ANALYSE DES DIRECTIONS DE CHANGEMENT DES ÉTATS DE SURFACE VÉGÉTAUX POUR RENSEIGNER LA DYNAMIQUE DU FRONT PIONNIER DE MAÇARANDUBA (PARA, BRÉSIL) ENTRE 1997 ET 2006

Johan OSZWALD[1], Antoine LEFEBVRE[2], Xavier ARNAULD DE SARTRE[3], Marcello THALÈS[4], Valery GOND[5]

[1]Université Rennes 2, département de géographie (COSTEL, UMR CNRS LETG), 4 place Henri Le Moal, 35000, Rennes.
Mail : johan.oszwald@univ-rennes2.fr
[2]Université Rennes 2, département de géographie (COSTEL, UMR CNRS LETG), 4 place Henri Le Moal, 35000, Rennes.
Mail : antoine.lefebvre@univ-rennes2.fr
[3]Université de Pau (UMR CNRS 5603), IRSAM, 64000, Pau
Mail : xavier.arnauld@univ-pau.fr
[4]Museu Paraense Emílio Goeldi, Avenida Magalhães Barata, 376 – São Brás, CEP: 66040-170, Bélem, Brésil
Mail : mcthales@museu-goeldi.br
[5]CIRAD, UR105 Biens et services des écosystèmes forestiers tropicaux, Campus de Baillarguet TA-C105/D214, F-34398 Montpellier Cedex. France.
Mail : valery.gond@cirad.fr

Soumis le 9 juin 2009 ; accepté le 3 juillet 2010 - © *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n° 2, p. 97-111

Résumé :

Le site de Maçaranduba se situe à proximité de Marabá, dans la région du Sudeste de l'État fédéré du Pará (Brésil). La région de Marabá fait partie des zones situées en arrière des fronts pionniers amazoniens, et est de ce fait déjà largement déboisée ; certaines poches d'espaces majoritairement forestiers subsistent, notamment au Nord de Marabá, dans la zone de Maçaranduba. Cependant, cette zone connaît depuis les années 1990 une reprise importante des activités agricoles : le front secondaire de déforestation y est actif. La dynamique qui s'y observe renvoie à un débat plus global sur la forêt amazonienne : le devenir des poches en arrière du front principal de déforestation.

Afin de renseigner la dynamique des états de surface sur l'ensemble de la zone d'étude, nous avons utilisé 5 images TM de Landsat de 1997 à 2006. Les dynamiques paysagères mises en évidence, 50 exploitations agricoles ont été visitées lors des campagnes de terrain (2006-2008). Afin de renseigner la dynamique de ce front de déforestation, différents facteurs d'évolution communs à chacune des parcelles ont été caractérisés. Pour ce faire, l'analyse triadique partielle est utilisée.

Les premiers résultats présentent les dynamiques de l'occupation des sols entre 1997 et 2006, à l'échelle du front de déforestation, démontrant que Maçaranduba est un front actif depuis les 10 dernières années. A une échelle plus fine, c'est-à-dire à l'échelle de la parcelle agricole (lot), l'historique de la dynamique de chaque lot entre 1997 et 2006 est retracée. Cela a permis d'identifier des groupes de parcelles agricoles qui connaissent sensiblement les mêmes évolutions surfaciques au cours de la période d'étude. La synthèse de l'occupation des terres et des différentes variables retenues permet ainsi de produire un modèle spatial synthétique de la dynamique spatio-temporelle de changement de l'occupation des sols par groupe de parcelles agricoles. Ces modèles spatiaux facilitent la synthétisation, et donc la compréhension, d'un phénomène spatial complexe tel que l'appropriation des territoires dans une logique de front de déforestation.

***Mots-clés** : Brésil, front pionnier, télédétection, Analyse Triadique Partielle, directions de changement.*

INTRODUCTION

Le front pionnier de Maçaranduba correspond à une sous entité du front principal de déforestation de l'est amazonien. Le site de Maçaranduba est situé dans la région de Marabá, dans la région du Sudeste de l'État fédéré du Pará au Brésil (figure 1). C'est une région de 30 000 km², située sur le Rio Tocantins. Le contexte historique de la région a modelé et modèle encore les dynamiques de l'occupation du sol dans la région. Avant 1974, les populations de la région vivaient de la récolte et de la cueillette durant la saison des pluies. C'est le temps de l'exploitation du latex et des récoltes annuelles de la noix du Pará. C'est au cours de cette période que les premières prospections de l'or et du diamant se mettent en place dans la région. Les axes de pénétration dans la forêt se font presque exclusivement par le fleuve, le réseau de pistes manquant de densité. Après 1974, cette région connaît une forte activité agricole liée au développement d'un front de déforestation d'ampleur nationale.

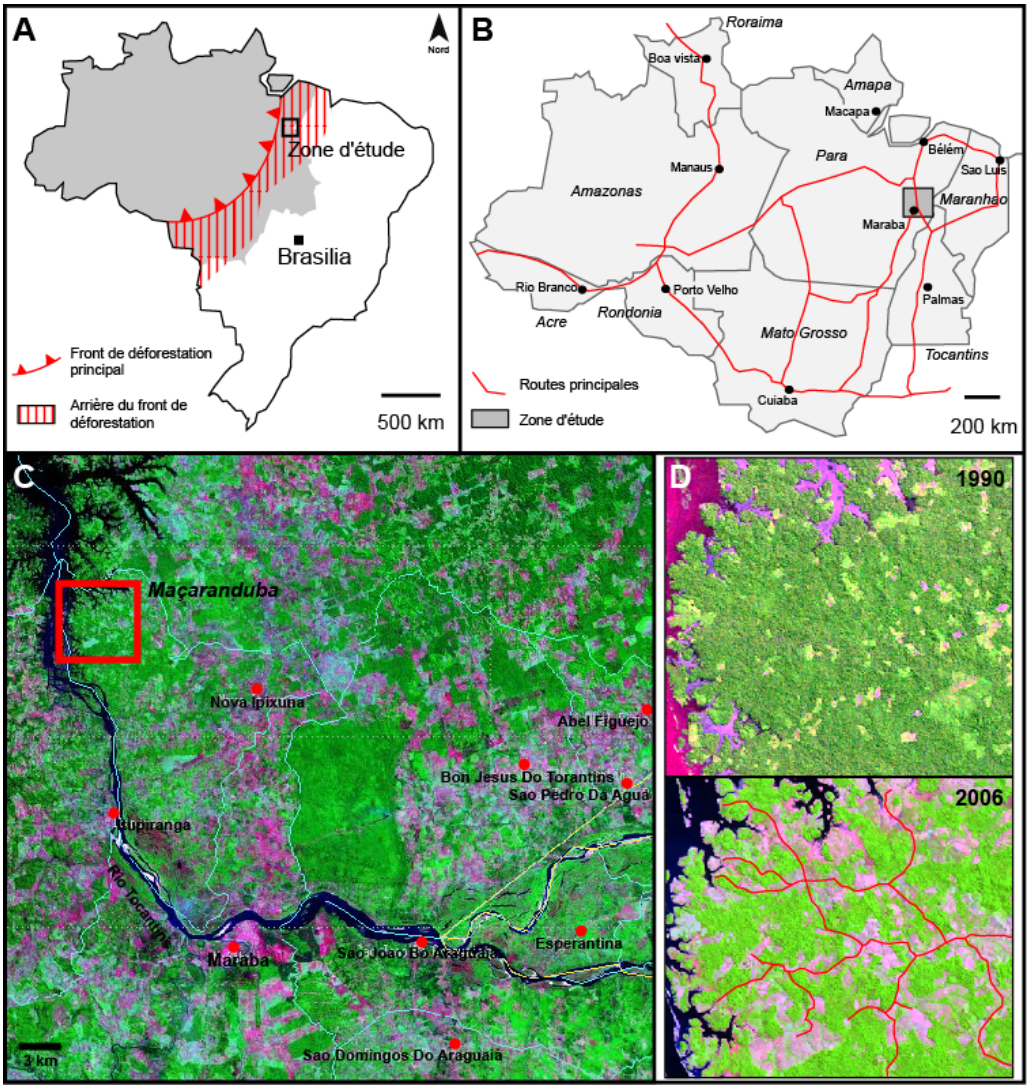


Figure 1 : A. Carte du Brésil – en gris apparaissent les régions amazoniennes. B. Cartes des régions d'Amazonie brésiliennes – en gris apparaît la région de Marabá. C. Carte de la région de Marabá (image landsat TM fausse couleur de 2006, rouge, PIR et MIR) et localisation de la région de Maçaranduba. D. Images Landsat TM de 1990 et de 2006 de la zone de Maçaranduba. En rouge apparaît sur l'image de 2006 le réseau de pistes de la zone d'étude.

Figure 1: A. Map of Brazil – the amazonians regions in Brazil (in grey). B. Maps of the Amazonian regions – region of Marabá (in grey). C. Map of the region of Marabá (Landsat TM false color image of 2006's – red, NIR and MIR) and the region of Maçaranduba in red tint. D. 1990's and 2006's Landsat TM images of the region of Maçaranduba. The road network of the study site appears in red.

Dès 1974-1975, un tournant important est franchi avec l'ouverture et le passage de la route transamazonienne (route fédérale BR 230) à Marabá. Cette route goudronnée facilite à de nombreux migrants l'accès aux espaces forestiers limitrophes. Des politiques de colonisation des terres sont alors mises en place le long de la route transamazonienne, notamment par l'INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). Ceci entraîne la constitution des premières parcelles de cultures vivrières, de riz ou de manioc notamment. De plus, l'arrivée de nouveaux exploitants augmente

à la suite de la mise en exploitation des mines de Carajás au sud de la région d'étude. Cette exploitation entraîne la création de dessertes pour les mines, avec le chemin de fer Carajás – Marabá – São Luis (Maranhão), mais aussi avec la construction de routes goudronnées, par exemple, la route Carajás-Belém. Enfin, le potentiel hydroélectrique de la région est exploité par la construction du barrage hydroélectrique de Tucurui (2500 km²). Durant cette période, les cours mondiaux du latex et de la noix de Pará chutent, poussant les grandes exploitations, mais aussi les exploitations familiales, à se tourner vers l'élevage (De Reynald, 1999). Aujourd'hui, l'extension du front de déforestation dans la région a pour but de valoriser un élevage bovin de type extensif.

À l'échelle régionale, la région de Marabá compte parmi les zones largement déboisées d'Amazonie. Cependant, certaines poches d'espaces majoritairement forestiers subsistent, notamment au nord de Marabá, dans les secteurs de Nova Ipixuna ou de Maçaranduba. Ces espaces restent des lieux d'exception en Amazonie orientale ; toutefois, depuis la fin des années 1990, ils sont rattrapés par des phénomènes de déforestation agricole. Cette dynamique, propre ici à la zone de Maçaranduba, peut être placée dans un débat plus global sur la forêt amazonienne : le devenir des poches en arrière du front principal de déforestation principal et de la possibilité de maintenir ces poches à l'écart des dynamiques régionales par le recours à une économie alternative. Cette problématique a déjà été étudiée dans une région proche de notre région d'étude (Droulers et Le Tourneau, 2005). Les auteurs ont montré la difficulté de contenir la colonisation dans des poches forestières en aval du front pionnier. Dans le cas qui nous intéresse, la coalition mainte fois décrite (voire en particulier Léna, 1999 ou Lachartre et Léna, 2002) entre mouvements sociaux locaux et acteurs environnementaux a essayé, au milieu des années 1990, de protéger un territoire pour l'agriculture familiale en créant une gestion communautaire des terres et en fondant les revenus des agriculteurs sur l'extractivisme – sur le modèle des réserves extractivistes des *seringueiros*, les exploitants de latex d'Amazonie occidentale. Cependant, la simple référence aux images satellites Landsat de la zone d'étude de 1990 et de 2006 tend à montrer qu'il s'agit bien d'un front secondaire actif (figure 1, D). Le développement de ce front est particulièrement marqué à la fin des années 1990 avec l'arrivée de nouveaux exploitants agricoles dans ce secteur.

Afin de voir comment ce site évolue, nous allons décrire la dynamique du paysage sur la zone d'étude entre 1997 et 2006 et identifier les phénomènes spatiaux propres au développement des activités de déforestation dans les dernières poches subsistantes en arrière du front de déforestation principal.

Pour ce faire, nous allons chercher à identifier et à caractériser la ou les dynamique(s) des éléments paysagers à l'échelle de la zone de Maçaranduba entre 1997 et 2006. Ensuite, nous caractériserons le ou les mode(s) d'appropriation spatio-temporelle des sols sur le front de déforestation. Enfin, nous allons mettre en évidence la ou les dynamique(s) à l'échelle des lots agricoles entre 1997 et 2006, éléments de base (le plus petit) de la dynamique du front de déforestation.

1. DONNÉES ET MÉTHODES

Deux approches ont été privilégiées pour suivre la dynamique de l'occupation des sols dans un contexte de valorisation foncière pour l'agriculture en Amazonie forestière. En effet, les campagnes de terrain possèdent deux aspects et objectifs majeurs. En premier lieu, réunir des données issues des différents services gouvernementaux qui ne peuvent pas être obtenues en France et difficilement disponibles au Brésil (cadastres…). En second lieu, réunir des données issues des zones d'étude renseignées par des campagnes de terrain *in situ*.

Afin de cartographier la zone de Maçaranduba, nous avons choisi de travailler avec des données satellitaires provenant des plateformes Landsat TM. Le choix de ces images a été piloté par l'archive disponible remontant potentiellement jusqu'aux années 1990. De plus, la résolution du pixel de 30m sur 30m permet de caractériser des surfaces de 900m², ce qui est tout à fait adapté à notre site d'étude. La gamme spectrale des capteurs TM (Bleu, Vert, Rouge, Proche infra-rouge, Moyen infra-rouge et infra-rouge lointain) sur les plateformes Landsat permet une bonne identification des éléments du paysage (Oszwald *et al.*, 2007 ; Salovaara *et al.*, 2005). Au sein de l'archive, nous avons privilégié des acquisitions durant la saison sèche afin d'obtenir le maximum de contraste entre les éléments du paysage (forêt, culture, jachère). De plus, cette période correspond au maximum de disponibilité de données acquises du fait de la faible nébulosité durant cette saison. Ainsi, les biais entraînés par les facteurs atmosphériques sont moindres, même s'il est indispensable d'avoir recours à un modèle de correction atmosphérique (Fortser, 1984 ; Markham and Barber, 1986 ; Markham and Chander, 2003). Les acquisitions d'archives ont ainsi permis de disposer d'information pour le 28 mai 1997, le 31 juillet 2000, le 5 juillet 2002, le 15 mai 2004 et le 9 août 2006.

Afin de traiter le corpus d'images satellites, il convient de prendre certaines précautions dans la mise en place des campagnes de terrain du fait de contraintes environnementales fortes. En effet, les milieux forestiers étudiés ici sont très complexes de part leurs stratifications naturelles et l'imbrication des éléments paysagers au sein de la mosaïque spatiale. Afin de préparer nos relevés de terrain une première analyse par photo-intreprétation a été réalisée sur l'image Landsat TM du 9 août 2006. Sur cette image ont été identifiés les grands ensembles paysagers en fonction de leurs signatures spectrales, de leurs textures et de leurs agencements dans l'espace. La distinction entre zones forestières, recrûs forestiers, pâturages et agriculture a pu être réalisée grâce aux expériences diverses des membres de l'équipe. Cette pré-stratification a grandement facilité le choix des interventions sur le terrain par la délimitation de larges secteurs à pros-

pecter. L'apport de ces informations a permis de rapidement déterminer les zones d'entraînement de la future classification par une stratégie dirigée d'échantillonnage (Zonneveld, 1989). Le terrain a ensuite été effectué du 20 mars au 10 avril 2007. Ce travail de terrain a été réalisé en plusieurs étapes :

- La première étape a été de définir un maximum d'éléments paysagers identifiables au sol. Cette première opération avait pour but de bien cerner l'ensemble de l'hétérogénéité spatiale des éléments paysager sur le site de Maçaranduba. Cette première nomenclature a ensuite été affinée au fur et à mesure des constatations de l'équipe pour arriver à la mise en place d'une typologie définitive.

- La seconde étape a été planifiée en fonction de la pré-stratification Landsat TM et de l'identification des éléments paysagers. Nous avons alors choisis des zones privilégiées représentant au mieux la variabilité spatiale des éléments du paysage. Ainsi, le but est de renseigner le plus souvent possible chaque éléments paysagers afin d'accroître la finesse de la détermination des différentes classes d'occupation du sol. Pour cela 11 transects de végétation ont été sélectionnés afin de renseigner la structure des espaces de transitions entre les différents types d'éléments paysagers (Oszwald *et al*., 2007). Ainsi, muni de trois GPS (afin d'avoir une estimation précise de la position géographique) nous avons inventorié tous les 50 mètres les éléments du paysage. Pour cela, une fiche de terrain a été élaborée permettant de décrire l'ensemble des points GPS. Cette fiche descriptive comprend une description de la structure verticale (hauteur de la canopée, nombre de strates), de la structure horizontale (étendue de l'élément, physionomie générale), les paramètres environnementaux (pente, type de sol, substrat, présence d'eau...) et enfin une série de cinq photos dont les quatre premières sont orientées (Nord, Est, Sud et Ouest) et la dernière prise vers le sol afin de garder en mémoire la nature de la zone où la mesure a été effectuée. Ainsi, une collection de près de 250 points de mesure a été réalisée et entièrement documentée.

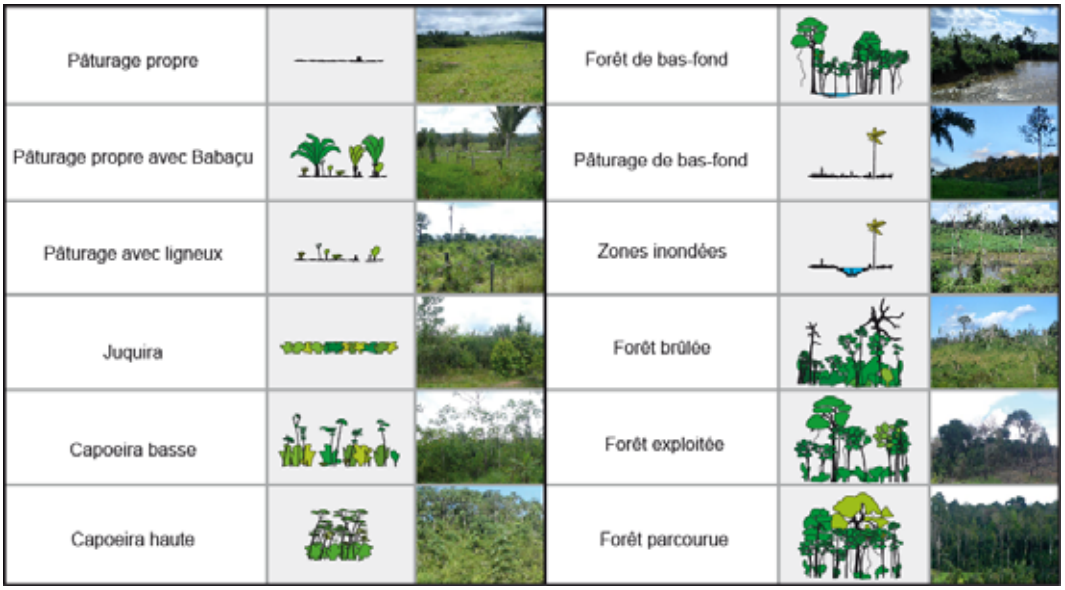


Figure 2 : Typologie des éléments paysagers caractérisée à partir de l'analyse des images satellites entre 1997 et 2006.

Figure 2: Typology of the landscape elements characterized by remote sensing between 1997 and 2006.

A la suite de la campagne de terrain, les fiches ainsi obtenues ont été rassemblées par parcelle, transcrites en pyramide de végétation afin d'analyser leur degré de ressemblance et de définir une nomenclature (Girard et Girard, 1999). Ensuite, ces points d'entraînement ont été recalés et superposés à l'image satellite. Une correction géométrique a donc été réalisée grâce à des points GPS remarquables identifiés au sol lors de la mission sur le terrain (ponts, croisements de chemin, bord de rivière...). Toutes les images d'archives ont ainsi été recalées par rapport à l'image de 2006. A partir du jeu de données collecté sur le terrain, des zones d'entraînement ont été identifiées afin de classer les pixels constituant la zone de Maçaranduba pour l'image Landsat 2006. La classification supervisée par maximum de vraisemblance a été choisie pour ses qualités de robustesse dans l'identification de classes spectralement assez proches. Malgré cela, quelques classes identifiées au sol n'ont pu être correctement classifiées par l'algorithme (indice de kappa inférieur à 0.75) et ont donc été regroupées avec d'autres classes (cas des jardins familiaux se confondant avec les jeunes jachères). Afin de reconstituer l'historique des paysages du site, nous avons également identifié la signature spectrale (en réflectance absolue) de chaque élément du paysage sur l'image satellite de 2006. Nous avons pu ainsi identifier, par correspondance spectrale, sur les images anciennes les éléments recherchés. Par comparaison il a alors été possible de reconstituer des classifications pour les périodes antérieures. Toutefois les capteurs n'étant pas les mêmes ou ayant vieillis, certaines classes trop proches spectralement les unes des autres ont perdues de leur séparabilité (cas de jachères jeunes et des jachères de plus de trois ans). Ces erreurs n'étant pas préjudiciables à la suite de l'analyse elles nous sont parues accep-

tables (moins de 10% d'erreur). A partir de ce travail, une base de données thématique renseignant les éléments paysagers à plusieurs dates a été réalisée (figure 2).

Afin de vérifier que les dynamiques pluriannuelles « pixel à pixel » relevées par télédétection sont exactes, nous avons confronté ces résultats avec le modèle de la dynamique des éléments paysagers relevé à partir des observations de terrain (Figure 3). Ce modèle débute, à l'état initial, par une occupation du sol essentiellement forestière (forêt de bas-fonds ou forêts parcourue – traduction littérale du terme brésilien pour caractériser les forêts denses semi-caducifoliées ou sempervirentes très peu anthropisées).

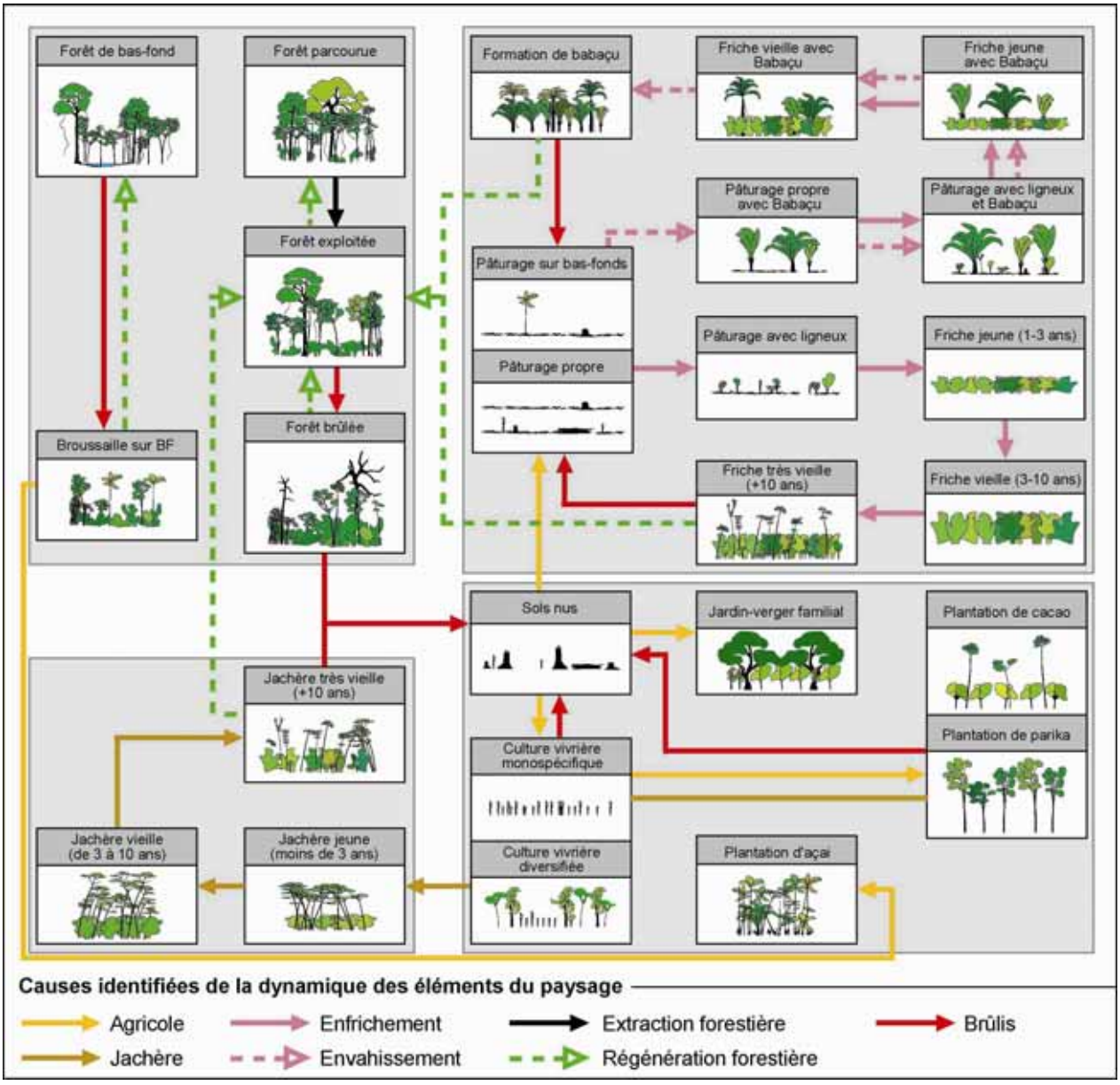


Figure 3 : Approche systémique des dynamiques des éléments paysagers à l'échelle de la zone de Maçaranduba.

Figure 3: Systematic approach of the landscape elements dynamics on the scale of the Maçaranduba area.

Les forêts observées sur le terrain se caractérisent par un peuplement fermé, multistratifié, constitué d'une strate supérieure de grands arbres (50 mètres environ). Ces forêts denses humides de terre ferme ou de bas-fonds possèdent deux strates supérieures bien développées, assurant un taux de couverture du sol par les couronnes supérieur à 80 % (Schnell, 1971). Le sous-bois est clair, permettant une circulation relativement aisée à l'intérieur de ces forêts. Ces éléments paysagers correspondent aux formations forestières les mieux préservées, même si des traces de prélèvements occasionnels peuvent y être observées (activités extractivistes).

La forêt exploitée est une forêt dense humide dans laquelle l'extraction des essences commerciales a été plus ou moins intense durant les trente dernières années. Il en résulte de vastes trouées colonisées par de nombreuses tiges et ligneux. Ce phénomène est lié à la régénération d'une strate héliophile dynamisée par l'ouverture de la canopée (la strate supé-

rieure n'est couvrante qu'à 50 à 80 %). Le sous-bois y est généralement dense et le taux de couverture de la strate arborée assez irrégulier. L'exploitation industrielle des forêts nécessite la mise en place d'un réseau de piste, plus ou moins important, afin de commercialiser les grumes. Ce réseau facilite l'accès aux sites, d'autant plus que de nombreuses saignées ont été réalisées par des engins motorisés au sein même des massifs forestiers. L'ensemble de ce réseau facilite l'accessibilité aux sites des populations limitrophes et la mise en place du brûlis. Les premiers passages du feu conduisent à la formation des forêts brûlées. Ces forêts sont caractérisées par un sous-bois dense et un fort degré d'envahissement lianescent. Ce sont généralement des forêts très hétérogènes à cause des exploitations forestières intensives et des feux qui la traversent régulièrement. La canopée de cette formation est par conséquent très irrégulière.

Lorsque le brûlis a bien dégagé la parcelle forestière, l'exploitant finit de la nettoyer en coupant les plus gros arbres en cours de dépérissement. À ce stade, l'exploitant peut valoriser cette nouvelle parcelle sous forme de pâturage ou sous forme de culture vivrière. Les pâturages sont généralement plantés de graminées particulièrement couvrantes lorsque l'espacement minimum entre chaque pied est respecté et la charge animale bien conduite (Veiga et Tourrand, 2001). Dans ce cas, les prairies sont constituées presque exclusivement par la *Braccharia, spp*. Toutefois, un déséquilibre peut entraîner la dégradation du pâturage. D'abord, les feux d'entretien successifs favorisent la prolifération de *babaçu* (*Orbignya speciosa)*. Dans ce cas, les prairies sont parsemées de *babaçu*, leur densité variant selon l'ancienneté du pâturage, la récurrence des feux et la capacité de l'agriculteur à s'en débarrasser. Ensuite, le pâturage, par manque d'entretien, peut s'enfricher. La dynamique de l'enfrichement est due à la prolifération des adventices, notamment des ligneux et des lianes ligneuses, en forte densité (Serrão *et al.*, 1978 ; Dantas, 1981 ; Veiga, 1995).

Les cultures vivrières sont généralement ouvertes sur une parcelle de forêt ou sur une jachère d'au moins cinq ans qui a été brûlée ou coupée. Ces cultures vivrières peuvent se présenter comme des parcelles monospécifiques ou diversifiées. L'agriculteur cultive dans ces parcelles des produits de base tels que le riz, le haricot ou le maïs, mais aussi différents tubercules (igname, manioc…) et plus occasionnellement d'autres annuelles (citrouille, pastèque, courgette...). L'agriculture traditionnelle, telle qu'elle est pratiquée dans le nord-est du Pará, est fondée sur l'utilisation du potentiel régénérateur de la végétation secondaire (Camarão *et al.*, 2000). Ainsi, ces espaces cultivées peuvent être abandonnées en jachère. D'autres formes d'utilisation de la terre à des fins vivrières peuvent être identifiées. Le jardin-verger familial correspond à un espace planté d'arbres, d'arbustes et d'herbes utiles, généralement proche du lieu de résidence de l'agriculteur. Tout ce qui sert à la consommation alimentaire de la famille en complément de la culture vivrière y est cultivé. Les bas-fonds situés en périphérie des parcelles agricoles sont souvent dégradés par le feu ou les activités agricoles (troupeaux), ce qui favorise l'émergence d'une végétation forestière plus ou moins altérée se rapprochant structurellement d'une broussaille. Les reliquats forestiers et les essences caractéristiques des formations secondaires (friche, jachère…) créent alors une formation mixte généralement dominée par l'açaï (*Euterpe oleracea*). Enfin, la régénération des anciennes exploitations agricoles, par le biais de dynamiques d'enfrichement ou de jachère, conduit à la régénération, plus ou moins partielle, du couvert forestier (broussailles sur bas-fonds et forêts exploitées). Cependant, la régénération totale du couvert forestier est très rarement observée, la période de régénération étant trop importante (de 50 à 100 ans).

Une fois les dynamiques paysagères sur l'ensemble de la zone d'étude mises en exergue, nous nous sommes intéressés à 50 exploitations agricoles qui ont été visitées lors des campagnes de terrain (figure 6). Afin de renseigner la dynamique de ce front de déforestation, nous avons cherché à caractériser les différents facteurs d'évolution communs à chacune des parcelles. Comme c'est souvent le cas en géographie, nous obtenons une série de relevés qui est répétée au cours du temps pour des entités spatiales similaires, ici les 50 lots de l'analyse. Cela conduit à la constitution de tableaux de mesure tridimensionnels. En effet, la première dimension de notre tableau est constituée de *x* lots agricoles, *k* variables d'occupation des sols structurent chacun de ces lots sur *t* dates d'analyse (figure 4).

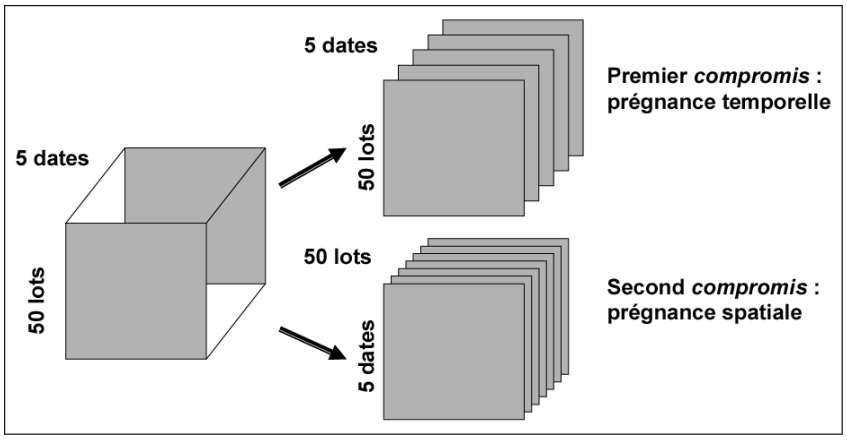


Figure 4 : Tableau tridimensionnel des données spatio-temporelles et proposition des deux compromis d'analyse.

Figure 4: Three-dimensional picture of spatiotemporal data and two compromises of analysis presentation.

Afin d'analyser de tels tableaux de données, nous proposons de nous baser sur une méthode statistique factorielle utilisée principalement en écologie introduite par Thioulouse et Chessel en 1987 : l'ATP ou l'Analyse Triadique Partielle (Blanc et Beaudou, 1998 ; Ernoult *et al.*, 2006). Cette méthode permet d'effectuer des Analyses en Composantes Principales (ACP) simultanées et coordonnées de plusieurs tableaux de mesures de la dynamique paysagère effectués, par exemple, dans différents lots, et ce de façon répétée dans le temps. Dans ce cas, le recours à l'ATP, dans le logiciel R (package ade4), permet de trouver une structure spatiale stationnelle commune à tous les tableaux (dates de relevés de l'occupation des sols) et d'en étudier la stabilité temporelle. Pour cela, la méthode s'appuie sur la recherche d'une moyenne de tableaux appelée compromis et sur la reproductibilité du compromis pour chacun des tableaux initiaux (figure 2, Blanc *et al.*, 1998).

Le tableau tridimensionnel de données constitué à partir des analyses par télédétection de l'occupation des sols offre deux pistes d'analyse lors de l'ATP. La piste A privilégie l'identification d'une structure spatiale commune pour les cinq dates d'analyses, ce qui permet d'étudier la permanence temporelle du jeu de données, ce que nous appelons le premier compromis. La piste B (second compromis) privilégie l'identification d'une structure temporelle pour chacun des 50 lots agricoles, ce qui permet de se focaliser sur la permanence spatiale. Ce principe général va permettre d'identifier les directions de changements temporels des objets spatiaux étudiés, par groupe ou les uns par rapport aux autres. Afin de lancer une ATP, il importe d'utiliser les mêmes variables mesurées sur les mêmes individus à plusieurs reprises. De ce fait, pour d'obtenir des variables homogènes sur l'ensemble des lots étudiés, nous avons simplifié les classes d'occupation des sols qui ont été retenues pour l'analyse. Les lots agricoles sont désormais caractérisés par les surfaces couvertes de « *forêts exploitées* », de « *forêts brûlées* », d'éléments paysagers très fortement dégradés comme les « *friches, jachères ou broussailles* », de « *pâturages avec ligneux* » et de « *pâturages propres* ».

2. RÉSULTATS

2.1. Des données à la cartographie multi-temporelle à l'échelle régionale

À l'aide des méthodes issues de la télédétection, des cartes de l'occupation des sols pour 1997, 2000, 2002, 2004 et 2006 ont été réalisées (figure 5).

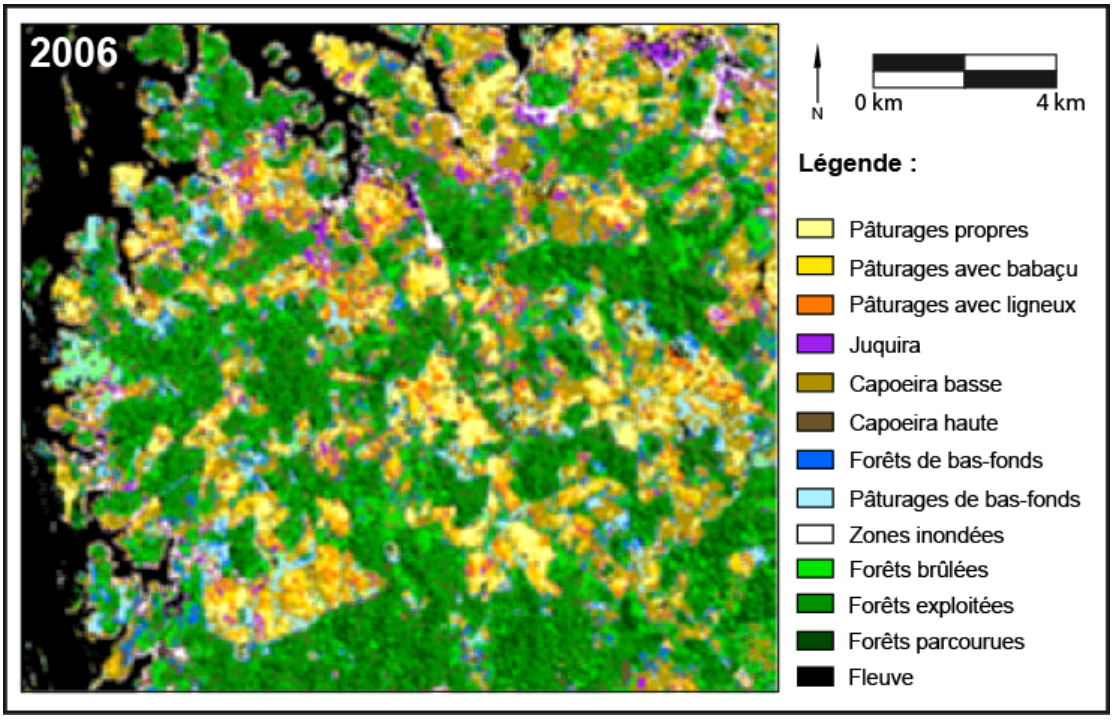


Figure 5 : Classification de la scène Landsat TM du 09 août 2006.
Elle présente un pourcentage de pixels bien classé de 84 % avec un indice de Kappa de 0,82.

Figure 5: Classification of the Landsat TM image of August 09th, 2006 (Kappa of 0.82).

La carte de l'occupation des sols de la zone de Maçaranduba en 2006 présente une forte hétérogénéité des éléments paysagers. En effet, au sein des entités territoriales structurées en classes convergentes (exemple des lots agricoles), la complexité paysagère est très marquée, de même que dans les ensembles forestiers. Toutefois, il apparaît parallèlement, à un deuxième niveau d'analyse, une structuration des îlots agricoles autour du réseau de pistes, mais aussi sur les rives du Rio Tocantins ; ce qui marque au contraire une forte structuration de l'espace (cf. figure 1D, 2006). Le postulat de

base étant que le développement du front de déforestation est dépendant de l'extension spatio-temporelle du réseau de communication (voir la synthèse de Léna, 1999 ou de Fearnside, 2005). La mise en réseau des lieux étant un élément déterminant de la dynamique de l'appropriation spatiale.

Afin de vérifier ce postulat, nous avons réalisé une carte de synthèse des changements de l'occupation des sols entre 1997 et 2006. Ces changements sont réalisés date à date sans prise en compte de l'intensité ou de la direction des changements de l'occupation des sols (croisement des changements d'occupation des sols entre deux dates, localisation de ces changements et calcul numérique des surfaces concernées par ces changements). Nous avons cherché à identifier spatialement si un changement de l'occupation des sols s'est ou non produit et sa date de conversion (figure 6).

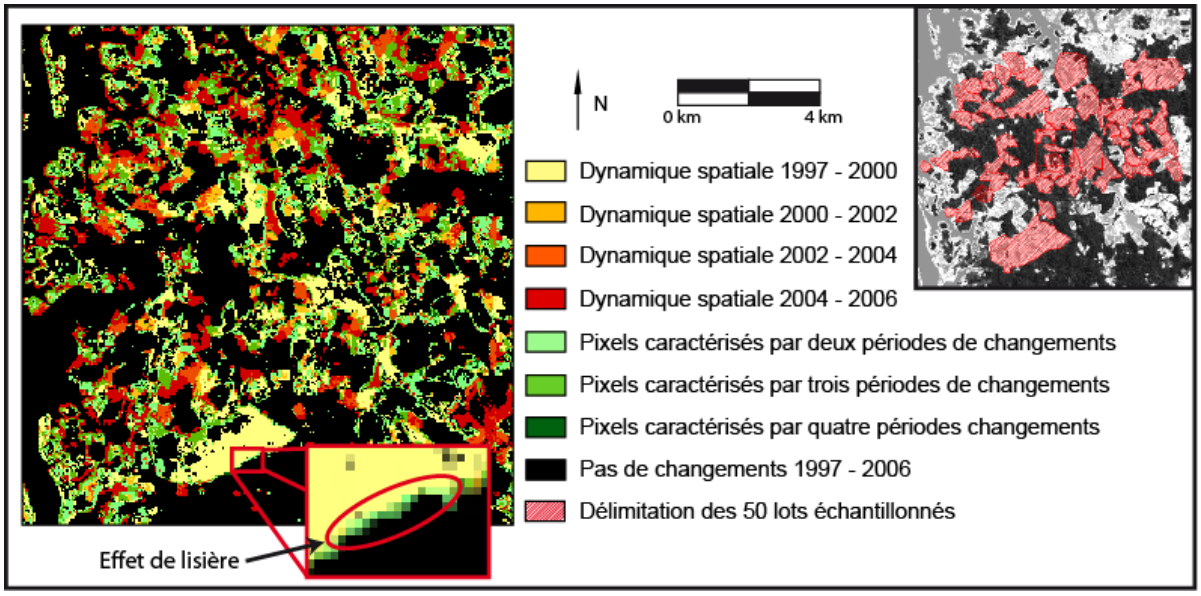


Figure 6 : Cartographie synthétique des changements de l'occupation des sols constatés dans la région de Maçaranduba entre 1997 et 2006. Cette synthèse a été réalisée à partir des soustractions de classifications des images Landsat TM du 28 mai 1997, du 31 juillet 2000, du 5 juillet 2002, du 15 mai 2004 et du 09 août 2006. La carte se trouvant en haut à droite présente la répartition des lots agricoles ayant servi aux analyses.

Figure 6: Synthetic mapping of the land occupation changes of Maçaranduba area between 1997 and 2006. This synthesis was derived by Landsat TM classification subtractions of May 28th, 1997, July 31st, 2000, July 05th, 2002, May 15th, 2004 and August 09th, 2006. The map in top on the right presents the distribution of the farms.

Les premiers résultats présentent les dynamiques de l'occupation des sols entre 1997 et 2006, à l'échelle du front de déforestation, démontrant que Maçaranduba a été un front très actif au cours les dix dernières années. En effet, les territoires ont connu de nombreuses évolutions depuis 1997, essentiellement par le biais de la conversion d'espaces forestiers en espaces agricoles sous l'action de la culture sur brûlis. Ces dynamiques sont notamment marquées à deux dates : d'une part, entre 1997 et 2002, d'autre part entre 2004 et 2006. En effet, ces deux périodes représentent près de 60 % des conversions totales de types d'éléments paysagers. Ces dynamiques peuvent être dues à divers facteurs, comme la dynamique de la pression des troupeaux sur les pâturages (Serrão *et al.*, 1978 ; Veiga, 1995). Par exemple, une augmentation du cheptel de l'agriculteur peut entraîner une extension des prairies bien entretenues, mais aussi une reprise active des brûlis afin d'étendre les surfaces agricoles exploitables. De ce fait, les activités entraînant le recours au brûlis engendrent l'apparition d'un phénomène de lisière, qui peut être très prononcé. Ainsi, le lot agricole se trouvant au sud de la zone d'étude, converti intégralement entre 1997 et 2000, présente un effet de bord très prononcé, avec des pixels qui ont connu plusieurs changements d'occupation des sols. Cela est dû à plusieurs facteurs comme le passage des feux entraînants des dégradations répétées du couvert, les incursions forestières dans le but d'exploitation du bois… Ainsi, ces facteurs d'origine anthropique, répétés dans le temps, entraînent l'apparition d'espaces de délimitations qui sont caractérisés par le passage progressif de végétation dense à une végétation de plus en plus perturbée.

Une fois la dynamique de l'occupation des sols identifiée entre 1997 et 2006 à l'échelle de la zone de Maçaranduba, nous avons cherché à déterminer les dynamiques des éléments paysagers entre 1997 et 2006 sur le front de déforestation. Pour ce faire, nous avons choisi un lot agricole qui a été constitué lors du passage du front de déforestation entre 1997 et 2006. Ce lot identifié, nous avons tracé un transect le traversant selon une orientation générale nord ouest – sud est (figure 7). Afin de générer cette figure, les valeurs spectrales observées le long du transect pour chaque date ont été raccordées à un type d'élément paysager à partir des connaissances accumulées sur le terrain et des résultats des classifications. Cela a permis de synthétiser dans une représentation en deux dimensions les dynamiques de l'occupation des sols entre 1997 et 2006.

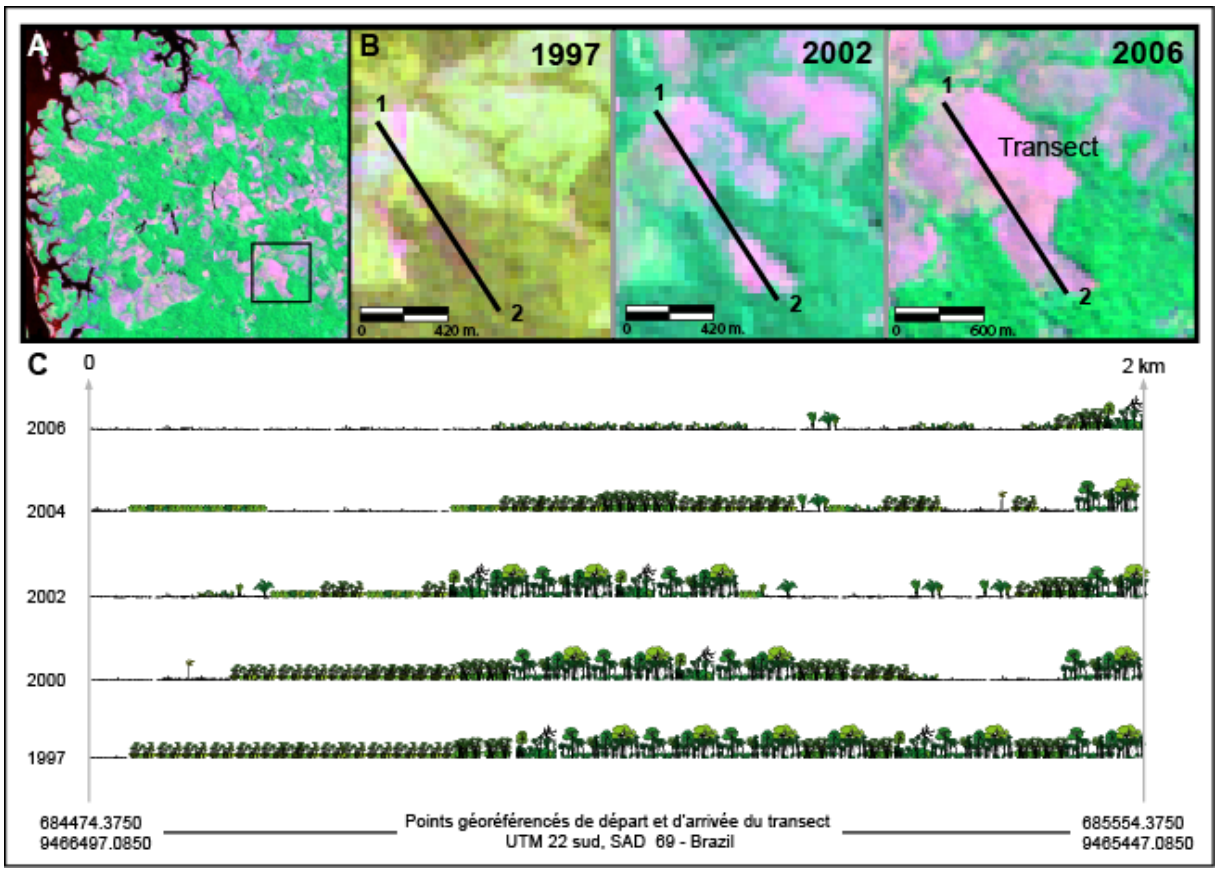


Figure 7 : A. Image Landsat TM fausse couleur de la zone de Maçaranduba en 2006 (Rouge, PIR et MIR). B. Imagettes du lot I_09 et délimitation du transect étudié en 1997, 2002 et 2006 (Rouge, PIR et MIR). C. Détermination par télédétection des dynamiques des éléments paysagers entre 1997 et 2006 sur le front de déforestation.

Figure 7: A. Landsat TM false color image of the Maçaranduba zone into 2006 (red, NIR and MIR). B. Image of the farm I_09 and transect delimitation for 1997, 2002 and 2006 (red, NIR and MIR). C. Determination by remote sensing of the land occupation dynamics between 1997 and 2006 on the deforestation front.

La présence de capoeira en 1997 indique une conquête de cette parcelle par des feux répétitifs depuis quelques années (méthodes couramment développée dans la zone de Maçaranduba). En 2002, les espaces occupés par des pâturages, essentiellement à *Brachiaria humidicola* sont identifiables au sud est et au nord ouest du transect (en violet rose sur les imagettes fausses couleurs). Ces pâturages se développent à partir du réseau de pistes secondaire. L'extension des espaces convertis en pâturage se poursuit jusqu'en 2006, date à laquelle l'ensemble de la zone étudiée est transformé en pâturage. L'extension des espaces de pâturage au détriment des espaces anciennement forestiers s'effectue par le biais du réseau de pistes. Cette forme d'appropriation de l'espace forestier est caractéristique des *fazendas*, c'est-à-dire des grandes exploitations agricoles de la région. Ce transect a fait l'objet de vérification sur le terrain en 2006, les années précédentes ayant subie une vérification spectrale à partir des connaissances accumulées en 2006. Cependant, le mode d'appropriation spatio-temporel du lot par exploitant est assez cohérent et correspond bien aux dynamiques systémiques relevées dans la figure 6. De plus, ces résultats ont été confrontés à l'approche systémique précédemment effectuée afin de vérifier que certaines évolutions temporelles de l'occupation du sol ne sont pas incohérentes sur le temps de mise en œuvre des processus ou concernant l'impossibilité de passage d'un élément paysager à un autre (cf. figure 3).

À cette échelle de travail, l'évolution spatio-temporelle des lots semble assez homogène dans les processus mis en œuvre. Mais qu'en est-il lorsque l'on veut comparer des évolutions territoriales à l'échelle de l'ensemble des lots, éléments de base de la dynamique agricole ?

2.2. Des lots ayant une histoire régionale commune ont-ils une histoire individuelle commune ?

Le travail à l'échelle du lot agricole dépend éminemment de la problématique choisie. Si beaucoup de modélisations, en particulier fondées sur des critères macro économiques (Geist et Lambin, 2001 ; Mertens *et al.*, 2002) ou politiques (Fearnside, 2001 ; Alston *et al.*, 2000), ont été menées à l'échelle régionale, l'accent mis sur l'échelle du lot agricole est de plus en plus important (Arnauld de Sartre, 2003 et 2006 ; Caldas *et al.*, 2007), au sein d'une approche qualifiée par certains chercheurs d'écologie culturelle (Zimmerer, 2004). C'est à cette échelle que nous travaillons ici, en essayant de distinguer les lots entre eux par rapport aux dynamiques globales qui les caractérisent. Pour ce faire, la résolution spatiale offerte par les images Landsat TM est bien adaptée à un suivi pluriannuel des dynamiques des éléments paysagers au sein des 50 lots étudiés. En effet, la taille moyenne d'un lot sur la zone de Maçaranduba est de 52 hectares, soit environ 578 pixels.

La première procédure de l'ATP a amené la construction de cinq tableaux pour chaque date (lignes = sites x colonnes = variables de paysages). Les deux gradients importants d'explication sont déterminés à partir de l'interprétation des deux premiers axes du compromis (Figure 8, a, b). L'axe 1 (54 % de l'inertie totale) opposent les variables forestières (forêts exploitées, forêts brûlées, vielles capoeira et broussailles) aux variables d'espaces mis en valeur (pâturages essentiellement). L'axe 2 (26 % de l'inertie totale) opposent les mêmes variables. Les variables correspondant aux espaces mis en valeur caractérisent principalement cet axe d'information. La projection sur le plan des compromis des 50 lots analysés est effectué sur chaque dates (figure 8, c). Le graphique montre que pour chaque site, certaines dates sont assez proches les unes des autres. Par exemple, le lot II-17 (le plus à gauche sur l'axe 1) présente une rupture assez nette entre 1997 et les années 2000. En effet, le point d'inertie des cinq années (en orange sur la figure 8C) se situe dans les valeurs négatives des deux axes factoriels principaux. Il correspond donc à la localisation moyenne du lot sur les cinq dates d'analyses. Ainsi, en 1997, la plus grande partie du lot correspond à des éléments paysagers de type forêts exploitées, forêts brûlées ou *capoeira*/broussailles. Ensuite, à partir des années 2000, le lot est influencé majoritairement par des dynamiques agricoles, notamment par la mise en place de pâturages propres et de pâturages avec ligneux. Ce qui est intéressant, c'est que les vecteurs définissant les années 2000, 2002 et 2004 ont la même direction, même si l'intensité de l'évolution est différente (longueur du vecteur). Dès lors, nous pouvons affirmer que durant cette période le lot II-17 connaît des dynamiques continues et homogènes de développement de pâturages. Entre 2004 et 2006, ces pâturages sont en cours d'envahissement par des plants de babaçu. Cet exemple indique que les deux gradients sont fermes après une rupture. Si cette rupture est bien marquée pour le lot II-17, elle est beaucoup moins nette pour d'autres lots, comme le lot II-07.

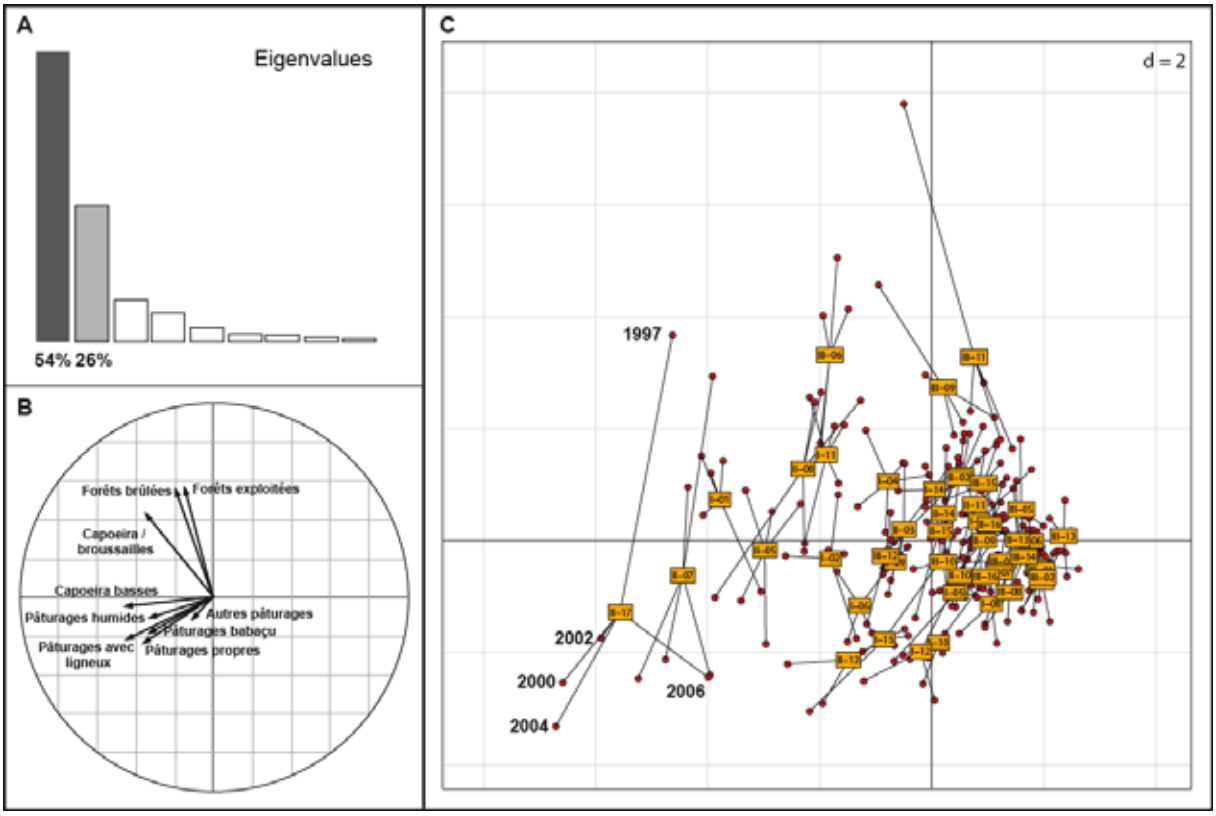


Figure 8 : Dynamiques des éléments paysagers à l'échelle de la zone de Maçaranduba ; A. diagramme des valeurs propres ; B. variables paysagères représentées pour chaque date dans le plan 1-2 du compromis de chaque analyse ; C. représentation des lots pour chaque dates dans le plan 1-2 du compromis de chaque analyse.

Figure 8: Land occupation dynamics on the scale of the Maçaranduba area ; A. eigenvalues diagram ; B. land occupation variables derived for every date in the plan 1-2 of the compromise ; C. lots presentation for every dates in the plan 1-2 of compromise.

La seconde procédure de l'ATP est réalisée sur les 50 lots (lignes = dates x colonnes = variables de paysages). Le compromis fournit une vision moyenne de la trame paysagère aux cinq dates pour les 50 lots étudiés (figure 9, b). L'axe 1 (62 % de l'inertie totale – figure 9, b) oppose une nouvelle fois les variables forestières aux variables d'espaces mis en valeur. L'axe 2 (21 % de l'inertie totale) oppose nettement les espaces de pâturages propres avec les pâturages humides et les forêts brûlées. Si l'opposition forestière est logique, il est étonnant que ces deux types de pâturages soient en opposition. Cela est dû à la pluviométrie propre à l'année 2004. En effet, 2004 est une année particulièrement pluvieuse, ce qui provoque une saturation en eau des sols, notamment des pâturages. De ce fait, les pâturages propres, c'est-à-dire se développant sur sols secs, apparaissent dans la classification comme des pâturages humides, c'est-à-dire se dévelop-

pant sur des sols hydromorphes. Cet axe oppose également les espaces de transitions (broussailles, *capoeira* et *juquira*) avec les éléments paysagers constituant le lot agricole au début ou à la fin de son appropriation, c'est-à-dire les espaces forestiers exploités et les pâturages propres. La projection de chaque lot aux cinq dates sur le plan 1-2 du compromis a permis d'étudier plus particulièrement la trajectoire de chaque lot (figure 9, c). La majorité des lots est caractérisée en 1997 par des éléments paysagers essentiellement forestiers (forêts exploitées, forêts brûlées ou vielles *capoeira* et broussailles). Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1997 et 2000 résultent en général de la conversion d'une plus ou moins grande partie du lot des éléments paysagers forestiers vers des éléments paysagers « dégradés » ou pâturés. Après 2000, les dynamiques varient fortement d'un lot à l'autre. Chaque lot connaît sa propre dynamique indépendamment des autres sites.

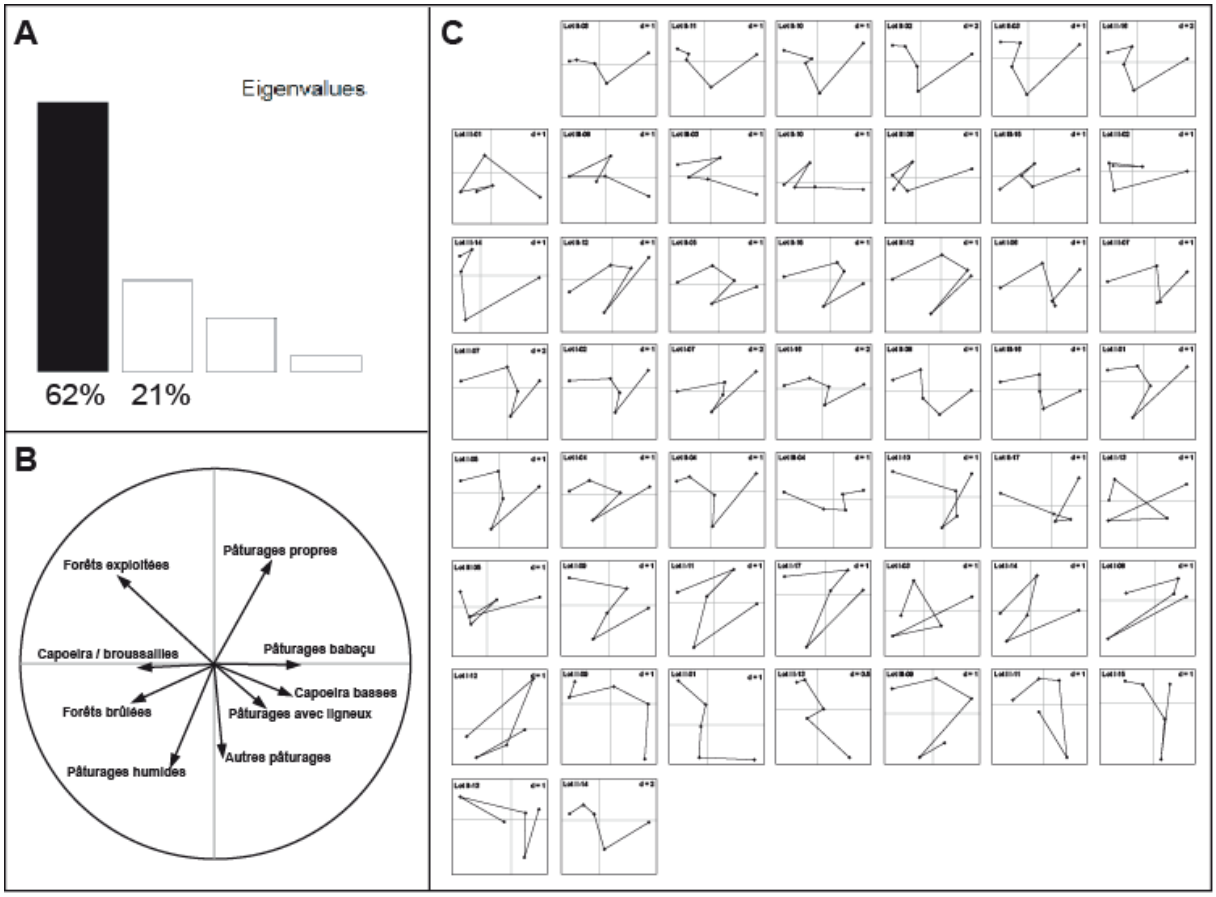


Figure 9 : Variabilité de la dynamique paysagère à l'échelle des lots. A. diagramme des valeurs propres ; B. variabilité de la dynamique paysagère pour chaque date dans le plan 1-2 du compromis ; C. Vecteurs de changement de chaque lot dans le plan 1-2 du compromis.

Figure 9: Land occupation variability on the farms plots scale. A. eigenvalues diagram ; B. land occupation variables derived for every date in the plan 1-2 of the compromise ; C. change vectors of every farm plot in the plan 1-2 of compromise.

La comparaison des deux procédures de l'ATP a permis de grouper les lots du point de vue de leurs attributs paysagers (première procédure) ou de leurs trajectoires de changement (seconde procédure). Les résultats montrent que les lots peuvent avoir :

- des éléments paysagers semblables et exposer des trajectoires différentes ;
- des trajectoires semblables, mais différents types d'éléments paysagers.

À partir de ces éléments, il apparaît possible de regrouper des lots ayant des caractéristiques de trajectoires de changements proches, mais aussi des éléments paysagers semblables. Pour ce faire, les lots agricoles ont ensuite été classés à l'aide d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). La CAH procède par fusions successives de clusters (lots) déjà existants. À chaque étape, les deux lots qui vont fusionner sont ceux dont la distance mathématique est la plus faible (utilisation de la distance de *Ward*). Cela a permis d'obtenir six groupes de lots agricoles qui connaissent sensiblement les mêmes évolutions surfaciques au cours de la période d'étude.

La synthèse de l'occupation des terres et des différentes variables retenues permet de produire un modèle graphique synthétique de la dynamique spatio-temporelle de changement de l'occupation des sols par groupe de parcelles agrico-

les. La construction de ces modèles graphiques synthétiques a été produite manuellement à partir de l'analyse des résultats de l'ATP pour chaque groupe de lots. Ces modèles graphiques spatiaux facilitent la synthétisation, et donc la compréhension, d'un phénomène spatial complexe tel que l'appropriation des territoires dans la logique du front de déforestation (figure 10).

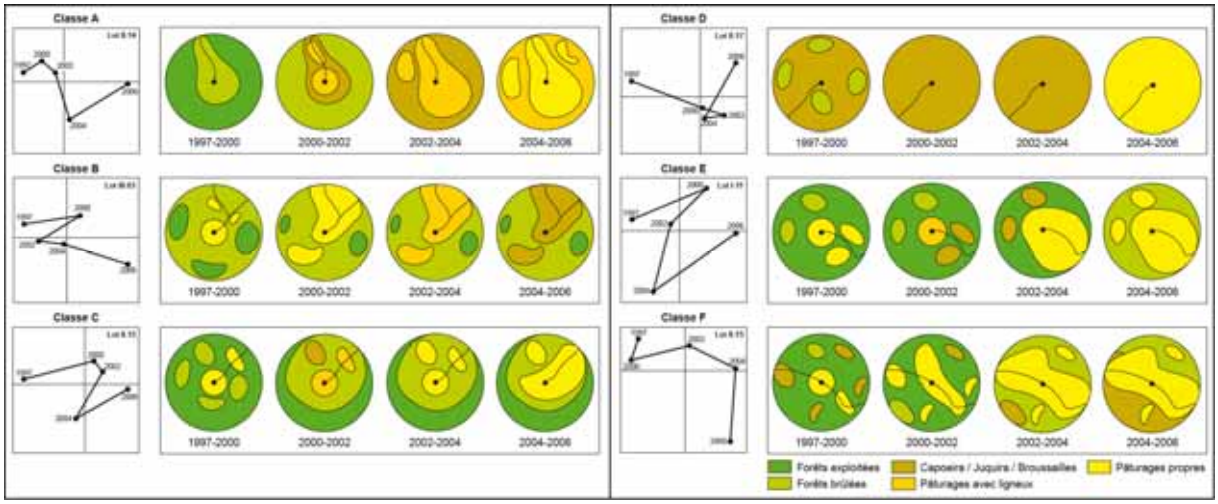


Figure 10 : Représentation graphique des six classes de lots agricoles de la zone de Maçaranduba identifiées à partir de la CAH menée sur les vecteurs de changement de chaque lot dans le plan 1-2 du compromis. Chaque mode d'appropriation spatio-temporel du lot est renseigné avec le vecteur de changement moyen de la classe.

Figure 10: Graphic presentation of the six classes of Maçaranduba area farms plots identified by a HAC derived by the vector change analysis. Every spatiotemporal mode of farm plot is derived from the vector change analysis classes.

De plus, ces modèles graphiques permettent de faire la distinction entre les groupes de lots appartenant aux dynamiques spatiales typiques des *fazendeiros* (groupe A et D). Ces dynamiques correspondent souvent à une appropriation spatiale rapide du lot pour la conversion des espaces forestiers en espaces pâturés. Le deuxième type de modèle graphique correspond aux petites exploitations familiales. L'appropriation agricole du lot est plus graduelle, passant des éléments paysagers de forêts exploitées vers des forêts brûlées, avant de devenir après plusieurs conversions des surfaces pâturées. Il n'y a pas de rupture nette entre le passage d'un élément forestier vers un élément pâturé. De plus, les zones de conversion sont souvent de petites tailles et correspondent à des îlots de conversion à l'intérieur du lot.

Plus particulièrement, la classe A se caractérise par une mise en place progressive de la logique de pâturage. En effet, entre 1997 et 2006, il n'existe pas de rupture nette de la structure des éléments paysagers. Les états de surfaces constituant les lots sont progressivement transformés de la forêt exploitée vers des espaces de pâturage propre. Cette classe correspond à des exploitations de type *fazenda*, permettant une mise en valeur totale du lot sur un temps assez court. La classe D correspond également à ce type d'exploitation. En effet, les lots constituant la classe D sont caractérisés par une évolution, entre 1997 et 2000, des forêts exploitées vers un canevas de *juquira*, *capoeira* et broussailles ; soit des éléments paysagers typiques des dynamiques de brûlis intenses. Entre 2000 et 2004, les espaces de broussailles, de *capoeira* et de *juquira* ont tendance à se dilater spatialement sur les lots avant d'être complètement convertis en pâturages.

Les autres classes de lots correspondent à des exploitations de type familial. La mise en place de la logique de pâturage n'est pas réalisée à l'échelle du lot, mais sur des entités surfaciques plus petites à l'intérieur du lot. Les directions de changement peuvent ensuite conduire à une dilatation de ces entités ou à un enfrichement de celles-ci suite à une déprise agricole. Les lots constituant la classe E correspondent bien à ce premier cas. Ils sont caractérisés en 1997 par des éléments paysagers constitués majoritairement par des forêts exploitées et des forêts brûlées. Entre 1997 et 2000, ces lots évoluent très nettement en pâturages propres. Entre 2000 et 2002, ces pâturages enregistrent une déprise agricole, conduisant à leur enfrichement progressif, notamment sous forme de broussailles et de *capoeira*. Entre 2002 et 2006, de nouvelles parcelles de pâturages propres sont mises en place par les agriculteurs. Les lots constituant la classe B correspondent au second cas des exploitants familiaux, ils connaissent une déprise agricole. En effet, entre 1997 et 2000, les lots de la classe B sont constitués essentiellement de forêts brûlées avec la présence de quelques îlots de forêts exploitées, assez isolés. Cependant, les premières poches de pâturages propres font leur apparition. De 2000 à 2002, les surfaces pâturées tendent à croître, se regroupant pour former de vastes entités spatiales à l'échelle du lot. Entre 2002 et 2004, les surfaces pâturées font l'objet d'une déprise agricole, les ligneux commencent à envahir les pâtures. Enfin, entre 2004 et 2006, l'enfrichement tend à se renforcer et les espaces pâturés envahis par les ligneux évoluent vers des éléments paysagers typiques de l'enfrichement, les capoeira et les juquira.

DISCUSSION

L'analyse de tableaux de mesure tridimensionnels par l'ATP permet d'aborder la complexité des données avec une approche rétrospective. En effet, le choix du compromis de travail permet de rechercher un résumé qui soit le plus proche possible des situations de chaque date, c'est-à-dire en favorisant la description globale des dates d'échantillonnages pour l'ensemble des lots. Mais aussi en représentant simultanément chaque lot à toutes les dates et, de façon symétrique, chaque variable à toutes les dates. De plus, cette méthode est très facile à mettre en œuvre d'un point de vue informatique et offre une multitude d'outils d'aide à l'interprétation des données. Cependant, sa validité dépend de l'utilisation des mêmes variables mesurées sur les mêmes individus à plusieurs reprises. Cela n'est pas une limite très importante en télédétection, les variables étant représentées par le type d'éléments paysagers étudiés. Or, sur une zone géographique donnée, les éléments paysagers identifiés sont souvent les mêmes au cours du temps. Enfin, cette méthode parait être un possible substitue aux méthodes de détection de changement utilisées plus communément en télédétection qui sont souvent orientées pixels à pixels (ratio d'images satellites, Analyse par Vecteur de Changement…).

Plus largement, et comme cela est maintenant démontré pour l'ensemble de l'espace tropical, les causes les plus déterminantes de la détérioration du patrimoine forestier sont à rechercher dans les conditions de développement des secteurs non forestiers (Fairhead et Leach 1998). La déforestation et la dégradation des forêts amazoniennes sont en effet influencées par une gamme de problèmes structurels liés au système économique international ainsi qu'aux caractéristiques socio-économiques du Brésil lui-même (Léna, 1999 ; Fearnside, 2005). D'une part, cette étude souligne les changements, avec ses seuils, ses ruptures démontrées sur les images satellites, et donc l'avancée d'un front secondaire de déforestation sur cette zone. D'autre part, cette situation se développe malgré une gestion raisonnée souhaitée et financée par le gouvernement brésilien. En effet, la zone de Maçaranduba était, et c'est ce qui explique le fait qu'on y trouvait des lambeaux de forêt, une zone test pour le développement d'une politique de gestion raisonnée des espaces forestiers amazoniens. Il s'agit d'un espace reconnu et aidé financièrement comme étant agro-extractiviste. C'est-à-dire que les exploitants mènent leurs activités agricoles tout en développant parallèlement la valorisation des ressources forestières, notamment en production secondaire (savons, fruits…), à l'image des populations riveraines d'Amazonie (extracteurs de noix du Brésil, collecteurs de latex, etc.). Ce système a été pensé pour permettre aux exploitants de faire cohabiter le système agricole familial avec la valorisation et la préservation des espaces forestiers ; il avait un statut expérimental, et était appelé à être développé si les résultats s'étaient avérés concluants. S'il est suivi et soutenu par certains exploitants, d'autres agriculteurs estiment qu'il est plus rentable de développer l'élevage intensif sur des parcelles de pâturages – d'autant que rien, dans le contexte politique et économique régional, ne les incite à agir différemment.

De ce fait, au cours de ces dernières années, nous avons constaté par l'analyse des trajectoires de changement de chaque lot de la zone de Maçaranduba que ce système est mis en péril par le développement des *fazendas* – phénomène classique dans la région. Ces vastes espaces agricoles, essentiellement tournés vers l'élevage bovin, sont très consommateurs de terres à mettre en valeur. Le pâturage à la suite du brûlis s'est largement développé et de grandes exploitations ont commencé à apparaître, notamment entre 1997-2000 et 2004-2006. Certaines ruptures dans la dynamique de l'occupation des sols peuvent être relevées à ces dates, avec l'augmentation sensible des espaces en friches ou jachères et la diminution des espaces forestiers exploités. C'est à un phénomène classique de rattrapage du déboisement et des pâturages que l'on assiste en arrière du front pionnier.

Le développement des *fazendas* dans la zone de Maçaranduba pose un double structurel et écologique. Les espaces d'arrière front sont très importants à sauvegarder car ils constituent les dernières poches forestières amazoniennes. De ce fait, elles ont une importance cruciale car elles forment les derniers refuges pour de nombreuses espèces de faunes et de flores qui ont déjà disparues ou sont gravement menacées dans certaines régions (ouest du Pará par exemple). De plus, la zone de Maçaranduba est un espace test pour le gouvernement pour estimer la viabilité des politiques de conservation environnementale par une gestion raisonnée des espaces forestiers amazoniens, notamment en arrière du front de déforestation. Cependant, la dynamique récente du site de Maçaranduba met gravement en danger ce programme. Certaines familles rencontrées sur le site d'étude cherchent à mettre en place, grâce au classement du site en agriculture agro-extractiviste, des filières économiques d'écoulements de produits secondaires tirés des forêts limitrophes. L'exploitation de ces produits secondaires, donc une grande partie de l'économie locale, est mise en danger par le recul très net des espaces forestiers au profit des *fazendas* et de certaines exploitations familiales. Ce recul prend encore plus de vigueur ces dernières années alors que le prix de la viande ne cesse de croître et incite à la dilatation des aires pâturées déjà existantes. Face à ces évolutions, il semble difficile d'espérer une réussite dans la politique forestière nationale tournée vers la valorisation et la conservation des espaces boisés, cette démarche étant surtout subordonnée à l'adoption d'un projet global de développement intégré, visant notamment la promotion d'un renouvellement des pratiques agricoles.

CONCLUSION

Dans le débat, évoqué en introduction, sur l'échelle pertinente pour analyser l'évolution des usages du sol en front pionnier, l'échelle régionale et subrégionale (la localité) sont bien des échelles pertinentes, mais la descente au niveau du lot agricole apparaît bien nécessaire. La distinction des itinéraires d'usages du sol à cette échelle montre bien que les agriculteurs ne suivent pas uniformément les dynamiques imposées par le contexte, mais qu'ils ont une marge de liberté

leur permettant de transformer, dans une relative mesure, ces dynamiques à une échelle locale. Cette échelle d'analyse permet d'étudier le front de déforestation dans sa complexité de mise en place spatio-temporelle.

Plus largement, alors que de nombreux programmes ou chercheurs montrent l'intérêt des corridors ou de l'hétérogénéité des paysages dans la sauvegarde de la biodiversité ; l'élimination des dernières poches de forêts à l'arrière des fronts de déforestation entraîne la disparition des nombreux « îlots » permettant la sauvegarde ou la survie de certaines espèces. De plus, avec la modification des derniers îlots forestiers, c'est aussi une économie locale, fondée sur l'exploitation des produits secondaires fournis par les forêts, qui disparaît. Cette utilisation des produits secondaires a poussé le gouvernement brésilien à envisager la constitution juridique des espaces agro-extractivistes. L'échec pressenti sur la zone de Maçaranduba est révélateur de la dynamique de l'occupation des sols au Brésil, tournée essentiellement vers la consommation de terres anciennement forestière pour implanter une agriculture très extensive spatialement et intensive agronomiquement. Au-delà de l'échec de l'implantation d'une agriculture soucieuse de conserver une partie des espaces forestiers limitrophes, c'est aussi la disparition d'un moteur social important : l'utilisation des herbes médicinales, la perte de revenu pour une grande partie des familles vivant à l'aide des compléments de revenus de l'agro-extractivisme. Cette source de revenu disparaissant, il est probable que ces familles vont revendre leurs terres à des *fazenderos* afin de migrer vers le front de déforestation principal et de nouveaux espaces forestiers à exploiter.

Remerciements

Projet ANR-O6-BDIV-009 (AMAZ_BD - Biodiversité des paysages amazoniens : déterminants socio-économiques et production de bien et services écosystèmiques). Les auteurs tiennent à remercier la communauté agricole de Maçaranduba pour leur accueil, l'hébergement et l'accompagnement sur le terrain. Merci à Iran Véga et William Assis de l'Université Fédérale du Para, Belèm, Brésil pour la coordination brésilienne du projet et à Florence Dubs, Anne-Elizabeth Laques et Rafael Luis de Araujo Fretas pour leur aide précieuse sur le terrain.

Bibliographie

Alston, L., Libecap, G. and Mueller, B. (2000) Land reform policies, the sources of violent conflict and implications for deforestation in the Brazilian Amazon. Journal of environmental economics and management**,** p. 1-44.

Arnauld de Sartre, X. (2003) Agricultures familiales en front pionnier amazonien : la sédentarisation en question. Nature, Science et Société, vol. 11, no 1, p. 158-168.

Arnauld de Sartre, X. (2006) Front pionnier d'Amazonie : Les dynamiques paysannes au Brésil. CNRS éditions, Espaces et Milieux, Paris, 223 p.

Blanc, L. and Beaudou, D. (1998) Stabilité temporelle des structures spatiales des peuplements piscicoles des régions Langudoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur. Bull. Fr. Pêche Piscic., vol. 348, p. 23-45.

Blanc, L., Chessel, D. et Dolédec, S. (1998) Etude de la stabilité temporelle des structures spatiales par analyses d'une série de tableaux de relevés faunistiques totalement appariés. Bulletin Français de Pêche et Pisciculture, vol. 348, p. 1-21.

Caldas, M., Walker, R., Arima, E., Perz, S., Aldrich, S. and Simmons, C. (2007) Theorizing Land Cover and Land Use Change: The Peasant Economy of Amazonian Deforestation. Annals of the Association of American Geographers, vol. 97, no 1, p. 86-110.

Camarão, A.P., Rodrigues Filho, J.A., Rischkowsky, B., Hohnwald, S. and Clecio, M. (2000) Botanical Composition and Quality of Enriched and Traditional Pastures in Northeastern Para, Brazil. German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems, Hamburg, September 3-8, 2 p.

Dantas M., (1981) Treinamento sobre pastagens e forrageiras – controle de plantas invasoras em pastagem, resumo de palestra, Embrapa CPATU, Belém, 23 p.

Droulers, M., Le Tourneau, F.M. (2005) Approche cartographique de l'intégration d'un territoire amazonien : la région Barreira Branca (Tocantins) in L'Amazonie brésilienne et le développement durable (Arnauld de Sartre X., Albaladejo C. eds.), L'Harmattan, Paris, pp. 179-192.

Ernoult, A., Freiré-Diaz, S., Langlois, E. and Alard, D. (2006) Are similar landscapes the result of similar histories ? Landscape Ecology, vol. 21, p. 631-639.

Fairhead, J. and Leach, M. (1998) Refraiming deforestation: Global analyses and local realities – studies in West Africa. Londres, 227 p.

Fearnside, P.M. (2001) Land-Tenure Issues as Factors in Environmental Destruction in Brazilian Amazonia: The Case of Southern Pará. World Development, vol. 29, no 8, p. 1361-1372.

Fearnside, P.M. (2005) Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. Conservation biology, vol. 19, no 3, p. 680-688.

Forster, B.C. (1984) Derivation of atmospheric correction procedures for Landsat MSS with particular reference to urban data. International Journal of Remote Sensing, vol. 5, no 5, p. 799-817.

Geist, H.J. and Lambin, E.F. (2001) Proximate causes and underlying forces of tropical deforestation. Bioscience, vol. 52, no 2, p. 143-150.

Girard, M.C. and Girard, C.M. (1999) Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 p.

Lachartre, B. et Léna P. (2002) Les ONG en Lusophonie. Kartala, Bordeaux, 302 p.

Léna, P. (1999) La forêt amazonienne : un enjeu politique et social contemporain. Autrepart, vol. 9, p. 97-120.

Markham, B.L. and Barker, J.L. (1986) Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric reflectances and At-Satellite Temperatures. EOSAT Landsat Technical Notes, Sioux Falls, 8 p.

Markham, B.L. and Chander, G. (2003) Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges. White Paper.

Mertens, B., Poccard-Chapuis, R., Piketty, M.G., Lacques, A.E. and Venturieri, A. (2002) Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of São Félix do Xingú in South Pará. Agricultural economics, vol. 27, p. 269-294.

Oszwald J., Kouakou J.M.., Kergomard C. et Robin M. (2007) Représenter l'espace pour structurer le temps : l'utilisation des SIG pour comprendre les dynamiques spatiales. T*élédétection*, vol. 7.

De Reynal, V. (1999) Agricultures en front pionnier amazonien, région de Marabá (Pará, Brésil), Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 456 p.

Salovaara, K.J., Thessler, S., Malik, R.N. and Tuomisto, H. (2005) Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery. Remote Sensing of Environment, vol. 97, no 1, p. 39-51.

Schnell, (1971) Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. Les problèmes généraux : les milieux - les groupements végétaux. Gautier-Villars, Paris. 448 p.

Serrão, E.A.S., Falesi, I.C., Veiga, J.B. and Teixeira Neto, J.F. (1978) Produtividade de pastagens cultivadas em solos de baixa fetilidade das áreas de floresta do trópico úmido braileiro. Embrapa, Bélem. 73 p.

Thioulouse, J. et Chessel, D. (1987) Les analyses multitableaux en écologie factorielle. Acta Oecologica, vol. 8, no 4, p. 463-480.

Veiga, J.B. (1995) Rehabilitation of degraded pasture areas. In Management and rehabilitation of secondary forests in Amazonia. Proceedings of an International Symposium/Workshop. Santarém, Brésil, p. 193-202.

Veiga, J.B. et Tourrand, J.F. (2001) Pastagens cultivadas na Amazônia Brasiliera : situacao atual e perspectivas, Embrapa CPATU, Belém. 102 p.

Zimmerer, K.S. (2004) Cultural ecology: placing households in human-environment studies - the cases of tropical forest transitions and agrobiodiversity change. Progress in Human Geography, vol. 28, no 6, p. 795-806.

Zonneveld, I.S. (1989) The land unit. A fundamental concept in landscape ecology and its applications. Landscape Ecology, vol. 3, p. 67-78