.72 %	
M_Cassa	0.1637	NON	334	91.01 %	
		OUI	33	8.99 %	
M_Maize	0.1409	NON	339	92.37 %	
		OUI	28	7.63 %	
M_Tea	0.0162	NON	364	99.18 %	
		OUI	3	0.82 %	
M_Poultry	0.1592	NON	335	91.28 %	
		OUI	32	8.72 %	
M_Duck	0.1547	NON	336	91.55 %	
		OUI	31	8.45 %	
M_Cochon	0.1813	NON	330	89.92 %	
		OUI	37	10.08 %	



(A) : Produits de récolte à vendre au marché



(B) : Produits d'élevage à vendre au marché

Figure 8. 7: Répartition géographique des produits de récolte (A) et d'élevage (B) vendus au marché, par le corpus de foyers ayant des produits à vendre.

Le produit le plus vendu est encore le cochon, mais avec seulement 10% des foyers faisant cette vente. Puis on trouve dans l'ordre : le poulet, le canard, le manioc, le maïs, un peu de riz irrigué de printemps ou d'été, et un faible pourcentage de vente de thé (1%). Fruits, buffles et légumes ne sont pas vendus par cette filière.

La répartition spatiale (Figure 8.7) montre un plus fort dynamisme dans le Nord de la zone d'étude, et principalement dans le district de Tan Uyen, avec toujours aussi une plus grande diversité des produits au Nord. Comme précédemment, la distance de la commune au barrage et à la capitale n'a aucune influence sur les ventes de produits d'élevage (Figure 8.8). Par contre, une très bonne corrélation ( $R^2=0,80$ ) apparaît pour la vente des produits de récolte en fonction de la distance à la capitale.

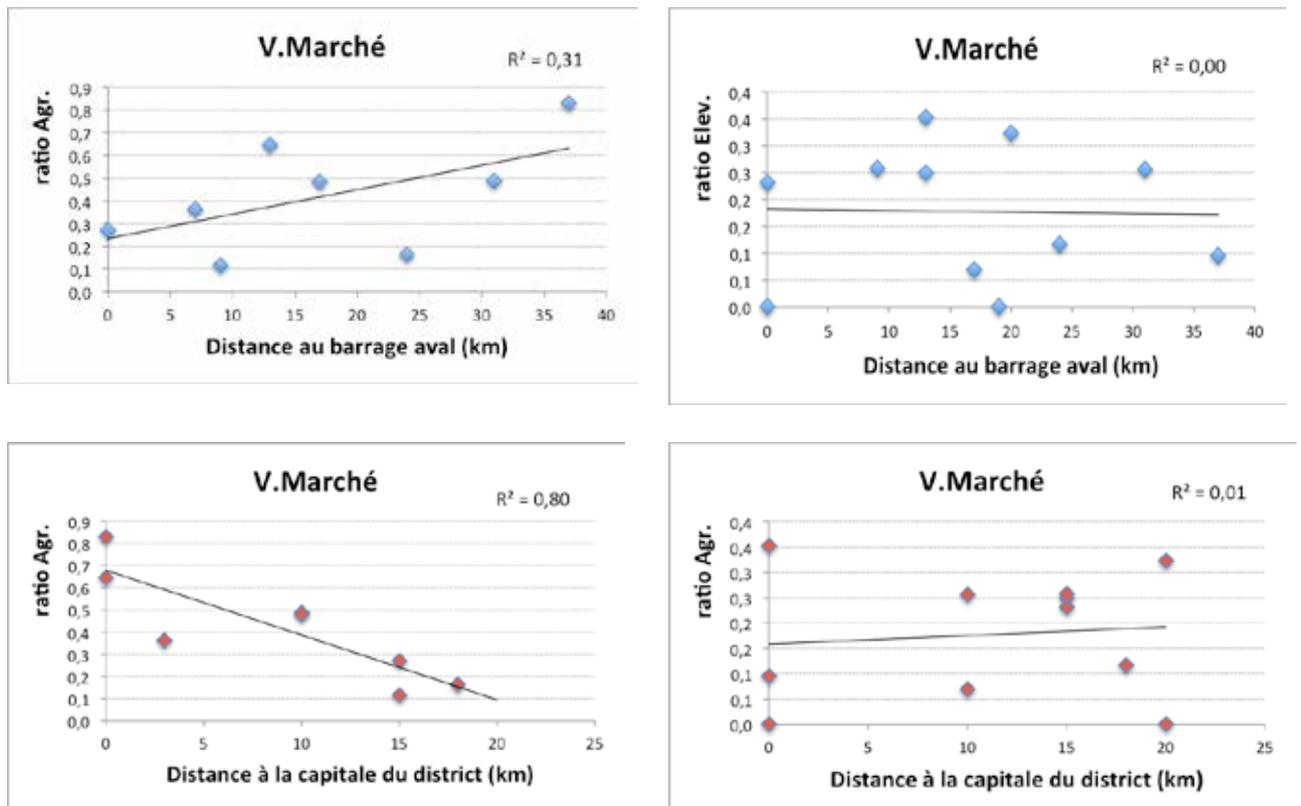


Figure 8. 8: Distribution des ratio de vente des produits de récolte (ratio Agr.) et d'élevage (ratio Elev.) vendus sur le marché, en fonction de la distance de la commune au barrage aval, ou de la distance de la commune à la capitale du district.

### Les ventes aux compagnies

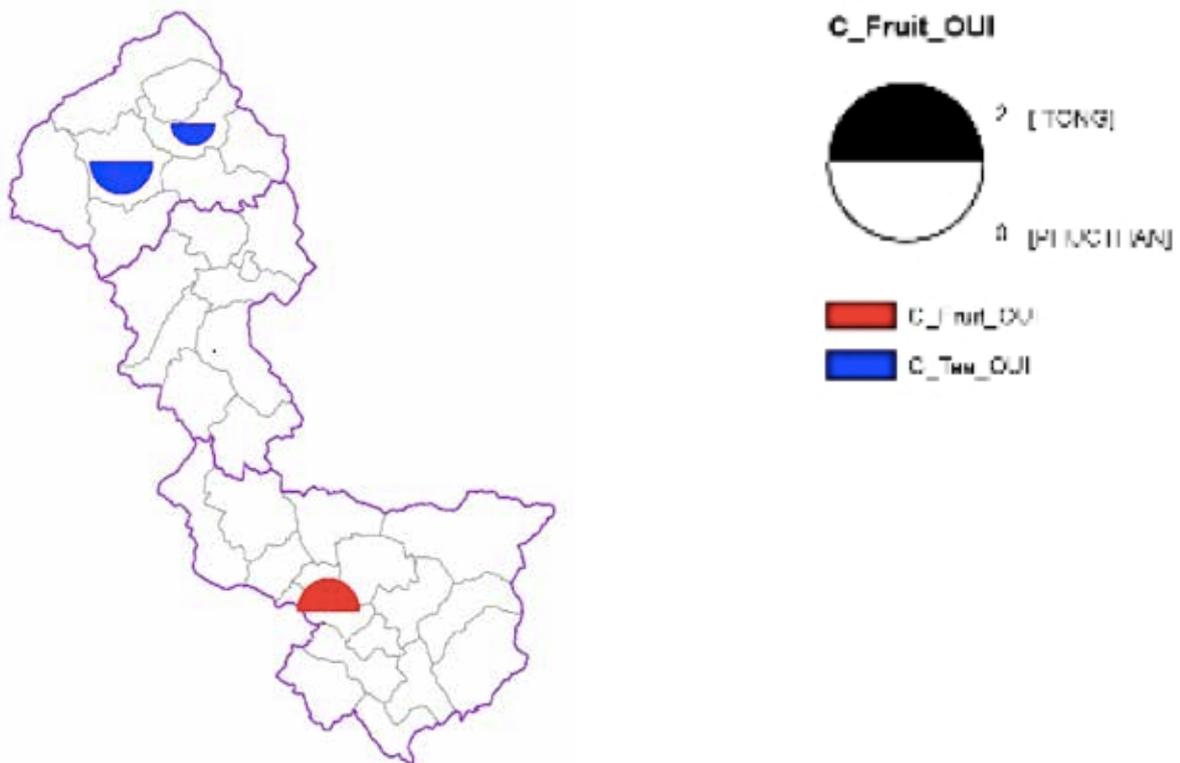
Les ventes aux compagnies sont quasi inexistantes. Elles ne représentent jamais plus de 1% des foyers enquêtés, ce qui ne fait à chaque fois que 2 ou 3 foyers sur les 367 enquêtés (Tableau 8.5). Trois foyers vendent du thé et 2 foyers vendent des fruits et/ou des poulets, des canards ou du cochon. La répartition spatiale (Figure 8.9) montre que le thé est vendu uniquement dans les communes de Trung Dong et Nam Can, les fruits uniquement dans la capitale Muong La, les produits d'élevage à Nam Can et Than Uyen.

Nous verrons plus loin, sur l'exemple détaillé de la commune de Nam Can que la vente de thé et des produits d'élevage est liée à l'installation récente d'une compagnie d'exploitation de thé, conformément à la planification générale nationale annoncée (cf. Figure 4.13).

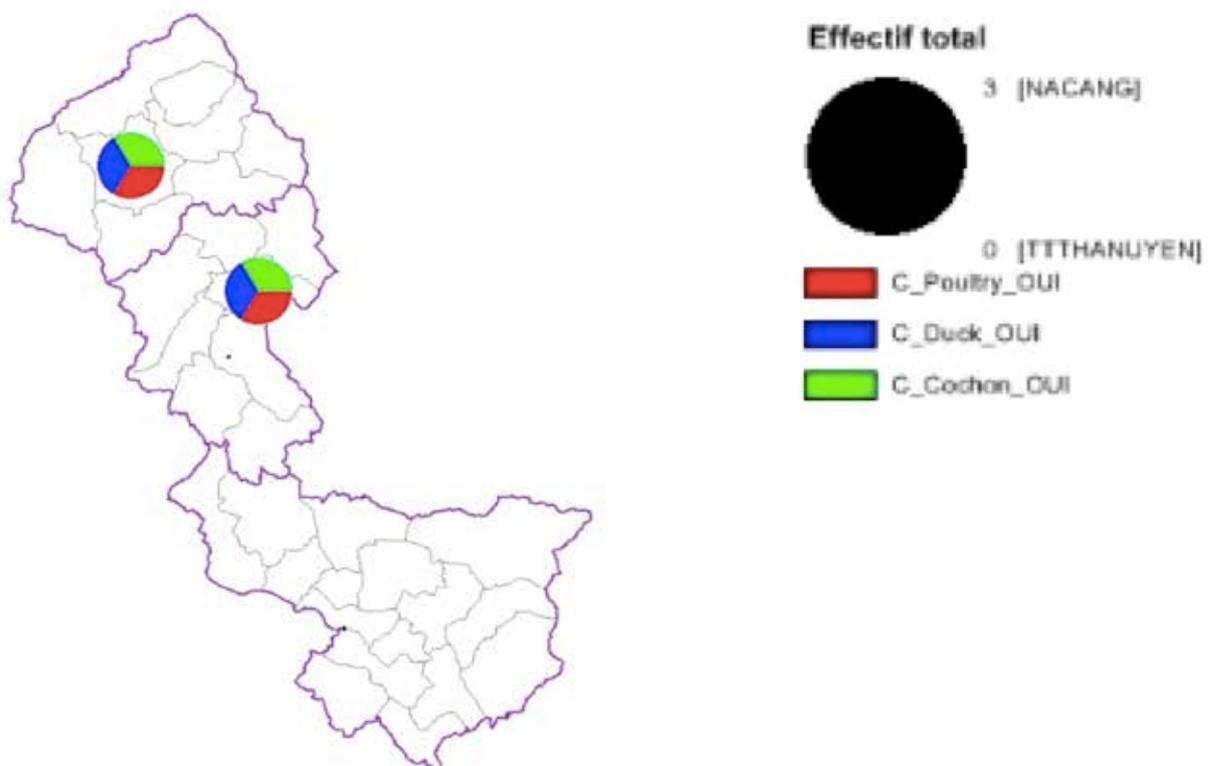
Bien sûr, aucune relation n'apparaît entre le nombre de foyer concerné par les ventes et la distance au barrage ou à la capitale.

Tableau 8. 5: Distribution des produits agricoles vendus aux compagnies.

Attribute	Gini	Distribution			
		Values	Count	Percent	Histogram
C_Fruit	0.0108	NON	365	99.46 %	
		OUI	2	0.54 %	
C_Tea	0.0162	NON	364	99.18 %	
		OUI	3	0.82 %	
C_Poultry	0.0108	NON	365	99.46 %	
		OUI	2	0.54 %	
C_Duck	0.0108	NON	365	99.46 %	
		OUI	2	0.54 %	
C_Cochon	0.0108	NON	365	99.46 %	
		OUI	2	0.54 %	



(A) : Produits de récolte à vendre aux compagnies



(B) : Produits d'élevage à vendre aux compagnies

Figure 8. 9: Répartition géographique des produits de récolte (A : Fruit en rouge et thé en bleu) et d'élevage (B : poulet en rouge, canard en bleu et cochon en vert) vendus aux compagnies, par le corpus de foyers ayant des produits à vendre.

## Conclusion

Finalement, les ventes aux particuliers dominent encore largement la vie économique de la région. A peu près 90% à 40% des foyers sont concernés par ce type de vente. Seulement 10% des foyers vendent leur produit sur le marché et pratiquement personne ne vend ses produits contractuellement à une compagnie. Cela souligne l'enclavement économique existant encore dans la zone d'étude. Ainsi, on peut conclure qu'après 10 ans des démarrages des travaux du barrage de Son La, les habitudes économiques, et sûrement aussi le tissu économique, de la région n'ont pas été modifiées. On note aussi que la zone Nord de la zone d'étude semble la plus active. Nous essaierons de comprendre pourquoi dans la suite.

Par ailleurs, la proximité de la capitale du district est assurément un atout majeur au dynamisme économique. Cela doit souligner aussi que probablement les communes les plus éloignées des capitales sont les plus pauvres.

Par contre, il semble que la proximité des barrages ne soit pas un facteur positif pour les échanges économiques. Cela pourrait laisser entendre que les villages les plus pauvres soient à proximité des barrages.

### **8.3- Structuration de l'espace géographique**

Nous venons de voir que la structuration des foyers est le facteur primordial des caractéristiques socio-économiques des familles. Cependant, l'analyse de la répartition spatiale des pratiques de vente montre une différenciation Nord-Sud dans notre zone d'étude.

Pour aller plus loin, nous allons appliquer l'analyse spatiale sur les 173 foyers enquêtés déplacés (cf. Tableau 8.1) auxquels nous avons ajoutés des entretiens faits dans 3 nouvelles communes que sont : Pha Mu (à proximité de

Muong Mit, district de Than Uyen), Muong Trai et Pi Toong (tous deux à proximité de Muong La, district de Muong La). Ces communes sont situées sur la carte de la Figure 7.2. Cela représente donc un total de 268 foyers déplacés.

### **8.3-1. Structuration de l'espace qui évolue au gré des satisfactions locales**

Nous avons vu plus haut que l'espace factoriel qui résume la structure de l'information issue des enquêtes sur la thématique des barrages s'organise principalement autour de trois dimensions : les ressources financières des foyers; la structure familiale des foyers ; et les modalités de vente des produits agricoles du foyer. Nous avons vu que sur ce dernier axe, il existait une structuration géographique Nord-Sud. Nous nous interrogeons désormais pour savoir si cette répartition géographique est liée à l'existence des barrages ?

Comme indiqué dans la première partie, la mise œuvre des politiques de barrage hydroélectrique oblige le déplacement des populations locales. Ces relocalisations des populations n'ont pas entraîné une différenciation régionale ou par commune de la structure des foyers (Figure 8.10). Que ce soit l'âge du chef de foyer, le nombre de personne par foyer ou le nombre de personne actives dans le foyer, la distribution relative de ces variables est équivalente sur l'ensemble de la zone.

Par conséquent, il est clair que les variables qui organisent les deux premiers axes de l'espace factoriel représentant les structures familiales ne sont pas significatives dans l'espace géographique. A quelques nuances près, on observe les mêmes répartitions de valeurs du Nord au Sud et d'Est en Ouest.

Les variables discriminantes de l'AFC ne le sont donc pas toutes pour la cartographie. Ainsi les pratiques sociospatiales ne s'identifieront pas par rapport à la structure familiale.

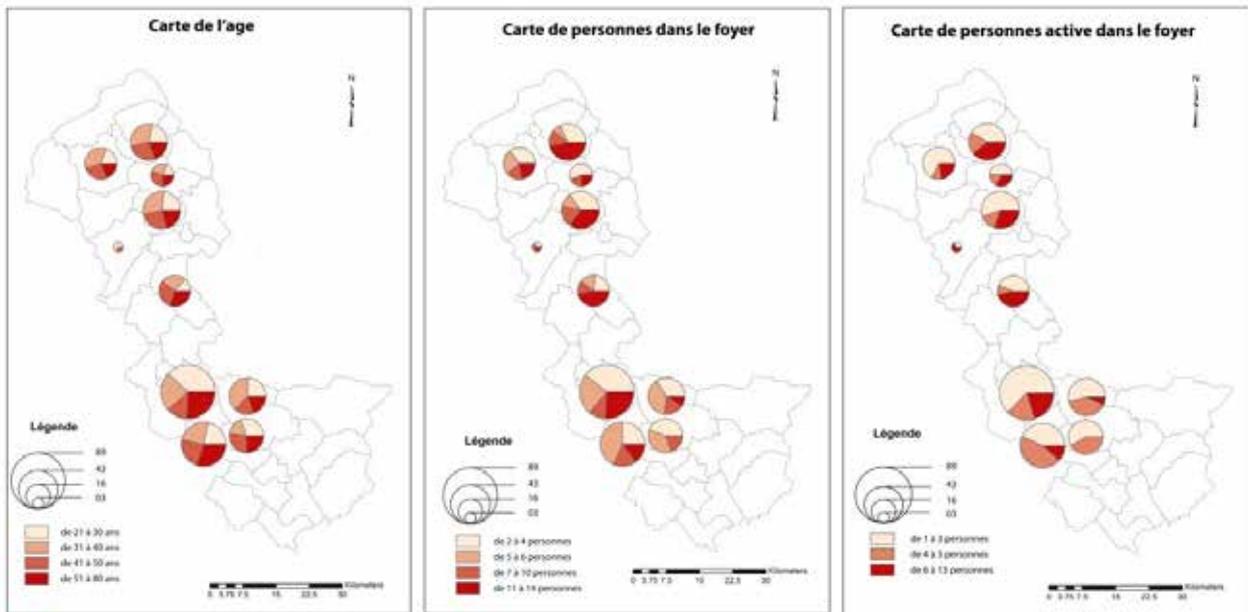
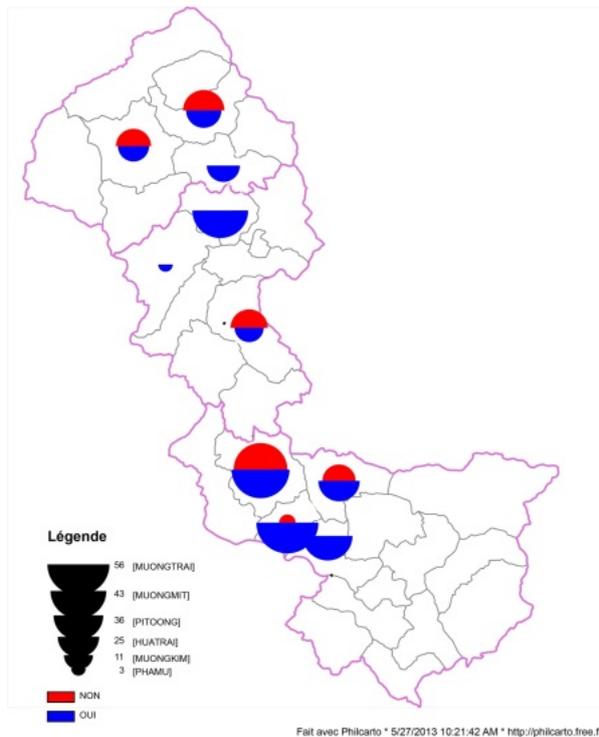


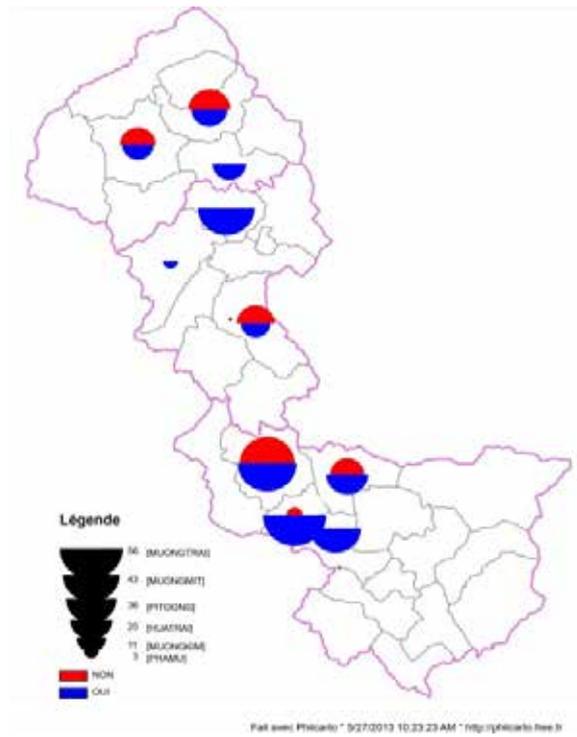
Figure 8. 10: Répartition géographique de la structure des foyers par, de gauche à droite, âge du chef de famille, nombre de personne dans le foyer et nombre de personnes actives dans le foyer.

Regardons maintenant les variables qui caractérisent les modes de dédommagements liés aux relocalisations (Figure 8.11). Sur le corpus enquêté, la répartition géographique du ratio « gens déplacés / gens non déplacés » semble relativement équivalente du Nord au Sud (Figure 8.11 A). Et tous les gens déplacés ont une nouvelle maison (Figure 8.11 B).

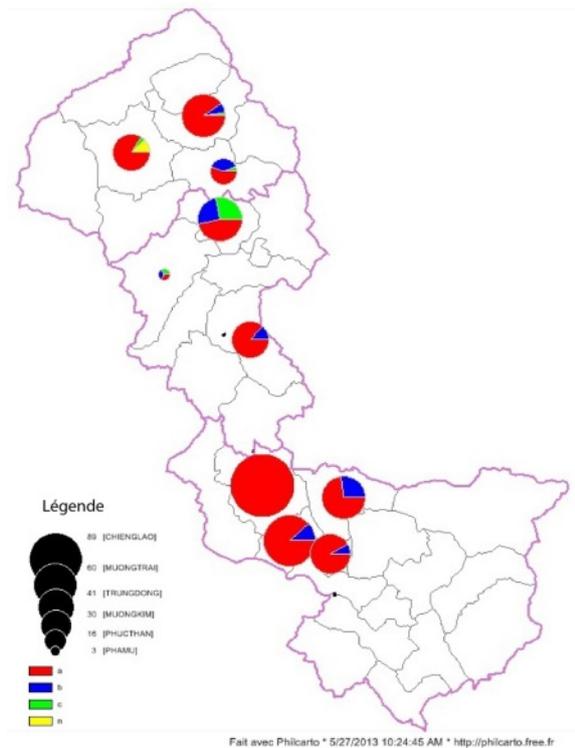
Par contre, la variable indiquant la satisfaction des mesures liées au déplacement montre clairement une structure géographique (Figure 8.11 C). On n'est moins satisfait au Nord qu'au Sud. En effet, bien que le corpus interrogé au Sud soit deux fois supérieur à celui du Nord, on ne trouve aucun foyer mécontent des mesures de dédommagement dans le Sud. Par contre, au Nord, le mécontentement apparaît dans les 5 communes enquêtées (les 3 communes du district de Tan Uyen, et les 2 communes les plus septentrionales du district de Than Uyen).



(A) : Foyer déplacé : OUI en bleu.



(B) : Nouvelle maison : OUI en bleu.



(C) : Satisfaction des mesures liées au déplacement. Rouge : très positif ; Bleu : positif ; Vert : modéré ; Jaune : négatif.

Figure 8. 11: Répartition géographique des mesures de dédommagement dans la zone d'étude.

Pour expliquer cette différenciation géographique, nous avons réalisé une ACP sur le corpus constitué des communes possédant des foyers déplacés et sur les variables de déplacement, de distance au barrage et de satisfaction (Figure 8.12). Les axes factoriels F1 et F2 expliquent 88% de la structure de cet univers. On distingue un axe 1 décrivant un axe « % de déplacement / distance au barrage » et un axe 2 décrivant un axe « satisfait / non satisfait ». L'axe 1 indique que sur notre corpus interrogé, la majorité des foyers ont été déplacés à proximité des barrages, ce qui est logique.

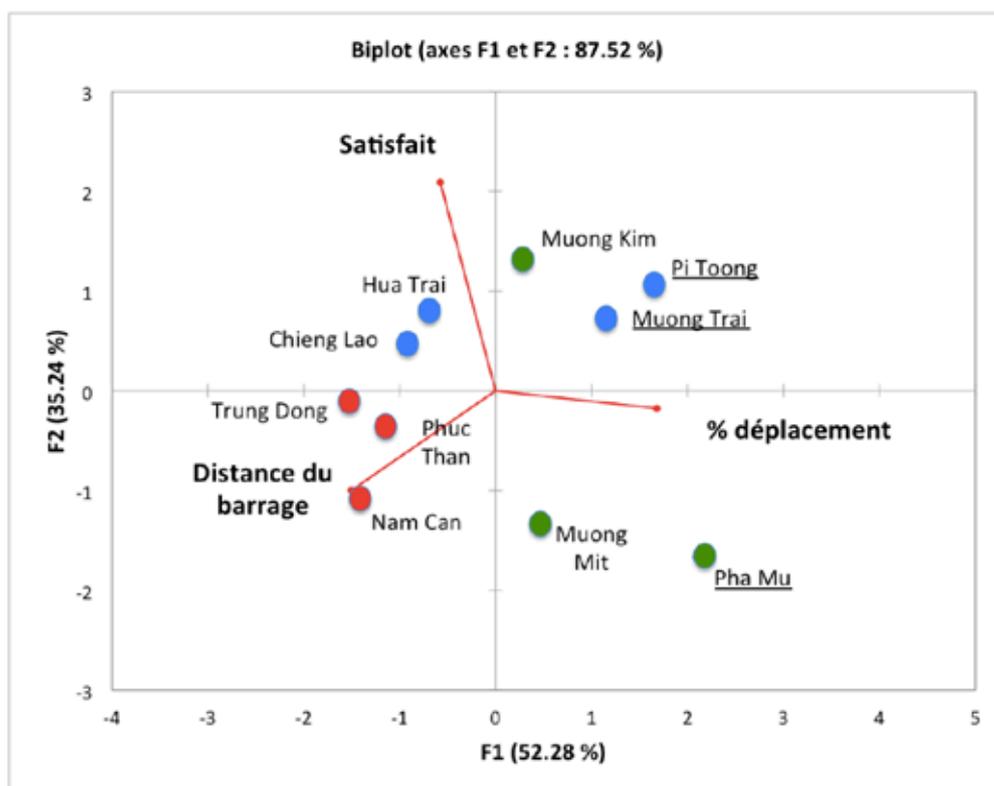


Figure 8. 12: ACP sur les communes ayant des foyers déplacés, en fonction des nombres de foyers satisfait, du pourcentage de déplacés dans la commune et de la distance au barrage le plus proche aval. Les 3 Nouveaux Villages (possédant donc 100% de foyers déplacés) sont indiqués en soulignés. En Rouge : district de Tan Uyen (au Nord de la région) ; en Vert : district de Than Uyen (au Centre de la région) ; en Bleu : district de Muong La (au Sud de la région).

Il semble aussi que le sentiment de satisfaction au sein de la commune est plus lié à la distance au barrage de cette commune qu'au pourcentage de foyers déplacés dans la commune. Ainsi les 3 nouveaux villages n'apparaissent

pas grouper sur le plan factoriel principal. Mais la distance au barrage n'est pas suffisante pour expliquer le degré de satisfaction, il semble que la politique nationale d'aménagement du territoire puisse être aussi un facteur déterminant de satisfaction ou non.

### **8.3-2. Des pratiques agricoles qui évoluent au gré des politiques nationales**

On a vu dans le chapitre 6 que les usages des sols ont évolué exceptionnellement rapidement d'une décennie à l'autre sans montrer aucune tendance.

L'exemple de la forêt est significatif. Depuis 2000, la forêt a été très fortement protégée par la politique nationale, surtout dans les communes du Nord de notre zone d'étude, avec la construction du Parc Naturel de Hoang Lien Son (Figure 4.13). Cette politique de protection de la forêt s'est accompagnée d'un soutien alimentaire pour les participants à cette protection en promouvant la conversion des terres cultivées sur pente en zone de forêt à raison de 10 millions de dôngs / ha. La superficie de forêt a effectivement augmenté de 1993 à 2009, puis s'est écroulée entre 2009 et 2013, à la faveur des monocultures annuelles sur pente encore très répandues et qui ont progressé ces 4 dernières années (Figure 6.18). La politique nationale a donc été détournée (Clément et al., 2009).

On retrouve la même chose concernant la politique d'aménagement liée aux grands barrages hydroélectriques. Le gouvernement Vietnamien a également défini une réglementation socioéconomique pour la distribution des terres dans les zones de relocalisation, afin d'assurer la vie et les intérêts des foyers déplacés (cf. chapitre 2). Cependant, nos enquêtes dans les villages de réinstallation donnent une preuve indéniable que le système de transport, d'approvisionnement électrique, d'école et infirmerie communale ne sont souvent pas en place à l'arrivée des populations. Et dans tous les cas, ces structures sont mieux dans les anciens villages. Nos enquêtes montrent aussi que le manque de terres pour la

production agricole, les sols infertiles, le manque de main d'oeuvre, le manque d'accès à l'eau potable et le manque d'eau pour l'irrigation sont des problèmes récurrents, que les programmes de dédommagement n'arrivent pas à contrôler.

Il est donc clair que les politiques de dédommagement ne sont pas « assez fortes » pour améliorer les conditions de vie des foyers déplacés, et assurer ainsi une stabilité des pratiques sociospatiales.

Nous allons voir maintenant à partir de l'exemple d'une commune comment les populations se sont déplacées au sein de la commune pour gérer l'accès à la terre arable, ce qui est le point fondamental des économies de subsistance (Castella et Dang Dinh Quang, 2002 ; Clément et Amezaga, 2009).

#### **8.4- Des pratiques en pleine mutation au niveau des zones directement impactées par la construction des barrages : exemple de la commune de Nam Can<sup>16</sup>**

La commune de Nam Can se situe dans le district de Tan Uyen, à une quinzaine de kilomètres de la capitale de district, et à une trentaine de kilomètres du barrage de Ban Chat. Elle a fait l'objet d'un suivi socio-économique spécifique à partir d'entretiens ouverts menés sur deux saisons, entre 2009 et 2010.

Il se trouve que c'est la commune qui a montré le plus grand taux de mécontentement avec 25% des foyers non satisfaits. Qu'en est-il ?

---

<sup>16</sup> Cette partie est tirée d'un papier présenté par l'auteur en 2011 à la 7<sup>e</sup> Conférence Internationale de l'Asian Society of Agricultural Economists (ASAE) :

Nguyen Van Thiet, Orange, D., Pham, V.C., Tran, D.T., Hoffmann, F., Pomel, S., Laffly, D., 2011. Impact assessment of hydropower dam on erosion risk within a hilly agricultural area: example of the Ban Chat dam (Northern Vietnam). *International conference ASAE: Meeting the Challenges Facing Asian Agriculture and Agricultural Economics Toward a Sustainable*, Hanoi, 13-16 October 2011, IRD Bibliographic Base Horizon, IRD: 18 p.

#### 8.4-1. Présentation de la commune de Nam Can

La commune de Nam Can a une superficie de 13 418 ha pour une population de 1 920 habitants en 2009. Le paysage est caractérisé par un relief de petites montagnes avec majoritairement des pentes de 15-20°. Il existe deux principales vallées orientées NW-SW (Figure 8.13), représentant la zone amont de la Mu River, rivière sur laquelle est installée le barrage de Ban Chat à 30 km à l'aval de Nam Can.

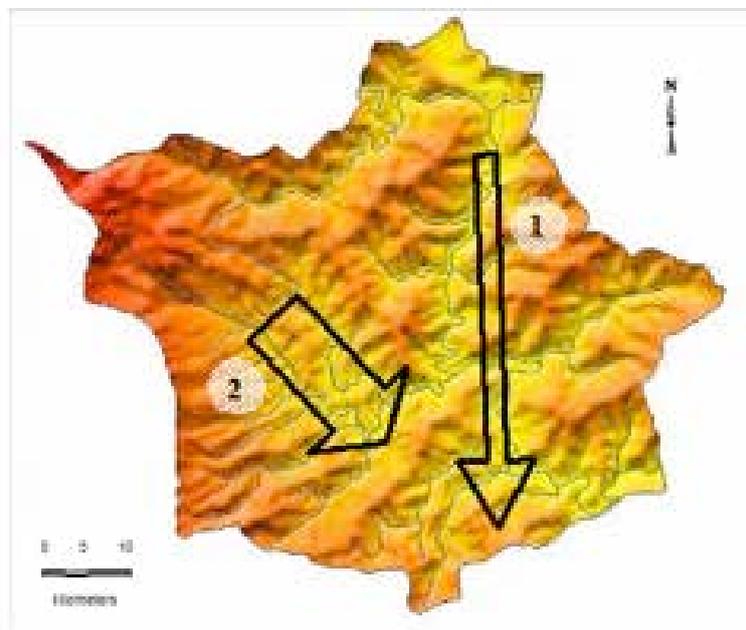


Figure 8. 13: Carte hypsométrique de la commune de Nam Can (district de Tan Uyen), indiquant les deux vallées hydrologiques principales : (1) Nam Mu River ; (2) rivières de Hua Can et de Hua Pong.

La population compte environ 330 foyers, se répartissant dans 10 villages administrés par le People Committee de Nam Can (Figure 8.14). Quatre nouveaux villages se sont installés, créés par des populations venant de communes voisines. Bien qu'exploitant les terres et eaux de Nam Can, ils restent sous la juridiction de leur commune d'origine. Il faut noter aussi

qu'aucune statistique n'existe pour ces 4 villages « d'envahisseurs » (pour reprendre la terminologie locale).

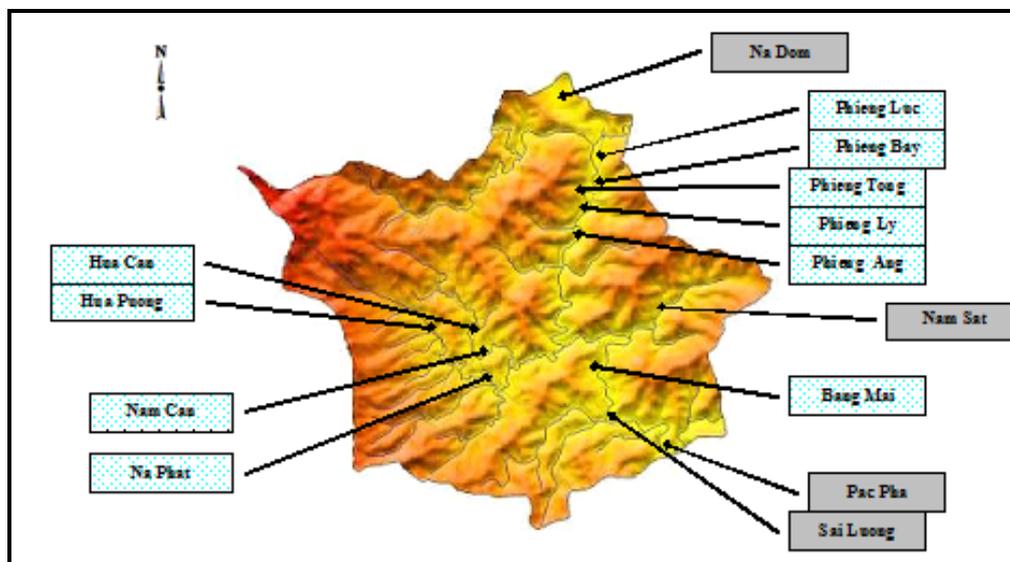


Figure 8. 14: Localisation des 10 villages de la commune de Nam Can (en couleur bleue), et positionnement des 4 nouveaux villages de relocalisation (en couleur grise) de foyers déplacés.

Selon l'administration forestière de Tan Uyen, le couvert forestier représenterait uniquement 12% du territoire de la commune (1600 ha) en 2009, avec 30% pour les forêts plantées (environ 480 ha). Les terres agricoles représentaient 730 ha, soit seulement 5,5% de la commune. Il resterait donc 82,5% de la commune (soit 11 100 ha) en zone non-exploitée. La comparaison des informations fournies par le Comité Populaire de Nam Can avec celles fournies directement par les agriculteurs et les chefs de village montre beaucoup d'incohérences, même pour les terres notariées. Ceci pointe la complexité des systèmes d'enregistrement des surfaces cultivées au niveau de la commune et donc des systèmes d'évaluation et de compensation des terres. Il en sera donc pire ensuite au niveau du district, puis de la province, etc.

Après harmonisation de notre banque de données, on retiendra qu'en 2009 : les rizières occupent la plus grande partie des terres agricoles de la commune (35%), puis le manioc (28%) et le riz sur pente (25%). Les cultures annuelles sur pentes représentent au total de 11% des terres agricoles avec le maïs (9%) et un faible pourcentage de soja (2%) et les arachides (<1%). Et d'après nos cartes d'usage réalisées avec les agriculteurs des 14 villages, nous retiendrons que les 10 villages officiels utilisent 9450 ha, soit 70% de la superficie totale de la commune. Les 30% restant sont exploités par les 4 nouveaux villages.

La population de la commune est constituée en large majorité de Thai (97,5%), et une minorité de Kho Mu (2,5%) qui sont tous regroupés dans le village de Phieng Ly uniquement. Leurs habitudes diffèrent peu sur tous les aspects de la vie courante (cf chapitre 2).

Aucune donnée statistique n'est disponible sur l'évolution démographique de la population de Nam Can. D'après nos entretiens avec les populations locales, il semble que le taux de naissance a diminué de façon spectaculaire ces vingt dernières années, avec actuellement deux à trois enfants par femme contre 3 à 7 ou plus dans les années 1970. Ce phénomène est probablement à la fois le résultat des programmes de planification familiale gouvernementaux et d'une évolution naturelle des mœurs, sûrement liée récemment à la réduction progressive des superficies de terres agricoles, notamment de terres de bas-fonds, disponibles par ménage.

En ce qui concerne le travail, il n'existe également pas de données sur l'emploi. Les entretiens avec les parties prenantes locales et les enquêtes agricoles nous permettent d'estimer que 99% des actifs (par exemple, toute personne ayant la capacité de travailler entre 18 et 60 ans) sont, au moins pour une partie de l'année, engagée dans l'agriculture familiale. Pourtant, dans le secteur de l'agriculture familiale, organisée en unités d'«exploitation

familiale», il est pas rare qu'un ou plusieurs membres de la famille participent à une activité extérieure pour compléter le revenu agricole. L'emploi non agricole consiste en des activités saisonnières ou à temps partiel qui peuvent être classées en quatre catégories:

- Location de travail, le plus souvent par des jeunes hommes, à d'autres fermes, à des plantations forestières (de Quyet Thien<sup>17</sup>), ou comme ouvrier de construction pour la collectivité (routes, dragage de la rivière, etc) ;
- Les artisans: charpentiers, fabrication d'outils agricoles par les hommes, de l'artisanat (de vêtements traditionnels, des broderies, des sacs, des paniers tressés ...) par les femmes ;
- Récolte et vente de bois de chauffage et d'autres produits forestiers non ligneux ;
- Le commerce d'épicerie de produits de base (riz, viande et poisson, nuoc mam, huile, biscuits et bonbons, alcool, maïs, tabac, gazole, produits d'hygiène, petit mobilier ...).

Si des différences significatives dans la distribution de l'âge et le sexe ont été observés pour les trois premières catégories, la répartition des rôles entre les membres de la famille dans la quatrième semble être plus variable.

Enfin, le travail non-agricole dans l'administration locale représente 1% de la population (par exemple, chef de village et membre du People Committee).

---

<sup>17</sup>The company Quyet Thien exploits 936 ha in the commune with forest plantations since 2009. During the three months of labor peaks (April to June) they employ from 150 to 200 people per day for digging the holes, maintaining the nursery and planting trees.

#### **8.4-2. Les structures de gouvernance**

Au-delà des facteurs culturels, politiques et historiques, l'organisation communautaire de la commune de Nam Can a été façonnée par une exclusion de longue durée du monde extérieure caractérisée par une agriculture traditionnelle de subsistance. Dans ce contexte, la solidarité a joué un rôle central dans l'organisation sociale pour faire face aux péripéties de la vie et aux aléas de la production agricole. Bien que la solidarité s'exprime pour une grande partie dans le cercle de la famille élargie, elle dépasse souvent aussi la simple frontière du village et elle a abouti à une organisation communautaire structurée. Plus précisément, l'organisation communautaire vise à fournir les services suivants:

(i) fournir une structure de prise de décision et la résolution des conflits sous la forme du conseil du village;

(ii) aider les foyers qui ont des difficultés familiales ou agricoles par la mise à disposition d'un fond financier ou d'autres mécanismes de solidarité au niveau du village;

(iii) fournir un cadre juridique en ce qui concerne le partage des ressources, l'échange de travail et la participation des ménages dans les tâches qui profitent à la communauté dans son ensemble, comme l'entretien du réseau d'irrigation, réparation des routes, etc.

Avec l'assimilation des groupes ethniques Thai et Kho Mu, cette organisation sociale a été progressivement recouverte par le modèle de gouvernance Kinh (Figure 8.15). Ainsi le conseil de village est devenu la structure décisionnelle, même si les règles traditionnelles définissant les droits et les devoirs des individus en ce qui concerne la communauté et le fond financier du village sont encore en cours.

Les membres du conseil du village, choisis par la communauté conformément aux lois traditionnelles, deviennent fonctionnaires reconnus par l'administration de la commune, et veillent à l'application de la loi vietnamienne dans leur communauté. En outre, ils ont pour obligation de:

- (i) fournir à la commune les statistiques relatives à toutes les questions;
- (ii) transmettre au village les informations en provenance du district ou de la commune ;
- (iii) déposer les plaintes ou demandes du village à la commune ou district;
- (iii) superviser la mise en œuvre de toutes les activités, décidées au niveau communal ou du district.

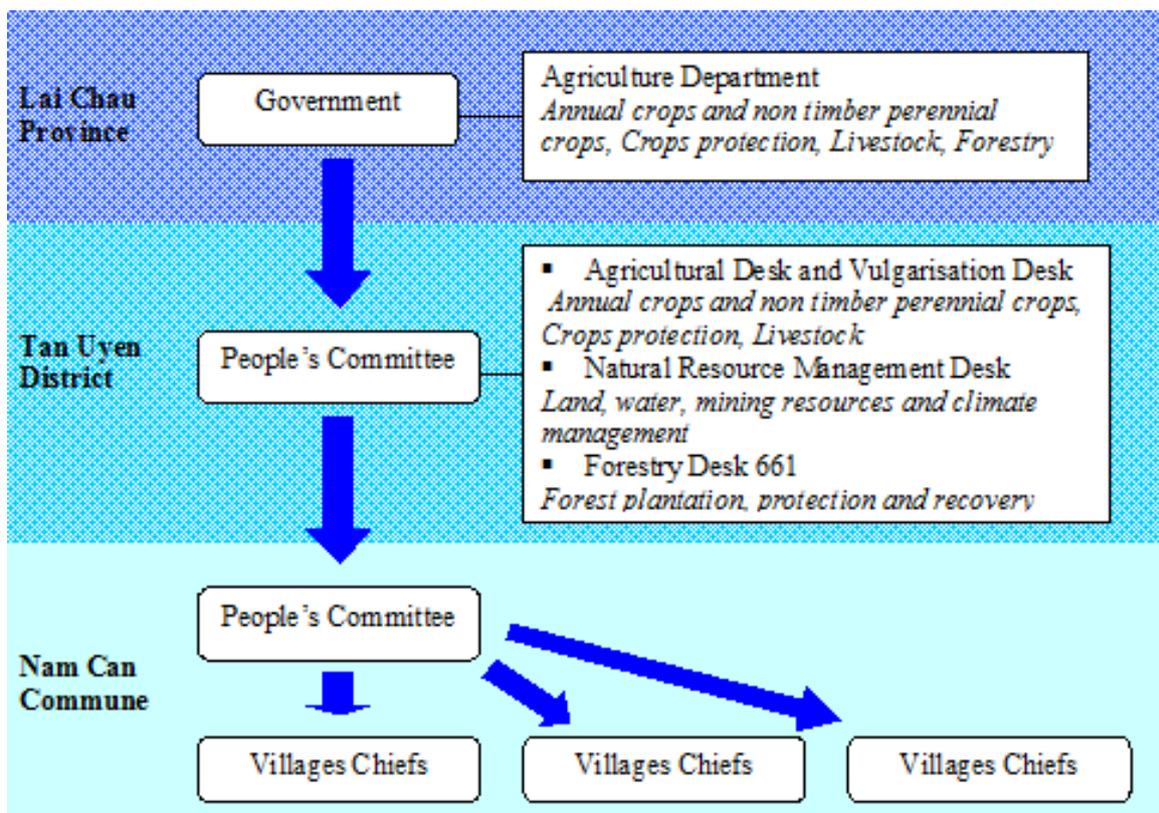


Figure 8. 15: Structure de la gouvernance de la Province jusqu'à la commune de Nam Can et les villages.

Ainsi, la mission de chef de village consomme beaucoup de temps et implique de nombreux voyages à travers la commune pour assister à des réunions régulières (généralement une fois par semaine). Ils sont désignés tous les cinq ans par les membres de la communauté du village à travers un processus démocratique.

Par ailleurs, les communautés ont dû se réorganiser selon le schéma associatif national vietnamien afin de bénéficier des soutiens du gouvernement, on trouve donc: l'association des agriculteurs, l'association des femmes, l'association des jeunes, l'association des aînés, l'association des anciens combattants.

Chaque association est constituée de membres et un responsable de l'association. La moitié des fonds collectés est transférée à l'association similaire de niveau communal, l'autre partie sert à mettre en œuvre les activités de l'association du village et soutenir les réunions ou différentes activités.

Parallèlement à ces structures, le parti communiste est constitué d'un secrétaire, un vice-secrétaire et les membres dans chaque village sont chargés de fournir des informations pour la bonne gouvernance liée à toutes les questions (légal, pratiques culturelles, etc.). Ses représentants travaillent en collaboration avec les décideurs, les chefs de village ou le secrétaire du parti communiste.

## **8.4-2. Intégrer les données de l'enquête aux statistiques du district sur l'évolution des parcelles agricoles**

### **8.4-2.1. *La réalité des chiffres***

La description précédente de l'organisation de la vie des villages au sein de la commune laisse pressentir que les chiffres issus des statistiques administratives seront entachés de beaucoup d'incertitudes, et que souvent ces chiffres

n'existeront pas. C'est là sûrement une des bases des principaux problèmes de la mise en application des programmes de dédommagement.

Par ailleurs, la notion d'occupation annuelle des terres pour une pratique agricole donnée est difficile à appréhender, du fait que ces pratiques ne sont souvent pas annuelles. En effet, chaque cycle de culture sur pente (riz, manioc et maïs) est inférieur à une année. Ainsi les cultures annuelles se caractérisent par des cycles annuels intégrant à la fois culture sur pente et jachère. De plus, la durée de chaque cycle de culture dépend de la fertilité du sol et de la pratique choisie par l'agriculteur. Par exemple, pour le manioc, deux pratiques culturales peuvent être appliquées:

- (i) le manioc est planté avec une forte densité et les champs ont laissés en jachère pendant une année tous les trois ans;
- (ii) le manioc est planté avec une densité plus faible et ne nécessite pas de jachère pour restaurer la fertilité des sols.

Dans le premier cas (i), les agriculteurs déclarent généralement une jachère, mais pas la culture de manioc. Il faut donc estimer cette surface pour le manioc. De même pour le maïs, il peut être cultivé sous différents systèmes: dans un champ de riz après récolte, ou en monoculture, ou associé avec le soja sur le bord des rivières, ou encore associé avec le manioc sur un terrain plat. Ainsi le pourcentage indiqué ne prendra pas en compte les surfaces de chevauchements entre le riz de bas-fond et le maïs dans le cas où il est cultivé dans la rizière, entre le soja et le maïs dans le cas des cultures sur les berges de rivière, et entre le manioc et le maïs dans le cas de terrain plat. Enfin, le soja et les arachides sont toujours insérés dans les autres systèmes de culture (riz, maïs ou légumes dans le jardin) ou associés avec d'autres cultures (maïs ou de légumes dans le jardin). Ainsi, la surface occupée par le soja et l'arachide ne doit pas être prise en compte pour éviter le double comptage des superficies cultivées par le foyer.

Tous ces exemples pour montrer toute la difficulté des estimations des surfaces de terre réellement utilisées par les agriculteurs dans cette région.

#### **8.4-2.2. Inadéquation entre les surfaces déclarées et les utilisations, source du mécontentement des populations locales**

La carte d'utilisation des terres du bureau de l'Agriculture de Tan Uyen (TUAD) indique que l'agriculture et la sylviculture (rizières, cultures annuelles sur pente et parcelles forestières) ne représentent que 17% de la superficie totale de la commune. Il reste donc officiellement 83% de la superficie indiquée comme «terre montagneuse non utilisée» ou «terre basse non utilisée », c'est-à-dire que ces zones sont considérées comme des jachères ou forêts secondaires dégradées. Et c'est sur cette base que les politiques de relocalisation sont construites par le district.

Or il est évident que d'après nos entretiens et enquêtes locales, ces chiffres sont complètement erronés. Nous considérons effectivement que 70% de la surface de la commune (exactement 8 731 ha) est exploitée par les 10 villages officiels (Tableau 8.6). La surface disponible moyenne par habitant dans la commune est de 4,5 ha/hab. Mais celle-ci varie considérablement entre villages: de 1,4 ha/hab à Phieng Tong et 14,2 ha/hab à Phieng Ly (Figure 8.16).

*Tableau 8. 6: Surface disponible par village et par habitant dans la commune de Nam Can (surfaces calculées à partir de nos entretiens et après l'installation de la Compagnie Forestière de Quyet Tien).*

	Phieng Ang	Phieng Bay	Phieng Luc	Phieng Ly	Phieng Tong	Bang Mai	Na Phat	Hua Can	Hua Puong	Surface totale pour la commune
Surface totale (ha)	724	481	220	638	172	851	2,659	1,557	1,428	8,731
Surface par habitant (ha/habitant)	4,6	1,9	2,4	14,2	1,4	5,7	4,9	7,6	4,1	4,5

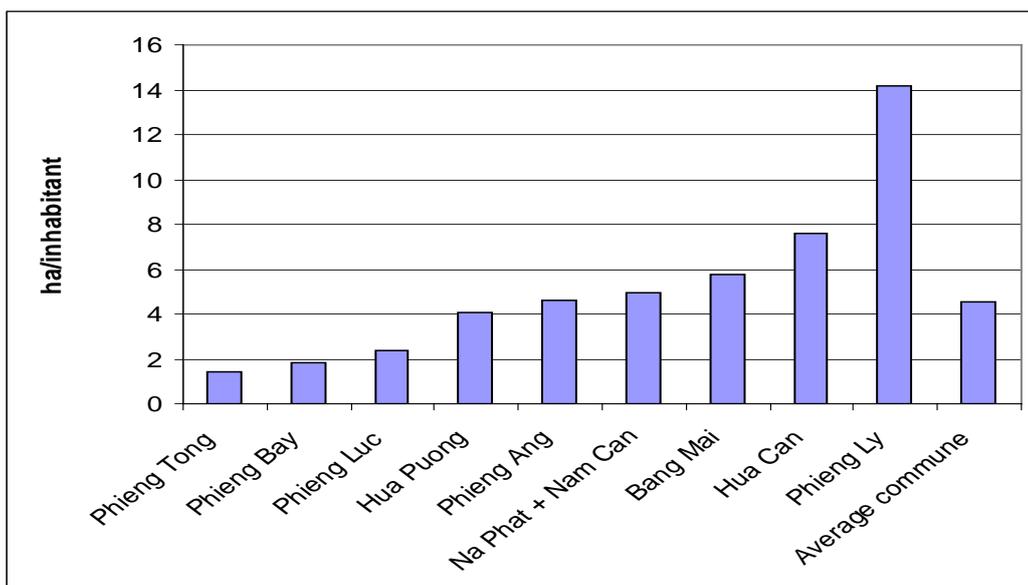


Figure 8. 16: Surface disponible par habitant.

Pour expliquer cet écart, nous avons regardé la relation entre la surface du village et les surfaces de culture. Il apparaît une corrélation hautement significative entre la surface des villages et la surface du riz pluvial (i.e. riz sur pente), avec un coefficients de corrélation de 0,92 (Figure 8.17).

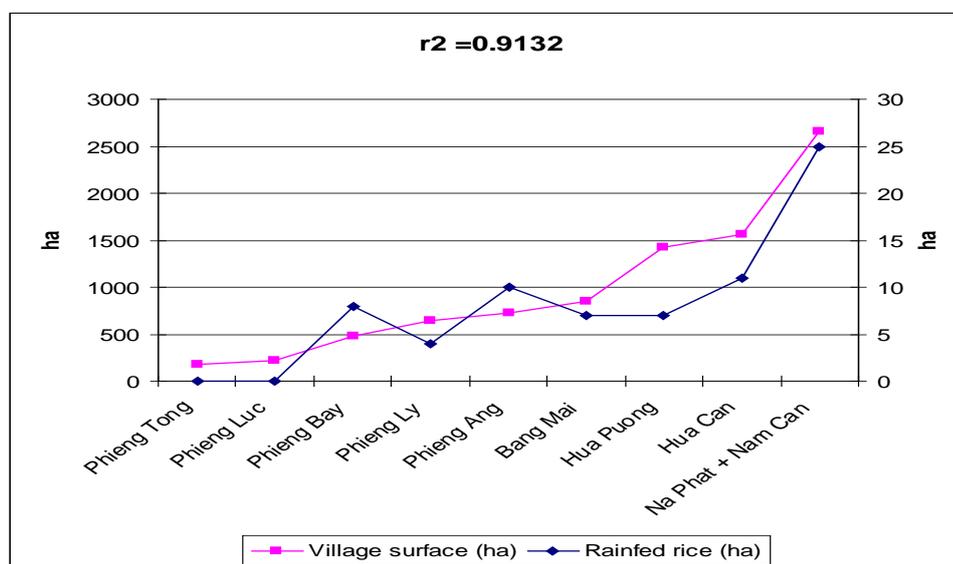


Figure 8. 17: Corrélation entre la surface du village et la surface de riz pluvial.

D'un point de vue agronomique, ce résultat n'est pas surprenant. Le riz pluvial étant la culture qui consomme le plus de terres. Mais l'implication en terme de planification est plus importante. En effet, cela signifie que les limites des villages données par les agriculteurs eux-mêmes correspondent bien à la surface dont ils ont réellement besoin et qu'ils utilisent régulièrement, comparativement aux limites administratives officielles qui systématiquement sous-évaluent les besoins réels de l'agriculteur. Même si une grande partie peut ne pas être exploitée une année ou une période donnée car laissée en jachère, cette partie est nécessaire à la subsistance agricole du village. En fait, les jachères donnent l'illusion de terres abandonnées.

En outre, ces zones marginales sont aussi généralement utilisées comme pâturages au moins une partie de l'année, ce qui, une fois de plus, n'est pas pris en compte par le bureau de l'agriculture de Tan Uyen.

Tout cela conduit automatiquement à une mauvaise planification dès que ces grandes zones de «terre montagneuse non utilisée» ou de «terrain de bas-fond non utilisé » sont largement surestimées. Elles seront donc redistribuées à tort aux populations déplacées, ce qui ne peut qu'induire des conflits sociaux énormes, d'où cette notion forte de « villages envahisseurs ».

Le cas de l'entreprise forestière de Quyet Tien est un exemple concret de ce problème. La terre a été attribuée à cette compagnie sur la base des cartes officielles, sans tenir compte des usages réels des agriculteurs locaux, ce qui a entraîné l'impossibilité d'accéder aux terres de pente pour les cultures annuelles et à de surcroît interdit l'accès aux pâturages.

On comprend maintenant le mécontentement affiché des foyers de la commune de Nam Can (Figure 8.11).

### **8.4-3. Déplacements des populations et conséquences paysagères sont les grandes mutations en œuvre**

#### **8.4-3.1. *Les modalités de réinstallation***

Les foyers réinstallés reçoivent des indemnités pour la perte de leurs anciennes terres, et se voient attribuer de nouvelles terres dont une surface agricole, dans le nouveau village de réinstallation. La terre dans le village de réinstallation (ex : Phieng Luc) sera saisie par le Gouvernement et l'indemnisation pour les propriétaires sera repartagée à parts égales entre les anciens habitants du village et les nouveaux arrivants. Le plan détaillé de réinstallation ne donne pas plus d'information sur les modalités de partage, à savoir si elle sera attribuée en fonction du nombre de personnes dans le foyer, du nombre de personne actif ou d'autres critères. Selon le bureau de l'agriculture de Tan Uyen, la qualité des sols et les apports en eau sont pris en compte dans le processus de partage.

Un fond financier supplémentaire est prévu pour soutenir les foyers concernés (y compris les anciens foyers du village et les nouveaux arrivants), pendant une période de transition:

(i) des subventions pour soutenir les frais de transport liés à la réinstallation ;

(ii) des subventions de riz au cours des deux années qui suivent la réinstallation (20 kg riz/personne/mois) ;

(iii) des subventions pour assister à diverses formations pour de nouveaux emplois afin de diminuer la dépendance à l'agriculture.

En outre, le plan de réinstallation est complété par deux projets communaux d'irrigation. Le premier canal, avec une longueur d'environ 6 km, transporte

l'eau au village de Phieng Luc et aux rizières en terrasse de Phieng Bay, tandis que le second canal, avec une longueur d'environ 4 km, transporte l'eau au village de Pa Tra, où des travaux de rizières en terrasse devraient être également pris en charge si nécessaire.

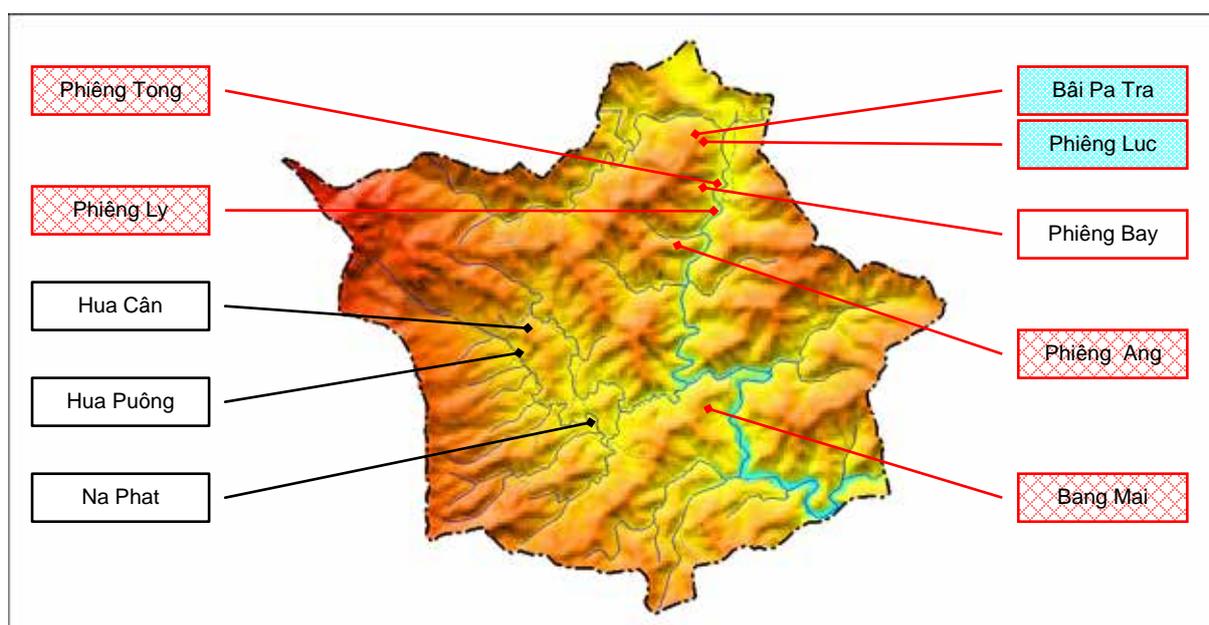
Enfin, sur le plan administratif, les autorités officielles de la commune d'origine des foyers déplacés doivent fusionner avec les autorités de la commune d'accueil. Cela signifie qu'il devrait y avoir un nouveau chef de village, des associations et un parti communiste dans chaque village de réinstallation. Il est évident que cela ajoute un risque de tension entre les différentes communautés, en particulier dans le cas de Pa Tra où les gens Thai qui viennent du village de Bang Mai seront mélangés aux Kho Mu du village de Ly Phieng.

#### ***8.4-3.2. Concentration de la population dans le Nord-Est : conséquence de la délocalisation intra- et inter-communale***

Du fait de la mise en eau du barrage de Ban Chat, la majorité des terres de bas-fond du Sud de la commune ont été inondées, ce qui a obligé à prévoir la suppression des villages du Sud (Pac Pha et Sai Luong), le déplacement de 5 autres villages situés dans la vallée de la Mu River (Bang Mai, Phieng Ang, Phieng Ly, Phieng Tong et Phieng Luc) et la réduction du terroir du village de Phieng Bay (Figure 8.18). Donc en fait, sur les 10 villages, seuls 3 villages n'ont pas été impactés directement.

La conséquence de ces déplacements de villages, et donc de population, est l'augmentation de la population d'un tiers au Nord-Est du bassin versant, créant une pression extrême sur les terres agricoles. De plus, la répartition des populations n'est pas uniforme. Par exemple, le plan de réinstallation du village de Phieng Luc prévoit de multiplier la densité de population d'un

facteur 4,5 , ainsi la densité de population atteindrait 185 hab/km<sup>2</sup>, ce qui est neuf fois plus élevé que la densité moyenne de la commune (d'environ 20 hab/km<sup>2</sup>). Or la surface disponible par habitant à Phieng Luc est déjà très limitée, uniquement 2,4 ha/hab (Tableau 8.6), deux fois moins que la moyenne dans la commune. Encore une fois, il apparaît ici une cause supplémentaire de non-satisfaction.



*Légendes de codes villages : Encadrement noir: pas de pertes de terres; Encadrement rouge: pertes de terres; Ombrage rouge: villages déplacés; Ombrage bleu: village de réinstallation.*

*Figure 8. 18: Impacts de l'inondation (en ombré bleu) et des relocalisations intra- et inter-communales liés au barrage de Ban Chat dans la commune de Nam Can. Situation en 2010.*

### **8.4-3.3. Conclusion à Nam Can : Réduction des surfaces agricoles et les changements du type de terrain disponible**

L'exemple de la commune de Nam Can montre bien que l'installation des barrages hydroélectriques implique des mutations en profondeur de l'organisation spatiale des populations locales. C'est en fait une grande

redistribution des gens dans un espace plus contraint, moins productif sur le plan agricole et plus administré.

On peut donc légitimement penser que les pratiques sociospatiales devront être largement impactées dans la décennie à venir. En effet, la réduction des surfaces agricoles et la perte de qualité des nouveaux terrains agricoles disponibles devraient pousser les gens à chercher d'autres métiers. Et c'est sûrement l'enclavement économique existant depuis si longtemps qui n'a pas encore permis de mettre en action les changements économiques attendus et promis par la planification nationale dans notre zone d'étude. L'exemple de Nam Can montre bien que si l'installation du barrage n'a pas été aujourd'hui un facteur de changement des échanges économiques, il a été une contrainte majeure de la redistribution spatiale des acteurs économiques. En cela, nous pouvons dès à présent prévoir que les changements sociospatiaux seront importants dans la décennie à venir.

On peut ainsi conclure que si 10 ans après le démarrage des travaux du barrage de Son La, les habitudes économiques, et sûrement aussi le tissu économique, de la région n'ont pas été modifiées, les pratiques sociospatiales évolueront obligatoirement du fait de la nouvelle redistribution des populations au niveau local. Et si la zone Nord de la zone d'étude semble la plus active, il se pourrait aussi que ce soit lié au fort mécontentement général des populations.

Enfin, il importe de souligner que le succès des changements économiques à venir et la cohésion sociale devraient largement dépendre de la capacité des autorités locales à l'équité entre les populations pour accompagner le processus de dédommagement, de formation et d'information.

## **8.5- Conclusion : Localement les infrastructures des barrages bouleversent les équilibres anciens**

Pour conclure, nous avons essayé de résumer ici les impacts environnementaux liés aux barrages hydroélectriques sur les pratiques sociospatiales (Tableau 8.7). Nous avons vu que les inondations des terres agricoles réduisaient les surfaces agricoles de bas-fond par foyer. Ces inondations entraînent aussi des déplacements de population, qui ont pour conséquence de réduire les surfaces agricoles sur pente disponibles par foyer.

*Tableau 8. 7: Impacts environnementaux liés aux barrages hydroélectriques sur les pratiques sociospatiales.*

<i>Effets directs du barrage</i>	<i>Effets indirects du barrage</i>	<i>Echelle spatiale</i>	<i>Echelle temporelle</i>
1/ Inondations des terres agricoles dans les fonds de vallée	ê S[terres de bas-fond] /foyer	Vallée de la rivière	Immédiat
2/ Inondations des villages=> déplacement population => augmentation de la pression démographique sur les zones de réinstallation	ê S[terres de pente]/foyer	Vallée de la rivière et ses versants	
3/ Fractionnement des terres par l'eau	ê accessibilité des terres		
4/ Création de lacs et étendues d'eau	é S[aquaculture]/foyer		
5/ Changement micro-climatique et augmentation des précipitations prévues	Effet Inconnu ?	Tout le bassin versant	A retardement
6/ Glissement de terrain potentiel sur les pentes à proximité de la rivière (difficiles à prévenir)	é Risques/foyer + ê potentielle S[bas-fond et pente]/foyer		

Par ailleurs, les inondations fractionnent le territoire, créant des zones non accessibles, à l'avantage d'étendues d'eau plus nombreuses, qui représentent un potentiel économique par le développement de l'aquaculture. Mais ce n'est pas encore d'actualités.

Enfin, les inondations provoquent des changements attendus sur le micro-climat, des pluies plus importantes devraient se produire, ce qui dans cette zone peut être un risque majeur de glissement de terrain.

Pour conclure, il est évident les projets de grands barrages hydroélectriques amènent des défis majeurs à la fois pour les autorités provinciales et communales, du fait majeur de la redistribution des populations dans un espace physiquement contraint. Les nombreux défis qui font face aux autorités régionales et aux populations locales sont aussi bien agricoles que socio-économiques et sociaux.

Après cette longue et lourde étude faite auprès de plus de 500 foyers, il semble que le challenge majeur soit d'assurer une équité des choix et solutions entre tous. Pour cela, il faut absolument améliorer l'évaluation des potentiels réels des terres disponibles en fonction de leur fertilité, mais aussi de leur accès et de la disponibilité en eau, améliorer l'évaluation réel des besoins des foyers en terres cultivables, s'assurer que les infrastructures (routes, écoles, infirmerie) soient en place, et surtout améliorer le dialogue entre les parties prenantes.

Seules ces étapes minimales pourront apporter la légitimité du projet et la pertinence des propositions, qui seront garant du succès économiques pour tous.



# **Conclusion générale**

## **Des pratiques en pleine mutation à proximité des barrages**

Comme tous les pays en forte croissance économique, le Vietnam enregistre une croissance quasi exponentielle de la demande en électricité pour répondre aux besoins économiques de la population. En pleine conscience de cette situation depuis deux décennies, le gouvernement Vietnamien a développé une politique forte et agressive pour augmenter la production hydroélectrique grâce au réseau hydrologique très dense du Vietnam. Les zones les plus favorables au développement de l'hydroélectricité sont bien sûr dans les zones de montagnes, à savoir tout particulièrement dans le Nord Ouest Vietnamien (provinces de Hoa Binh, Yen Phu, Son La, Lai Chau dans le bassin versant du Fleuve Rouge). Le développement de l'hydroélectricité est donc devenu un élément essentiel pour le développement économique du pays. Mais comme partout ailleurs dans le monde, la production hydroélectrique en masse nécessite la construction de grands barrages, qui nécessairement implique des perturbations environnementales et sociétales, associées à un bouleversement

économique pour les acteurs des régions d'implantation. Aujourd'hui encore, la protection environnementale et la paix sociale sont encore des défis pour la réussite des projets de grands barrages hydroélectriques. Qu'en est-il au Vietnam ?

Dans ce contexte spécifique du Vietnam Nord et tout spécialement des provinces de Son La et Lai Chau (chapitres 1 et 2), ce travail de thèse s'est attaché à comprendre comment, d'une part, les politiques de développement de barrages hydroélectriques, et d'autre part, les mises en place de ces barrages, avaient pu impacter les dynamiques de changement d'usage des terres, les dynamiques sociales et socio-économiques, à la fois à l'échelle de la province, des communes et des familles, ces dernières étant considérées comme la plus petite entité économique. Cette approche scientifique est forcément pluridisciplinaire. Elle posait la question du couplage entre géomatique et approches de vérité-terrains basées à la fois sur de la mesure environnementale et de l'enquête sociale et socio-économique. Voilà le défi méthodologique que nous avons essayé de relever dans ce travail de thèse.

### **9.1- Nos principaux résultats : les projets de barrage impulsent des transformations « explosives » du paysage créant un potentiel de développement exceptionnel**

**Question 1 : Quels sont les facteurs d'impact des politiques de développement des barrages hydroélectriques sur les changements d'utilisation des terres et leur conséquence sur les processus d'érosion ?**

A la question 1, l'analyse des changements d'utilisation des terres sur une chronique observée de 40 ans (1973 - 2013) a montré que des transformations spectaculaires et « explosives » du paysage (chapitre 6), sans pouvoir ressortir

de tendances générales du fait de la rapide capacité de résilience du système paysage/société. Le seul réel enseignement reste une expansion significative de la pression des zones agricoles sur les pentes, et donc sur les sols les plus fragiles, du fait conjugué, dans l'ordre chronologique d'apparition : (1) des pressions foncières liées aux projets de barrage ; (2) de la pression démographique liée à la fois au développement économique induit par la politique d'aménagement du territoire et les délocalisations (7%/an d'augmentation des populations entre 2009 et 2013) ; (3) de l'inondation des basses-terres dues aux mises en eau des barrages.

L'analyse géospatiale du risque d'érosion lié à ces changements extrêmement rapides d'usage des sols montre que :

- Les politiques nationales et régionales influencent fortement les usages des sols, du fait des mouvements de population, ce qui induit une augmentation des risques d'érosion sur l'ensemble de la zone d'étude largement avant la mise en eau des barrages ;

- Les risques d'érosion ont fortement augmenté après la mise en eau des barrages, du fait de la mise en culture annuelle des pentes due à l'abandon des techniques de terrasses ;

- Le risque d'érosion moyen annuel a augmenté de 8% du fait des barrages, mais la distribution spatiale des risques d'érosion n'est pas homogène, et l'érosion peut atteindre les 10 ton/ha/an dans 50% du territoire de la zone d'étude.

Cette évolution conduira obligatoirement à une sédimentation importante dans les réservoirs, à l'égal de ce que notre étude bibliographique a pu montrer sur l'ensemble des barrages hydroélectriques des grands fleuves du Monde (chapitre 3). Le Fleuve Rouge et son affluent principal, la Da River, où ont été construits ces 10 dernières années les 3 grands barrages étudiés dans ce travail

de thèse, Ban Chat, Huoi Quang, Son La (respectivement de l'amont vers l'aval) fait partie des 5 plus grands fleuves érosifs d'Asie du Sud-Est, au même titre que le Fleuve Jaune, l'Irrawaddy ou le Gange-Brahmapoutre. Son érosion spécifique (de 580 T/km<sup>2</sup>/an jusqu'à 1340 T/km<sup>2</sup>/an) est largement plus élevée que celle du Yangtsé et du Mékong.

Le piégeage des sédiments dans les grands barrages hydroélectriques est une réalité importante partout dans le monde, et en particulier en Asie du Sud-Est avec une efficacité de stockage de sédiments autour de 50% à 80% en moyenne. Nous avons vu que cela peut avoir des conséquences importantes de l'échelle locale à l'échelle globale, à la fois pour la gestion des barrages et leur durée de vie, mais aussi pour la morphologie et l'écologie des bassins fluviaux aval et leur gestion hydrologique.

Il est admis que dans cette région, la durée de vie utile des réservoirs pourrait considérablement diminuer d'au moins une quarantaine d'année, si aucune gestion du barrage n'est prévue pour remédier à cette forte capacité des fleuves à transporter des sédiments. La gestion des bassins versants à l'amont et l'aval du barrage semble donc être une nécessité pour la durabilité de la production hydroélectrique.

**Question 2 : Quels sont les facteurs d'impact sur la structure des communautés familiales et leurs stratégies de vie, notamment après leur relocalisation liée la construction des barrages hydroélectriques ?**

Le deuxième objectif est d'obtenir un point de vue plus large et plus détaillé sur l'impact de la construction des barrages hydroélectriques sur le changement d'utilisation des terres et les stratégies socio-économiques des familles situées à proximité des zones de barrage. Nous avons vu (chapitre 8) que les projets de grands barrages hydroélectriques amènent des défis majeurs

à la fois pour les autorités provinciales et communales, du fait majeur de la redistribution des populations dans un espace physiquement contraint, moins productif sur le plan agricole et plus administré. Les nombreux défis qui font face aux autorités régionales et aux populations locales sont donc aussi bien agricoles que socio-économiques et sociaux.

Dix ans après le démarrage des travaux du barrage de Son La, les habitudes économiques, et sûrement aussi le tissu économique, de la région ne semblent pas avoir été modifiées. Nous pensons que dans les années à venir les pratiques sociospatiales devraient obligatoirement évoluer du fait de la nouvelle et forte redistribution des populations au niveau local. Et si la zone Nord de la zone d'étude semble la plus active, il se pourrait aussi que ce soit lié au fort mécontentement général des populations dans cette région. Ce mécontentement important dans le Nord de la zone semble lié à la distance éloignée des centres de décision de cette région, additionné du fait que la région Sud a vu le développement de la culture d'hévéa en même temps que le développement des barrages. Il y a donc bien un effet d'entraînement du développement socio-économique de la part de grandes instances et compagnies vers les structures communales et familiales.

Enfin, il importe de souligner que le succès des changements économiques à venir et la cohésion sociale devraient largement dépendre de la capacité des autorités locales à l'équité entre les populations pour accompagner les programmes de dédommagement, de formation et d'information. Et tout particulièrement, la distribution des terres doit absolument se faire en concertation et discussion entre les arrivants, les accueillants et les autorités locales, en connaissance « réelles » des besoins agricoles (aspect social) et des possibilités agricoles des sols et de la disponibilité en eau (aspect environnemental), dans le respect des parties accueillantes.

Il reste à se demander le pourquoi de l'abandon des pratiques de terrasses ou encore du thé, s'interroger sur la possibilité et l'impact réel du développement des activités d'aquaculture liées à l'expansion obligatoire des zones aquatiques. Autant de questions à résoudre pour relever le défi du développement économique des régions liées aux barrages hydroélectriques.

**Question 3 : Comment développer des mécanismes de gouvernance (et lesquels ?) pour transformer l'intérêt économique régional potentiel des barrages hydroélectriques en atout pour une gestion positive environnementale et socio-économique aux bénéfices des sociétés rurales des zones de montagne concernées ?**

Après cette longue et lourde étude faite auprès de plus de 500 foyers sur 2 ans entre les provinces de Son La et Lai Chau, il semble que le challenge majeur soit d'assurer une équité des choix et solutions entre tous. Pour cela, il faut absolument améliorer l'évaluation des potentiels réels des terres disponibles en fonction de leur fertilité, mais aussi de la disponibilité en eau, améliorer l'évaluation réelle des besoins des foyers en terres cultivables, s'assurer que les infrastructures (routes, écoles, infirmerie) soient en place, et surtout améliorer le dialogue entre les parties prenantes.

Notre étude montre que le nombre de personnes par foyers dans chaque village est significativement corrélé avec la superficie cultivée. Ce critère devrait être systématiquement respecté. Notre étude montre aussi que dans les villages de réinstallation, les infrastructures (routes, électricité, logement, cliniques de santé, écoles ...) sont significativement améliorées, mais que les terres distribuées, peu fertiles, ne permettent pas aux familles les revenus agricoles attendus par unité de surface. Ce critère devrait aussi être systématiquement pris en compte.

Bien sûr, les nouvelles infrastructures, plus modernes, pourraient être considérées comme un facteur positif fort d'entraînement du développement économique. Nous avons observé que ce n'était pas le cas du fait du mécontentement des populations, à la fois délocalisées ou accueillantes, du fait du manque d'équité et de dialogue dans la redistribution des terres qui se fait encore aujourd'hui de manière autoritaire de la part des autorités centrales (chef du village et commune, district), et enfin du fait du non respect des calendriers imbriqués entre déplacement des populations et finalisation des infrastructures qui sont souvent en retard.

En effet, même si un plan directeur pour la réinstallation avait été préparée à la fin des années 1990, la réalisation de la plupart des sites n'était pas prête au moment du déplacement des populations, qui a commencé en 2005. Du fait de cette grande quantité de population à déplacer dans un laps de temps très court, les unités de réinstallation du district ont dû recruter un grand nombre d'agents contractuels, qui n'avaient aucune ou très peu d'expérience de ce type de situation. Cela a conduit à des séries de problèmes humains pour lesquels les agents contractuels du district employés pour la réinstallation n'avaient pas assez de compétence pour pouvoir gérer ces situations conflictuelles et de mécontentement en douceur. Par exemple, fin 2006, la planification détaillée pour seulement 73 sites de réinstallation avait été approuvée, soit pour uniquement 25% des sites totaux prévus. Et sur les 73 sites de réinstallation, 55 sites manquaient d'eau de surface. Mais ils étaient maintenus dans le plan directeur malgré cela, parce que sinon il n'y aurait pas assez d'espace pour relocaliser toutes les populations à déplacer.

## **9.2- Quelques recommandations quant aux politiques de relocalisation des populations à déplacer**

### **Point 1 : Elaborer un système approprié d'évaluation de l'utilisation des terres**

Les méthodes actuelles d'évaluation de l'utilisation des terres de production agricole induisent souvent une sous-estimation systématique de la surface exploitée au niveau du village, conduisant alors obligatoirement à des redistributions inéquitables, et donc conflictuelles, des terres entre les membres d'un même village. Ainsi pour améliorer la planification de la distribution des terres du projet hydroélectrique, la mise en place d'une méthodologie correspondante appropriée pour évaluer la surface des terres agricoles effectivement utilisée et la fertilité comparée des terres à distribuer est un pré-requis fondamental. Cela implique simplement une meilleure connexion avec les experts agricoles du ministère de l'agriculture et autres institutions de recherche et développement en agronomie. Il s'agira ainsi de :

- Ø Les politiques d'aménagement du territoire liés aux barrages hydroélectriques doivent prendre en considération les principes de l'agriculture de conservation appliqués à l'agriculture de montagne et à la protection de la forêt. Un meilleur équilibre est nécessaire entre la préservation de la végétation naturelle et le maintien de la productivité agricole en luttant contre la dégradation des sols et pour la protection des zones en aval contre l'augmentation des charges de sédiments.
- Ø Du point de vue de la disponibilité en eau, une comptabilisation minutieuse des besoins et des potentiels est également nécessaire. Ainsi par exemple, reboiser des versants pour prévenir l'envasement des barrages peut avoir un impact négatif sur la disponibilité en eau pour les utilisateurs de l'aval. Des avis d'experts et expertises terrain sont nécessaires.

Ø Pour limiter l'apport immédiat de sédiments aux barrages, les zones ripariennes (i.e. riveraines de la rivière et du lac de barrage) devraient être systématiquement tenues à l'écart des zones de cultures annuelles et idéalement protégées par un couvert herbacé afin de maintenir leur fonction essentielle de filtrage des sédiments.

Ø Dans une perspective régionale plus large, les politiques de délocalisation devraient introduire des incitations qui soutiennent un passage à des activités non agricoles, afin d'alléger la pression agricole sur des terres qui seront forcément moins fertiles du fait de leur positionnement toujours plus haut en altitude.

Enfin, un autre pré-requis est la diffusion de ces « bonnes pratiques agricoles » auprès des autorités locales (district, commune, village). Trop souvent les personnes devant appliquer les programmes de planification n'ont pas les compétences pour cela. Ce sont effectivement eux qui pourraient considérablement améliorer l'élaboration puis la réalisation des programmes de redistribution des terres en cohérence avec les stratégies réelles des agriculteurs, dans le respect des besoins et attentes de chacun.

On le voit, tout cela implique la mobilisation de nombreux acteurs, du gouvernement central à l'agriculteur dans le village, via toutes les instances de décision (gouvernementales, économiques et citoyennes), au plus tôt dès la conception de l'idée d'installation du barrage, donc dès que possible bien longtemps avant la construction du barrage.

## **Point 2 : Identifier les opportunités de projet pour la légitimité et la pertinence**

Nous l'avons vu, es agriculteurs des bassins versants concernés par les projets de barrage hydroélectrique sont confrontés à de nombreux défis fonciers (et donc agricoles) largement avant la construction du barrage, même s'ils ne sont pas déplacés.

Avec un tel éventail d'options pour l'exploration de projet, La conception d'un cadre logique claire est nécessaire afin de sélectionner les options d'aménagement du territoire les plus pertinentes « pour tous ». Les étapes de ce cadre logique pourraient être: (1) d'élaborer et valider une typologie de systèmes d'exploitation axée sur la durabilité du sol, sa fertilité, la gestion des mauvaises herbes et les pratiques de fertilisation; (2) d'évaluer l'impact des pratiques observées sur la dégradation des terres et de l'eau, et en particulier comprendre la dynamique d'utilisation des terres de pente; (3) d'évaluer le potentiel de chacune des pratiques et/ou options en relation avec la protection environnementale et les autres services nécessaires au développement harmonieux de la région (prise en charge des aspects sociaux, socio-économiques, économiques et environnementaux) ; (4) d'identifier les acteurs économiques potentiels en respect des attentes et besoins des populations locales; (5) d'évaluer la faisabilité financière des alternatives identifiées pour chaque système d'exploitation, donc aussi la faisabilité économique des foyers agricoles dans le souci d'une planification équitable; et (6) d'établir une plateforme de dialogue entre tous les acteurs concernés par le projet de barrage hydroélectrique, à toutes les étapes de l'implémentation du projet, donc de la conception à la réalisation finale qui correspondra à l'acceptation par tous des aménagements.

L'expérience mondiale montre bien que toutes les étapes doivent impliquer autant que possible les parties prenantes locales en utilisant des approches participatives afin d'assurer la légitimité du projet et la pertinence de ses propositions.

### **9.3- Réflexions sur de l'intérêt des barrages hydroélectriques**

L'énergie hydroélectrique est une énergie renouvelable. En cela, il est normal et recommandé que le Vietnam, du fait de son réseau hydrologique propice à

l'exploitation hydroélectrique, développe un large réseau de barrages hydroélectriques. Outre la production d'une énergie de qualité qui participera au développement économique de tout le pays, ces barrages sont aussi une opportunité de développements régionaux dans des provinces qui étaient et sont encore aujourd'hui des zones rurales réputées pauvres. Cependant, un certain nombre de principes, listés ci-dessus, sont à respecter absolument pour éviter à la fois des catastrophes environnementales, sociologiques et donc finalement économiques. Les projets de grands barrages hydroélectriques, du fait cumulé des grands financements et des impacts environnementaux et sociaux, mobilisent toutes les strates de la société humaine. En effet, à la fois le secteur public et le secteur privé sont appelés à participer aux investissements nécessaires, et les impacts concernent à la fois la nation, la région, les provinces, les districts, les communes et villages, les populations.

Les politiques de barrage réalisent donc un énorme potentiel de redistribution des forces économiques dans les zones impactées. Ils sont aussi l'opportunité de tisser des liens de l'amont vers l'aval, à savoir des terres de montagne pauvres et souvent éloignées des centres de décision, vers les zones basses, les plaines et zones aval urbaines. Nous l'avons vu, cette mobilisation exceptionnelle commence dès l'idée du barrage. C'est donc bien dès le début du concept que les populations locales doivent être officiellement informées. C'est un processus long d'information de négociations, et de légitimisation/acceptation qui doit être effectué. Car en effet, les barrages représentent aussi des situations « explosives » à la fois sur la pression foncière (agricole et urbaine), sur la redistribution des populations et des ressources. Les barrages sont donc des zones à risques humains et environnementaux importants.

Mais les grands barrages ne sont pas les seuls à pouvoir impacter fortement les paysages et les dynamiques sociospatiales, tout particulièrement en Asie du

Sud-Est. En effet, la déforestation, l'expansion des terres de pente cultivées pour des cultures de rente comme le thé, le café et surtout actuellement l'hévéa, et l'expansion de la planification urbaine (en raison de la croissance démographique et du développement économique rapide) multiplie les mêmes risques que ceux qui sont liés à l'implantation des grands barrages hydroélectriques. Environ 9% de la végétation actuelle, qui consiste d'espèces indigènes d'arbres, d'arbustes et de graminées, devrait être remplacées au cours des 50 prochaines années par des plantations mono-espèces d'arbres (*Acacia mangium*, *Eucalyptus*...) et autres arbustes du type thé, jatropha, hévéa. Surtout, 4% de cette transition devrait être due à la seule expansion du caoutchouc (*Hevea brasiliensis*), une culture arboricole dont on connaît encore peu les implications hydrologiques et environnementales (érosion et fertilité des sols, biodiversité...), de l'échelle locale à l'échelle régionale. Mais les risques semblent majeurs du fait de sa consommation d'eau connue pour être potentiellement élevée pendant la saison sèche.

On le voit donc, les grands barrages hydroélectriques peuvent participer au développement harmonieux des régions de montagne, qui ont longtemps été délaissées. Mais cela doit se faire en inter-relation importante avec tous les acteurs intéressés par les terres de montagne. Cela requiert forcément une approche interdisciplinaire et la prise en compte, à la fois des connaissances scientifiques de base en ce qui concerne l'utilisation des sols, de l'eau et des ressources naturelles, et des aspects socio-économiques réels des individus (et non seulement des investisseurs) dans le respect mutuel des populations.

Le succès d'implantation d'un grand barrage hydroélectrique sera lié à la capacité des décideurs à comprendre les interactions complexes entre systèmes écologiques et systèmes socio-économiques. Sur la base de notre étude, il est évident que malgré des bonnes intentions gouvernementales et internationales, le manque de concertation au niveau local et le manque de connaissance en

hydro-écologie restent les contraintes majeures pour le succès de la protection environnementale et l'équité entre les populations concernées, deux conditions obligatoires à la durabilité des projets de barrages hydroélectriques.

# Bibliographie

## **Chapitre 1: Introduction générale**

- ADB, 2008. *GMS Core Environment Program* (ADB TA 6289). [http://www.gms-eoc.org/CEP/docs/GDD/FactSheet\\_Energy.pdf](http://www.gms-eoc.org/CEP/docs/GDD/FactSheet_Energy.pdf)
- Bach Tan Sinh, 2009. *Strategic environmental assessment of the hydropower master plan in the context of the power development plan VI*. Hanoi, Vietnam.
- Bohlen, C., Lewis, L.Y., 2009. Examining the economic impacts of hydropower dams on property. *J Environmental Management*, 90: S258-S269.
- Bossio, D., Geheb, K., 2008. *Conserving Land, Protecting Water*. CABI.
- Brown, P., Magee, D., Xu, Y., 2008. Socioeconomic vulnerability in China's hydropower development. *China Economic Review*, 19: 614–627.
- Castella, J.-C., Boissau, S., Trung, T.N., Quang, D.D., 2005. Agrarian transition and lowland-upland interactions in mountain areas in northern Vietnam: application of a multi-agent simulation model. *Agricultural Systems*, 86(3): 312-332.
- Castella, J.C., Dang Dinh Quang (Eds), 2002. Doi Moi in the Mountains. Land use changes and farmers' livelihood strategies in Bac an Province, Vietnam. *The Agricultural Publishing House*, Hanoi, 283 p.
- Chaudhry, P., Ruyschaert, G., 2007. Climate Change and Human Development in Viet Nam. Human Development Report 2007/2008: Fighting climate change: Human solidarity in a divided world, *Human Development Report Office*, Occasional Paper 2007/46, UNDP: 17 p.
- Clément, F., 2010. Analysing decentralised natural resource governance: Proposition for a "politicised" institutional analysis and development framework. *Policy Sciences*, 43(2): 129–156.
- Clément, F., Amezaga, J.M., 2009. Afforestation and Forestry Land Allocation in Northern Vietnam: Analysing the gap between policy intentions and outcomes. *Land Use Policy*, 26(2): 458-470.
- Clément, F., Amezaga, J.M., Orange, D., Tran Duc Toan, 2007. The Impact of Government Policies on Land Use in Northern Vietnam: An institutional approach for understanding farmer decisions. *IWMI Research Report* 112. Colombo Srilanka. URL: <http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMIResearchReports/PDF/PUB112/RR112.pdf>.
- Clément, F., Orange, D., Williams, M., Mulley, C., Epprecht, M., 2009. Drivers of afforestation in Northern Vietnam: Assessing local variations using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 29, doi:10.1016/j.apgeog.2009.01.003: 561-576.
- Cramb, R.A., 2005. Farmers' strategies for managing acid upland soils in Southeast Asia: an evolutionary perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106, 69–87.
- Dang Thi Ha, Coynel, A., Orange, D., Blanc, G., Le Lan Anh, Vu Van Dinh, Etcheber, H., 2012. River hydrology and recent sediment flux in a large Asian tropical system (Red River, China/Vietnam): implication for assessing soil erosion and sediment transport/deposition processes. *Sciences of the Total Environment*, 408(20): 4654-4664.

- Dao, N., 2010. Dam Development in Vietnam: The Evolution of Dam-Induced Resettlement Policy. *Water Alternatives*, 3(2): 324-340.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Meisner, C., Wheeler, D., Yan, J., 2007. The impact of sea level rise on developing countries : a comparative analysis. *WB Policy Research*, Working Paper 4136, World Bank, available at: [file:///C:/Dropbox/urb\\_met\\_research/zca/papers/Meisner\\_2007.pdf](file:///C:/Dropbox/urb_met_research/zca/papers/Meisner_2007.pdf) : 51 p.
- Drechsel, P., Olaleye, A., Adeoti, A., Thiombiano, L., Barry, B., Vohland, K., 2005. Adoption driver and constraints of resource conservation technologies in sub-Saharan Africa. FAO, Roma; IWMI, Colombo; <http://www.iwmi.cgiar.org/africa/West/pdf/AdoptionConstraints-Overview.pdf>: 21 p.
- Duflo, E., Pande, R., 2007. Dams. *The Quarterly Journal of Economics*, 122(2): 601-646.
- Fortunel, F., Gironde, C., 2011. Transition agraire et recompositions sociales en Asie du Sud-Est. *Dynamiques des espaces ruraux dans le monde*: 215-235.
- Geay F., Dao The Tuan (Eds), 2000. Appui à l'organisation de la production agricole dans le Nord du Vietnam. Actes du séminaire de lancement du projet FAC « Programme Fleuve Rouge », Hanoi, 11-13 octobre 1999, VASI-GRET, *Maison d'Édition de l'Agriculture*, 387 p.
- George, A., Pierret, A., Boonsaner, A., Valentin, C., Orange, D., Planchon, O., 2009. Potential and limitations of Payments for Environmental Services (PES) as a means to manage watershed services in mainland Southeast Asia. *Int. Journal of Commons*, 3(1), Mountain ForumOnline Library: <http://www.mtnforum.org/rs/ol/browse.cfm?tp=vd&docid=4270> : 16-40
- Giordano, M., Orange, D., Noble, A., Drechsel, P., 2009. *Opportunities for economic incentives to promote sustainable land and water management in the sloping lands of South and Southeast Asia*. Proposal submitted to BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung), IWMI, Colombo (Sri Lanka): 64 p. Accepted in 2010.
- Gironde, C., Messerli, P., Peeters, A., Schönweger, O., 2014. Large-scale land acquisitions in Southeast Asia: rural transformations between global agendas and peoples' right to food. *Swiss Network for International Studies*, Working Paper, IHEID, Geneva, Swiss : 57 p.
- Hauswirth, D., Pham, T.S., Nicetic, O., Tivet, F., Le Quoc, D., Van de Fliert, E., Kirchhof, G., Boulakia, S., Chabierski, S., Husson, O., Chabanne, A., Boyer, J., Aufray, P., Lienhard, P., Legoupil, J.-C., Stevens, M. L. (eds), 2012. Conservation Agriculture and Sustainable Upland Livelihoods. Innovations for, with and by Farmers to Adapt to Local and Global Changes -Proceedings of the 3rd International Conference on Conservation Agriculture in Southeast Asia. Hanoi, Vietnam, 10-15 December 2012. CIRAD, Montpellier, France; NOMAFSI, Phu Tho, Viet Nam; University of Queensland, Brisbane, Australia. ISBN CIRAD: 978-2-87614-687-7 : 372 p.
- He, Da-Ming, Liu, Xiu-Juan, 2001. Equitable utilization and effective protection of sharing transboundary water resources: international rivers of Western China. *J. Geog. Sci.*, 11(4): 490-500.
- Johnston, R., Chu Thai Hoanh, Lacombe, G., Noble, A., Smakhtin, V., Suhardiman, D., Suan Pheng Kam, Poh Sze Choo, 2009. Scoping study on natural resources and climate change in Southeast Asia with a focus on agriculture. Report prepared for the *Swedish International Development Cooperation Agency* by International Water Management Institute, Southeast Asia (IWMI-SEA). Vientiane, Laos: International Water Management Institute, South East Asia Office (IWMI-SEA): 118 p. doi: 10.3910/2010.201
- King, P., Bird, J., Hass, L., 2007. The current status of environmental criteria for hydropower development in the Mekong Region. *WWF-Living Mekong Programme*, Vientiane, Lao PDR.
- Klaver, G., van Os, B., Negrel, P., Petelet-Giraud, E., 2007. Influence of hydropower dams on the composition of the suspended and riverbank sediments in the Danube. *Environmental Pollution*, 148: 718-728.

- Koninck, R., Rousseau, J-F., 2013. Pourquoi et jusqu'où la fuite en avant des agricultures sud-est asiatiques ? *L'Espace géographique*, 42(2): 143-164.
- Laffly, D., Handschumacher, P., 2005, Spatial expressions of sleeping sickness in Ivory Coast and Guinea Conakry : remote sensing and spatial analysis contributions to map human african trypanosomiasis risk area. *Série Geographica*: 83-102.
- Laffly, D., 2009. *Approche numérique du paysage : formalisation, enjeux et applications*. Éd. Publibook Universitaire: 317 p.
- Lambin, E.F., 2004. *Modelling land-use change. Environmental Modelling: Finding simplicity in complexity*. John Wiley & Sons: 245 - 254.
- Lestrelin, G., Giordano, M., 2006. Upland development policy, livelihood change and land degradation: interactions from a Laotian village. *Land Degradation Development*, 18(1): 55-76.
- Le Trong Cuc, Rambo, A.T. (Eds.), 2001. Bright Peaks, Dark Valleys. A Comparative Analysis of Environmental and Social Conditions and Development Trends in Five Communities in Northern Vietnam's Northern Mountain Region. *The National Political Publishing House*, Hanoi : 350 p.
- Liu, Xinyou, He, Daming, 2012. A new assessment method for comprehensive impact of hydropower development on runoff and sediment changes. *J. Geog. Sci.*, 22(6), doi: 10.1007/s11442-012-0981-7 : 1034-1044.
- McCartney, M., 2009. Living with dams: managing the environmental impacts. *Water Policy*, 11(1): 121-139.
- McNally, A., Magee, D., Wolf, A.T., 2009. Hydropower and sustainability: Resilience and vulnerability in China's powersheds. *J. Environmental Management*, 90: S286-S293.
- Nguyen Van Thiet, Orange, D., Pham Van Cu, Tran Duc Toan, Hoffmann, F., Pomel, S., Laffly, D., 2011. Impact assessment of hydropower dam on erosion risk within a hilly agricultural area: example of the Ban Chat dam (Northern Vietnam). Meeting the Challenges Facing Asian Agriculture and Agricultural Economics Toward a Sustainable, *Proceedings 7th conference ASAE*, Hanoi, 13-16 October 2011: 18 p.
- Orange, D., Noble, A., 2010. Technical methods and tools for integrated land and water management, to deal with issues related to conservation and utilization of land and water resources and systems. In: *e-Conference on "Integrated Land and Water Resources Management in Rural Watersheds"*, 2 November- 4 December 2009, FAO Regional Office for Asia and the Pacific (UNESCAP, APWF, IWMI, GWP), 8 p.
- Orange, D., Pham Dinh Rinh, Tran Duc Toan, Henri des Tureaux, T., Laissus, M., Nguyen Duy Phuong, Do Duy Phai, Nguyen Van Thiet, Nieullet, N., Ballesteros, S., Lequeux, B., Phan Ha Hai An, Lamezec, Y., Mitard, C., Mahe, M., Bernard, R., Ducos, H., Zemp, D., Janeau, J-L., Jouquet, P., Podwojewski, P., Valentin, C., 2012a. Long term erosion measurements on Sloping Lands in North Vietnam: impact of the land use change on bed load output. *Conference on Conservative Agriculture*, CIRAD-NOMAFSI, 10-14 December 2012, Hanoi. Oral presentation; in Hauswirth D. et al. (eds), *Conservation Agriculture and Sustainable Upland Livelihoods. Innovations for, with and by Farmers to Adapt to Local and Global Changes*, Proceedings of the 3rd International Conference on Conservation Agriculture in Southeast Asia. Hanoi, Vietnam, 10-15 December 2012. CIRAD, Montpellier, France; NOMAFSI, Phu Tho, Viet Nam; University of Queensland, Brisbane, Australia. : 49-52.
- Orange, D., Pham Quang Ha, Tran Duc Toan, Clément, F., Jouquet, P., Nguyen Duy Phuong, Nguyen Van Bo, 2012b. Agriculture sur pentes au Vietnam : une nécessité pour la sécurité alimentaire et un risque pour la durabilité du système agricole. In : Roose Eric (ed.), Duchaufour H. (ed.), De Noni Georges (ed.), *Lutte antiérosive : réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles. Colloques et Séminaires*, IRD, Marseille. ISBN 978-2-7099-1728-5: 15 p.

- Orange, D., Roose, E., Vermande, P., Gastellu, J-P., Pham Quang Ha (Eds), 2008a. Gestion intégrée des eaux et des sols : ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains. Proceedings Editions AUF et IRD, Hanoi, *Actes des Premières Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF*, Hanoi, 6-9 novembre 2007, cd-rom.
- Orange, D., Tran Duc Toan, Salgado, P., Nguyen Duy Phuong, Nguyen Van Thiet, Clement, F., Le Hoa Binh, 2008b. Different interests, common concerns and shared benefits. *LEISA*, 242, Netherlands: 12-14.
- Ostrom, E., 2010. *Gouvernance des biens communs*. Ed. De Boeck Université, Bruxelles, ISBN 978-2-8041-6141-5 : 301 p.
- Pham Van Cu, 2008. Systèmes d'information géographique et possibilités d'applications en sciences sociales au Viêt Nam : états des lieux et enjeux. *Les Journées de Tam Dao*, Vietnam, IRD, Ed. AFD, France: 90-96.
- Sanders, D.W., Huszar, P.C., Sombatpanit, S., Enters, T., 1999. *Incentives in soil conservation. From Theory to practice*. Oxford & IBH Publishing, New Dehli.
- Schmidt-Thome, P., Nguyen Thi Ha, Pham Thanh Long, Jarva, J., Nuottimäki, K., 2015. Climate Change in Vietnam. In: *Climate Change Adaptation Measures in Vietnam*, SpringerBriefs in Earth Sciences, doi: 10.1007/978-3-319-12346-2\_2 : 7-15.
- Sternberg, R., 2008. Hydropower: Dimensions of social and environmental coexistence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(6): 1588–1621.
- Suhardiman, D., Wichelns, D., Lestrelin, G., Chu Thai Hoanh, 2013. Payments for ecosystem services in Vietnam: Market-based incentives or state control of resources? *Ecosystem Services*, 5: e94-e101.
- Sunderlin, W.D., Huynh Thu Ba, 2005. Poverty Alleviation and Forests in Vietnam. *Center for International Forestry Research (CIFOR)*, Bogor, Jakarta.
- Tran Duc Vien, 2003. Land policy and issues of forest resource management based on the community. In: Sustainable development of Vietnam mountainous regions: 10 years looking back and planned issues. *Agriculture Publishing House*, Hanoi: 472–490.
- Tran Duc Vien, Nguyen Viet Tung, Calkins, P., Allbritton, A., Hiesinger, M.A., Vu Thi Thao, Pham Mai Huong, Tran Nam Anh, Le Thi Thanh Phuong, Dang Viet, Quang, 2005. Marketing and agroforestry development in Vietnam's uplands. *Agriculture Publishing House*, Hanoi, Vietnam: 390 p.
- Tran Duc Vien, Rambo, A.T., 2001. Social Organization. In: Le Trong Cuc, Rambo A.T. (Eds.), *Bright Peaks, Dark Valleys. A Comparative Analysis of Environmental and Social Conditions and Development Trends in Five Communities in Northern Vietnam's Northern Mountain Region*, The National Political Publishing House, Hanoi: 177–208.
- Trussart, S., Messier, D., Roquet, V., Aki, S., 2002. Hydropower projects: a review of most effective mitigation measures. *Energy Policy*, 30: 1251–1259.
- Turner, B.L.I.I., Skole, D.L., Sanders, S., Fischer, G., Fresco, L., Keemans, R., 1995. Land-use/land-cover change: science/research plan. *IGBP report 35, HDP report 7*, The Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm.
- UNEP, 2010. *United Nations Environmental Program*. <http://www.unep.org>
- Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J-P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J-L., Orange, D., Do, D.P., Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silvera, N., Subagyono, K., Thiébaux, J-P., Tran, D.T., 2008. Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 225-238.
- WCD (World Commission on Dams), 2000. *Dams and development – A new framework for decision making*. An Overview. London and Sterling, VA, Earthscan Ed.

## **Chapitre 2: Politique énergétique, aménagement du territoire et développement durable en zone de montagne**

- Affholder, F., Jourdain, D., Dang, D.Q., To, P.T., Morize, M., Ricome, A., 2010. Constraints to farmers' adoption of direct-seeding mulch-based cropping systems: A farm scale modeling approach applied to the mountainous slopes of Vietnam. *Agricultural Systems*, 103(1): 51-62. DOI 10.1016/j.agsy.2009.09.001.
- Affholder, F., Jourdain, D., Morize, M., Dang, D.Q., Ricome, A., 2008. Eco- intensification dans les montagnes du Vietnam. Contraintes à l'adoption de la culture sur couvertures végétales. *Cahiers Agricultures*, 17: 289–296.
- Ananda, J., Herath, G., 2003. Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal. *J. Env. Manag.*, 68(4): 343–353.
- Bohlen, C., Lewis, L.Y., 2009. Examining the economic impacts of hydropower dams on property values using GIS. *J Environmental Management*, 90(SUPPL. 3): S258–S269. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.026>.
- Brown, P.H., Magee, D., Xu, Y., 2008. Socioeconomic vulnerability in China's hydropower development. *China Economic Review*, 19(4): 614–627.
- Bruijnzeel, L.A., 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104: 185–228.
- Burgers, P., Ketterings, Q.M., Garrity, D.P., 2005. Fallow management strategies and issues in Southeast Asia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 110: 1–13.
- Castella, J-C., Dang Dinh Quang, eds, 2002. *Doi Moi in the Mountains. Land use changes and farmers' livelihood strategies in Bac an Province, Vietnam*. The Agricultural Publishing House, Hanoi, 283 p.
- Chang, X., Liu, X., Zhou, W., 2010. Hydropower in China at present and its further development. *Energy*, 35(11): 4400–4406. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.051>.
- Chaplot, V., Giboire, G., Marchand, P., Valentin, C., 2005. Dynamic modeling for linear erosion initiation and development under climate and land-use changes in northern Laos. *Catena*, 63: 318–328.
- Chaplot, V., Khampaseuth, X., Valentin, C., Le Bissonnais, Y., 2007. Interrill erosion in the sloping lands of northern Laos subjected to shifting cultivation. *Earth Surface Processes and Landform*, 32: 415–428.
- Chen, S., Fath, B.D., Chen, B., 2010. Ecological risk assessment of hydropower dam construction based on ecological network analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 2(5): 725–728. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.083>.
- Clément, F., Amezaga, J.M., 2009. Afforestation and Forestry Land Allocation in Northern Vietnam: Analysing the gap between policy intentions and outcomes. *Land Use Policy*, 26 (2):458-470.
- Clément, F., Orange, D., Williams, M., Mulley, C., Epprecht, M., 2009. Drivers of afforestation in Northern Vietnam: Assessing local variations using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 29, doi:10.1016/j.apgeog.2009.01.003: 561-576.
- Dao, N., 2010. Dam development in Vietnam: The evolution of dam-induced resettlement policy. *Water Alternatives*, 3(2): 324–340.
- EVN, 2010. Annual report: 50 p.

- Eyini, M., Jayakumar, M., Pannirselvam, S., 1989. Allelopathic effect of bamboo leaf extract on the seedling of groundnut. *Tropical Ecology*, 30: 138–141.
- FAO, 2008. *Investing in Sustainable Agricultural Intensification. The Role of Conservation Agriculture. A Framework for Action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gagnon, L., Klimpt, J.E., Seelos, K., 2002. Comparing recommendations from the World Commission on Dams and the IEA initiative on hydropower. *Energy Policy*, 30(14): 1299–1304.
- Gagnon, L., van de Vate, J.F., 1997. Greenhouse gas emissions from hydropower. *Energy Policy*, 25(1): 7–13.
- Gardner, R.A.M., Gerrard, A.J., 2003. Runoff and soil erosion on cultivated rainfed terraces in the Middle Hills of Nepal. *Applied Geography*, 23: 23–45.
- Goddard, T., Zebisch, M., Gan, Y., Ellis, W., Watson, A., Sombatpanit, S., (eds), 2008. No-till farming systems. *World Association of Soil and Water Conservation (WASWC)*, Special Pub. 3, Bangkok, ISBN 978-974-8391-60-1: 544 p.
- Gowan, C., Stephenson, K., Shabman, L., 2006. The role of ecosystem valuation in environmental decision making: Hydropower relicensing and dam removal on the Elwha River. *Ecological Economics*, 56(4): 508–523.
- He, Da-ming, Liu, Xiu-juan, 2001. Equitable utilisation and effective protection of sharing transboundary water resources: international rivers of western China. *J Geographical Sciences*, 11(4): 490–500.
- Hohmann, R., Pfister, C., Frei, C., 2003. *Événements extrêmes et changements climatiques*. Rapport de synthèse, OcCC, 94 p.
- Imamura, F., To, D.V., 1997. Flood and typhoon disasters in Viet Nam in the half century since 1950. *Natural Hazards*, 15: 71-87.
- Kiersch, B., Tognetti, S., 2002. Land-water linkages in rural watersheds: results from the FAO electronic workshop. *Land Use Water Resources Research*, 2: 1.1–1.6.
- Klaver, G., van Os, B., Negrel, P., Petelet-Giraud, E., 2007. Influence of hydropower dams on the composition of the suspended and riverbank sediments in the Danube. *Environmental Pollution*, 148(3): 718–728.
- Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17: 319–464.
- Lal, R., 2005. *Encyclopedia of Soil Science, Second Edition*. CRC Press, The Ohio State University, Columbus, USA, 2060 p.
- Lestrelin, G., Giordano, M., 2007. Upland development policy, livelihood change and land. *Land Degradation & Development*, 18: 55–76.
- Lian, F.J., 1993. On threatened people. In: Brookfield, H., Byron, Y. (Eds.), *South-East Asia's environmental future: the search for sustainability*. United Nations University Press/Oxford University Press, Tokyo/Singapore: 322–337.
- Maglinao, A.R., Valentin, C., Penning de Vries, F. (Eds.), 2003. *From Soil Research to Land and Water Management: Harmonizing People and Nature*. IWMI, Asian Development Bank, Bangkok, Thailand: 250 p.
- McCartney, M., 2007. Decision support systems for large dam planning and operation in Africa. *IWMI Working Paper*, 119, IWMI, Colombo, Sri Lanka: 47 p.
- McCartney, M., 2009. Living with dams: managing the environmental impacts. *Water Policy*, 11(1): 121–139.

- McNally, A., Magee, D., Wolf, A.T., 2009. Hydropower and sustainability: Resilience and vulnerability in China's powersheds. *Journal of Environmental Management*, 90(SUPPL. 3): S286–S293. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.029>.
- Midmore, D.J., Jansen, H.G.P., Dumsday, R.G., 1996. Soil erosion and environmental impact of vegetable production in the Cameron Highlands, Malaysia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 60(1): 29–46.
- Mulvaney, M.J., Reyes, M.R., Chan-Halbrendt, C., Boulakia, S., Jumpa, K., Sukvipool, C., Sombatpanit, S. (eds), 2012. Conservation agriculture in Southeast Asia and beyond. Special publication 7, *World Association of Soil and Water Conservation (WASWAC)*, Beijing, China, ISBN 978-0-615-73926-7, 124 p.
- Nanko, K., Hotta, N., Suzuki, M., 2004. Assessing raindrop impact energy at the forest floor in a mature Japanese cypress plantation using continuous raindrop-sizing instruments. *J. Forest Research*, 9: 157–164.
- Ngo, L.L., Madsen, H., Rosbjerg, D., 2007. Simulation and optimisation modelling approach for operation of the Hoa Binh reservoir, Vietnam. *J. Hydrology*, 336(3-4): 269–281.
- Nguyen Khac Nhan, 2014. Le développement énergétique et électrique du Viet Nam. *Encyclopédie de l'énergie*, notice 069, ARC-Communautés de Recherche Académique: 8 p.
- Nguyen Van Diep, Nguyen Hong Khanh, Nguyen minh Son, Nguyen Van Hanh, P.H., Huntjens, P., 2007. *Integrated Water Resource Management in the Red River Basin - Problems and Cooperation Opportunity*. 2nd year Progress Report, ASEMWaterNet-LNEC, Univ. Osnabrueck, Germany; Hanoi, Vietnam: 16 p.
- Noordwijk, van M., Poulsen, J.G., Ericksen, P.J., 2004. Quantifying off-site effects of land use change: Filters, flows and fallacies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104(1): 19–34.
- Orange, D., Noble, A., 2010. Technical methods and tools for integrated land and water management, to deal with issues related to conservation and utilization of land and water resources and systems. In: *e-Conference on "Integrated Land and Water Resources Management in Rural Watersheds"*, 2 November- 4 December 2009, FAO Regional Office for Asia and the Pacific (UNESCAP, APWF, IWMI, GWP), 8 p.
- Orange, D., Pham, D.R., Janeau, J-L., Henri-des-Tureaux, T., Nguyen, V.T., Luu, T.N.M., Tran, D.T., 2013. Balance of the erosion due to exceptional rain events and land use within agricultural hilly landscapes of the Great Mekong Region. *International Conference MES (Mekong Environment Symposium)*, Session: 122 – 2, Topic: 06. Hazards and disaster risk reduction in the Mekong Basin, HCMC (Vietnam), March 2013, Published Abstract Proc., WISDOM project, DLR (Germany) : 55.
- Orange, D., Pham, D.R., Tran, D.T., Henri des Tureaux, T., Laissus, M., Nguyen, D.P., Do, D.P., Nguyen, V.T., Nieullet, N., Ballesteros, S., Lequeux, B., Phan, H.H.A., Lamezec, Y., Mitard, C., Mahe, M., Bernard, R., Ducos, H., Zemp, D., Janeau, J-L., Jouquet, P., Podwojewski, P., Valentin, C., 2012. Long term erosion measurements on Sloping Lands in North Vietnam: impact of the land use change on bed load output. *Conference on Conservative Agriculture*, CIRAD-NOMAFSI, 10-14 December 2012, Hanoi. Oral presentation; in Hauswirth, D. et al. (eds), *Conservation Agriculture and Sustainable Upland Livelihoods. Innovations for, with and by Farmers to Adapt to Local and Global Changes*, Proceedings of the 3rd International Conference on Conservation Agriculture in Southeast Asia. Hanoi, Vietnam, 10-15 December 2012. CIRAD, Montpellier, France; NOMAFSI, Phu Tho, Viet Nam; University of Queensland, Brisbane, Australia. : 49-52.
- Orange, D., Tran, D.T., Nguyen, D.P., Nguyen, V.T., Salgado, P., Clement, F., Le, H.B., 2008. Different interests, common concerns and shared benefits. *LEISA Magazine*, 24(2): 12-13. + Chinese version.

- Pandey, S., Dang Van Minh, 1998. A Socio-economic Analysis of Rice-production Systems in the Uplands of Northern Vietnam Agriculture. *Ecosystems and Environment*, 70: 249-258.
- Phan Ha Hai An, Huon, S., Henry des Tureaux, T., Orange, D., Jouquet, P., Valentin, C., De Rouw, A., Tran, D.T., 2012. Impact of fodder cover on runoff and soil erosion at plot scale in a cultivated catchment of North Vietnam. *Geoderma*, 177-178: 8-17.
- Pender, J., Gebremedhin, B., Benin, S., Ehui, S., 2001. Strategies for sustainable agricultural development in the Ethiopian highlands. *American J. Agricultural Economics*, 83: 1231-1240.
- Penning de Vries, F.W.T., Acquay, H., Molden, D., Scherr, S.J., Valentin, C., Cofie, O., 2002. Integrated land and water management for food and environmental security. *IWMI Comprehensive assessment research paper* No. 1, International Water Management Institute, Colombo, 70 p.
- Podwojewski, P., Orange, D., Jouquet, P., Valentin, C., Nguyen, V.T., Janeau, J-L., Tran, D.T., 2008. Land-use impacts on surface runoff and soil detachment within agricultural sloping lands in Northern Vietnam. *Catena*, 74: 109-118.
- Rizvi, S.J.H., Tahir, M., Rizvi, V., Kohli, R.K., Ansari, A., 1999. Allelopathic interactions in agroforestry systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18: 773-796.
- Scherr, S.J., 2000. Downward spiral? Research evidence on the relationship between poverty and natural resource degradation. *Food Policy*, 25: 479-498.
- Shestopalov, P.V., Volynchikov, A.N., 2013. Challenges Overcome in Designing and Building Son La Dam in Vietnam. *HRW-Hydro Review Worldwide*, 21(1): 6 p.
- Sidle, R.C., Ziegler, A.D., Negishi, J.N., Rahim Nik, A., Siew, R., Turkelboom, F., 2006. Erosion processes in steep terrain—truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management*, 224: 199-225.
- Sternberg, R., 2008. Hydropower: Dimensions of social and environmental coexistence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(6): 1588-1621.
- SWECO, 2005. *Planification de l'hydroélectricité nationale*. Cabinet SWECO – STATKRAFT, en Vietnamien, Hanoi.
- Tothong, W., Huon, S., Janeau, J-L., Boonsaner, A., de Rouw, A., Planchon, O., Bardoux, G., Parkpian, P., 2011. Impact of land use change and rainfall on sediment and carbon accumulation in a water reservoir of North Thailand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140: 521-533.
- Tilt, B., Braun, Y., He, D., 2009. Social impacts of large dam projects: A comparison of international case studies and implications for best practice. *J Environmental Management*, 90(SUPPL. 3): S249-S257. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.030>.
- Tomich, T.P., Thomas, D.E., van Noordwijk, M., 2004. Environmental services and land use change in Southeast Asia: from recognition to regulation or reward? *Agric Ecosyst. Envir*, 104: 229-244.
- Tran Duc Vien, Nguyen Viet Tung, Calkins, P., Allbritton, A., Hiesinger, M.A., Vu Thi Thao, Pham Mai Huong, Tran Nam Anh, Le Thi Thanh Phuong, Dang Viet, Quang, 2005. *Marketing and agroforestry development in Vietnam's uplands*. Agriculture Publishing House, Hanoi, Vietnam: 390 p.
- Trussart, S., Messier, D., Roquet, V., Aki, S., 2002. Hydropower projects: A review of most effective mitigation measures. *Energy Policy*, 30(14): 1251-1259.
- Valentin, C., 2004. Overland flow, erosion and associated sediment and biogeochemical transports. In: Kabat, P., Claussen, M., Dirmeyer, P.A. Gash, J.H.C., Bravo de Guenni, L., Meybeck, M., Pielke Sr., R.A., Vörösmarty, C.J., Hutjes, R.W.A., Lu tkemeier, S. (Eds.), *Vegetation, Water, Humans and the Climate. A New Perspective on an Interactive System*. Springer-Verlag, Berlin. Global Change – The IGBP Series: 317-322.

- Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J-P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J-L., Orange, D., Do, D.P., Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silvera, N., Subagyono, K., Thiébaux, J-P., Tran, D.T., 2008. Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 225-238.
- Valentin, C., Poesen, J., Yong, Li., 2005. Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena*, 63: 132–153.
- Wang, P., Lassoie, J.P., Dong, S., Morreale, S.J., 2013. A framework for social impact analysis of large dams: A case study of cascading dams on the Upper-Mekong River, China. *J. Environmental Management*, 117: 131–140. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.045>.
- Watts, R.J., Richter, B.D., Opperman, J.J., Bowmer, K.H., 2011. Dam reoperation in an era of climate change. *Marine and Freshwater Research*, 62(3): 321–327.
- WCD, 2000a. Dams and development: a new framework for decision-making. World Commission on Dams, Earthscan, London.
- WCD, 2000b. Social impact assessment, WCD thematic review v.2: Environmental and social assessment for large dams. World Commission on Dams, Cape Town.
- World Bank, 2009. Strategic environmental assessment of the hydropower master plan in the context of the power development plan six. Vol. 1, January 2009, 150 p. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2009/01/13843219/strategic-environmental-assessment-hydropower-master-plan-context-power-development-plan-six-vol-1-2-final-report>.
- Yüksel, I., 2010. Hydropower for sustainable water and energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1): 462–469.

### **Chapitre 3: Impacts des lacs de barrage sur la dynamique aval**

#### **des flux d'eau et de matières en ASE**

- Acreman, M., Farquharson, F.A., McCartney, M.P., Sullivan, C., Campbell, K., Hodgson, N., Morton, J., Smith, D., Birley, M., Knott, D., Lazenby, J., Wingfield, D., Barbier, E.B., 2000. *Managed flood releases from reservoirs: issues and guidance*. Report to DFID and the World Commission on Dams, Wallingford, UK, Centre for Ecology and Hydrology: 88 p.
- Adamson, P.T., 2001. Hydrological perspectives on the Lower Mekong Basin — the potential impacts of hydropower developments in Yunnan on the downstream flow regime. *International Water Power and Dam Construction*, March 2001: 16–21.
- Ananda, J., Herath, G., 2003. Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal. *J. Env. Manag.*, 68(4): 343–353.
- Annandale, G.W., 2006. Reservoir sedimentation. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, John Wiley & Sons, Ltd.: 1–13. <http://dx.doi.org/10.1002/0470848944.hsa086>.
- Arias, M.E., Cochrane, T.A., Kummu, M., Lauri, H., Holtgrieve, G.W., Koponen, J., Piman, T., 2014. Impacts of hydropower and climate change on drivers of ecological productivity of Southeast Asia's most important wetland. *Ecological Modelling*, 272: 252– 263.
- Asquith, N.M., Vargas, M.T.R., Smith, J., 2002. Can forest-protection carbon projects improve rural livelihoods? Analysis of the Noel Kempff Mercado Climate Action Project, Bolivia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7: 323–337.

- Bakker, K., 1999. The politics of hydropower: developing the Mekong. *Political Geog.*, 18(2): 209–232.
- Balland, P., 1991. *Le littoral méditerranéen français. Evolution physique—qualité générale*. Agence de l'Eau Rhone- Mediterranee-Corse, Lyon.
- Biswas, A. K., 1992. The Aswan High Dam revisited. *Ecodecision*, September: 67–69.
- Blake, D., 2001. Proposed Mekong dam scheme in China threatens millions in downstream countries. *World Rivers Review*, 16(3): 4–5.
- Brandt, S.A., 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40(4): 375–401.
- Brune, G.M., 1953. Trap efficiency of reservoirs. *Transactions of American Geophysical Union*, 34(3): 407–418.
- Bui, T.Y., Orange, D., Visser, S.M., Chu, T.H., Laissus, M., Poortinga, A., Tran, D.T., Stroosnijder, L., 2014. Lumped surface and sub-surface runoffs for erosion modeling within a small hilly watershed in northern Vietnam. *Hydrological Processes*, doi: 10.1002/hyp.9860, 28: 2961–2974.
- Chao, B.F., Wu, Y.H., Li, Y.S., 2008. Impact of artificial reservoir water impoundment on global sea level. *Science*, 320: 212–214.
- Chen, J.G., Zhou, W.H., Chen, Q., 2012a. Considerations on Water-Sediment Regulation in later sediment retaining stage of Xiaolangdi Reservoir. *Yellow River*, 34(5) 1–3 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y.Z., Syvitski, J.P.M., Gao, S., Overeem, I., Kettner, A.J., 2012b. Socio-economic impacts on flooding: a 4000-year history of the Yellow River, China. *Ambio*, 41: 682–698.
- Church, M., 2006. Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 34: 325–354.
- Cogels, F.X., Coly, A., Niang, A., 1997. Impact of dam construction on the hydrological regime and quality of a Sahelian Lake in the River Senegal Basin. *Regulated Rivers: Research & Management*, 13(1): 27–41.
- Collier, M., Webb, R.H., Schmidt, J.C., 1996. Dams and Rivers: A Primer on the Downstream Effects of Dams. *US Geological Survey Circular 1126*, Tuscon (USA).
- Dai, S.B., Yang, S.L., Cai, A.M., 2008. Impacts of dams on the sediment flux of the Pearl River, southern China. *Catena*, 76: 36–43.
- Dai, Z., Liu, J.T., 2013. Impacts of large dams on downstream fluvial sedimentation: An example of the Three Gorges Dam (TGD) on the Changjiang (Yangtze River). *J. Hydrol.*, 480: 10–18.
- Dang Thi Ha, 2011. *Erosion et transferts de matières en suspension, carbone et métaux dans le bassin versant du Fleuve Rouge depuis la frontière sino-vietnamienne jusqu'à l'entrée du delta*. PhD of University Bordeaux 1, Environmental Sciences: 309 p.
- Dang, T.H., Coynel, A., Orange, D., Blanc, G., Etcheber, H., Le, L.A., 2010. Long-term monitoring (1960–2008) of the river-sediment transport in the Red River Watershed (Vietnam): temporal variability and dam-reservoir impact. *Sci. Total Env.*, 408 (20): 4654–4664. ISSN 0048-9697.
- Dang, T.H., Coynel, A., Orange, D., Blanc, G., Etcheber, H., Schafer, J., Le, L.A., 2009. Erosion and impact of human disturbance on sediment transport in the Red River, Vietnam. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 73 (13 suppl. 1), p. A260.
- Dao, N., 2010. Dam development in Vietnam: The evolution of dam-induced resettlement policy. *Water Alternatives*, 3(2): 324–340.
- Demarty, M., Bastien, J., 2011. GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH<sub>4</sub> emission measurements. *Energy Policy*, 39: 4197–4206.

- Farnsworth, K.L., Milliman, J.D., 2003. Effects of climatic and anthropogenic change on small mountainous rivers: the Salinas River example. *Global Planet. Change*, 39(1–2): 53–64.
- Fearnside, P.M., 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source. Editorial comment. *Climatic Change*, 66(1–2): 1–2.
- Fox, J., Vogler, J.B., Sen, O.L., Giambelluca, T.W., Ziegler, A.D., 2012. Simulating land-cover change in montane mainland Southeast Asia. *Environ. Manag.*, 49: 968–979.
- Fu, K.D., He, D.M., Lu, X.X., 2008. Sedimentation in the Manwan Reservoir in the Upper Mekong and its downstream impacts. *Quaternary International*, 186: 91–99.
- Furuichi, T., Win, Z., Wasson, R.J., 2009. Discharge and suspended sediment transport in the Ayeyarwady River, Myanmar: centennial and decadal changes. *Hydrol. Process.*, 23(11): 1631–1641.
- Golubev, G., 1993. Sustainable water development: implications for the future. *Water Resources Development*, 9(2): 127–154.
- Gomez, B., 1991. Bedload transport. *Earth Sci. Rev.*, 31: 89–132.
- Graf, W.L., 1999. Dam nation: a geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts. *Wat. Res. Res.*, 35(4): 1305–1311.
- Graf, W.L., 2005. Geomorphology and American dams: the scientific, social, and economic context. *Geomorphology*, 71(1–2): 3–26.
- Grant, G.E., Schmidt, J.C., Lewis, S.L., 2003. A geological framework for interpreting downstream effects of dams on rivers. In O'Connor, J.E., Grant, G.E. (Eds.): *A Peculiar River. Water Science and Application*, vol. 7, American Geophysical Union, USA: 203–219.
- Grumbine, R.E., Xu, J.C., 2011. Mekong hydropower development. *Science*, 332: 178–179.
- Gupta, A, Liew, S.C., 2007. The Mekong from satellite imagery: a quick look at a large river. *Geomorphology*, 85(3–4): 259–274.
- Gupta, H., Kao, S.J., Dai, M., 2012. The role of mega dams in reducing sediment fluxes: A case study of large Asian rivers. *J. Hydrology*, 464–465: 447–458.
- Hassane, A., Kuper, M., Orange, D., 2000. Influence des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger supérieur sur l'onde de la crue du delta intérieur du Niger au Mali. *Sud Sciences et Technologies*, 5: 16–31.
- Hessel, R., 2002. *Modelling soil erosion in a small catchment on the Chinese Loess Plateau*. Nederlandse Geografische Studies, PhD thesis, University of Utrecht, Netherlands, ISBN 9068093436: 318 p.
- Hinderer, M., 2012. From gullies to mountain belts: a review of sediment budgets at various scales. *Sediment. Geol.*, 280: 21–59.
- Hirsch, P., 1998. Dams, resources and politics of environment in mainland Southeast Asia. In Hirsch P., Warren C. (eds): *The politics of the environment in Southeast Asia: resources and resistance*. Routledge Ed., London, England: 55–70.
- Holeman, J.N., 1968. The sediment yield of major rivers of the world. *Wat. Res. Res.*, 4: 737–747.
- Hovius, N., 1998. Control on sediment supply by large rivers. In McCabe, K.W.S.P.J.(Ed.): *Relative Role of Eustacy, Climate and Tectonism in Continental Rocks*. SEPM Special Publ. *Society for Sedimentary Geology*: 3–16. <<http://www.cwc.nic.in>>.
- Hu, B.Q., Yang, Z.S., Wang, H.J., Sun, X.X., Bi, N.S., Li, G.G., 2009. Sedimentation in the Three Gorges Dam and the future trend of Changjiang (Yangtze River) sediment flux to the sea. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13(11): 2253–2264.
- Johnston, R., Kummu, M., 2012. Water resource models in the Mekong Basin: a review. *Water Resources Management*, 26: 429–455. DOI. 10.1007/s11269-011-9925-8

- Keskinen, M., Chinvanno, S., Kummu, M., Nuorteva, P., Snidvongs, A., Varis, O., Västilä, K., 2010. Climate change and water resources in the Lower Mekong River Basin: putting adaptation into the context. *J. Water Climate Change*, 1(2): 103-117.
- Komori, D., Nakamura, S., Kiguchi, M., Nishijima, A., Yamazaki, D., Suzuki, S., Kawasaki, A., Oki, K., Oki, T., 2012. Characteristics of the 2011 Chao Phraya River Flood in Central Thailand. *Hydrol. Res. Lett.*, 6: 41–46.
- Kong, Q.R., Jiang, C.B., Qin, J.J., Guo, B., 2009. Sediment transportation and bed morphology reshaping in Yellow River Delta. *Sci. China Ser. E – Technol. Sci.*, 52(11): 3382–3390.
- Kummu, M., Varis, O., 2007. Sediment-related impacts due to upstream reservoir trapping, the Lower Mekong River. *Geomorphology*, 85: 275–293.
- Kummu, M., Lu, X.X., Wang, J.J., Varis, O., 2010. Basin-wide sediment trapping efficiency of emerging reservoirs along the Mekong. *Geomorphology*, 119: 181–197.
- Kummu, M., Tes, S., Yin, S., Adamson, P., Józsa, J., Koponen, J., Richey, J., Sarkkula, J., 2014. Water balance analysis for the Tonle Sap Lake–floodplain system. *Hydrological Processes*, 28: 1722–1733. DOI.10.1002/hyp.9718
- Lamberts, D., 2006. The Tonle Sap Lake as a productive ecosystem. *International Journal of Water Resources Development*, 22: 481–495.
- Kuper, M., Hassane, A., Orange, D., Chohin-Kuper, A., Sow, M., 2002. Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger : impact de la gestion des aménagements hydrauliques. In Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (Ed.Sc.): Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales. *Colloques et Séminaires*, IRD coll., Paris (FRA); Bamako: IRD and CNRST (Mali): 411-430. ISBN 2-7099-1480-8
- Le, T.P.Q., Billen, G., Garnier, J., Théry, S., Ruelland, D., Nghiem, X.A., Chau, V.M., 2010. Nutrient (N, P, Si) transfers in the subtropical Red River system (China and Vietnam): Modelling and budget of nutrient sources and sinks. *J. Asian Earth Sciences*, doi:10.1016/j.jseas.2009.08.010, 37(3): 259-274.
- Le, T.P.Q., Garnier, J., Gilles, B., Théry, S., Chau Van Minh, 2007. The changing flow regime and sediment load of the Red River, Viet Nam. *J. Hydrol.*, 334(1–2): 199-214.
- Le, T.P.Q., Seidler, C., Kandler, M., Tran T.B.N., 2011. Proposed methods for potential evapotranspiration (ETP) calculation of the Red River basin (North Vietnam). *Hydrological Processes*, doi:10.1002/hyp.8315, 26(18): 2782-2790.
- Ledec, G., Quintero, J.D., 2003. Good dams and bad dams: environmental criteria for site selection of hydroelectric projects. *Sustainable Development Working Paper 16*, World Bank, Latin America and the Caribbean Region, Environmentally and Socially Sustainable Development Sector Management Unit: 20 p.
- Li, Yungang, He, Daming, Ye, Changqing, 2008. Spatial and temporal variation of runoff of Red River Basin in Yunnan. *J. Geogr. Sci.*, 18, doi: 10.1007/s11442-008-0308-x: 308-318.
- Liu, C., He, Y., Walling, E., Wang, J., 2013. Changes in the sediment load of the Lancang-Mekong River over the period 1965–2003. *Science China Technological Sciences*, 56(4): 843–852.
- Liu, W., Wei, X., Liu, S., Liu, Y., Fan, H., Zhang, M., Yin, J. and Zhan, M., 2014. How do climate and forest changes affect long-term streamflow dynamics? A case study in the upper reach of Poyang River basin. *Ecohydrol.*, doi: 10.1002/eco.1486
- Liu, Xinyou, He, Daming, 2012. A new assessment method for comprehensive impact of hydropower development on runoff and sediment changes. *J. Geogr. Sci.*, 22(6), doi: 10.1007/s11442-012-0981-7: 1034-1044.
- Lu, X.X., 2004. Vulnerability of water discharge of large Chinese rivers to environmental changes: an overview. *Regional Environmental Change*, 4: 182–191.

- Lu, X.X., Ashmore, P., Wang, J.F., 2003. Seasonal water discharge and sediment load change in the Upper Yangtze: possible responses to human activities. *Mountain Research and Development*, 23: 56–64.
- Lu, X.X., Higgitt, D.L., 1998. Recent changes of sediment yield in the Upper Yangtze, China. *Environmental Management*, 22: 697–709.
- Lu, X.X., Kumm, M., Oeurng, C., 2014a. Reappraisal of sediment dynamics in the Lower Mekong River, Cambodia. *Earth Surface Processes and Landforms*, DOI 10.1002/esp.3573
- Lu, X.X., Li, S., Kumm, M., Padawangi, R., Wang, J.J., 2014b. Observed changes in the water flow at Chiang Saen in the lower Mekong: Impacts of Chinese dams? *Quaternary International*, 336: 145-157.
- Lu, X.X., Siew, R.Y., 2006. Water discharge and sediment flux changes over the past decades in the Lower Mekong River: possible impacts of the Chinese dams. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10: 181–195.
- Ludwig, W., Probst, J-L., 1998. River sediment discharge to the oceans: present-day controls and global budgets. *Am. J. Sci.*, 298: 265–295.
- Luu, T.N.M., Garnier, J., Billen, G., Le, T.P.Q., Némery, J., Orange, D., Le, L.A., 2011. N, P, Si budgets for the Red River Delta (Northern Vietnam): How the delta affects river nutrient deliveries to the sea. *Biogeochemistry*, doi:10.1007/s10533-010-9549-8, 107: 241-259.
- Luu, T.N.M., Garnier, J., Billen, G., Orange, D., Nemery, J., Le, T.P.Q., Tran, H.T., Le, L.A., 2010. Hydrological regime and water budget of the Red River delta (Northern Vietnam). *J. Asian Earth Sci.*, 37: 219-228.
- McCully, P., 1996. *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams*. Zed Books, London, 1996.
- McCartney, M.P., 2007. Decision support systems for large dam planning and operation in Africa. *IWMI Working Paper*, 119, Colombo, Sri Lanka: 47 p.
- McCartney, M., 2009. Living with dams: managing the environmental impacts. *Water Policy*, 11 (1): 121–139.
- McCartney, M. P., Acreman, M. C., 2001. Managed flood releases as an environmental mitigation option. *International Journal of Hydropower and Dams*, 8(1): 74–80.
- McCormack, G., 2001. Water margins: competing paradigms in China. *Critical Asian Studies*, 33(1): 5–30.
- McGregor, A., 2008. *Southeast Asian Development*. Perspectives on Development, Routledge Ed., London, England: 251 p. ISBN 0-203-08600-7
- Magilligana, F.J., Nislow, K.H., 2005. Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*, 71: 61-78.
- Mahmood, K., 1987. Reservoir Sedimentation—Impact, extent and mitigation. *World Bank Technical Paper No. 71*. World Bank, Washington, DC.
- Meade, R.H., 1996. River-sediment inputs to major deltas. In: Milliman, J.D., Haq, B.U. (Eds.), *Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences, and Strategies*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht: 63–85.
- Meade, R.H., Moody, J.A., 2010. Causes for the decline of suspended-sediment discharge in the Mississippi River system, 1940–2007. *Hydrol. Process.*, 24: 35–49.
- Meybeck, M., Laroche, L., Durr, H.H., Syvitski, J.P.M., 2003. Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers. *Glob. Planet. Chang.*, 39: 65–93.
- Miao, C.Y., Ni, J.R., Borthwick, A.G.L., Yang, L., 2011. A preliminary estimate of human and natural contributions to the changes in water discharge and sediment load in the Yellow River. *Global Planet. Change*, 76: 196–205.

- Milliman, J.D., 1997. Blessed dams or damned dams? *Nature*, 386: 325–326.
- Milliman, J.D., Meade, R.H., 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.*, 91(1): 1–21.
- Milliman, J.D., Syvitski, J.P.M., 1992. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the oceans: the importance of small mountainous rivers. *J. Geol.*, 100: 525–544.
- Moog, D.B., Whiting, P.J., 1998. Annual hysteresis in bed load rating curves. *Water Resour. Res.*, 34: 2393–2399.
- Nagle, G.N., Fahey, T.J., Lassoie, J.P., 1999. Management of sedimentation in tropical watersheds. *Environ. Manag.*, 23: 441–452.
- Ngo, L.L., Madsen, H., Rosbjerg, D., 2007. Simulation and optimisation modelling approach for operation of the HoaBinh Reservoir, Vietnam. *J Hydrol.*, 336: 269–281.
- Nguyen Van Diep, Nguyen Hong Khanh, Nguyen Minh Son, Nguyen Van Hanh, Huntjens, P., 2007. Integrated water resource management in the Red River Basin: Problems and cooperation opportunity. Proceedings in CAIWA'2007, *International Conf. on Adaptive & Integrated Water Management*, 12-15th November 2007, Basel, Switzerland, Springer ed.
- Nguyen Van Thiet, Orange, D., Laffly, D., Pham Van Cu, 2012. Consequences of large hydropower dams on erosion budget within hilly agricultural catchments in Northern Vietnam by RUSLE modeling. Hanoi : IRD, 2012, 8 p. multigr. *International Conference Sediment Transport Modeling in Hydrological Watersheds and Rivers*, Istanbul (TUR), 2012/11/14-16, IASH.
- Olofin, E. A., 1988. Monitoring the impacts of dam on the downstream physical environment in the tropics. *Regulated Rivers: Research & Management*, 2(2): 167–174.
- Orange, D., Lequeux, B., Henry des Tureaux, T., Pham Van Rinh, Tran Duc Toan, 2008. Charges de fond et suspensions transportées par les eaux d'écoulement dans un petit bassin versant agricole sur pentes dans le Nord Vietnam. In Orange D., Roose E., Vermande P., Gastellu J.-P., Pham Quang Ha (Eds) : *Gestion intégrée des eaux et des sols : ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains*, Editions AUF et IRD, Hanoi, Actes des Premières Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007, cd-rom : 6p.
- Orange, D., Pham, D.R., Janeau, J-L., Henri-des-Tureaux, T., Nguyen, V.T., Luu, T.N.M., Tran, D.T., 2013. Balance of the erosion due to exceptional rain events and land use within agricultural hilly landscapes of the Great Mekong Region. *International Conference MES (Mekong Environment Symposium)*, Session: 122 – 2, Topic: 06. Hazards and disaster risk reduction in the Mekong Basin, HCMC (Vietnam), March 2013, Published Abstract Proc., WISDOM project, DLR (Germany): 55.
- Parsons, A.J., 2011. How useful are catchment sediment budgets? *Prog. Phys. Geogr.*, 36: 60–71.
- Petts, G.E., 1984. *Impounded rivers: perspectives for ecological management*. John Wiley and Sons, Chichester: 326 p.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Kan, J.R., Prestagard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., Stromberg, J.C., 1997. The natural flow regime: a paradigm for the river conservation and restoration. *BioScience*, 47: 769-784.
- Postel, S.L., Daily, G.C., Ehrlich, P.R., 1996. Human appropriation of renewable fresh water. *Science*, 271: 785–788.
- Pye, K., 1987. *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press, London.
- Robinson, R.A.J., Bird, M.I., Oo, N.W., Hoey, T.B., Aye, M.M., Higgitt, D.L., Lu, X.X., Aye, K.S., Swe, A., Tun, T., Win, S.L. 2007. The Irrawaddy river sediment flux to the Indian Ocean: the original nineteenth-century data revisited. *J. Geol.*, 115(6): 629–640.
- Sidle, R.C., 1988. Bed load transport regime of a small forest stream. *Water Resour. Res.*, 24: 207–218.

- Sidle, R.C., Benson, W.H., Carriger, J.F., Kamai, T., 2013. A broader perspective on ecosystem sustainability: consequences for decision-making. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 110(23): 9201–9208.
- Sidle, R.C., Ochiai, H., 2006. Landslides: processes, prediction, and land use. *Am. Geophysical Union, Water Resource Monograph*, No. 18. AGU, Washington, D.C.: 312.
- Sidle, R.C., Ziegler, A.D., 2010. Elephant trail runoff and sediment dynamics in northern Thailand. *J. Environ. Qual.*, 39: 871–881.
- Sidle, R.C., Ziegler, A.D., 2012. The dilemma of mountain roads. *Nat. Geosci.*, 5: 437–438.
- Sidle, R.C., Ziegler, A.D., Negishi, J.N., Nik, A.R., Siew, R., 2006. Erosion processes in steep terrain—truths, myths, and uncertainties related to forest management in SE Asia. *For. Ecol. Manag.*, 224: 199–225. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.019>.
- Slaymaker, O., 2003. The sediment budget as conceptual framework and management tool. *Hydrobiologia*, 494: 71–82.
- Syvitski, J.P.M., Vorosmarty, C.J., Kettner, A.J., Green, P., 2005. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308: 376–380.
- Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J-P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J-L., Orange, D., Do, D.P., Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silvera, N., Subagyono, K., Thiébaux, J-P., Tran, D.T., 2008. Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 225-238.
- Van den Bergh, G.D., Boer, W., Schaapveld, M.A.S., Duc, D.M., van Weering, T.C.E., 2007. Recent sedimentation and sediment accumulation rates of the Ba Lat prodelta (Red River, Vietnam). *J Asian Earth Sci.*, 29:545–557.
- Van Maren, D.S., 2007. Water and sediment dynamics in the Red River mouth and adjacent coastal zone. *J. Asian Earth Sci.*, 29: 508–522.
- Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J., Lammers, R.B., 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 289: 284–288.
- Vörösmarty, C.J., Meybeck, M., Fekete, B., Sharma, K., Green, P., Syvitski, J.P.M., 2003. Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. *Global Planet. Change*, 39: 169–190.
- Vörösmarty, C.J., Sharma, K.P., Fekete, B.M., Copeland, A.H., Holden, J., Marble, J., Lough, J.A., 1997. The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world. *Ambio*, 26: 210–219.
- Walling, D.E., 2005. *Evaluation and analysis of sediment data from the Lower Mekong River*. Report prepared for the Mekong River Commission: 61 p.
- Walling, D.E., 2006. Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 79: 192–216.
- Walling, D.E., 2008. The changing sediment load of the Mekong River. *Ambio*, 37(3): 150–157.
- Walling, D.E., 2011. Human impact on the sediment loads of Asian rivers. In: *Sediment problems and sediment management in Asian River Basins, IAHS Publ.*, 349: 37–51.
- Walling, D.E., Fang D., 2003. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global Planet. Change*, 39(1–2): 111–126.
- Wang, B.D., Uwe, B., 2008. Potential impacts of three gorges Dam in China on the ecosystem of East China Sea. *Acta Oceanol. Sin.*, 27(1): 67–76.
- Wang, H.F., Lencinas, M.V., Friedman, C.R., Wang, X.K., Qiu, J.X., 2011a. Understory plant diversity assessment of Eucalyptus plantations over three vegetation types in Yunnan, China. *New Forests*, 42: 101-116.

- Wang, H.J., Bi, N.S., Saito, Y., Wang, Y., Sun, X.X., Zhang, J., Yang, Z.S., 2010. Recent changes in sediment delivery by the Huanghe (Yellow River) to the sea: causes and environmental implications in its estuary. *J. Hydrol.*, 391: 302–313.
- Wang, H.J., Saito, Y., Zhang, Y., Bi, N.S., Sun, X.X., Yang, Z.S., 2011b. Recent changes of sediment flux to the western Pacific Ocean from major rivers in East and Southeast Asia. *Earth Sci. Rev.*, 108: 80–100.
- Wang, J.J., Lu, X.X., Kumm, M., 2011c. Sediment load estimates and variations in the lower Mekong. *River Res. Applic.*, 27: 33–46.
- Wilkinson, B.H., McElroy, B.J., 2007. The impact of humans on continental erosion and sedimentation. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 119(1–2): 140–156.
- Williams, G.P., Wolman, M.G., 1984. Downstream effects of dams on alluvial rivers. *Geological Survey Professional Paper 1286*. USGS, Washington DC: 61 p.
- Winterwerp, J.C., Borst, W.G., de Vries, M.B., 2005. Pilot study on the erosion and rehabilitation of a mangrove mud coast. *J. Coastal Res.*, 21(2): 223–230.
- WCD (World Commission on Dams), 2000. Dams and Development. A New Framework for Decision Making. Earthscan, London. *The Report of the World Commission on Dams*.
- Xu, J.X., 2003. Sediment flux into the sea as influenced by the changing human activities and precipitation: example of the Huanghe River, China. *Acta Oceanol. Sin.*, 25(5): 125–135.
- Yang, S.L., Milliman, J.D., Li, P., Xu, K.H., 2011. 50,000 dams later: erosion of the Yangtze River and its delta. *Global Planet. Change*, 75: 14–20.
- Yang, Z., Wang, H., Saito, Y., Milliman, J.D., Xu, K., Qiao, S., Shi, G., 2006. Dam impacts on the Changjiang (Yangtze) River sediment discharge to the sea: the past 55 years and after the Three Gorges Dam. *Water Resour. Res.*, 42: W04407. doi 10.1029/2005WR003970.
- Yang, Z.S., Milliman, J.D., Galler, J., Liu, J.P., Sun, X.G., 1998. Yellow River's water and sediment discharge decreasing steadily. *EOS, Trans. AGU*, 79: 589–592.
- Yonggui, Y., Xuefa, S., Houjie, W., Chengkun, Y., Shenliang, C., Yanguang, L., Limin, H., Shuqing, Q., 2013. Effects of dams on water and sediment delivery to the sea by the Huanghe (Yellow River): The special role of Water-Sediment Modulation. *Anthropocene*, 3: 72–82.
- Yu, Y.G., Wang, H.J., Shi, X.F., Ran, X.B., Cui, T.W., Qiao, S.Q., Liu, Y.G., 2013. New discharge regime of the Huanghe (Yellow River): causes and implications. *Cont. Shelf Res.*, 69: 62–72.
- Zhai, H.J., Cui, B.S., Hu, B., Wei G.L., Liu, S.L., 2007. Regional ecosystem changes under different cascade hydropower dam construction scenarios in the LRGR. *Chinese Sc. Bull.*, 52(2): 106–114.
- Zhang, L.J., Wang, L., Cai, W.J., Liu, D.M., Yu, Z.G., 2013. Import of human activities on organic carbon transport in the Yellow River. *Biogeosciences*, 10: 2513–2524.
- Zhang, Q., Xu, C., Becker, S., Jiang, T., 2006. Sediment and runoff discharge in the Yangtze River basin during the past 50 years. *J. Hydrol.*, 331: 511–523.
- Zhang, Q., Xu, C.Y., Singh, V.P., Yang, T., 2009. Multiscale variability of sediment load and streamflow of the lower Yangtze River basin: Possible causes and implications. *J. Hydrol.*, 368(1–4): 96–104.
- Zhang, S., Lu, X.X., Higgitt, D.L., Chen, C-T.A., Han, J., Sun, H., 2008. Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) Basin, China. *Global Planet. Change*, 60(3–4): 365–380.
- Ziegler, A.D., Lim, H.S., Tantasarin, C., Jachowski, N., Wasson, R.J., 2012. Floods, false hope, and the future. *Hydrol. Process.*, 26: 1748–1750.
- Ziegler, A.D., Sidle, R.C., Phang, V.X.H., Wood, S.H., Tantasirin, C., 2013. Bedload transport in SE Asian streams—Uncertainties and implications for reservoir management. *Geomorphology*, doi:10.1016/j.geomorph.2014.01.015

## **Chapitre 4: Présentation géographique de la zone d'étude et situation**

### **socio-économique actuelle**

- Cernea, M.M., 1990. Poverty risks from population displacement in water resources development. *Development Discussion* No. 355, Cambridge, MA, US, Harvard University Institute for International Development.
- Cernea, M.M., 1999. Why economic analysis is essential to resettlement: A sociologists's view. In Cernea, M.M. (Ed), *The economics of voluntary resettlement: Questions and challenges*, Washington DC, World Bank: 5-49.
- Com Pop Son La, 2006. *Compiling of policies on resettlement for Son La hydropower project*. Son La Province, Son La People Committee.
- Cook, C., 1993 (Ed). *Involuntary Resettlement in Africa*. Washington, DC: World Bank.
- Dao, N., 2010. Dam development in Vietnam: The evolution of dam-induced resettlement policy. *Water Alternatives*, 3(2): 324–340.
- General Statistics Office, 2009. *Socio-economical Statistical Data of 63 Provinces and Cities*. Statistical Publishing House, Hanoi.
- Mburugy, E.K., 1994. Dislocation of settled communities in the development process: The case of Kiambere Hydroelectric project. In Cook, C. (Ed): *Involuntary resettlement in Africa: Selected papers from a conference on environment and settlement issues in Africa*, Washington DC, World Bank: 49-58.
- Podwojewski, P., Poulenard, J., Nguyet, M.L., de Rouw, A., Nguyen, V.T., Pham, Q.H., Tran, D.T., 2011. Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner-tropical soil catena in the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. *Catena*, 87(2): 226–239.
- Pomel, S., Pham, Q.H., Nguyen, V.T., 2007. Les états de surface des sols au Nord Vietnam : une méthode pour estimer et cartographier les risques d'érosion. Journées scientifiques Inter-Réseaux AUF, in Orange, D. et al. (Eds) : *Gestion intégrée des eaux et des sols*, Hanoi 5-9 novembre 2007. Publ. AUF et IRD, CD-rom: 359-366.
- Rew, A., Fisher, E., Pandey, B., 2000. Addressing policy constraints and improving outcomes in development-induced displacement and resettlement projects. *Refugee Studies Centre*, Oxford, UK.
- Shestopalov, P.V., Volynchikov, A.N., 2013. Challenges Overcome in Designing and Building Son La Dam in Vietnam. *HRW-Hydro Review Worldwide*, 21(1):
- Trang, H.D., 1995. *Scientific basis for stabilizing and rehabilitating for resettlers*. Scientific Research at Ministerial level, Hanoi, Vietnam's Ministry of Agriculture and Rural Development (MARD).
- Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J-P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J-L., Orange, D., Do, D.P., Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silvera, N., Subagyono, K., Thiébaux, J-P., Tran, D.T., 2008. Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 225-238.
- WCD (World Commission on Dams), 2000. *Dams and development – A new framework for decision making*. An Overview. London and Sterling, VA, Earthscan Ed.

## **Partie 2: Approche régionale de l'érosion dans les zones hydroélectriques du Nord Vietnam**

- Bêteille, R., 2000. Culture sur brûlis. *CD Encyclopædia Universalis*, v. 6.0.11.

- Clément, F., Orange, D., Williams, M., Mulley, C., Epprecht, M., 2009. Drivers of afforestation in Northern Vietnam: Assessing local variations using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 29, doi:10.1016/j.apgeog.2009.01.003: 561-576.
- Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17: 319-464.
- Lal, R., 2005. *Encyclopedia of Soil Science*, Second Edition. CRC Press, The Ohio State University, Columbus, USA, 2060 p.
- Morgan, R.P.C., 2005. *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Ed., Oxford, UK.
- Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J-P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J-L., Orange, D., Do, D.P., Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silvera, N., Subagyo, K., Thiébaux, J-P., Tran, D.T., 2008. Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 225-238.

## **Chapitre 5: Rappels fondamentaux sur l'érosion et modélisation RUSLE**

- Ambroise, B., 1999. *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant: Processus, Facteurs, Modèles*. Tempus Ed., Office Fédéral de l'Education et de la Science/Suisse, 96.01: 200 p.
- Arekhi, S., Darvishi Bolourani, A., Shabani, A., Fathizad, H., Ahamdyasbchin, S., 2012. Mapping soil erosion and sediment yield susceptibility using RUSLE, remote sensing and GIS (Case study: Cham Gardalan Watershed, Iran). *Advances in Environmental Biology*, 6(1): 109-124.
- Bartsch, K.P., van Miegroet, H., Boettinger, J., Dobrowolski, J.P., 2002. Using empirical erosion models and GIS to determine erosion risk at Camp Williams. *J. Soil Water Conserv.*, 57: 29-37.
- Beven, K.J., 2001. *Rainfall-Runoff Modelling: the primer*. John Wiley & Sons Ltd, NY: 360 p.
- Bergonzini, J-C., Lanly, J-P., 2000. *Les forêts tropicales*. CIRAD, Karthala Ed., Paris : 164 p.
- Bresson, L.M., Valentin, C., 1992. Soil surface crust formation: contribution of micromorphology. *Developments in Soil Science*, 22: 737-762.
- Breuer, L., Huisman, J.A., Willems, P., Bormann H, Bronstert A, Croke BFW, Frede HG, Graff T, Hubrechts L, Jakeman AJ, Kite G, Lanini J, Leavesley G, Lettenmaier DP, Lindstrom G, Seibert J, Sivapalan M, Viney NR. 2009. Assessing the impact of land use change on hydrology by ensemble modeling (LUCHEM). I: Model intercomparison with current land use. *Advances in Water Resources*, 32, doi: 10.1016/j.advwatres.2008.10.003 : 129-146.
- Brooks, S.M., McDonnell, R.A., 2000. Research advances in geocomputation for hydrological and geomorphological modelling towards the twenty-first century. *Hydrol. Process.*, 14(11-12):1907-2000
- Bui, T.Y., Orange, D., Visser, S.M., Chu, T.H., Laissus, M., Poortinga, A., Tran, D.T., Stroosnijder, L., 2014. Lumped surface and sub-surface runoffs for erosion modeling within a small hilly watershed in northern Vietnam. *Hydrological Processes*, doi: 10.1002/hyp.9860, 28: 2961-2974.
- Cerdan, O., 2001. Analyse et modélisation du transfert de particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés. *Thèse de doctorat*, Orléans.
- Chen, T., Niu, R.Q., Li, P.X., Zhang, L.P., Du, B., 2011. Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: A case study in Miyun Watershed, North China. *Environmental Earth Sciences*, 63(3): 533-541.
- Clark, M.P., Rupp, D.E., Woods, R.A., Tromp-van Meerveld, H.J., Peters, N.E., Freer, J.E., 2009. Consistency between hydrological models and field observations: linking processes at the hillslope scale to hydrological responses at the watershed scale. *Hydrological Processes*, 23: 311-319.

- Collinet, J., Valentin, C., 1984. Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation. In Proceeding Symposium on Challenges in African Hydrology and Water Resources, Harare, 1984/06, IRD Bibliographic resources, Base Horizon: 451-461.
- Cox, C., Madramootoo, C., 1998. Application of Geographic Information Systems in watershed management planning in St. Lucia. *Comput. Electron. Agric.*, 20: 229–250.
- De Jong, S.M., Paracchini, M.L., Bertolo, F., Folving, S., Megier, J., De Roo, A.P.J., 1999. Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data. *Catena*, 37(3–4): 291–308.
- De Roo, A.P.J., 1996. Soil Erosion Assessment Using GIS. In Singh, V.P., Fiorentino, M. (eds.): *Geographical Information Systems in Hydrology*, Kluwer: 443 p.
- Desmet, P.J.J., Govers, G., 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *J. Soil Water Conserv.*, 51(5): 427-433.
- Durigon, V.L., Carvalho, D.F., Antunes, M.A.H., Oliveira, P.T.S., Fernandes, M.M., 2014. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *Int. J. Remote Sensing*, 35(2): 441–453.
- Erdogan, E.H., Erpul, G., Bayramin, I., 2007. Use of USLE/GIS methodology for predicting soil loss in a semiarid agricultural environment. *Environ. Monit. Assess.*, 131: 153–161.
- ESRI, 2005. *Guide to GIS Analysis, Volume 2: Spatial Measurements and Statistics*. ESRI Press: 252 p.
- Fernandez, C., Wu, J.Q., McCool, D.K., Stockle, C.O., 2003. Estimating water erosion and sediment yield with GIS, RUSLE and SEDD. *J. Soil Water Conserv.*, 58: 128–136.
- Ferro, V., Porto, P., Yu, B., 1999. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. *Hydrol. Sci. J.*, 44: 3–24.
- Foster, G.R., Meyer, L.D., 1977. Soil erosion and sedimentation by water. In: *Soil Erosion and Sedimentation*, Publication No. 4-77, ASAE: 1-13.
- Fu, G., Chen, S., McCool, K.D., 2006. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield using RUSLE, SEDD and ArcView GIS. *Soil Tillage Res.*, 85: 38–49.
- Gitas, I.Z., Douros, K., Minakou, C., Silleos, G.N., Karydas, C.G., 2009. Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *Earsel Eproceedings*, 8(1): 40-52.
- Harmon, R.S., Doe, W.W., 2001. *Landscape erosion and evolution modelling*. Springer Science Ed.: 540 p.
- Hernando, D., Romana, M.G., 2015. Estimating the rainfall erosivity factor from monthly precipitation data in the Madrid Region (Spain). *J. Hydrol. Hydromech.*, 63(1): 55–62.
- Hoyos, N., 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena*, 63(1): 85–108.
- Janeau, J-L., Bricquet, J-P., Planchon, O., Valentin, C., 2003. Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand. *European Journal of Soil Science*, 54: 543–553.
- Jasinski, M. F., 1990. Sensitivity of the normalized difference vegetation index to subpixel canopy cover, soil albedo and pixel scale. *Remote Sensing of Environment*, 32: 169– 187.
- Jensen, J.R., 2005. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Julien, P.Y., 1998. *Erosion and sedimentation*. Cambridge Uni. Press, UK, ISBN 0-521-63639-6: 285 p.
- Karaburun, A., 2010. Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. *Ozean J. Applied Sci.*, 3(1): 77–85.
- Kirkby, M.J., 1976. Hydrological slope models: the influence of climate. In Derbyshire, E. (Ed.): *Geomorphology and Climate*, John Wiley.
- Kouli, M., Soupios, P., Vallianatos, F., 2009. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*, 57(3): 483–497.

- Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality: critical reviews. *Plant Sci.*, 17: 319–464.
- Lee, J-H., Heo, J-H., 2011. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *J. Hydrology*, 409: 30-48.
- Legesse, D., Vallet-Coulomb, C., Gasse, F., 2003. Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: case study South Central Ethiopia. *J. Hydrology*, 275: 67-85.
- Lewis, L.A., Verstraeten, G., Zhu, H., 2005. RUSLE applied in a GIS framework: calculating the LS factor and deriving homogeneous patches for estimating soil loss. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 19(7): 809–829.
- Lim, K.J., Sagong, M., Engel, B.A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K.S., 2005. GIS-based sediment assessment tool. *Catena*, 64: 61–80.
- Liu, B.Y., Nearing, M.A., Shi, P.J., Jia, Z.W., 2000. Slope length effects on soil loss for steep slopes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 1759–1763.
- Ma, J.W., Xue, Y., Ma, C.F., Wang, Z.G., 2003. A data fusion approach for soil erosion monitoring in the Upper Yangtze River Basin of China based on Universal Soil Loss Equation (USLE) model. *Int. J. Remote Sensing*, 24: 4777–4789.
- Macary, F., Berville, D., 2003. Synthèse bibliographique des connaissances sur l'érosion et les phénomènes de ruissellement. *Rapport Cemagref*, Bordeaux, France, 28 p.
- Maidment, D., Djokic, D., (Eds.), 2000. *Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems*. ESRI Press, Redlands, CA: 216p.
- Martinez, S., Mollicone, D., 2012. From land cover to land use: A methodology to assess land use from remote sensing data. *Remote Sensing*, 4: 1024–1045.
- Merritt, W.S., Letcher, R.A., Jakeman, A.J., 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software*, 18(8-9): 761–799.
- Millward, A.A., Mersey, J.E., 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38: 109–129.
- Moore, A.D., Donnelly, J.R., Freer, M., 1991. GRAZPLAN: an Australian DSS for enterprises based on grazed pastures. *Proceedings International Conference on Decision Support Systems for Resource Management*, Texas, A&M University, College Station, Texas, USA, April 15-18.
- Moore, I.D., Wilson, J.P., 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *J. Soil Water. Conserv.*, 47: 423-428.
- Morgan, R.P.C., 2005. *Soil Erosion and Conservation*. Third Edition, Blackwell Publishing.
- Nearing, M.A., Lane, L.J., Lopes, V.L., 1994. Modeling soil erosion. In Lal, R. (Eds): *Soil Erosion Research Methods*, 2nd ed., Soil & Water Conservation Society, Ankeny, IA: 127-156.
- Nguyen Cong Tan, 1999. Bao ve von rung va viec lua chon co cau cay lam nghiep trong du an trong moi 5 trieu ha rung (Conservation de la forêt et choix des plantes forestières dans le projet de reboisement de cinq millions ha). *Forestry Science Technology and Economic Management II*, Maison d'Édition d'Agriculture, Hanoi, Vietnam: 2-5.
- Nguyen Trong Ha, 1998. Identifier les facteurs d'érosion et la prévision d'érosion sur les pentes. Université des ressources en eau, Hanoi : 158p.
- Onori, F., De Bonis, P., Grauso, S., 2006. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). *Environmental Geology*, 50(8): 1129–1140.
- Podwojewski, P., Orange, D., Jouquet, P., Valentin, C., Nguyen, V.T., Janeau, J.L., Tran, D.T., 2008. Land-use impacts on surface runoff and soil detachment within agricultural sloping lands in Northern Vietnam. *Catena*, 74: 109–118.
- Post, D.F., Martin, E.S., Simanton, J.R., Sano, E.E., 1999. Use of hand-held radiometers to evaluate the cover and hydrologic characteristics of semiarid rangelands. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13(2): 201-217.

- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Porter, J.P., 1991. RUSLE. Revised universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.*, 46: 30-33.
- Renard, K.G., Foster, G.A., Weesies, G.A., McCool, D.K., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with RUSLE. *Agriculture Handbook* No. 703, USDA, Washington DC.
- Renard, K.G., Freimund, J.R., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *J. Hydrology*, 157(1-4): 287–306.
- Roose, E., 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, n° 78, ORSTOM Ed., Paris, France: 105 p.
- Roose, E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin pédologique de la FAO*, 70, FAO, Rome, Italie, ISBN 92-5-203451: 419 p.
- Roose, E., 1996. Land husbandry: components and strategy. *FAO Soils Bul.*, 70, FAO, Roma: 313 p.
- Sader, S.A., Winne, J.C., 1992. RGB-NDVI colour composites for visualizing forest change dynamics. *Int. J. Remote Sensing*, 13: 3055-3067.
- Schmitt, L.K., 2009. Developing and applying a soil erosion model in a data-poor context to an island in the rural Philippines. *Environment, Development and Sustainability*, 11(1): 19–42.
- Shi, Z.H. Cai, C.F., Ding, S.W., Wang, T.W., Chow, T.L., 2004. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: A case study in the Three Gorge Area of China. *Catena*, 55(1): 33–48.
- Sidorchuk, A., 2009. A third generation erosion model: The combination of probabilistic and deterministic components. *Geomorphology*, 110: 2–10.
- Srikhajon, M., Somrang, A., Pramojane, P., Pradabwit, S., and Anecksamphant, C., 1984. Application of the Universal Soil Loss Equation for Thailand. In *Proceeding of the Fifth ASEAN Soil Conference*, Bangkok, Thailand, June 10-23, 1984.
- Valentin, C., 1999. *Erosion et changement d'usage des terres* (ECU). Projet d'Unité de Recherche (U.R.), IRD, Paris : 39 p.
- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 2000. Soil erosion risk assessment in Europe. Ispra: European Commission Directorate General JRC, Joint Research Centre Space Applications Institute European Soil Bureau. EUR 19044 EN.
- Vu Chi Kim, 2007. Land use change in the Suoi Muoi catchment, Vietnam: disentangling the role of natural and cultural factors. Thesis Catholic University of Leuven, Faculty Sciences, Dep. Geograpy, Belgium: 186 p.
- Wang, G., Gertner, G., Fang, S., Anderson, A.B., 2003. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 69: 889–898.
- Winchell, M.F., Jackson, S.H., Wadley, A.M., Srinivasan, R., 2008. Extension and validation of a geographic information system-based method for calculating the Revised Universal Soil Loss Equation length-slope factor for erosion risk assessments in large watersheds. *J. Soil Water Conserv.*, 63(3): 105-111.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses-a-guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* n° 537, USDA, Washington DC: 58 p.
- Zhao, X.L., Zhang, Z.X., Liu, B., Wang, C.Y., 2002. Method of monitoring soil erosion dynamic based on remote sensing and GIS. *Bull. Soil Water Conserv.*, 22: 29–32.
- Zhou, W.F., Wu, B.F., 2005. Soil erosion estimation of the upriver areas of Miyun Reservoir located on the Chaobai River using remote sensing and GIS. *Trans CSAE*, 21(10): 46–50.
- Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T., Nieminen, J., 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*, 75(3): 319–325.
- Yariv, S., 1976. Comments on the mechanism of soil detachment by rainfall. *Geoderma*, 15: 393-399.
- Yong, R.A., Wiersma, J.L., 1973. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. *Water Resour. Res.*, 9: 1629-1636.

## **Chapitre 6: Analyse diachronique de l'érosion dans la Province de Son La depuis 1970**

- Castella, J.C., Dang Dinh Quang (Eds), 2002. Doi Moi in the Mountains. Land use changes and farmers' livelihood strategies in Bac an Province, Vietnam. *The Agricultural Publishing House*, Hanoi, 283 p.
- Clément, F., Orange, D., Williams, M., Mulley, C., Epprecht, M., 2009. Drivers of afforestation in Northern Vietnam: Assessing local variations using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 29, doi:10.1016/j.apgeog.2009.01.003: 561-576.
- Dao, N., 2010. Dam Development in Vietnam: The Evolution of Dam-Induced Resettlement Policy. *Water Alternatives*, 3(2): 324-340.
- Kowalik, W.S., Marsh, S.E., Lyon, R.J.P., 1982. A relation between Landsat digital numbers, surface reflectance, and the cosine of the solar zenith angle. *Remote Sensing of Environment*, 12(1): 39-55.
- Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17: 319-464.
- Lal, R., 2005. *Encyclopedia of Soil Science, Second Edition*. CRC Press, The Ohio State University, Columbus, USA, 2060 p.
- Nguyen Van Thiet, Orange, D., Laffly, D., Pham, V.C., 2012. Consequences of large hydropower dams on erosion budget within hilly agricultural catchments in Northern Vietnam by RUSLE modeling. *International Conference FRIEND-Water: Sediment transport modeling in hydrological watersheds and rivers*, Istanbul (TUR), 2012/11/14-16, Paper ID 615131, UNESCO-PHI, IRD Bibliographic Base Horizon, IRD, multigr.: 8 p.
- Nguyen Van Thiet, Orange, D., Laffly, D., Pham, V.C., Tran, D.T., Pham, Q.H., under review. Land use change and erosion accelerated by hydropower dam policy within a hilly agricultural of Northern Vietnam. *J. Environmental Management*, submitted.
- Nguyen Van Thiet, Orange, D., Pham, V.C., Tran, D.T., Hoffmann, F., Pomel, S., Laffly, D., 2011. Impact assessment of hydropower dam on erosion risk within a hilly agricultural area: example of the Ban Chat dam (Northern Vietnam). *International conference ASAE: Meeting the Challenges Facing Asian Agriculture and Agricultural Economics Toward a Sustainable*, Hanoi, 13-16 October 2011, IRD Bibliographic Base Horizon, IRD: 18 p.
- Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J-P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J-L., Orange, D., Do, D.P., Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silvera, N., Subagyono, K., Thiébaux, J-P., Tran, D.T., 2008. Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 225-238.

## **Partie 3: Les pratiques sociospatiales dans le Nord Vietnam et leurs évolutions**

- Shields, R., 1989. Social spatialization and the built environment: The West Edmonton Mall. *Environment and Planning: Society and Space*, vol.7: 147-164.

## **Chapitre 7: Techniques d'enquête et analyse de données pour caractériser les pratiques sociospatiales**

Laffly, D., 2009. *Approche numérique du paysage : formalisation, enjeux et applications*. Eds Publibook Universitaire, 317 p.

Zanin, C., Trémélo, M-L., 2002. *Savoir faire une carte*, Éditions Belin, Paris.

## **Chapitre 8: Des évolutions liées aux politiques de barrages à l'échelle régionale**

Dao, N., 2010. Dam development in Vietnam: The evolution of dam-induced resettlement policy. *Water Alternatives*, 3(2): 324–340.

Castella, J-C., Dang Dinh Quang, eds, 2002. *Doi Moi in the Mountains. Land use changes and farmers' livelihood strategies in Bac an Province, Vietnam*. The Agricultural Publishing House, Hanoi, 283 p.

Clément, F., Amezaga, J.M., 2009. Afforestation and Forestry Land Allocation in Northern Vietnam: Analysing the gap between policy intentions and outcomes. *Land Use Policy*, 26 (2):458-470.

Clément, F., Orange, D., Williams, M., Mulley, C., Epprecht, M., 2009. Drivers of afforestation in Northern Vietnam: Assessing local variations using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 29, doi:10.1016/j.apgeog.2009.01.003: 561-576.

## Table des Matières

<b>Résumé</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>5</b>
<b>Remerciements</b>	<b>7</b>
<b>Liste des acronymes</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre 1 Introduction générale</b>	<b>12</b>
1.1- Développement économique et besoins d'énergie électrique : quelles conséquences sur les usages en montagne ?	14
1.2- Un nouveau paradigme en question concernant le développement des grands barrages hydroélectriques et l'usage des terres de montagne	20
<b>Première partie</b>	<b>26</b>
<b>Aménagements hydroélectriques et pratiques agricoles au Nord Vietnam</b>	<b>26</b>
<b>Introduction</b>	<b>28</b>
<b>Chapitre 2 Politique énergétique, aménagement du territoire et développement durable en zone de montagne</b>	<b>30</b>
2.1- Politique énergétique et aménagement hydroélectrique au Vietnam	30
2.2- Exemple du projet du barrage hydroélectrique de Huoi Quang	39
2.3- Les risques environnementaux et sociétaux liés aux aménagements hydroélectriques au Vietnam	42
2.4- Développement agricole dans le Nord Vietnam	44
2.5- Le monde agricole dans le Nord Vietnam	46
2.6- Les pratiques de culture itinérante en question?	48
2.7- L'érosion des sols dans le Nord Vietnam	49
2.8- Erosion et évènements exceptionnels	52
2.9- Politiques agricoles et développement durable, recommandations	53
<b>Chapitre 3 Impact des lacs de barrage sur la dynamique aval des flux d'eau et de matières en ASE</b>	<b>56</b>
3.1- Développement sans limite des grands barrages hydroélectriques et impacts environnementaux	56
3.2- Les grands barrages hydroélectriques et les flux de sédiments	60

3.3- Revue bibliographique sur la sédimentation dans les lacs des grands barrages hydroélectriques en Asie du Sud-Est	63
3.4- Controverse à propos du Mékong	69
3.5- Le cas du barrage de Hoa Binh sur la rivière Da : conséquences sur le Fleuve Rouge	71
3.6- Conséquences des grands barrages hydroélectriques sur la morphologie des rivières	75
3.7- Impact des usages agricoles sur la qualité des sédiments	76
3.8- Conclusion	78
<b>Chapitre 4 Présentation géographique de la zone d'étude et situation socio-économique actuelle</b>	<b>81</b>
4.1- Localisation de la zone d'étude	81
4.2- Les caractéristiques biophysiques et environnementales de la zone d'étude	84
4.2-1. Un climat tropical humide	84
4.2-2. Une géologie contrastée	86
4.2-3. Une diversité des sols	89
4.3- Des caractéristiques socio-économiques dominées par l'agriculture	100
4.4- Les bouleversements sociétaux et paysagers liés à l'aménagement des grands barrages hydroélectriques	103
4.4-1. Barrages hydroélectriques et planification économique	103
4.4-2. Réalisation du barrage de Son La : premières conséquences ?	106
4.4-3. Historique sur les politiques de réinstallation au Vietnam	108
4.4-4. Barrage de Son La, une nouvelle politique de gestion des projets hydroélectriques au Vietnam	110
4.4-5. Barrage de Son La, encore des efforts à faire	113
4.5- Conclusion	115
<b>Deuxième partie</b>	<b>118</b>
<b>Approche régionale de l'érosion dans les zones hydroélectriques du Nord Vietnam</b>	<b>118</b>
<b>Introduction</b>	<b>120</b>
<b>Chapitre 5 Rappels fondamentaux sur l'érosion et modélisation RUSLE</b>	<b>122</b>
5.1- Les facteurs de l'érosion hydrique	122
5.1-1. Le processus d'érosion	122
5.1-2. Les paramètres fondamentaux de l'érosion	125
5.1-2.1. <i>L'influence du climat</i>	125
5.1-2.2. <i>L'influence de la pente et de la topographie</i>	127

5.1-2.3. <i>L'influence des sols et l'érodibilité des sols</i>	128
5.1-2.4. <i>L'influence de la couverture végétale</i>	129
5.1-3. L'intégration des faits anthropiques	130
5.2- Modélisation de l'érosion	132
5.2-1. Les différents modèles d'érosion et leur domaine d'application	132
5.2-1.1. <i>Les modèles empiriques</i>	132
5.2-1.2. <i>Les modèles physiques</i>	133
5.2-1.3. <i>Les modèles conceptuels</i>	134
5.2-2. Le modèle RUSLE	135
5.2-2.1. <i>La généralisation d'un modèle empirique: USLE</i>	135
5.2-2.2. <i>RUSLE : adaptation de USLE pour l'échelle du bassin versant</i>	137
5.3- Apport de la télédétection et des SIG pour quantifier l'érosion	138
5.3-1. Les SIG pour intégrer les données spatialement géoréférencées	138
5.4- Calcul des facteurs du modèle RUSLE	140
5.4-1. Les données altimétriques GDEM	140
5.4-2. Calcul des variables topographiques L et S, dérivées du MNT	142
5.4-3. Calcul du facteur C d'occupation du sol à partir du NDVI	144
5.4-4. Calcul du facteur d'érosivité de la pluie R à partir du réseau de stations météorologiques	148
5.4-5. Facteur d'érodibilité du sol (K)	151
5.5- Intégration des cartes thématiques pour élaborer une base de données renseignées pour la modélisation RUSLE	154
<b>Chapitre 6 Analyse diachronique de l'érosion dans la Province de Son La depuis 1970</b>	<b>155</b>
6.1- L'évolution des pluies de 1973 à 2013	157
6.2- Le point sur les changements d'usage des sols	159
6.2-1. Sur la période de 1973 à 1993	159
6.2-1.1. <i>Définition des catégories d'usage des sols</i>	159
6.2-1.2. <i>Evolution des catégories d'usage des sols de 1973 à 1993</i>	160
6.2-2. Sur la période de 1993 à 2000	162
6.2-3. Sur la période de 2000 à 2009	165
6.2-4. Sur la période de 2009 à 2013	168
6.3- Dynamique comparée de l'érosion et du développement socio-économique : impact des projets de barrage avant leur mise en construction	171
6.4- Conclusion	174

<b>Troisième partie</b>	<b>176</b>
<b>Les pratiques sociospatiales dans le Nord Vietnam et leurs évolutions</b>	<b>176</b>
<b>Introduction</b>	<b>178</b>
<b>Chapitre 7 Techniques d'enquête et analyse de données pour caractériser les pratiques sociospatiales</b>	<b>180</b>
7.1- Techniques d'enquête et statistiques associées	181
7.1-1. Principes généraux de la mise en place des enquêtes et entretiens	181
7.1-2. La stratégie d'une pré-enquête	183
7.1-3. Dépouillement et statistique associée	185
7.2- Description statistique des données issues des enquêtes	189
7.2-1. Le dépouillement comme description univariée	189
7.2-1.1. <i>Variable quantitative</i>	189
7.2-1.2. <i>Variable qualitative</i>	191
7.2-2. L'analyse croisée des variables pour déterminer les liens statistiques bivariés	192
7.2-2.1. <i>Régression et fonction d'ajustement</i>	193
7.2-2.2. <i>Analyse de Chi<sup>2</sup></i>	197
7.2-2.3. <i>Analyse de variance ou ANOVA</i>	198
7.2-3. Dégager les structures organisationnelles par les méthodes factorielles et les classifications associées	199
7.2-3.1. <i>Les méthodes factorielles</i>	199
7.2-3.2. <i>Classification associée aux AFC</i>	205
7.3- L'intégration cartographique des données	210
<b>Chapitre 8 Des évolutions liées aux politiques de barrages à l'échelle régionale</b>	<b>213</b>
8.1- Présentation des communes enquêtées	214
8.2- Des structures familiales et économiques à évolution lente	216
8.2-1. Des pratiques induites par les structures familiales	216
8.2-2. L'accès au marché, un poids important de structuration de l'espace	221
8.3- Structuration de l'espace géographique	231
8.3-1. Structuration de l'espace qui évolue au gré des satisfactions locales	232
8.3-2. Des pratiques agricoles qui évoluent au gré des politiques nationales	236
8.4- Des pratiques en pleine mutation au niveau des zones directement impactées par la construction des barrages : exemple de la commune de Nam Can	237
8.4-1. Présentation de la commune de Nam Can	238
8.4-2. Les structures de gouvernance	242

8.4-2. Intégrer les données de l'enquête aux statistiques du district sur l'évolution des parcelles agricoles	244
8.4-2.1. <i>La réalité des chiffres</i>	244
8.4-2.2. <i>Inadéquation entre les surfaces déclarées et les utilisations, source du mécontentement des populations locales</i>	246
8.4-3. Déplacements des populations et conséquences paysagères sont les grandes mutations en œuvre	249
8.4-3.1. <i>Les modalités de réinstallation</i>	249
8.4-3.2. <i>Concentration de la population dans le Nord-Est : conséquence de la délocalisation intra- et inter-communale</i>	250
8.4-3.3. <i>Conclusion à Nam Can : Réduction des surfaces agricoles et les changements du type de terrain disponible</i>	251
8.5- Conclusion : Localement les infrastructures des barrages bouleversent les équilibres anciens	253
<b>Conclusion générale Des pratiques en pleine mutation à proximité des barrages</b>	<b>256</b>
9.1- Nos principaux résultats : les projets de barrage impulsent des transformations « explosives » du paysage créant un potentiel de développement exceptionnel	257
9.2- Quelques recommandations quant aux politiques de relocalisation des populations à déplacer	263
9.3- Réflexions sur de l'intérêt des barrages hydroélectriques	265
<b>Bibliographie</b>	<b>269</b>
<b>Liste des Figures</b>	<b>297</b>

## Liste des Figures

Figure 1. 1: Barrage de Cornalvo (Mérida, Espagne) construit par les Romains en l'an 130, avec une capacité de réservoir de 3 millions m <sup>3</sup> , toujours en activité. Source: Wikipédia.	13
Figure 1. 2: Barrage hydroélectrique de Hoa Binh (source : google images)	16
Figure 1. 3: Barrage hydroélectrique de Son La	17
Figure 1. 4: Barrage hydroélectrique de Lai Chau (source : Electricité du Vietnam - EVN)	17
Figure 1. 5: Planification du barrage hydroélectrique de Ban Chat. Source : LICOGI	13
Figure 1. 6: Construction du barrage hydroélectrique de Ban Chat. Source : Nguyen Van Thiet, mission 2010.	18
Figure 1. 7: Chantier de construction du barrage hydroélectrique de Huoi Quang	18
Figure 1. 8: Localisation des barrages hydroélectriques dans le bassin du Da	23
Figure 2. 1: Carte de localisation des 6 projets de barrages hydroélectriques prévus dans le bassin de la Da, situation en 2008 d'après World Bank (2009). Aujourd'hui 3 des 4 barrages planifiés sont en construction: Huoi Quang, Ban Chat et Lai Chau.	31
Figure 2. 2: Production d'électricité au Vietnam de 2000 à 2010. Source : EVN (2010).	33
Figure 2. 3: Le Premier ministre Nguyen Tan Dang rappelle l'obligation de la politique des barrages hydroélectriques pour le maintien de la croissance économique au Vietnam (Vietnam News, Juillet 2009).	34
Figure 2. 4: Partage des secteurs électrique au Vietnam en 2010. Source : EVN(2010)	35
Figure 2. 5: Carte de répartition des plus importantes (existantes et planifiées) centrales hydroélectriques et thermiques au Vietnam selon le PDP VI. Source : World Bank (2009).	36
Figure 2. 6: Carte de répartition des capacités hydroélectriques en MW prévus dans le scénario du PDP VI. Source : World Bank (2009).	38
Figure 2. 7: Localisation du barrage de Huoi Quang sur la rivière Mu, affluent de la rivière Da où se situe le barrage de Son La à l'mont de la confluence.	40
Figure 3. 1: Répartition spatiale des grands barrages hydroélectriques et modifications des flux annuels de sédiments de l'Est, du Sud et du Sud-Est asiatique pour les grandes rivières se déversant dans la mer de Bohai, la mer de Chine orientale, la mer de Chine méridionale, la mer d'Andaman, la baie du Bengale et la mer d'Oman. L'épaisseur de la flèche indique le flux de sédiments historique et le flux actuel par année (en Mt/an). Source: Gupta et al. (2012)	57
Figure 3. 2: Variations décennales en % du débit annuel à la mer (A) et du flux de sédiments correspondant (B), pour les cinq grands fleuves d'Asie du Sud et du Sud-Est. Source: Wang et al., 2011b.	65

Figure 3. 3: Baisse des flux de sédiments des grands fleuves d'Asie en fonction nombre croissant de méga barrages dans les bassins respectifs à l'échelle décennale. Source: Gupta et al. (2012).	66
Figure 3. 4: Carte régionale d'Asie de l'Est et du Sud-Est, montrant les cinq fleuves majeurs qui délivrent des sédiments dans l'Océan Pacifique Ouest. Source: Wang et al., 2011b.	67
Figure 3. 5: Carte de distribution des loess en Chine. Source: Pye, 1987.	68
Figure 3. 6: Bassin du Mékong (A) et le système Tonle Sap-Mékong (B). Source: Lu et al., 2014a.	70
Figure 3. 7: Bassin du Fleuve Rouge et de ses affluents (les rivières Da et Lo): emplacement des stations hydrologiques permanentes (cercles noirs; LC: Lao Cai; PT: Phu Tho; ST: Sontay), et histogrammes des moyennes mensuelles de précipitations et des débits (données de 2003 à 2008; Institut de Météorologie, d'Hydrologie et Environnement du Vietnam). Source: Dang Thi Ha, 2011.	72
Figure 3. 8: Evolution annuelle de 1960 à 2009 des flux de sédiments transportés par le Fleuve Rouge à la station hydrologique de Sontay (A), et évolution des flux de sédiments annuels cumulés en fonction des débits annuels cumulés sur la même période à Sontay (B). Source: Dang Thi Ha, 2011.	73
Figure 3. 9: Evolution (moyenne de 2002 à 2012) des concentrations de sédiments en suspension (SSC) et de la taille moyenne des grains, le long du cours du Yangtze sur quatre stations hydrologiques (barrage Sanmenxia construit en 1960, barrage Xiaolangdi construit en 1997). Source: Yonggui et al., 2013.	76
Figure 3. 10: Evolution de la granulométrie moyenne dans les sédiments fluviaux à la station hydrologique de Datong, dernière station hydrologique avant la ville de Nanjing, sur le fleuve Changjiang (Yangtze), 1250 km en aval du barrage des Trois Gorges. Source: Dai et Liu, 2013.	76
Figure 4. 1: Carte de localisation de la zone d'étude située sur les provinces de Lai Chau au Nord et de Son La au Sud.	82
Figure 4. 2: Carte hypsométrique de la zone d'étude.	82
Figure 4. 3: Pratiques agricoles classiques dans les provinces de Son La et Lai Chau. Source : Nguyen VT, Laffly D, Orange D (missions de 2010, 2011 et 2012)	83
Figure 4. 4: Paysage de la Province de Lai Chau. Source : Nguyen VT, Laffly D, Orange D (missions de 2010 et 2012)	84
Figure 4. 5: Pluviométrie, température et humidité de l'air moyennes mensuelles dans le district de Muong La. Source: Station météorologique de Son La (1973 - 2013)	85
Figure 4. 6: Pluviométrie, température et humidité de l'air moyennes mensuelles dans le district de Than Uyen. Source: Station météorologique de Than Uyen (1973 - 2013)	86
Figure 4. 7: Carte géologique de la zone d'étude. Source : SFRI (Soils and Fertilizers Research Institute, Vietnamese Academy for Agricultural Research)	88
Figure 4. 8: Carte pédologique de la zone d'étude. Source : cette étude.	90
Figure 4. 9 : Village de Thai et culture de Riz	101

Figure 4. 10: Handcraft making par Thai	101
Figure 4. 11: Village de Kinh et culture de Riz	102
Figure 4. 12: Culture de Riz et Mais par les H'Mong.	103
Figure 4. 13: Planification générale du développement économique de la zone d'étude, selon la résolution n° 52/2012/NQ-HĐND.	104
Figure 4. 14: La zone d'étude en 2013 vue en 3D à partir de l'image Landsat 8 OLI.	107
Figure 4. 15: Déplacement des populations de la Province de Son La. Source : Nguyen VT, Orange D (missions de 2010)	113
Figure 4. 16: Entretiens avec les autorités locales. Source : Nguyen VT, Orange D (missions de 2010)	114
Figure 4. 17: Village déplacé près de Ban Chat ; Les conflits liés à la fertilité des terres et l'accès à l'eau reste d'actualités. Source : Nguyen VT, Orange D (missions de 2010)	114
Figure 5. 1: Erosion linéaire, en ravines (rills et gullies) et en nappe (overland flow) dans un bassin versant. Source: Harmon et Doe, 2001.	124
Figure 5. 2: Effet splash d'une goutte d'eaux (source : image google)	126
Figure 5. 3: Taux annuel de déforestation selon les régions. Source : Bergonzini et Lanly (2000)	130
Figure 5. 4: Procédures de mise en œuvre du model RUSLE.	140
Figure 5. 5: Modèle Numérique de Terrain (ou DEM)de la zone d'étude	141
Figure 5. 6: Carte du facteur LSde la zone d'étude	144
Figure 5. 7: Régression linéaire entre le facteur C calculé à partir d'échantillonnage terrain et le NDVI	148
Figure 5. 8: Représentation spatiale du facteur R moyen mensuel, sur la période 1973-2013.	150
Figure 5. 9: Mono-graphique d'érodibilité du sol (d'après Wischmeier et Smith, 1978).	152
Figure 5. 10: Carte de l'érodibilité des sols dans la zone d'étude.	153
Figure 5. 11: Synthèse de l'architecture utilisée pour le calcul de l'érosion des sols selon le modèle RUSLE dans la plateforme ArcGIS.	154
Figure 6. 1: Exemple de calcul de l'index de changement d'usage, LUC, entre un temps t (ici, t=2000) et un temps t+Δt (ici t+Δt = 2009).	156
Figure 6. 2: Cartographie des stations pluviométriques synoptiques de la zone d'étude (moyenne sur 11 stations).	158
Figure 6. 3: Isohyètes interannuelles de la distribution des pluies dans la zone d'étude (moyenne sur 11 stations de 1973 à 2013) et distribution géographique du facteur R d'érosivité moyen interannuel (de vert foncé à rouge foncé : de faible à fort).	158
Figure 6. 4: Evolution des moyennes décennales des pluies dans la zone d'étude (moyenne sur 11 stations).	158
Figure 6. 5: Cartes d'usages des sols dans la zone d'étude en 1973 et en 1993.	161

Figure 6. 6: Les changements d'usage des sols dans la zone d'étude entre 1973-1993.	161
Figure 6. 7: Cartes d'érosion des sols dans la zone d'étude en 1973 et 1993, simulées par le modèle RUSLE.	162
Figure 6. 8: Cartes d'usages des sols dans la zone d'étude en 1993 et en 2000.	163
Figure 6. 9: Les changements d'usage des sols dans la zone d'étude entre 1993-2000.	163
Figure 6. 10: Cartes d'érosion des sols dans la zone d'étude en 1993 et 2000, simulées par le modèle RUSLE.	164
Figure 6. 11: Cartes d'usages des sols dans la zone d'étude en 2000 et en 2009.	166
Figure 6. 12: Les changements d'usage des sols dans la zone d'étude entre 2000-2009.	166
Figure 6. 13: Cartes de simulation de l'inondation due aux barrages de Huoi Quang et de Ban Chat dans les districts de Than Uyen et de Tan Uyen, situations simulées comparées entre 2000 (avant construction des barrages) et 2009 (après fermeture des barrages). Source : Nguyen Van Thiet et al., 2011.	167
Figure 6. 14: Cartes d'érosion des sols dans la zone d'étude en 2000 et 2009, simulées par le modèle RUSLE.	168
Figure 6. 15: Cartes d'usages des sols dans la zone d'étude en 2009 et en 2013.	169
Figure 6. 16: Les changements d'usage des sols dans la zone d'étude entre 2009-2013.	169
Figure 6. 17: Cartes d'érosion des sols dans la zone d'étude en 2009 et 2013, simulées par le modèle RUSLE.	170
Figure 6. 18: Distribution des catégories d'usage des sols, de 2009 et 2013.	171
Figure 6. 19: Evolution au cours du temps (de 2009 à 2013) de la population (en nombre d'habitants), des cultures annuelles sur versant (Versant en ha), de la pluie annuelle (en m/an), du risque d'érosion RUSLE (en t/ha/an) et du risque d'érosion normé par la pluie $E_r(P_{norm})$ (en t/ha/an).	173
Figure 7. 1: Les matrices issues de l'enquête et des entretiens.	183
Figure 7. 2: Les 13 communes pré-enquêtées en 2011 (en couleur rose et violet).	184
Figure 7. 3: Chaîne méthodologique de traitement de l'information. Source : Laffly (2005)	187
Figure 7. 4: Statistiques descriptives plus ou moins détaillées qui accompagnent la description d'une variable quantitative.	190
Figure 7. 5: Fréquences cumulées et boîte à moustache, deux modes de représentation de la forme d'une distribution.	191
Figure 7. 6: Description de variables qualitatives et graphes associés (basé sur la pré-enquête de 2011). À chaque alternance de couleurs, il y a changement de variable.	192
Figure 7. 7: Les deux droites de régression et leurs résidus. Source : wikipédia-statistiques	194
Figure 7. 8: Nuages de points et corrélations linéaire. Source : wikipédia-statistiques	195

Figure 7. 9: Différentes formes de distribution : linéaire, exponentielle, puissance et polynômiale.	196
Figure 7. 10: Codage disjonctif complet.	202
Figure 7. 11: Exemples de graphes factoriels des plans et vue 3D, à partir de la pré-enquête de 2011.	203
Figure 7. 12: Principe d'une Classification Ascendante Hiérarchique CAH. Source : modifié d'après Laffly (2009) et <a href="http://perso.math.univ-toulouse.fr/dejean/formation/">http://perso.math.univ-toulouse.fr/dejean/formation/</a>	206
Figure 7. 13: Exemples de profils de classes (pré-enquête 2011).	207
Figure 7. 14: Exemple de classes AFC d'après notre prè-enquête de terrain de 2011.	209
Figure 7. 15: Les règles de sémiologie graphique de la cartographie statistique. Source : modifié d'après Laffly (2009)	210
Figure 7. 16: Exemple d'utilisation de la cartographie de la distribution des classes factorielles aux termes de l'analyse multivariée, basé sur la pré-enquête de 2011.	212
Figure 8. 1: Distribution des enquêtes par commune dans la zone d'étude.	215
Figure 8. 2: Représentation des variables explicatives majeures de l'axe 1 de l'espace factoriel (AFC) de notre enquête. (A) : selon la variable « Revenu » ; (B) selon la variable « Pénurie de vivre » ; (C) selon la variable « Transport ».	217
Figure 8. 3: Représentation des variables explicatives majeures de l'axe 2 de l'espace factoriel (AFC) de notre enquête. (A) : selon la variable « Taille du foyer » ; (B) selon la variable « Age du chef de famille » ; (C) selon la variable « Nombre d'actifs ».	219
Figure 8. 4: Représentation des variables explicatives majeures de l'axe 3 de l'espace factoriel (AFC) de notre enquête. (A) : selon la variable « Activité Culture agricole » (Agri1) ; (B) selon la variable « Activité Elevage » (Agri2) ; (C) selon la variable « Revenu ».	220
Figure 8. 5: Répartition géographique des produits de récolte (A) et d'élevage (B) vendus de particulier à particulier, par le corpus de foyers ayant des produits à vendre.	224
Figure 8. 6: Distribution des ratio de vente des produits de récolte (ratio Agr.) et d'élevage (ratio Elev.) vendus de particulier à particulier, en fonction de la distance de la commune au barrage aval, ou de la distance de la commune à la capitale du district.	225
Figure 8. 7: Répartition géographique des produits de récolte (A) et d'élevage (B) vendus au marché, par le corpus de foyers ayant des produits à vendre.	227
Figure 8. 8: Distribution des ratio de vente des produits de récolte (ratio Agr.) et d'élevage (ratio Elev.) vendus sur le marché, en fonction de la distance de la commune au barrage aval, ou de la distance de la commune à la capitale du district.	228
Figure 8. 9: Répartition géographique des produits de récolte (A : Fruit en rouge et thé en bleu) et d'élevage (B : poulet en rouge, canard en bleu et cochon en	

vert) vendus aux compagnies, par le corpus de foyers ayant des produits à vendre.	230
Figure 8. 10: Répartition géographique de la structure des foyers par, de gauche à droite, âge du chef de famille, nombre de personne dans le foyer et nombre de personnes actives dans le foyer.	233
Figure 8. 11: Répartition géographique des mesures de dédommagement dans la zone d'étude.	234
Figure 8. 12: ACP sur les communes ayant des foyers déplacés, en fonction des nombres de foyers satisfait, du pourcentage de déplacés dans la commune et de la distance au barrage le plus proche aval. Les 3 Nouveaux Villages (possédant donc 100% de foyers déplacés) sont indiqués en soulignés. En Rouge : district de Tan Uyen (au Nord de la région) ; en Vert : district de Than Uyen (au Centre de la région) ; en Bleu : district de Muong La (au Sud de la région).	235
Figure 8. 13: Carte hypsométrique de la commune de Nam Can (district de Tan Uyen), indiquant les deux vallées hydrologiques principales : (1) Nam Mu River ; (2) rivières de Hua Can et de Hua Pong.	238
Figure 8. 14: Localisation des 10 villages de la commune de Nam Can (en couleur bleue), et positionnement des 4 nouveaux villages de relocalisation (en couleur grise) de foyers déplacés.	239
Figure 8. 15: Structure de la gouvernance de la Province jusqu'à la commune de Nam Can et les villages.	243
Figure 8. 16: Surface disponible par habitant.	247
Figure 8. 17: Corrélation entre la surface du village et la surface de riz pluvial.	247
Figure 8. 18: Impacts de l'inondation (en ombré bleu) et des relocalisations intra- et inter-communales liés au barrage de Ban Chat dans la commune de Nam Can. Situation en 2010.	251

## Liste des Tableaux

Tableau 2. 1: Planification PDP VI de l'augmentation de la production électrique sur la période 2011-2025 (adapté de World Bank, 2009)	32
Tableau 2. 2: Planification PDP VII de l'augmentation de la production électrique sur la période 2011-2030 (adapté de Nguyen Ngach Khan, 2014)	33
Tableau 2. 3: Planification hydroélectrique dans les systèmes fluviaux au Vietnam	37
Tableau 2. 4: Etat des projets hydroélectriques en 2010 (adapté de Nguyen Khac Nhan, 2014)	39
Tableau 2. 5: Potentiel hydroélectrique comparé du Vietnam (adapté de Nguyen Khac Nhan, 2014)	39
Tableau 4. 1: Propriétés physico-chimiques des sols sur alluvions	92
Tableau 4. 2: Propriétés physico-chimiques des sols sur Haplic acrisols	94
Tableau 4. 3: Propriétés physico-chimiques des sols sur Ferric acrisols	96
Tableau 4. 4: Propriétés physico-chimiques des sols sur Stagnic Fluvisols	100
Tableau 6. 1 : Catégories d'usage des sols identifiées par imagerie en 1973 et leur superficie dans la zone d'étude (en ha et %).	159
Tableau 6. 2: Catégories d'usage des sols en 1973 listées par les données statistiques des districts et leur superficie dans la zone d'étude (en ha et %).	159
Tableau 6. 3: Catégories d'usage des sols retenues (après regroupement) pour la zone d'étude et leur superficie en 1973 (en ha et %).	160
Tableau 6. 4: Catégories d'usage des sols retenues (après regroupement) pour la zone d'étude et leur superficie en 1973 (en ha et %).	172
Tableau 7. 1: Analyse bivariée	193
Tableau 8. 1 : Liste des communes enquêtées (classées du Nord au Sud) en 2012.	214
Tableau 8. 2: Attributs des produits agricoles à vendre en fonction des trois filières économiques.	222
Tableau 8. 3: Distribution des produits agricoles vendus de particulier à particulier sur le corpus total enquêté (367 foyers).	223
Tableau 8. 4: Distribution des produits agricoles vendus au marché.	226
Tableau 8. 5: Distribution des produits agricoles vendus aux compagnies.	229
Tableau 8. 6: Surface disponible par village et par habitant dans la commune de Nam Can (surfaces calculées à partir de nos entretiens et après l'installation de la Compagnie Forestière de Quyét Tien).	246
Tableau 8. 7: Impacts environnementaux liés aux barrages hydroélectriques sur les pratiques sociospatiales.	253



## **Aménagements hydroélectriques et conséquences environnementales dans le Nord du Vietnam**

**Résumé.** La thèse pose l'hypothèse que la construction des barrages hydroélectriques pourrait être un moteur de développement harmonieux entre montagnes et plaines. L'objectif serait de relier politiques de développement des barrages hydroélectriques et politiques agricoles en fonction des stratégies individuelles et des contraintes physiques et socio-économiques. Depuis les années 2000, dans toute l'Asie du Sud-Est, de nombreux projets de grands barrages hydroélectriques sont construits ou en construction pour répondre à la forte croissance de la demande en énergie, entraînant de grandes menaces sur la gestion de l'eau et l'environnement d'une part, et imposant d'importants déplacements de population d'autre part. Dans ces régions de montagne, les processus d'érosion représentent un risque majeur à la fois pour le comblement des lacs de barrage et pour la productivité agricole. Aussi grands investisseurs, pour la durée de vie des barrages hydroélectriques, et petits exploitants, pour leurs moyens de subsistance, se retrouvent également impactés. Le défi est de reformuler la relation entre la planification et la gestion des barrages hydroélectriques, et la planification et la gestion des terres agricoles des zones amont des barrages. Même si l'accompagnement socio-économique a été très largement amélioré de la part de l'Etat vietnamien, les agriculteurs déplacés et non-déplacés sont encore largement à subir les mutations sociospatiales régionales en cours. En effet, malgré des bonnes intentions gouvernementales et internationales, le manque de concertation au niveau local et le manque de connaissance en hydro-écologie restent les contraintes majeures pour le succès de la protection environnementale et l'équité entre les populations concernées, deux conditions obligatoires à la durabilité des projets de barrages hydroélectriques. Pour conclure, il semble que le succès d'implantation d'un grand barrage hydroélectrique soit lié à la capacité des décideurs à comprendre les interactions complexes entre systèmes écologiques et systèmes socio-économiques.

Mots clés: Barrage hydroélectrique, érosion de sols, RUSLE, pratiques sociospatiales, enquête, analyse multivariée, analyse géospatiale, montagne, Vietnam.

## **Hydropower development and environmental consequences in northern Vietnam**

**Abstract.** The thesis project assumes that the construction of hydropower dams could be a driven force for a harmonious economic development between mountains and plains. The aim would be to link policies for hydropower dam development, and policies for agriculture in mountains, within individual strategies, in relationship with physical and socio-economic constraints. Since 2000's, throughout Southeast Asia, many projects of large hydropower dams are built or being built to meet the strong growth in demand for energy, causing great threats to water management and the environment on the one hand, and imposing important population displacement on the other hand. In these mountainous regions, the erosion process is a major risk for both the filling of reservoirs and agricultural soil productivity. Then major investors, for the lifespan of hydropower dams, and small farmers, for their livelihoods, are equally impacted. The challenge is to reformulate the relationship between planning and management of hydropower dams, and planning and management of agricultural uplands in upstream areas of dams. Although the socio-economic support has been very much improved from the Vietnamese State, displaced and non-displaced farmers are still largely undergoing regional socio-spatial changes on-going. In spite of good government and international intentions, the lack of consultation at local level and the lack of knowledge in hydro-ecology remain major constraints to the success of environmental protection and equity between the concerned populations, two mandatory conditions for sustainability of hydroelectric dam projects. In conclusion, it appears that the successful implantation of a large hydroelectric dam is related to the ability of policymakers to understand the complex interactions between ecological and socio-economic systems.

Keywords: Hydropower dam, soil erosion, RUSLE model, pratiques sociospatial practices, interview, descriptive statistics, geospatial analysis, mountain, Vietnam.