

AG171741
BA_TH238A



Formation des Ingénieurs Forestiers
FIF-ENGREF



ICRAF

Rapport de stage de fin d'études

Caractérisation quantitative des paysages forestiers tropicaux

Application à l'analyse de la déforestation
par l'agriculture-sur-brûlis

1997

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
BAILLARGUET



BA
TH238A

Anne BRANTHOMME

FIF 5ème promotion

mat 2636
CIRAD-CA



TH02819

RÉSUMÉ

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet « Alternatives-to-Slash-and-Burn » (ASB). L'étude porte sur sept sites de la zone tropicale humide sujets à des processus de déforestation.

L'objectif principal est de caractériser, comparer et suivre ces différents sites par une analyse quantitative des motifs de paysage. La télédétection nous a semblé être l'outil le plus approprié pour cette étude; des images à haute résolution (SPOT et LANDSAT) ont été analysées et recodées en images forêt/non-forêt.

Nous avons sélectionné par un traitement statistique quelques indices numériques qui permettent de différencier les sites tout en traduisant le plus d'informations sur la composition et la configuration du paysage. Les indices choisis sont : le pourcentage de forêt, le nombre de patches de domaine agricole, la dimension fractale calculée sur le paysage, la taille moyenne de patches de domaine agricole, la distance au plus proche voisin des patches de domaine agricole, l'indice de proximité et l'indice de Matheron. Ces indices ont été calculés pour la plupart à l'aide du logiciel FRAGSTATS.

Les sites ont alors été comparés et différenciés quantitativement à l'aide des indices sélectionnés. Une étude de la variabilité interne des images a également été réalisée et a permis d'identifier plusieurs types de motifs de paysage à l'intérieur de chaque image.

Une analyse de la dynamique du paysage a ensuite été menée sur un des sites. Elle nous a permis de suivre l'évolution spatiale du début du processus de déforestation à nos jours et de relier cette évolution au processus de déforestation. Nous avons choisi des indices qui reflètent la fragmentation de la forêt.

Nous nous sommes enfin replacés dans une perspective thématique pour définir les sites à travers les caractéristiques du front de déforestation à l'oeuvre. Nous sommes parvenus à relier les motifs de paysages - mesurés par des indices spatiaux- aux facteurs physiques (proximité des villes, accès au marché, pénétration du milieu) mais peu aux autres facteurs de déforestation (politiques, socio-économiques) dont la composante spatiale est peu marquée à l'échelle spatiale étudiée.

ABSTRACT

This study comes within the framework of the « Alternatives-to-Slash-and-Burn » (ASB) project. Our survey deals with seven sites of the wet tropical zone which are currently undergoing deforestation processes.

Our main purpose was to define, compare and survey those various sites by a quantitative analysis of landscape patterns. Remote sensing proved to be the most appropriate and effective tool; we analysed high-definition images and recoded them into « tree-covered » or « non-tree-covered » images.

Some digital indexes that enabled us to distinguish the sites were selected through a statistics processing method, while exploiting as much information as possible on the contents and layout of the landscape. The items we have kept are : the percent of forests, the number of patches of cultivated areas, the fractal dimension of the landscape, mean nearest-neighbor distance of the patches of cultivated area, the proximity index and the Matheron index. Most of the indexes were computed with the FRAGSTATS software.

We then proceeded with the comparison and quantitative differentiation of these sites thanks to the indexes previously chosen. We also carried out a study of the internal variability of the images; this enabled us to characterize several type of landscape patterns within each image.

A dynamic analysis of the landscape was then made on one of these sites. It allowed us to follow, from the very beginning up to the present day, the developpement of the deforestation process. We have selected some indexes that show the splitting up of the forest into several patches.

We finally chose a thematic approach to characterize the sites through the main features of the edge of deforestation process. We managed to link the landscape patterns -measured by means of their space indexes - to physical factors (such as the distance from town, how to reach the market-place, to what extent is the natural environment inhabited) but we hardly managed to link those patterns to the other factors of deforestation (political factors, socio-economics ones). Indeed their space component is hardly noticeable in the space scale surveyed.

REMERCIEMENTS

Un grand merci à tous ceux qui m'ont aidée, encadrée, accueillie, appris, conseillée, écoutée, reçue, hébergée aussi bien à Nairobi qu'à Montpellier.

Et plus particulièrement à

Jacques Imbernon

et Agnès Bégué,

pour leur encadrement, leur soutien et leur générosité.

Richard Coe,

Michel Arnaud

et Pierre Couteron,

pour leurs conseils avisés.

Et à tous ceux de l'ICRAF, de la Maison de la Télédétection et du CIRAD qui m'ont apporté leurs lumières et leur sympathie.

TABLE DES MATIÈRES

• Résumé.....	3
• Abstract.....	4
• Remerciements.....	5
• Table des matières.....	7
• Avant-propos.....	9
• Introduction.....	11

PARTIE 1 Concepts, données et méthodes

CHAPITRE 1. Objectifs de l'étude	15
CHAPITRE 2. Définitions et concepts	17
1. Le paysage	17
2. La déforestation tropicale.....	25
3. L'agriculture-sur-brûlis	27
4. Les frontières agraires	28
CHAPITRE 3. Les sites étudiés	31
1. Les sites du Bassin Amazonien.....	31
2. Le site camerounais	43
3. Le site de Sumatra : Lampung.....	49
CHAPITRE 4. Méthodologies appliquées	53
1. Introduction à de nouvelles méthodes quantitatives	53
2. Choix et traitement des données spatiales.....	55
3. Calculs des indices spatiaux.....	59
4. Elaboration de tableaux d'indices	60
5. Choix des indices pour la comparaison quantitative entre les sites	61
6. Choix d'indices pour l'analyse spatio-temporelle du site de Theobroma.....	63

PARTIE 2

Traitements et résultats

CHAPITRE 5. Caractérisation et comparaison quantitative des sites	67
1. Choix définitif des indices	67
2. Comparaison visuelle des paysages des sites.....	68
3. Analyse et comparaison quantitative	69
CHAPITRE 6. Analyse quantitative de la dynamique spatiale sur un site	85
1. Analyse visuelle de l'évolution du paysage	85
2. Analyse quantitative de la dynamique spatiale	86
3. Mise en relation avec le processus de déforestation	98

PARTIE 3

Discussion

CHAPITRE 7. Paysage et facteurs de déforestation	104
1. Des situations initiales assez semblables	104
2. La situation présente : une déforestation plus ou moins massive selon des motifs différents	104
3. Causes et facteurs de la déforestation	106
4. Processus actuel et perspectives envisageables	115

• Conclusion.....	117
• Bibliographie.....	119
• Annexes.....	Document séparé

AVANT-PROPOS

Cette étude est réalisée dans le cadre d'un stage de fin d'étude de six mois. Elle s'inscrit dans le Projet Alternatives-to-Slash-and-Burn (ASB). Ce projet implique un consortium de centres de recherche nationaux et internationaux et des Organisations non gouvernementales locales ou internationales. Il est coordonné par l'International Centre For Research in Agroforestry (ICRAF). L'objectif principal du projet est de trouver des alternatives technologiques ou politiques à l'agriculture sur brûlis, afin d'améliorer le bien-être des populations concernées et de protéger les ressources naturelles. Les sites d'étude sont localisés dans le Sud-Est Asiatique, en Afrique Centrale et en Amérique Latine.

Le stage a été encadré par Jacques Imbernon à l'ICRAF (Nairobi), et par Agnès Bégué à la Maison de la Télédétection (CIRAD, Montpellier).

INTRODUCTION

Depuis quelques années, un grand intérêt a été porté à la question de la déforestation en forêt tropicale humide. Les perturbations environnementales causées par la déforestation ont rendu nécessaires un examen et une étude plus précis de ce phénomène afin de développer un nouveau mode de gestion, plus durable, des forêts tropicales. Dans ce but, une caractérisation des “*motifs de paysage*” des régions atteintes par ce processus de déforestation apparaît essentielle.

On désigne par “*motif de paysage*” un arrangement régulièrement répété de lignes, formes et types de couvert d'un paysage. Le terme anglais “*Landscape pattern*”, plus utilisé, serait mieux adapté mais n'a pas d'équivalent français.

Le *motif de paysage* dépend des conditions biophysiques du milieu (sols, climat, végétation) et des contraintes que les populations exercent sur ce milieu (infrastructures, démographie, utilisation des terres...). L'organisation et la configuration du paysage nous renseignent donc sur les pratiques d'utilisation des terres et sur les types d'interactions entre l'homme et son environnement. Le *motif du paysage* apparaît ainsi comme un concept suffisamment global pour caractériser un espace et son évolution.

Notre étude des *motifs de paysage* a porté sur 7 sites : quatre sites sont localisés en Amazonie (deux au Pérou et deux au Brésil), deux autres sont situés au sud du Cameroun, le dernier se trouve en Indonésie, dans la province de Lampung (Sumatra).

Un précédent travail réalisé sur ces sites par Jacques Imbernon a permis d'identifier les facteurs de déforestation (“*driving forces*”) en utilisant une expérience de terrain et l'analyse visuelle d'images satellitales.

Dans un objectif de caractérisation des différents sites, il est important de pouvoir les comparer. Toutefois, la comparaison de ces différents paysages est jusqu'à présent restée descriptive et qualitative, basée sur une interprétation visuelle.

Une analyse quantitative des paysages, par des indices numériques de structure calculés sur les images satellitales permettra de caractériser et de comparer les sites objectivement et suivant des méthodes reproductibles. Elle pourra également être utile pour décrire l'évolution d'un paysage, et plus précisément le processus de fragmentation de la forêt, par comparaison d'images prises à différentes dates.

Après avoir, dans une première partie du rapport, défini les différents concepts utilisés, présenté les sites étudiés et exposé la démarche méthodologique suivie, nous nous emploierons (partie 2) à analyser quantitativement les sites étudiés. Nous essaierons dans un premier temps de caractériser et de comparer les sites étudiés à l'aide d'indices. Puis nous étudierons l'évolution de certains indices pour pouvoir analyser le processus de fragmentation de la forêt à travers le temps.

Des recherches actuelles suggèrent de plus que les différents indices de paysage pourraient refléter des processus opérant à différentes échelles (Krummel et al., 1987). Peu d'études ont encore été réalisées sur ces relations entre indices, processus et échelles. L'étude de ces relations permettrait de fournir une compréhension des facteurs qui créent les motifs spatiaux et les effets écologiques qui résultent du changement de motifs.

La troisième partie du rapport s'appliquera donc à relier les motifs spatiaux des paysages des sites d'étude, décrits par des indices spatiaux, aux facteurs de déforestation qui ont contribué à les former.

Partie I

DONNÉES, CONCEPTS ET MÉTHODES

CHAPITRE 1	OBJECTIFS DE L'ETUDE	15
CHAPITRE 2	DEFINITIONS ET CONCEPTS	17
1. Le paysage		17
1.1. Le paysage : un concept aux multiples définitions		17
1.2. Les caractéristiques du paysage		19
1.3. Transformation du paysage et dynamique spatiale		21
2. La déforestation tropicale		25
2.1. Causes et facteurs de la déforestation		25
2.2. Conséquences de la déforestation tropicale		26
3. L'agriculture-sur-brûlis		27
3.1. Définitions		27
3.2. Les impacts de l'agriculture-sur-brûlis		27
4. Les frontières agraires.....		28
3.1. Les concepts de front pionnier et de frontière agraire		28
3.2. Des lieux d'enjeux écologiques, économiques et sociaux.....		28
3.3. Frontière et évolution.....		29
CHAPITRE 2	LES SITES ETUDIES	31
1. Les sites du Bassin Amazonien		31
1.1. Localisation des sites		31
1.2. Le Bassin amazonien : géomorphologie et milieu naturel.....		31
1.3. Contexte humain.....		35
1.4. Historique de l'occupation humaine		40
2. Le site camerounais		43
2.1. Localisation du site		43
2.2. Caractéristiques générales du milieu naturel		43
2.3. Contexte humain.....		45
2.4. Historique de l'occupation humaine		47

3. Le site de Sumatra : Lampung	49
3.1. Localisation du site.....	49
3.2. Caractéristiques générales du milieu naturel.....	49
3.3. Contexte humain	50
3.4. Historique de l'occupation humaine	50

CHAPITRE 3	METHODOLOGIE	53
-------------------	---------------------	-----------

1. Introduction à de nouvelles méthodes quantitatives.....	53
1.1. Les sources de données spatiales.....	53
1.2. Les indices de spatiaux.....	53
2. Choix et traitement des données spatiales.....	55
2.1. Les données satellites disponibles	55
2.2. Choix des images	55
2.3. Recodage des images.....	58
2.4. Découpage des images	58
2.5. Stratification des images	58
3. Calculs des indices spatiaux	59
4. Elaboration de tableaux d'indices	60
5. Choix des indices pour la comparaison quantitative entre les sites.....	61
5.1. Comment comparer quantitativement des paysages de fragmentation?.....	61
5.2. Choix des indices : traitements statistiques des données	61
5.3. Evaluation des différences significatives	62
6. Choix d'indices pour l'analyse spatio-temporelle du site de Theobroma	63

CHAPITRE 1

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif principal de l'étude est de caractériser, comparer et suivre, par une analyse quantitative, les motifs de paysages de la zone intertropicale sujets à un processus de déforestation.

Les objectifs secondaires sont :

1. Comparer quantitativement des paysages : utiliser des indices numériques pour caractériser un espace et quantifier les différences spatiales entre différents paysages.

Remplir cet objectif suppose de :

- Choisir des indices spatiaux pertinents.

Les indices mathématiques calculés pour une image donnée caractérisent tous d'une certaine manière cette image; il est nécessaire d'en choisir quelques uns pour n'avoir qu'un petit nombre d'indices et faciliter l'analyse.

⇒ Indices pertinents pour comparer les différentes images i.e. choisir parmi les indices disponibles ceux qui discriminent le mieux les différents sites.

⇒ Indices couvrant toutes les dimensions importantes de la structure et des motifs spatiaux et qui ne soient pas redondants.

⇒ Indices « lisibles », interprétables.

- Donner une signification spatiale aux indices sélectionnés.
- Analyser la variabilité interne des images parce qu'elle caractérise l'image. On cherchera donc à stratifier l'image, si elle présente des motifs de paysage différents.
- Analyser les indices sélectionnés pour comparer et caractériser spatialement les différents sites.

2. Décrire quantitativement l'évolution d'un paysage à travers des indices numériques.

Remplir cet objectif suppose de :

- Choisir des indices pertinents

⇒ Identifier les indices pouvant permettre le suivi de l'évolution des motifs spatiaux en fonction du phénomène considéré, la fragmentation du paysage.

⇒ Ne conserver qu'un petit nombre d'indices pour faciliter l'analyse et ne pas garder des indices redondants. Les indices facilement interprétables seront privilégiés.

- Suivre l'évolution du paysage en considérant l'évolution à travers le temps de la valeur des indices sélectionnés.

3. Mettre en relation ces indices avec les facteurs socio-économiques et biophysiques en jeu dans le processus de déforestation sur les différents sites.

Les principales causes de la déforestation identifiées par ailleurs (Imbernon, 1997) seront mise en relation avec les différents indices calculés sur chacun des sites. Nous chercherons ainsi à donner un contenu thématique aux indices numériques.

CHAPITRE 2

DÉFINITIONS ET CONCEPTS

Certaines notions, largement utilisées dans le rapport, nécessitent d'être définies. L'objet de ce travail étant l'étude des paysages, il faudra en premier lieu expliciter la notion de paysage en essayant de trouver une définition de ce concept adaptée à l'étude. Une partie de ce rapport étant dédiée à l'analyse dynamique des paysages, nous traiterons également des principaux processus spatiaux à l'origine des modifications du paysage, en insistant plus particulièrement sur la fragmentation. Enfin, notre étude portant sur des sites sujets à des processus de déforestation par l'agriculture-sur-brûlis nous introduirons les notions de déforestation, d'agriculture-sur-brûlis et de frontière agraire.

1. Le paysage

1.1. Le paysage : un concept aux multiples définitions

Depuis 25 ans, le paysage est devenu un objet d'étude privilégié. Des approches diverses du paysage se sont développées, en fonction des préoccupations et des domaines d'étude, et le terme de "paysage" a ensuite été interprété de nombreuses manières; il a désormais une multiplicité de sens propres et figurés qui correspondent à des démarches tout aussi légitimes et à diverses façons d'aborder l'espace. Le géographe s'intéresse à décrire dans le paysage les activités humaines et le milieu physique; l'historien y recherche les traces anciennes, le paysage constitue pour lui le reflet de la civilisation; l'écologue s'intéresse aux dynamiques de la couverture végétale; le paysagiste considère l'aspect esthétique...

Les différentes définitions établissent invariablement qu'il s'agit d'une surface de pays comprenant une mosaïque d'éléments du paysage, mais des distinctions apparaissent quant à la nature de ses éléments, à l'étendue de ce paysage ou encore à la position de "l'observateur".

Nous évoquerons plus particulièrement deux approches de ce concept : l'approche des géographes, qui s'intéresse d'avantage aux aspects socio-économiques et physiques, et l'approche des écologistes qui s'occupe plus des caractéristiques biologiques.

Il nous apparaît important enfin de noter la part de subjectivité qui intervient dans toute analyse du paysage. Ce sera l'objet du troisième paragraphe.

1.1.1. L'approche géographique du paysage

Selon la définition de 1984 du Dictionnaire de Géographie de Pierre George (P.U.F.) " *le mot [paysage] s'applique, suivant les auteurs, à un ensemble de signes caractérisant une unité géographique sur le plan physique ou humain. D'acception originellement descriptive - mais déjà globale-, il a pris récemment une signification synthétique rassemblant l'ensemble des traits issus de la géographie naturelle et des rapports des civilisations qui ont façonné*

successivement le cadre initial et sont entrés dans la conscience de groupe des occupants ”.

Les géographes considèrent le paysage à des échelles moyennes. L'homme apparaît comme au centre de cette définition : le paysage est une réalité de l'espace terrestre, mais son évolution repose entièrement entre les mains des hommes qui en sont ses héritiers, ses auteurs et ses responsables. Le paysage reflète largement les principes politiques gérant les sociétés qui l'habitent. Les différents niveaux d'étude des paysages sont la zone, le domaine, la région naturelle, le géosystème, le géofaciès et le géotope.

1.1.2. L'approche écologique du paysage

L'approche écologique récente, appelée *Ecologie du paysage* (*Landscape Ecology*) définit le paysage comme “ *un espace de plusieurs kilomètres carrés, hétérogène, composé d'un groupe d'écosystèmes interagissant entre eux, qui se répète à peu près à l'identique* ” (Forman et Godron, 1986).

Aucune référence n'est faite aux phénomènes perceptifs. Cette définition considère exclusivement des espaces caractérisés par des dimensions d'un ordre de grandeur déterminée et par une certaine diversité d'écosystèmes. Pour éviter toute ambiguïté, Blandin et Lamotte (1988) ont préféré substituer au “ paysage ”, le terme “ d'écocomplexe ”, mais aux nuances de dénomination près, les deux approches sont similaires.

L'approche écologique du paysage se propose de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale dans le fonctionnement des systèmes écologiques. Le paysage est alors considéré en tant que “ *système écologique, c'est à dire un ensemble d'éléments chimiques, biologiques et socio-économiques dont les interactions déterminent les possibilités de vie* ” (Baudry, 1986). L'analyse du paysage est alors “ *l'étude des facteurs écologiques (spontanés) intervenant dans la formation du paysage ainsi que l'étude du rôle de la structure du paysage dans le fonctionnement des systèmes écologiques que l'on y rencontre* ” (Baudry, 1986). L'analyse du fonctionnement écologique est vue sous l'angle privilégié de l'analyse spatiale.

1.1.3. Paysage et subjectivité

Le paysage est généralement défini comme ce que l'on perçoit d'une réalité matérielle, “ *une apparence et une représentation : un arrangement d'objets visibles perçu par un sujet à travers ses propres filtres, ses propres humeurs, ses propres fins (...). Il n'est de paysage que perçu.* ” (Brunet et al., 1992). Le paysage est une perception individuelle, influencée par la culture et l'histoire personnelle de chacun.

La part de la perception est plus ou moins importante suivant les différentes approches du paysage.

Les paysagistes, s'intéressant surtout à l'aspect esthétique, le définissent comme “ un espace qu'un regard peut embrasser ” : la perception est alors centrale.

A l'opposé, certaines études portant sur l'analyse du paysage, comme l'écologie du paysage, considèrent le paysage comme une construction scientifique, appréhendée par d'autres moyens que l'observation directe suivant une vision zénithale (carte aérienne, images satellitales) : à travers le paysage c'est l'organisation spatiale d'entités pertinentes par rapport au processus naturel étudié qui est considérée. La part de subjectivité est alors réduite et tend à devenir nulle lorsque l'on parle de “ quantifier ” le paysage.

Le paysage est un concept “ synthétique ” formé de nombreuses composantes : abiotiques et biotiques (espèces, écosystèmes, agro-systèmes...), culturelles (historique, d'ordre esthétique...), socio-économiques (lieu d'habitat, de travail, de loisir, d'aménagements

divers); il est un lieu “d'affrontements, de luttes d'intérêt, d'enjeux, de pouvoirs, d'appropriations”. Chaque approche du paysage analyse et contribue à la compréhension de cette réalité tout à la fois physique, biologique, écologique et construction sociale.

Dans notre étude, nous considérerons le paysage, comme une mosaïque spatiale, horizontale, composée de groupes d'éléments de forêt et de domaine agricole, en interaction, qui se répète.

Cette définition relève de la Landscape Ecology. Toutefois, nous ne nous restreindrons pas à une approche en particulier dans l'analyse du paysage. Toutes ces approches peuvent être importantes pour nous car elles permettent d'étudier l'organisation et l'hétérogénéité spatiale, en relation soit à un processus naturel, soit à des processus socio-économiques.

1.2. Les caractéristiques du paysage

L'écologie du paysage s'intéresse généralement à trois caractéristiques du paysage : la structure, le fonctionnement et le changement (Forman et Godron, 1986). Ces trois caractéristiques seront importantes à examiner dans notre étude puisque nous allons étudier la structure du paysage, la mettre en relation avec son fonctionnement et analyser son évolution. Il sera également intéressant d'évoquer les relations entre le paysage et son échelle d'observation d'une part, entre le paysage et son contexte spatial d'autre part.

1.2.1. La structure du paysage

La **structure** se réfère aux relations spatiales entre les différents écosystèmes, c'est à dire les distributions d'énergie, de matériel et des espèces, en relation à la taille, à la forme, au nombre, à la nature et à la configuration des éléments : les **patches**. La structure d'un paysage peut être caractérisée à la fois par sa **composition** et sa **configuration** (Dunning et al., 1992; Turner, 1989).

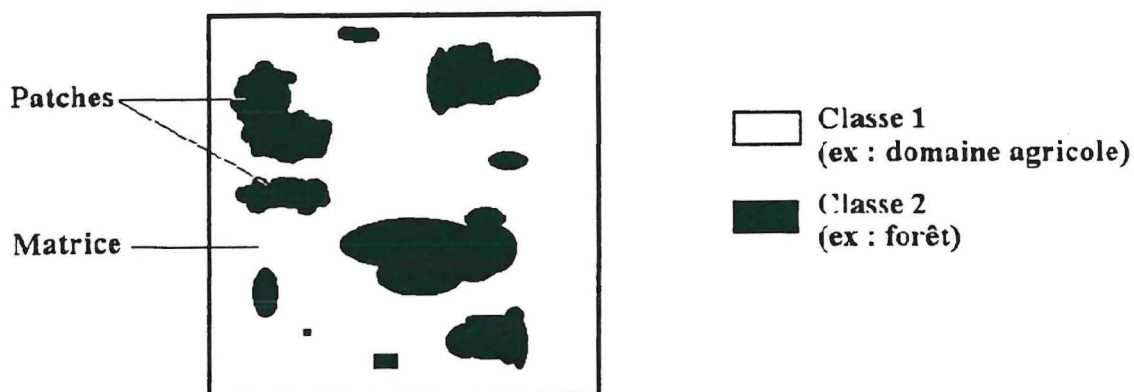
- **Le patch** est défini comme un “élément du paysage” (Fig. 1).

Ce terme, anglo-saxon, peut être traduit en français par “tache” ou “polygone”. Cependant nous préférons garder le mot anglais, plus utilisé et moins équivoque que les termes français dans le contexte. La délimitation entre différents patches dépend du système de classification utilisé et de l'échelle. Le patch est donc défini en regard au phénomène considéré et à une échelle appropriée.

La **matrice** représente le type de patches le plus étendu et le plus connecté. Elle correspond aux surfaces les plus importantes, aux endroits où se déroule le plus de flux écologiques et joue ainsi un rôle prépondérant dans le fonctionnement d'un paysage (Forman et Godron, 1986). Elle peut constituer le “fond” du paysage, c'est à dire l'élément le plus vaste en surface, soit des réseaux linéaires fortement connectés.

- **La composition** du paysage se réfère à la **distribution de fréquence des différents types de patches retenus**. Elle représente la variété et l'abondance des types de patches dans le paysage, sans donner d'indication sur leur emplacement dans la mosaïque paysagère.
- **La configuration** du paysage se réfère à la **distribution spatiale et aux caractéristiques morphologiques des patches**. Certaines mesures de configuration sont relatives à l'emplacement des patches les uns par rapport aux autres, d'autres sont relatives à la forme des patches.

Fig. 1 : Les éléments constitutifs d'un paysage.



Le paysage présente deux types (ou "classes") de couvert. La matrice correspond au couvert de classe 1.

Fig. 2 : Les principaux processus spatiaux de transformation du paysage et leurs effets sur les attributs spatiaux (D'après Forman, 1995).

Processus spatial	Nombre de patches	Taille moyenne des patches	Habitat intérieur	Connectivité à travers la surface	Longueur totale des bordures	Habitat	
						Perte	Isolement
 Perforation	0	-	-	0	+	+	+
 Dissection	+	-	-	-	+	+	+
 Fragmentation	+	-	-	-	+	+	+
 Rétrécissement	0	-	-	0	-	+	+
 Disparition	-	+	-	0	-	+	+

+ Augmentation

- Diminution

0 Absence de changement

Les effets sont mesurés sur le type de couvert représenté par la couleur noire.

1.2.2. Le fonctionnement du paysage

Le **fonctionnement** se réfère aux **interactions entre les différents éléments spatiaux**, c'est à dire les flux d'énergie, de matériel et d'organismes, parmi les différents composants des écosystèmes.

1.2.3. Le changement

Le **changement** se réfère aux **altérations de la structure et du fonctionnement** de la mosaïque spatiale, au cours du temps.

1.2.4. Paysage et échelle

Le motif détecté dans une mosaïque paysagère est fonction de l'échelle.

L'échelle comprend à la fois l'étendue et le grain (Turner et al. 1989; Wiens, 1989).

L'étendue est la surface incluse dans les limites du paysage; le grain (ou résolution) est la **taille des unités individuelles d'observation**. Ils constituent les limites inférieure et supérieure d'observation.

L'échelle d'observation doit être choisie en relation avec le processus étudié : ce sont des structures spatiales différentes qui sont identifiées à différentes échelles d'observation (Wiens, 1989; Duane Nellis et Briggs, 1989). Les patches et la matrice d'un paysage sont définis à une échelle donnée.

1.2.5. Paysage et contexte

Les paysages ne sont pas des entités isolées. Ils sont intégrés à des paysages plus grands et ainsi de suite.

Il sera important par la suite, de se rappeler que c'est un système ouvert : l'énergie, les matériaux et les organismes se déplacent vers l'intérieur et vers l'extérieur de ce paysage.

1.3. Transformation du paysage et dynamique spatiale

Le paysage est une surimposition de traces d'éléments mis en place à différentes époques, c'est un objet dynamique, qui évolue avec le temps. Le paysage comprend donc à la fois une dimension spatiale et une dimension temporelle; c'est ce qui a amené Rameau à le définir comme " une mosaïque spatio-temporelle ".

1.3.1. Définition des principaux processus spatiaux

Forman (1995) distingue cinq processus spatiaux intervenant dans la transformation du paysage.

La **perforation** est un processus qui conduit à la **formation de trous dans un type de couvert**. Elle intervient surtout au début d'un processus de transformation du paysage. Un autre début de transformation peut être la **dissection**, i.e. le découpage, la **subdivision d'une surface par une ligne d'épaisseur uniforme**. C'est le cas d'une route pénétrant la forêt tropicale.

La **fragmentation** constitue la **segmentation d'un type de couvert** ou d'un habitat en plus petits patches.

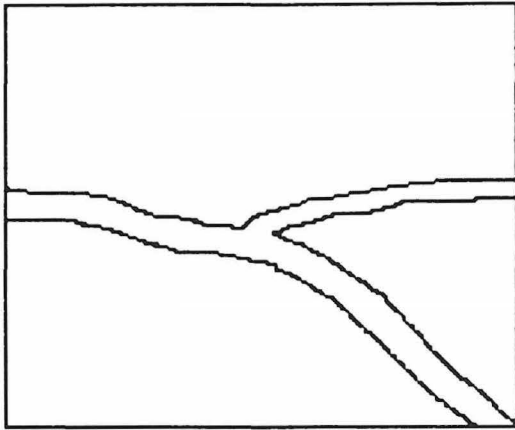
Le **rétrécissement** (" *shrinkage* ") est la **diminution de la taille des patches**.

La **disparition** (" *attrition* ") représente la **disparition des patches ou des corridors**.

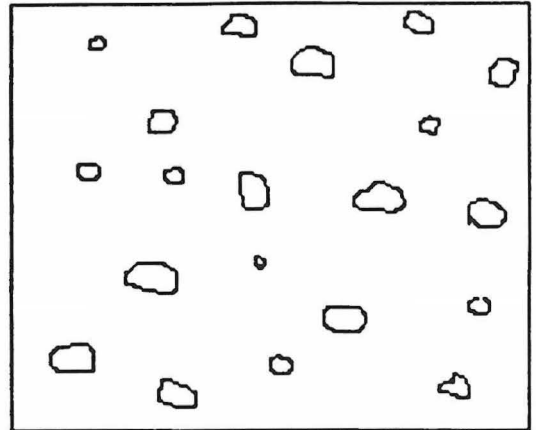
Chacun de ces processus a des effets distincts sur les attributs spatiaux d'un paysage (*Fig. 2*).

Fig. 3 : Types de fragmentation (D'après *TREES*).

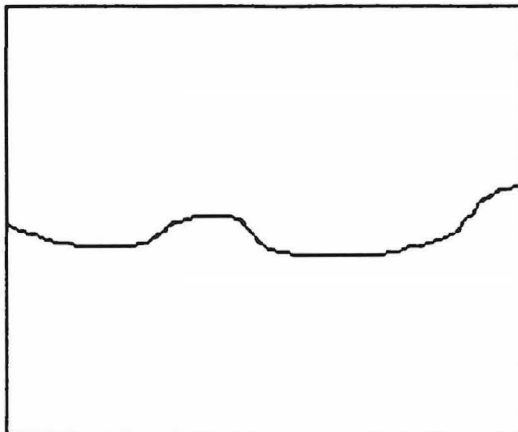
Type linéaire



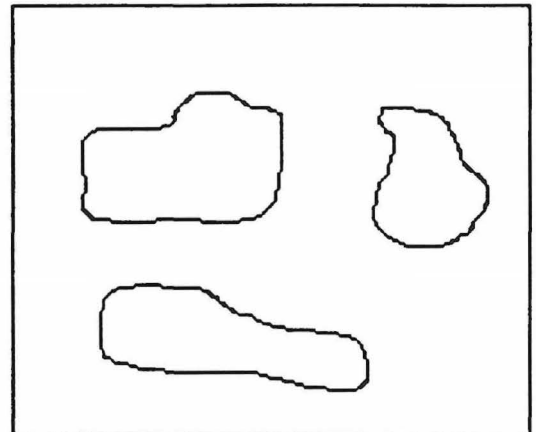
Type diffus



Type massif



Type insulaire



1.3.2. La fragmentation

La fragmentation des forêts est un stade de modification des paysages forestiers que l'on rencontre dans un grand nombre de régions forestières pénétrées par l'homme; elle serait entrain de devenir la cause majeure de déclin de la biodiversité.

1.3.2.1. *Le concept de fragmentation*

Le concept de fragmentation a beaucoup été développé par les recherches écologiques. Il a souvent été utilisé dans le sens général de transformation du couvert qui conduit à la segmentation d'un large habitat en morceaux plus petits (Forman, 1995). On lui a également attribué un sens beaucoup plus étroit, la fragmentation étant alors la combinaison de perte d'habitat et d'isolement.

Un paysage dont les patches d'un certain type deviennent plus petits, plus isolés et dominés par les haies (lisières) est dit "fragmenté".

Notons que Skole et Tucker (1993) ont défini la forêt fragmentée (fragment) comme une surface de moins de 100 km² de forêt entourée par des faciès de déforestation.

Nous pouvons définir la fragmentation des forêts comme un processus à l'échelle du paysage, dans lequel l'étendue de la forêt est progressivement subdivisée en fragments de forêt de plus en plus petits, géométriquement plus complexes (initialement mais pas forcément en fin de processus), et plus isolés.

1.3.2.2. *Les différents types de fragmentation (typologie)*

Un projet commun du Joint Research Centre (JRC) et de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), le projet Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites (TREES) s'est beaucoup intéressé à l'étude de la "fragmentation spatiale". Le principal objectif du projet est de conduire à un système global de suivi des forêts tropicales en développant des techniques de télédétection. La fragmentation est définie en référence à la complexité géométrique du paysage, déterminée par les caractéristiques de la mosaïque forêt/non-forêt. Dans cette perspective, la fragmentation peut résulter non seulement d'une transformation, mais aussi d'une hétérogénéité spatiale du milieu comme la nature du sol, la lithologie...

TREES a proposé, dans un catalogue, une typologie des interfaces forêt/non-forêt et des motifs de fragmentation souvent rencontrés dans les forêts tropicales humides. Cette approche qualitative, dans un premier temps, est basée sur des analyses visuelles.

Quatre types primaires de fragmentation ont été identifiés : linéaire, insulaire, diffus et massif (Fig. 3).

- Le **type linéaire** est caractérisé par une ou plusieurs larges bandes d'une classe donnée incluse dans une surface homogène d'une autre classe. Exemples : une forêt galerie à l'intérieur d'une zone non boisée, une route dans une zone de forêt.
- Le **type insulaire** est caractérisé par la fragmentation d'une classe en 2 ou plus de 2 blocs, à l'intérieur d'une autre classe qui domine la surface. Exemples : des îlots de forêt inclus dans des savanes, des zones cultivées incluses dans une forêt.
- Le **type diffus** est caractérisé par de nombreux petits fragments d'une classe distribués dans une matrice d'une autre classe. Ce type peut être observé dans les zones d'agriculture itinérante ou dans les forêts dégradées.
- Le **type massif** correspond à deux surfaces de classes différentes en contact, avec une seule frontière. C'est le cas d'une transition géomorphologique ou d'un front pionnier de déforestation.

Six types secondaires ont également été définis par combinaison de ces 4 types primaires : linéaire/insulaire, linéaire/diffus, linéaire/massif, insulaire/diffus, insulaire/massif, diffus/massif.

1.3.2.3. Les causes de la fragmentation

La fragmentation résulte de deux groupes de facteurs : les conditions naturelles du milieu (topographie, température, précipitation, sols, perturbations naturelles) et les facteurs anthropiques (systèmes agraires, pratiques agricoles, migration de population, activités d'exploitation...).

Le feu, l'explosion des populations d'herbivores peuvent être à l'origine de la segmentation d'un habitat continu en de plus petits patches. L'exploitation forestière et l'urbanisation sont aussi des facteurs de fragmentation. Notons que certaines activités humaines entraînent une fragmentation du couvert alors que d'autres, dans certaines limites, comme le surpâturage ou l'irrigation modifie le couvert sans le fragmenter (Forman, 1995).

La fragmentation intervient souvent dans les premières phases de transformation d'un type de couvert en un autre.

Elle peut résulter d'un seul événement, d'une succession, ou d'un processus continu. Le type de fragmentation linéaire défini par TREES est le plus souvent issu d'un processus de dissection tel que le décrit Forman. Les autres types définis résultent de la combinaison et de la succession de processus spatiaux différents.

1.3.2.4. Les effets de la fragmentation

Le processus de fragmentation implique des changements dans la composition, la configuration et le fonctionnement du paysage.

- **Effets spatiaux de la fragmentation (Fig. 2)**

Certains attributs spatiaux comme la densité de patches, la distance entre les patches, la longueur de la lisière (multiplication des interfaces forêt/non-forêt), le nombre de corridors ont tendance à augmenter. D'autres comme la taille des patches, la connectivité, le rapport surface/périmètre, la taille maximale du noyau et la surface de la classe affectée par la fragmentation diminuent. La dimension fractale (calculée entre autres par une méthode périmètre/surface sur des formes planes) pourra augmenter, baisser ou ne pas varier en fonction du modèle de fragmentation. La dimension fractale quantifie la complexité des formes planes (Mac Garigal, Marks, 1994).

Les résultats dépendent de l'échelle spatiale considérée.

- **Conséquences écologiques de la fragmentation**

Ces modifications spatiales affectent directement l'écologie.

Effets sur les organismes : la fragmentation augmente l'isolement des habitats. Le nombre des espèces, " généralistes ", " multihabitat ", de lisière, exotiques a tendance à croître.

Par contre, beaucoup d'autres d'espèces, notamment les grands mammifères et les oiseaux, ne peuvent maintenir de populations viables dans des petits patches. La fragmentation des habitats a ainsi pour conséquence des extinctions d'espèces, et conduit généralement à une perte de biodiversité.

Autres effets écologiques : la fragmentation affecte presque tous les processus écologiques allant des fonctions géniques à celles des écosystèmes. Ainsi, la consanguinité a tendance à augmenter, les dynamiques de populations sont modifiées. Parmi les variables affectées on peut citer les mouvements de vent, le cycle des éléments nutritifs, la productivité, les flux génétiques, les perturbations naturelles, l'intégrité d'un cours d'eau.

Ces effets se recoupent dans une certaine mesure avec ceux de la déforestation.

2. La déforestation tropicale

Pour de nombreux pays du Sud, notamment en zone tropicale humide, l'espace se confond encore pour une part importante à la forêt. C'est donc dans ces forêts et souvent à leurs dépens que les Etats vont essayer d'organiser l'aménagement de leur territoire. Le taux de déboisement, en milieu tropical, est certainement plus élevé actuellement qu'il ne l'a jamais été, avec comme conséquences des modifications physiques, chimiques et biologiques de l'environnement terrestre.

2.1. Causes et facteurs de la déforestation

La déforestation tropicale est la conséquence d'une combinaison de facteurs sociaux, économiques et environnementaux. Son étude doit considérer différents niveaux et prendre en compte divers processus impliqués, notamment les activités directes, visibles et le contexte régional, national et international dans lesquels ils sont intégrés.

On distingue généralement deux catégories de paramètres influençant la couverture forestière (Lambin, 1994) : les causes directes et les causes indirectes de changement.

2.1.1. Les causes directes de déforestation

Les causes directes de changement sont les paramètres affectant directement l'évolution des domaines d'affectation du sol. On peut citer :

- **l'agriculture itinérante** : la population dépendante de ce type d'activité est estimée à 200-300 millions; son développement actuel, sous l'effet essentiellement de la pression de population, peut en faire une pratique moins durable (courte période de rotation, déplacements "par nécessité");

- **l'agriculture permanente** : en expansion pour répondre à la demande croissante de nourriture et de devises étrangères (cultures commerciales telles que le café, cacao, tabac; élevage extensif);

- **l'exploitation des ressources minières et hydroélectriques;**

- **l'urbanisation** : expansion de la ville ou formation de nouveaux noyaux d'habitat;

- **le développement des infrastructures de communication;**

- **l'exploitation des ressources forestières** : collecte du bois de chauffe, construction, exploitation commerciale des essences tropicales pour l'exportation;

- **les feux** : brûlis ou feux de brousse (à des fins d'agriculture, d'élevage, de chasse).

2.1.2. Les causes indirectes de déforestation

Les causes indirectes (ou facteurs) de déforestation influencent les causes directes de déforestation. Si les causes directes de la déforestation sont les motifs immédiats de la conversion ou de la modification du domaine forestier, il est nécessaire d'examiner plus en détail les facteurs de déforestation pour comprendre pourquoi ces changements ont lieu. La déforestation peut ainsi être expliquée, soit par le type d'exploitation de la forêt - l'utilisation du sol qui remplace le couvert forestier - (cause immédiate), soit par le mécanisme sous-jacent. On distingue :

- **les facteurs démographiques** : croissance de la population, migrations;

- **les facteurs socio-économiques** : développement économique, conditions sociales (pauvreté), technologie non appropriée, dette (pression économique), relations commerciales internationales, régime foncier;

- **les facteurs physiques et environnementaux** : fertilité des sols, distance aux infrastructures humaines, distribution des forêts;
- **les politiques gouvernementales** dans les domaines démographique, agricole, forestier, etc. : projets de colonisation...

L'importance relative de ces causes et facteurs dans le processus de déforestation est variable dans le temps et dans l'espace, et est encore difficilement estimable, tant au niveau global qu'au niveau local. Ces difficultés de l'estimation des causes (et conséquences) de la déforestation sont entre autres dues au manque de données sur l'étendue de la déforestation, l'évolution et le stade des zones forestières et déboisées.

2.2. Conséquences de la déforestation tropicale

La déforestation affecte les conditions sociales, économiques et écologiques (Dale et al., 1993).

2.2.1. Conséquences physiques et écologiques de la déforestation

Les impacts écologiques de la déforestation sont multiples (Dale et al., 1993). Les plus importants sont :

- **Perte de biodiversité**

Bien qu'elles occupent moins de 7% de la surface du globe, les forêts tropicales abritent plus de la moitié des espèces animales et végétales (Wood et al., 1996). Un des premiers effets de la déforestation tropicale est l'extinction massive et la raréfaction des espèces.

La déforestation affecte la diversité de trois façons différentes : la destruction des habitats, l'isolement de fragments d'habitat anciennement continus (fragmentation des habitats), et par un effet de lisière à l'intérieur de la zone frontrière entre la forêt et les zones déboisées. Dans cette zone frontrière, on remarque une plus grande exposition aux vents, la présence d'animaux non-forestiers et de chasseurs, et une série d'autres effets physiques et biologiques. Il en résulte une perte d'espèces végétales et animales dans cette lisière.

- **Augmentation du nombre et de la propagation des maladies**

Il semblerait que la déforestation tropicale soit un facteur de propagation des maladies connues et soit à l'origine de nouvelles (Sawyer et al, 1987; Wood et al, 1996).

- **Modifications physiques et chimiques**

La déforestation entraîne souvent une **dégradation des sols** par des processus d'érosion, de baisse de la fertilité (et donc baisse de la productivité), de perturbation du cycle d'éléments nutritifs et de compaction des sols.

Elle a également une large influence sur les **conditions hydrologiques** : augmentation des écoulements d'eau, modification du régime des cours d'eau.

Le remplacement de la forêt par des terres cultivées pourrait **influencer le climat**, en modifiant la composition chimique de l'atmosphère (émissions gazeuses de CO₂, N₂O et NO), en changeant l'albédo planétaire, et en altérant les flux de chaleur sensible et latente : entre 25 et 30% des émissions de gaz à effet de serre seraient dus à la déforestation tropicale.

La pauvreté des données sur la déforestation tropicale limite cependant la compréhension du cycle de carbone et du changement climatique.

2.2.2. Conséquences sociales et économiques de la déforestation

Les conséquences sociales incluent des changements de conditions d'éducation et d'opportunités d'emplois, ainsi que les conditions sanitaires (Dale et al., 1993). La

déforestation augmente également la disponibilité de la terre et donne accès à des terres arables à des agriculteurs pauvres.

Au niveau des populations locales, la disparition des forêts entraîne une diminution de leurs ressources en produits de la forêt (énergie, consommation, construction), et change par conséquent leur condition de vie.

Les répercussions économiques pourront se traduire par une modification des revenus et des prix des biens de consommation (Allen et Barnes, 1985).

3. L'agriculture-sur-brûlis

L'agriculture-sur-brûlis a été identifiée comme la principale cause "directe" de la disparition de la couverture forestière sur les sites que nous étudions. Il convient donc de développer plus cette notion.

Les systèmes d'agriculture-sur-brûlis ont en effet reçu une attention toute particulière ces dernières années, étant donné leur rôle observé ou supposé dans la déforestation tropicale et la perte de biodiversité.

3.1. Définitions

L'agriculture-sur-brûlis est souvent assimilée à agriculture itinérante. Les **agriculteurs itinérants** ("*shifting cultivators*") recouvrent essentiellement les populations forestières qui défrichent de petites parcelles pour les cultiver pendant un ou deux ans avant de les laisser retourner en jachère forestière. Ces populations sont très minoritaires et les densités de population des régions dans lesquelles elles vivent sont souvent particulièrement faibles. Dans la majorité des cas, après avoir été abandonnée par l'agriculteur, la parcelle sera recolonisée par la végétation alentour et retrouvera rapidement un taux de couverture du sol supérieur à 10%.

L'agriculture-sur-brûlis a un sens plus large. Elle consiste à couper la forêt (ou la savane herbacée) puis à la brûler, pour cultiver ensuite la terre. Elle englobe donc l'agriculture itinérante, mais a un sens plus large. Les agriculteurs-sur-brûlis défrichent pour obtenir de nouvelles terres, ce qui concerne à la fois les populations sédentaires qui étendent leurs cultures, les migrants spontanés, les déboisements des programmes officiels de déplacement de population et la destruction de la forêt pour créer des ranches d'élevage.

Ces types de défrichement peuvent également devenir "itinérants" si, après plusieurs années, les rendements sont trop faibles à cause de l'épuisement du sol. La terre est alors abandonnée et dans ce cas, il est rare que la forêt puisse repousser.

3.2. Les impacts de l'agriculture sur brûlis

L'agriculture-sur-brûlis a des impacts locaux importants sur les cycles des nutriments, sur les organismes du sol. Ses effets sur la qualité d'un site peuvent durer longtemps avant que l'état initial se rétablisse. Elle peut conduire à la dégradation et l'érosion des sols, à la désertification.

Cette pratique traditionnelle, améliorée par les paysans, apparaît cependant sous les tropiques humides, mieux adaptée que les systèmes intensifs modernes (Levang, 1995).

Dans les zones de sols à faible fertilité chimique le brûlis restitue au sol les éléments minéraux stockés dans les végétaux, permettant ainsi une mise en culture. Ces effets bénéfiques ne durent toutefois guère : la majeure partie des éléments nutritifs libérés par le brûlis disparaissent par ruissellement souvent en moins d'un an. Dans l'espace défriché, la

multiplication très rapide des adventices herbacées et la concentration des ravageurs des cultures pose des problèmes dès la deuxième ou la troisième année. Pour le paysan, la stratégie la plus avantageuse pour assurer la pérennité de l'exploitation agricole du milieu consiste à restituer "l'effet forêt" en établissant une jachère arborée. Une jachère arbustive (5 à 10 ans) suffirait à reconstituer le stock d'éléments nutritifs nécessaires pour corriger les déficiences minérales des sols. Par contre, un ombrage dense et prolongé (15 à 20 ans) s'avère indispensable pour réduire de manière conséquente le stock d'adventices herbacées.

4. Les frontières agraires

3.1. Les concepts de front pionnier et de frontière agraire

Le concept de front pionnier se rapporte généralement à la description du processus de conquête par l'homme d'un espace peu ou pas occupé, et à la signification socio-économique de cet espace (Lacques, 1993). H. Théry (1986) le définit comme " la limite atteinte par la mise en valeur, l'avancée extrême des défricheurs, des colons, des migrants qui viennent établir une colonie dans des terres jusque là vides ou peu peuplées ".

Lorsque les espaces occupés sont soumis à une colonisation agricole par des migrants, on parle de frontière agraire.

Toutes les franges pionnières ne sont pas agricoles (Monbeig, 1981). Les fronts d'extraction forestière, où se développe une activité minière, qui n'implique pas une occupation permanente des sols, en sont des exemples (Schiavoni, 1991).

La frontière agraire représente l'extension de l'espace habité; elle constitue " la frange de transition entre un espace occupé de façon stable et continue par une certaine société, et un autre qui, du point de vue de cette société à un moment particulier de son développement, se rencontre libre " (Reboratti, 1979).

3.2. Des lieux d'enjeux écologiques, économiques et sociaux

Les frontières agraires sont liées à des mouvements démographiques. Mais les migrants n'en sont pas les seuls acteurs.

Les phénomènes de frontière dépassent les aspects purement locaux et concrets de la frontière; celle-ci exprime un phénomène global de société, apparaissant dans les discours officiels, dans les médias, parce qu'elle constitue un mythe partagé par toute la société (Aubertin et Lena, 1986).

Ces frontières sont des espaces de projet, entre des acteurs locaux, des organismes de développement, et des opérateurs économiques extérieurs (Albaladejo et al, 1996).

3.2.1. Rôle des frontières agraires

Les frontières agraires s'inscrivent dans des logiques nationales, qui les favorisent ou du moins les tolèrent, et qui peuvent leur conférer différents rôles : politique et démographique; économique de production agricole.

Du point de vue politique, les frontières peuvent avoir un rôle de protection du territoire national, que ce soit vis-à-vis de l'extérieur, pour consacrer les frontières linéaires théoriques par une occupation de l'espace de la zone frontalière, ou vis-à-vis de l'intérieur, pour diminuer les tensions en déplaçant les trop-pleins de populations " par un mécanisme aussi logique que les vases communicants " (Monbeig, 1981, p52). " Une telle ouverture horizontale est, pour un gouvernement, une recette facile pour offrir des moyens de survie aux populations

marginalisées : la terre plutôt qu'une formation et un salaire décent." (Lena, 1992). Cependant, en Amérique latine, loin de servir d'espace neuf, ouvert à tous, offrant une chance aux citadins pauvres, les frontières agraires grossissent au contraire les villes de leur trop-plein de paysans pauvres (Chonchol, 1991; Hennesy, 1981).

Un rôle **économique** est attribué aux frontières agraires : augmentation de l'espace cultivé, de la production alimentaire... Reposant sur une agriculture paysanne, au moins dans les débuts, elles sont censées pourvoir les villes en aliments bon-marché. Cependant, la faible possibilité de commercialisation des colons, leur lien obligé avec de nombreux intermédiaires et la déficience des infrastructures tend à augmenter le prix payé par les consommateurs.

3.2.2. Des lieux de conflits

Les fronts pionniers sont des lieux de **conflits sociaux**. Ces territoires sont convoités à la fois par des paysans pauvres dont, l'exode rural représente un dernier espoir de survie alimentaire, et par quelques riches exploitants aux objectifs mercantilistes.

Ils sont également l'objet de **conflits entre "environnementalistes"**, qui prônent la protection de la forêt avec interdiction des actions anthropiques, sous le principe que l'état originel est l'état d'équilibre, et **"développementalistes"** qui revendiquent la mise à disposition des ressources aux besoins de la société.

Cependant l'exploitation des grandes fermes d'élevage, les industries minières ou les grands barrages détruisent la forêt et remettent en question le développement de ces régions par une recherche de rentabilité à court terme.

3.3. Frontière et évolution

3.3.1. Des espaces en rapide mutation

Les frontières agraires juxtaposent des phénomènes éphémères et des paysages en rapide mutation. Ce sont des espaces en formation et en transformation.

Ces transformations sont non seulement spatiales, mais aussi sociales, économiques, environnementales, politiques.

Le front est le lieu d'une dynamique permettant l'établissement de "nouvelles relations homme-espace" (Guichonnet et Raffestin, 1974).

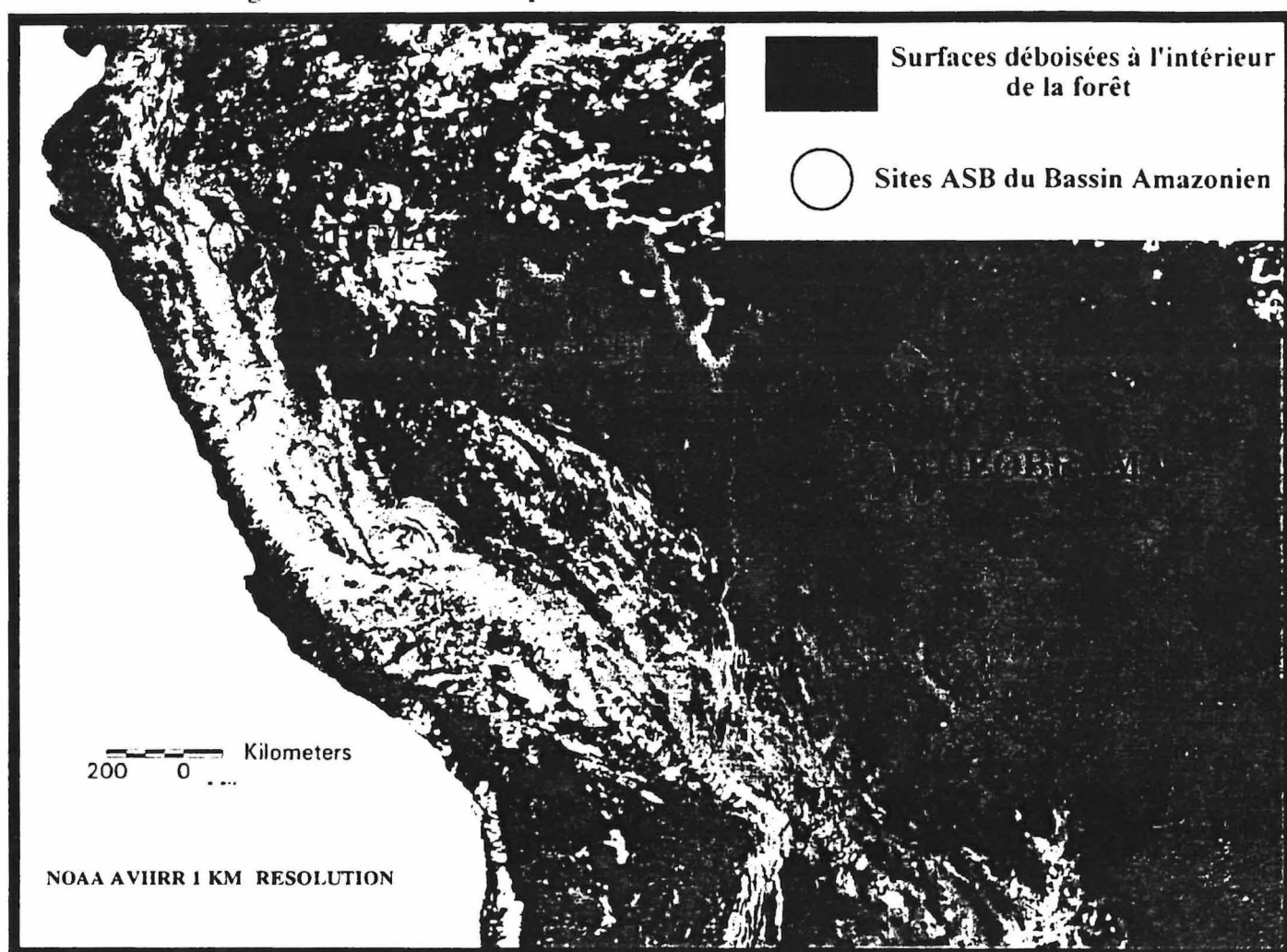
Certains auteurs, comme Dollfus (1981), ont formalisé cette dynamique comme le passage "catastrophique" entre un système initial "ouvert sur son environnement naturel mais pratiquement clos vis-à-vis d'un environnement socio-économique plus vaste", à un système "possédant une stabilité commandée à la fois par ses relations internes et par ses rapports avec l'environnement général, tant géographique que social".

3.3.2. Frontières et modèles d'évolution

On reconnaît plusieurs phases à ce phénomène dynamique des frontières. Celles-ci procèdent de la conjonction de dynamiques propres à la frontière, et de dynamiques d'autres zones. Monbeig (1981) parle d'une "succession de flux différenciés", chacun animé de logiques et de stratégies particulières, créateur de paysages différents.

L'évolution temporelle a pour conséquence la différenciation spatiale. Elle dépend en partie des relations entre la société rurale et son milieu (conditions agronomiques de la production), en partie de son environnement socio-économique (Thiele, 1991). Les modèles d'évolution globale sont donc à recadrer dans le contexte socio-économique. De même que les renouvellements de populations à l'intérieur de la frontière sont à interpréter en fonction de facteurs fonciers, économiques, et en terme de stratégies d'accumulation individuelle.

Fig. 4 : Localisation des quatre sites ASB du Bassin Amazonien.



CHAPITRE 3

LES SITES ÉTUDIÉS

Les sites ASB ont été choisis par le projet d'une part parce qu'ils sont situés en forêt tropicale humide, d'autre part parce qu'ils sont l'objet de processus de colonisation agricole, et, plus particulièrement, de pratiques d'agriculture-sur-brûlis.

Ce chapitre présente les différents sites étudiés. Nous considérerons séparément les sites du Bassin Amazonien, le site du Bassin du Congo (Cameroun), et le site indonésien.

Après avoir localisé les sites, nous décrirons brièvement les caractéristiques générales du milieu naturel, le contexte humain, pour ensuite récapituler l'histoire de l'occupation humaine.

Le niveau d'information est cependant disparate suivant les sites : une importante littérature est disponible sur l'Amazonie, par contre les informations sur le Cameroun sont beaucoup plus rares.

1. Les sites du Bassin Amazonien

Quatre sites ASB ont été sélectionnés dans le Bassin Amazonien (*Fig. 4*) : deux sont situés au Brésil (Theobroma et Pedro Peixoto); les deux autres appartiennent à l'Amazonie péruvienne (Pucallpa et Yurimaguas).

Du point de vue des ressources naturelles, il y a beaucoup de similitudes entre l'Amazonie péruvienne et l'Amazonie brésilienne : le réseau hydrographique, la végétation ou encore le relief ont des caractéristiques très proches. Le contexte humain, social présente lui aussi de nombreux traits communs (Eggs, 1994) et les histoires de l'occupation de ces sites par l'homme se recoupent dans une large mesure jusqu'aux années 60.

1.1. Localisation des sites

- **Les sites de Theobroma et de Pedro Peixoto** sont situés respectivement dans les états du Rondônia et d'Acre de la région Nord du Brésil (*Fig. 5*).
- **Le site de Pucallpa** est situé à l'Est du Pérou, dans le département de l'Ucayali, de la Selva Central. **Le site de Yurimaguas** est localisé au Nord-Est de Pucallpa; il appartient au vaste département de Loreto (*Fig. 6*).

1.2. Le Bassin amazonien : géomorphologie et milieu naturel

L'Amazonie est un des plus grands bassins de drainage au monde : il couvre une superficie d'environ de 5,5 millions de km², sur huit pays, soit 5% de la surface terrestre.

Fig. 5 : Localisation des sites brésiliens (Pedro Peixoto et Rondônia).



Fig. 6 : Localisation des sites péruviens (Yurimaguas et Pucallpa).



1.2.1. Caractéristiques physiques du milieu naturel

- **Un réseau hydrographique dense**

Le Bassin amazonien bénéficie d'un important réseau hydrographique. De nombreuses rivières parcourent la région qui concentre ainsi la plus grande quantité d'eau douce terrestre (1/5^{ème} des réserves d'eau douce de la Terre, glaces polaires exclues, 81% de l'eau douce du Brésil).

Ces rivières, qui relient les pays amazoniens à l'Océan, ont longtemps constitué les seules voies de pénétration dans la forêt et d'exportation des produits prélevés.

Les sites péruviens sont parcourus par la rivière Aguaytía (Pucallpa), et les rivières Huallaga, Shanusi et Panarapura (Yurimaguas).

- **Le climat**

Le climat est de type tropical chaud et humide (équatorial). Il comprend 3 mois secs. L'humidité relative mesurée est élevée, comprise entre 80 et 90%. Les températures moyennes varient entre 24 et 27°C toute l'année.

Les sites brésiliens ont des précipitations moyennes annuelles supérieures à celles des sites péruviens : 2 310 mm dans l'état du Rondônia (mesurées à Pôrto Velho) et 1 855 mm dans l'état de Acre (Rio Branco) alors qu'elles s'élèvent respectivement à 1120 mm et 1656 mm pour Pucallpa et Yurimaguas.

- **Géomorphologie**

Le relief est peu marqué sur tous ces sites. Dans les zones adjacentes aux rivières, on rencontre des formations quaternaires récentes, constituées de sédiments non consolidés. Ailleurs, on trouve des superficies planes, des coteaux et des collines modelées dans des sédiments blancs et subhorizontaux du tertiaire supérieur et dans les alluvions de quaternaire.

Les sols sont représentatifs de l'Amazonie, révélant des signes de sérieuse dégradation. Ils sont principalement acides, de basse fertilité naturelle et présentent des problèmes de toxicité en aluminium. Près des rivières, les sols sont généralement neutres et de meilleure fertilité. Le site de Pedro Peixoto présente des sols généralement pires que ceux de Theobroma.

1.2.2. Caractéristiques biologiques

90% de l'Amazonie sont couverts de forêts tropicales humides de basse altitude. Celles-ci constituent l'écosystème le plus productif au monde (Jordan, 1986), en dépit de la pauvreté des sols, de précipitations excessives et de la surabondance des maladies et des champignons. La plupart de la surface, couverte par la forêt tropicale humide, montre une physionomie apparemment uniforme, avec une grande diversité botanique et faunistique : selon certaines estimations on y rencontrerait au moins 60 000 espèces végétales, 2,5 millions d'espèces d'arthropodes, 2 000 espèces de poissons, 300 espèces de mammifères et 2 000 espèces d'oiseaux. L'Amazonie recèlerait ainsi 1/3 du stock génétique du monde (Becker, 1990). Mais ce bilan reste provisoire, 75% de l'Amazonie n'ayant pas encore été explorés par des scientifiques. L'Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a répertorié plus de 3 500 espèces végétales ayant une importance économique dans les domaines de la médecine, de l'alimentation, de la manufacture et du commerce des produits végétaux, au Brésil.

Cette grande biodiversité, qui représente une des caractéristiques principales de cette forêt, est mise en péril par une déforestation massive et l'activité humaine.

Une étude effectuée par l'IBGE en 1990 a montré qu'il y avait 303 espèces ou sous-espèces menacées d'animaux, dont l'extinction est principalement causée par les activités anthropiques dans leur milieu, par la destruction de leur habitat aussi bien que par une chasse non sélective.

Fig. 7. : Données démographiques des sites de Theobroma et Pedro Peixoto
(Source IBGE, 1997)

	Brésil	Theobroma			Pedro Peixoto
		Etat	Microrégion	Município	Etat
		Rondônia	Ji-Parana	Theobroma	Acre
Superficie (km ²)	8 547 404	238 513	25 102	2 199	153 150
Population totale (Nombre d'habitants)	151 801 895	1 132 692 (1991)	275 255 (1991)	7 437 (1993)	417 718 (1991)
Densité de population (hab./km ²)	17,26 (1991)	4,75 (1991)	10,97 (1991)	3,51	2,73
Taux de croissance démographique (%)	1,93 (1980-1991)	7,89 (1980-1991)	*	*	3,01 (1980-1991)
Taux d'urbanisation (%)	75,59	58,24	*	50,05	61,89

Fig 8 : Occupation des sols des sites de Pedro Peixoto et Theobroma
(D'après Witcover et Vosti, 1994).

	Site de Pedro Peixoto	Site de Theobroma
Cultures annuelles (Riz, maïs, haricot, manioc, coton)	5%	10%
Cultures pérennes (café, cacao, acerola)	1%	8%
Forêt secondaire (jachères)	6%	9%
Pâturages	16%	24%
Forêt primaire	71%	53%

1.3. Contexte humain

1.3.1. Caractéristiques socio-économiques et mise en valeur du territoire des sites brésiliens

1.3.1.1. Caractéristiques socio-économiques

- **Situation démographique actuelle (Fig. 7)**

Les **densités de population** des sites brésiliens sont faibles, elles comptent parmi les plus faibles du Brésil. On relève cependant des disparités en fonction de l'échelle administrative à laquelle on se place. Les données au niveau de l'état ne sont pas forcément représentatives du site.

Les **taux de croissance démographique** sont élevés, bien supérieurs à la moyenne nationale surtout dans l'état du Rondônia où il approche les 8%.

Dans les 2 états, une majorité de la population est urbaine : 58% (Rondônia) et 62% (Acre) en 1991.

- **Contexte économique**

Le Rondônia connaît une forte croissance économique accompagnant la croissance démographique. Dans les 5 dernières années, le taux annuel de croissance économique était d'environ 16%. La construction de la route bitumée Cuibá-Pôrto Velho, rejoignant ces 2 importants pôles distants de 1 500 km, ainsi que celle de l'usine hydroélectrique de Samuel, ont ouvert de nouveaux horizons pour le développement du Rondônia.

Ses principales activités économiques sont l'agriculture (café, cacao, riz, millet), l'exploitation forestière et l'élevage.

L'Acre ne bénéficie pas d'une telle croissance économique. Son économie repose sur l'agriculture (manioc, riz, banane, millet), l'industrie (alimentation, bois), la pêche et l'élevage (bovins, ovins).

1.3.1.2. Occupation et mise en valeur du territoire (Fig. 8)

La forêt occupe encore une majorité de l'espace sur le site de Pedro Peixoto, et la moitié de la surface du site de Theobroma.

L'agriculture est essentiellement basée sur des cultures annuelles (riz, maïs, haricot, manioc, coton), et surtout sur les pâturages. Le pâturage occupe une surface supérieure à celle de tous les autres types d'occupation agricole réunis.

Les cultures pérennes (café, cacao, azerole) se rencontrent surtout sur le site de Theobroma; elles ne constituent que 1% de la surface du site de Pedro Peixoto. L'utilisation des forêts pour l'extractivisme (notamment la noix du Brésil et le caoutchouc) est par contre plus répandue sur le site de Pedro Peixoto : les réserves extractivistes (zones vouées à l'extractivisme et encadrées par l'Instituto de Colonização e Reforma Agrária, INCRA) représentent 11% dans l'Acre, comparé au 1% pour le Rondônia (Avila, 1994).

Tailles des exploitations agricoles. Lors des projets de colonisation, l'INCRA allouait initialement des parcelles de 100 ha ou 50 ha. Ces parcelles ont été subdivisées ou regroupées (de Sá, 1995) par des transferts, des ventes, des réarrangements entre exploitations ou par les attributions même de l'INCRA. Dans certains projets où la terre s'est raréfiée, ce sont maintenant des parcelles de 30 ha qui sont allouées.

Fig. 9. : Tableau de données démographiques des sites de Yurimaguas et Pucallpa (Source INEI, 1996).

	Pérou	Pucallpa			Yurimaguas		
		Département	Province	District	Département	Province	District
		Ucayali	Coronel Portillo	Callaria	Loreto	Alto Amazonas	Yurimaguas
Superficie (km²)	1 285 000 000	102 411	36 816	10 938	368 852	61 077	2 684
Population totale (Nombre d'habitants)	23 100 000 (1995)	366 912 (1996)	280 770 (1996)	200 506 (1995)	798 646 (1996)	136 706 (1996)	55 790 (1995)
Densité de population (hbt/km²)	18,0	3,58	7,63	18,33	2,17	2,24	20,78
Taux de croissance démographique (%) (1981-1993)	*	5,3	4,6	4	3	2,8	2,6
Taux d'urbanisation (%)		65,1 (1993)	72,7 (1993)		58 (1993)	42,5 (1995)	60,9 (1993)
Agriculture (%)		40,7		21,2	42,9		50,7
Service (%)		45,9		60,3	41,9		38,5
Non salariés (%)		39,0		43,8	34,8		29,2

1.3.2. Caractéristiques socio-économiques et mise en valeur du territoire des sites péruviens

1.3.2.1. Caractéristiques socio-économiques

- **Aspects démographiques**

Le tableau ci-contre présente les différentes données démographiques des sites péruviens à différentes échelles administratives (*Fig. 9*).

Les **densités de population** au niveau du département et de la province sont très faibles, comparées à la densité de population moyenne du Pérou. Si on considère celles du District, elles sont par contre comparables, et même supérieures, aux moyennes nationales, du fait de la présence de la capitale du département dans chacun de ces districts.

Le **taux d'urbanisation** montre que la population est essentiellement urbaine. Il a eu tendance à croître durant les dernières décennies avec la croissance des centres urbains comme Pucallpa et Yurimaguas.

Les **villes de Pucallpa et Yurimaguas**, capitales de l'Ucayali et Alto Amazonas ont respectivement 172 300 habitants et 30 658 habitants (1993).

Actuellement, peu de nouveaux colons s'installent dans la région et le **taux de croissance démographique** est voisin de la croissance naturelle.

- **Aspects économiques**

L'Ucayali est le département le plus économiquement avancé de l'Amazonie péruvienne. Pucallpa est une des villes qui se développent le plus dans la zone selvatique. Le long de la route Federico Basadre, la principale activité économique est l'exploitation forestière suivie de l'agriculture et la pêche.

1.3.2.2. Mise en valeur du territoire, occupation du sol

Seulement 13,6% de l'Amazonie péruvienne sont couverts de cultures ou de pâturages. 61,4% sont occupés par la forêt et 25,0% sont des zones protégées. Cette abondance de terre disponible a conduit à l'installation d'un système agricole très peu intensif, dont une conséquence immédiate est la dégradation de la forêt.

- **Agriculture**

Malgré la faible fertilité des sols, l'agriculture est en pleine expansion. La surface des exploitations est relativement petite : 61% des exploitations couvrent moins de 10 ha et 78% ont moins de 20 ha. La plupart des agriculteurs des régions de Pucallpa et de Yurimaguas n'ont pas de titre légal de propriété (61%).

Dourojeanni (1990) a estimé à 200 000 ha la surface plantée en coca au Pérou, dont il a résulté une déforestation de près de 700 000 hectares depuis 1970. Ces plantations sont dispersées dans la masse forestière pour être cachées.

L'agriculture sur le site de Pucallpa

* Les zones préférées des agriculteurs sont celles qui bordent les rivières, la qualité des sols y étant meilleure : une agriculture commerciale basée sur les cultures du riz, du manioc et du maïs y est pratiquée. Des rotations de 2 à 3 ans sont effectuées.

Fig. 10 : Système agraire pratiqué le long de la rivière Huallaga.



Fig. 11 : Système agraire pratiqué entre les rivières Shanusi et Paranapura.

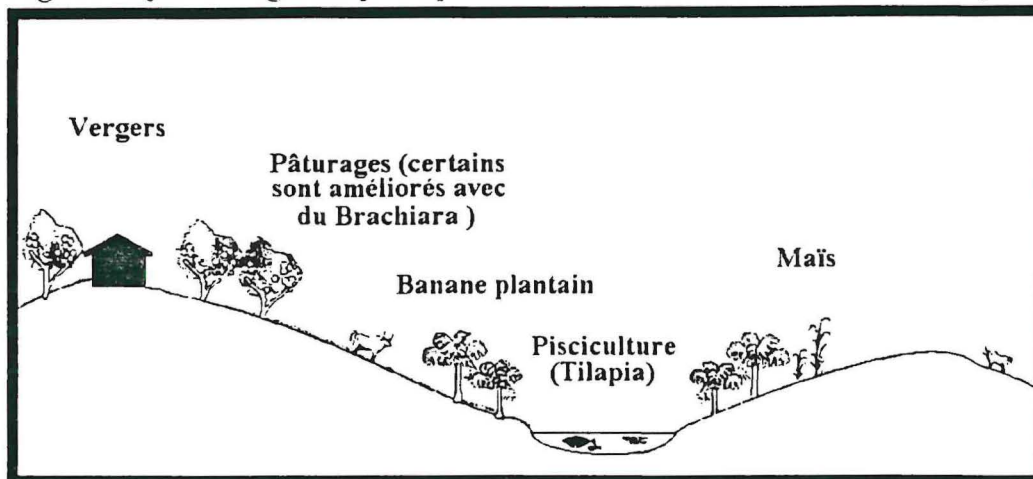


Fig. 12 : Système agraire pratiqué entre les rivières Huallaga et Shanusi.

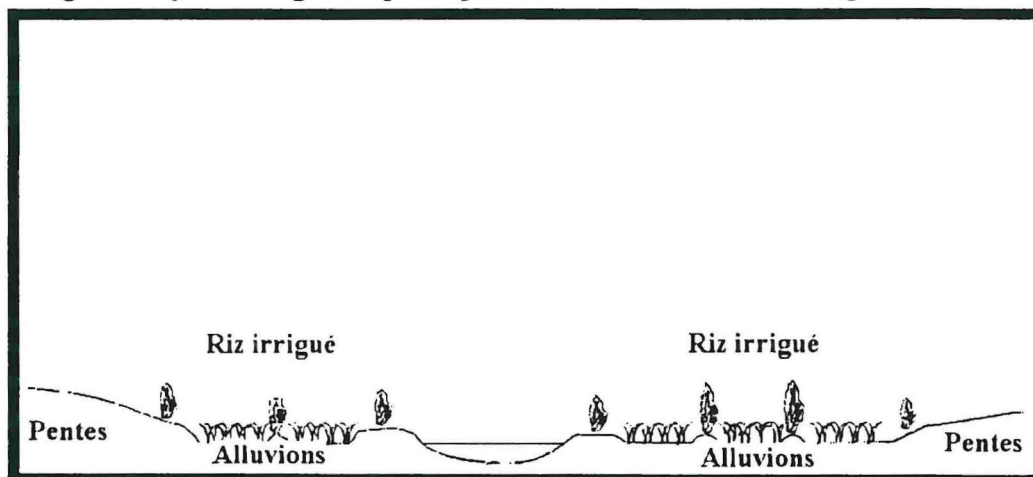
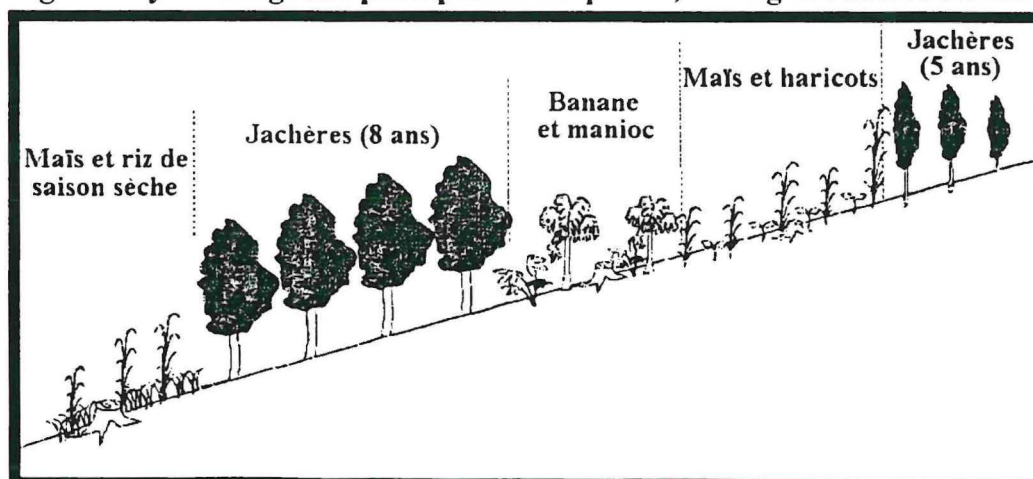


Fig. 13 : Système agraire pratiqué sur les pentes, le long des lisères forestières



* Dans les zones de terrasses moyennes, l'agriculture commerciale est limitée par la distance aux rivières navigables. Il s'y pratique surtout une agriculture de subsistance pour les exploitants forestiers.

* Sur les zones de collines basses et hautes, l'activité agricole est essentiellement représentée par des cultivateurs de coca, disséminés, à des distances moyennes de 10 km de la route Federico Basadre. A des distances de 1 à 5 km des routes prédominent les pâturages en majorité abandonnés et sous-utilisés. Ces pâturages ne parviennent pas à se régénérer naturellement en raison de la coupe drastique des espèces arboricoles et de l'état dégradé des sols (Rodrigues et al., 1996).

Sur le site de Yurimaguas, Imbernon (1996) a identifié 4 types de systèmes agraires :

* **Le premier type (Fig. 10)** se rencontre le long de la rivière Huallaga. Ce sont des systèmes agraires hautement intégrés avec des **activités variées** : exploitation sélective de la forêt, cultures vivrières, arbres fruitiers, pâturages et bétail, pêche. Ces fermes sont vieilles et la terre a initialement été déboisée par abattis et brûlis pour planter du riz et du maïs. Elles s'étendent sur de larges surfaces, sur des sols de bonne fertilité, et bénéficient d'un accès facile au marché.

* **Le deuxième type (Fig. 11)** se trouve entre la rivière Shanusi et la rivière Paranapura, près de la ville de Yurimaguas. La plupart des systèmes sont basés sur **l'élevage et les pâturages**. Ce sont les terres les plus anciennement déboisées de la région, il y a plus de 100 ans; elles étaient autrefois plantées d'hévéas. Certains pâturages datent encore de cette époque et sont très dégradés, mais la plupart d'entre-deux ont été améliorés par du Brachiara. Suivant la topographie, les paysans ont installé beaucoup de mares pour pratiquer la pisciculture (Tilapia). Ils ont également intégré des arbres fruitiers près des maisons, et quelques uns ont des petits champs de maïs et de plantain. Il n'existe que très peu de bois et de jachères dans ce système de culture, et la culture sur brûlis n'est pas pratiquée. La dégradation du sol, le plus souvent due à des processus physiques de compaction du sol, est un trait courant sur les terres en pâture.

* **Le troisième type (Fig. 12)** se rencontre dans les basses terres de la rivière Huallaga et de la rivière Shanusi. C'est un **système de culture artificiel, basé sur la culture irriguée du riz** (Sud-Est de Yurimaguas et autour de Pampa Hermosa), très demandeuse en main d'oeuvre. Ces terres ont initialement été déboisées avec des bulldozers; la végétation était ensuite brûlée. Des pompes motorisées collectives ont été installées pour l'irrigation et les récoltes sont généralement très élevées (4 à 5 tonnes/ha), et parfois bisannuelles. Mais en raison de problèmes de gestion de l'irrigation, il n'y a parfois plus d'argent pour payer l'essence et l'entretien et certains paysans se sont déplacés vers les pentes pour pratiquer la culture sur brûlis.

* **Le quatrième type (Fig. 13)**, localisé le long des lisières forestières, sur les pentes, constitue le **système "traditionnel"**. Il est basé sur les **pratiques de cultures sur brûlis**. Il a été utilisé par les paysans les plus récents, et les plus pauvres. Ces paysans ont de petites exploitations, malgré un prix de la terre dérisoire. La période de jachère dure environ 5 ans avant le riz, et 4 ans avant le maïs en raison des limitations de fertilité du sol. Les cultures sont souvent mélangées : maïs avec riz ou haricots, plantain avec manioc. Les sols sont pauvres et les paysans ont besoin de se déplacer ou d'étendre leurs terres dans la forêt. Ce système d'occupation du sol n'est pas stable et constitue la forme d'agriculture la plus destructive de la région.

* **Les plantations de coca** se trouvent plus profondément dans la forêt (à plus de 4 heures de

marche de la route). Elles ont été et continuent à être la principale cause de déforestation de la région.

- **L'exploitation forestière**

Dans la région de **Pucallpa**, les forêts des basses terrasses font l'objet d'une exploitation sélective pour des espèces arboricoles comme le lupana (*Ceiba pentandra*), le cumulas (*Virola sp.*) et le moenas. L'activité forestière est également intense dans les zones de terrasses moyennes; les espèces de moyenne densité (flottables) sont recherchées. Sur les zones de basses et hautes collines, une extraction forestière mécanisée et fortement sélective (recherche du caoba -*Swietenia macrophylla*- principalement) est pratiquée; ces zones d'extraction sont généralement situées à des distances supérieures à 30 km des voies de communication (route et fleuve).

Les espèces extraites sont vouées à la construction, à des usages médicaux, ou sont transformées en charbon.

L'exploitation forestière est plus limitée sur le site de **Yurimaguas**.

- **Taux de déboisements annuels**

D'après le World Resources Institute (1990) le taux de déboisement au Pérou est encore faible : environ 0,4% (286 600 ha/an). Des études ont montré que 50% à 80% de la surface déboisée se régénère naturellement en une forêt secondaire dotée d'une forte biomasse et une grande diversité (Apodesa-Fundeagro, 1992).

Les taux de déboisement annuels sont similaires et très faibles pour Yurimaguas et Pucallpa; ils sont respectivement de 0,48% et 0,49% pour la période 1989-1995.

- **Réseau de communication**

Pucallpa est reliée à Lima, sur la côte pacifique, par une route bitumée (route Federico Basadre, 843 km). Elle constitue un lien entre la forêt amazonienne et le reste du pays.

Par contre, le seul lien entre le site de Yurimaguas et les autres régions est la rivière Huallaga. C'est la principale voie de communication utilisée, aussi bien pour les hommes que pour les marchandises.

1.4. Historique de l'occupation humaine

L'Amazonie a longtemps été considérée comme un espace vierge concentrant les ressources et les espoirs de milliers de paysans. Son image est associée au mythe de la " Terre Promise " et de la " Nouvelle Frontière ". Cette conception culturelle de l'Amazonie a conduit à la formation d'une mosaïque composite rassemblant indigènes et migrants.

1.4.1.1. L'Amazonie des fleuves...

Jusqu'au milieu du 19ème siècle, l'Amazonie a connu un faible développement économique. Sa démographie était faible, dispersée en micro unités de population; son économie atone, la région vivant de l'autoconsommation et de la prédation naturelle; le bassin amazonien était de plus marginalisé géographiquement, isolé (Albaladejo et al, 1996).

L'occupation de l'état du Rondônia date du 17ème siècle, lorsque les Portugais pénétrèrent en Amazonie. Les colonisateurs suivirent les pistes initialement ouvertes par les pères jésuites attirés par la recherche de richesses naturelles (pierres précieuses). Ils capturaient les Indiens pour travailler comme esclaves. La découverte d'or provoqua la formation des premiers noyaux urbains. Les forêts de l'Amazonie péruvienne ont par contre été très peu touchées lors de l'ère de la colonisation espagnole.

Le "boom" du caoutchouc de la fin du 19ème siècle : L'expansion économique de l'Amazonie eut lieu avec l'industrialisation et la croissante demande en caoutchouc à la fin

du 19ème siècle, facilitée par le développement de la navigation à vapeur sur les fleuves amazoniens. Des centaines de milliers de travailleurs furent alors employées transformant la répartition du peuplement et son importance avec l'arrivée de courants de migration de travail, spontanés ou forcés. La région atteignit un certain niveau de prospérité et fut ainsi intégrée au marché international. Les principales villes -Iquitos et Pucallpa au Pérou, Manaus, Pôrto Velho et Rio Branco au Brésil- ont été construites à cette période.

Yurimaguas qui était, comme toutes les autres villes du Bassin amazonien, située le long d'un fleuve (Iquitos, Manaus et Belem) devînt alors une grande ville active. La plupart des bâtiments de Yurimaguas furent construits à cette période. Des plantations furent installées autour de la ville. Pucallpa fut construite à cette époque.

Au lendemain de la seconde guerre mondiale, les cours du caoutchouc s'effondrèrent avec la double concurrence des gommages synthétiques et du développement de plantations intensives d'hévéa dans le Sud-est asiatique, conduisant à un recul de la population dans certaines régions. Les plantations autour de Yurimaguas ont alors été abandonnées et converties en pâtures. L'Amazonie brésilienne fut relativement oubliée par les organismes publics. La faible population restée là-bas travaillait presque exclusivement dans l'agriculture vivrière, accompagnée d'activités extractives comme le caoutchouc ou la noix du Pará.

Jusqu'à la fin de la seconde guerre mondiale, l'Amazonie pouvait être considérée comme un tout, avec peu de contraintes anthropiques, même au niveau des frontières politiques.

Les rivières ont ainsi longtemps été le principal lien entre les régions de l'Amazonie, avec 80 000 km de voies navigables (Goodland et Irvin, 1975) et des bateaux à vapeur capables de pénétrer à 3 700 km à l'intérieur des terres.

1.4.1.2. L'Amazonie des routes...

Dans la seconde moitié du 20ème siècle, l'Amazonie commença à être intégrée à des processus de développement nationaux. Les rivières ne permettaient pas une colonisation massive. C'est pourquoi plus de 14 000 km de routes ont été ouverts à l'intérieur de l'Amazonie durant les dernières décennies, avec leur réseau de routes secondaires et tertiaires. Ces grands travaux routiers eurent lieu dans les années 60 et 70, (Cuiba-Pôrto Velho ou la fameuse Transamazonienne au Brésil, Lima-Pucallpa et Olmos-Yurimaguas au Pérou), et furent suivis par différents programmes de développement agricole et de colonisation.

Les divergences entre l'occupation de ces deux pays s'accroissent à cette période.

1.4.1.3. Les sites brésiliens de la fin de la seconde guerre mondiale à nos jours

Un renouveau d'intérêt pour la richesse minérale de l'Amazonie et son potentiel agricole émergea dans les années 60 et 70. Des changements de lois sur les concessions minières ainsi que l'association des compagnies étatiques avec des sociétés étrangères favorisa l'exploration et l'exploitation minière. De nouveaux noyaux urbains se formèrent rapidement, les villes existantes grandirent de façon vertigineuse.

La population totale du Rondônia est ainsi passée de 36 935 habitants en 1950 à 1 221 290 habitants en 1996, soit une augmentation de 330% durant les 45 dernières années. Cette croissance a eu surtout lieu dans les années 70 et 80 avec la mise en place de plans de colonisation initiés par le gouvernement par l'intermédiaire de la SUDAM (Superintendencia del Desenvolvimiento del Amazonia), organisme chargé de l'élaboration et de l'exécution du plan, et de la BASA (Banco de Amazonia).

En 1970 fut instauré le Programme d'Intégration Nationale (PIN) visant à mieux contrôler l'Amazonie. Ce programme commença avec l'achèvement de l'autoroute de 1500 km Cuiba-

Pôrto Velho (BR-29, puis BR-364) en 1968. La BR-364 reliait l'état de l'Acre à Brasília, en passant par le Mato Grosso et le Rondônia. Cette construction a été suivie d'une vague de migration. L'origine des migrants, venus chercher des meilleures conditions de vie, a alors changé : alors que jusque là, la grande majorité des colons venait du Nord ou du Nord-Est par les rivières de l'Amazonie et de Madeiras, la plupart des nouveaux migrants étaient des petits fermiers originaires de l'état du Paraná. Là, le développement de la culture du soja avait conduit à la modernisation de l'agriculture et à la transformation des systèmes de culture de petite échelle en exploitations commerciales et mécanisées. Une des conséquences fut la migration d'un grand nombre de petits agriculteurs vers les états de l'Acre et du Rondônia. De nouveaux centres urbains, comme les villes de Pôrto Velho, Ariquemes, Cacoal, Guajará-Mirim, Ji-Paraná, Pimenta Bueno et Vilhena dans l'état de Rondônia émergèrent le long de la BR-364. La population urbaine devint alors bien supérieure à la population rurale.

Ces projets de colonisation octroyaient aux migrants des titres pour des lots de 100 ha, avec des infrastructures et des services de base. Les migrants avaient l'obligation de laisser la moitié des lots en forêt. Tout un système urbain avait été planifié : un village tous les 5 à 10 km, rassemblant 50 familles, une ville tous les 40 km avec des commerces et des services et un centre régional où l'on trouve des petites industries. Ces plans n'ont été que partiellement réalisés, surtout au Rondônia où l'afflux d'immigrants fut considérable. La majorité des installations fut spontanée, en dehors des plans de colonisation.

A Pedro Peixoto (Acre), la colonisation a commencé en 1972 : 370 000 ha ont été divisés en 3 700 lots situés entre 50 et 100 km de Rio Branco, le long de la route BR-364.

A Theobroma, dans l'état du Rondônia elle ne commença qu'en 1979 : 300 000 ha ont alors été divisés en 3 000 lots, à environ 350 km de Pôrto Velho, le long de la BR-364. En 1978, 12 664 migrants avaient été recensés. Ce nombre a triplé dans les années suivantes, rassemblant suivant les statistiques officielles, 36 800 paysans venus principalement du Paraná, du Mato Grosso, de São Paulo, d'Espírito Santo et de Minas Gerais, cherchant au Rondônia de meilleures conditions de vie.

En 1981, l'augmentation des problèmes socio-économiques a amené le gouvernement à bitumer la BR-364, par l'intermédiaire du plus grand des programmes de développement brésiliens : POLONOROESTE. Une nouvelle vague de migration suivit cette construction, accroissant le déboisement. Dès leur arrivée, ces nouveaux occupants commençaient à couper et brûler des morceaux de forêts pour y cultiver des plantes annuelles pendant une à 3 années, suivant la fertilité du sol.

Parallèlement à cette occupation par des petits agriculteurs, de grands ranches de plus de 10 000 ha ont été créés, avec ou sans l'intervention de la SUDAM (579 en 1987 ont été créés par la SUDAM dans l'état du Rondônia) (Hecht, 1993).

1.4.1.4. Les sites péruviens de la fin de la seconde guerre mondiale à nos jours

En 1943, la route Federico Basadre (843 km) fut créée. Elle permit la connexion par voie terrestre de la zone de **Pucallpa** à la ville de Lima. La route fut bitumée dans les années 70.

Cette construction initia un processus socio-économique très dynamique dont la conséquence immédiate fut une poussée démographique vertigineuse de la capitale de Pucallpa qui devint en peu de temps la seconde capitale la plus peuplée d'Amazonie (Rodrigues et al, 1996). Les processus migratoires ne se sont d'ailleurs pas uniquement cantonnés à la ville de Pucallpa et se sont diffusés tout le long de la route Federico Basadre et de ses axes secondaires.

La région de **Yurimaguas** fut surtout touchée par un mouvement migratoire venu des hautes

Terres des Andes qui eut lieu **durant les dernières décennies**, dû à l'appauvrissement des populations paysannes (Garland, 1996) et à une demande croissante en cocaïne. La coca était traditionnellement cultivée dans la vallée du " Alto Huallaga " dont les conditions physiques sont plus appropriées. Mais l'augmentation de la demande et les forts revenus en résultant (environ \$540 le kg de pâte) ont encouragé les paysans à étendre leur surface cultivée dans les forêts de basse altitude, le long de la rivière Huallaga. D'après Bedoya (1990), le programme d'éradication de la coca initié dans la Alto Amazonas aurait également conduit à une dispersion générale des plantations de coca dans toute la région de forêt tropicale humide. C'est durant cette période que la population rurale (comme dans le village de Pampa Hermosa, 44 km au Sud de Yurimaguas) augmenta sensiblement, et que beaucoup de champs furent ouverts dans la forêt à environ 2 heures de marche de la route Yurimaguas-Tarapoto. En 1993, lorsque l'armée américaine établit une base à Yurimaguas et commença à combattre le trafic de drogue, il devint difficile de cultiver la coca et le marché tomba, les prix descendirent jusqu'à \$90. Les gens se déplacèrent alors vers d'autres régions. La région de Yurimaguas a ainsi connu plusieurs phases de colonisation et de déforestation. Actuellement, peu de nouveaux colons s'installent dans la région.

2. Le site camerounais

La région Sud du Cameroun, allant de Yaoundé à la Guinée équatoriale, a été choisie comme site ASB parce qu'elle est caractérisée par un gradient Nord/Sud de végétation, de densité de population et de systèmes agraires (Manga, 1994).

2.1. Localisation du site

Le site camerounais est situé entre Yaoundé au Nord et Ambam au Sud, dans les provinces Sud et Centre du Cameroun. Il couvre les provinces de Lekie, Mefou, Mfoundi, Nyong, So et Ntem (*Fig. 14*).

2.2. Caractéristiques générales du milieu naturel

2.2.1. Caractéristiques physiques du milieu naturel

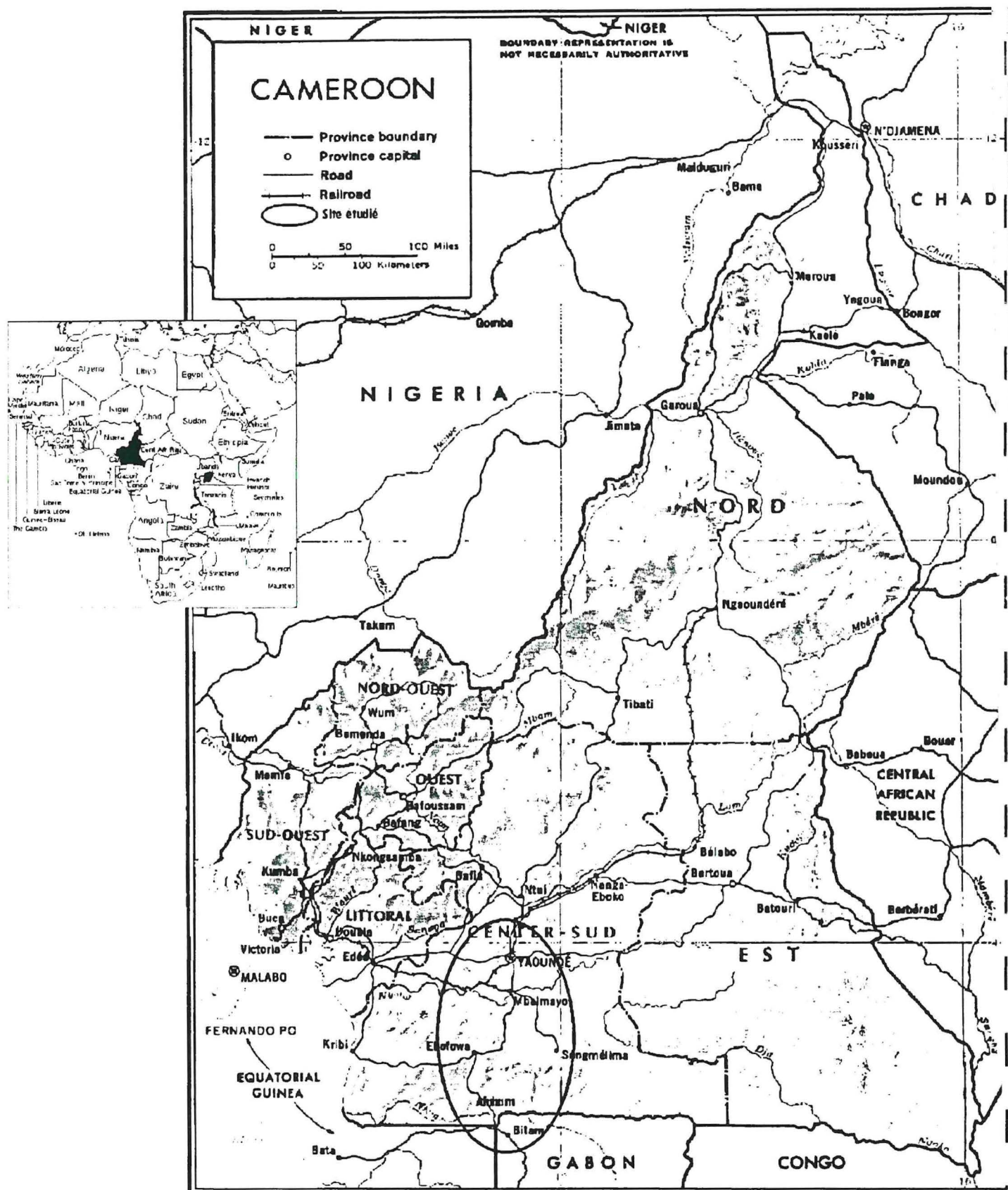
- **Le climat**

Le climat est équatorial dans le Sud du pays (Ebolowa) et subéquatorial plus au Nord; il comporte deux saisons des pluies d'avril à juillet et de septembre à décembre (11 mois pluvieux). Les précipitations moyennes annuelles varient entre 1600 mm (Yaoundé) et 1800 mm (Ebolowa).

- **Géomorphologie**

Le Centre du Cameroun est un vaste plateau situé à une altitude allant de 800 à 1 500 m. Le Sud est constitué de longues plaines et de collines recouvertes par la forêt. Le sol est caractéristique des sols tropicaux, pauvre et acide.

Fig. 14 : Localisation du site camerounais.



2.2.2. Caractéristiques biologiques du milieu naturel

Le Sud du Cameroun appartient au Bassin du Congo.

Letouzey (1968) a identifié deux types très distincts de forêt : la forêt dense semi-décidue et la forêt dense sempervirente. Il a également identifié un autre type qu'il a nommé " agroforêt " et qui correspond à une forêt dégradée mélangée à des cultures et des jachères.

Le Nord de la région est caractérisé par une savane à *Imperata cylindrica* et par des forêts secondaires. La forêt primaire se rencontre le long des rivières; elle est principalement marécageuse, composée de raphiales. Le Sud (région au-dessous d'Ebolowa) est couvert par une forêt sempervirente primaire.

La forêt abrite une faune variée, mais il semblerait qu'elle soit moins riche qu'il y a une quinzaine d'années notamment en raison de la chasse.

2.3. Contexte humain

2.3.1. Caractéristiques socio-économiques

La **population totale** de la zone forestière du Cameroun était estimée en 1993 à 5 011 790 habitants, ce qui représente 35% de la population camerounaise totale.

Les **densités de population** varient énormément, allant de 65,9 hab./km² dans l'arrondissement de Monatele au Nord de Yaoundé, à 3,8 hab./km² dans l'arrondissement de Ambam au Sud (recensement de 1995). On observe ainsi un gradient décroissant de population allant du Nord au le Sud.

La moitié (53%) de la population des zones de forêt est urbaine. La ville de Yaoundé, capitale politique du Cameroun, comprend 800 000 habitants.

A l'exception de la ville de Yaoundé où la part des emplois industriels est importante, la population, urbaine comme rurale, travaille essentiellement dans l'agriculture. La culture du cacao est la principale source de revenu dans la région Sud.

2.3.2. Occupation et mise en valeur du territoire

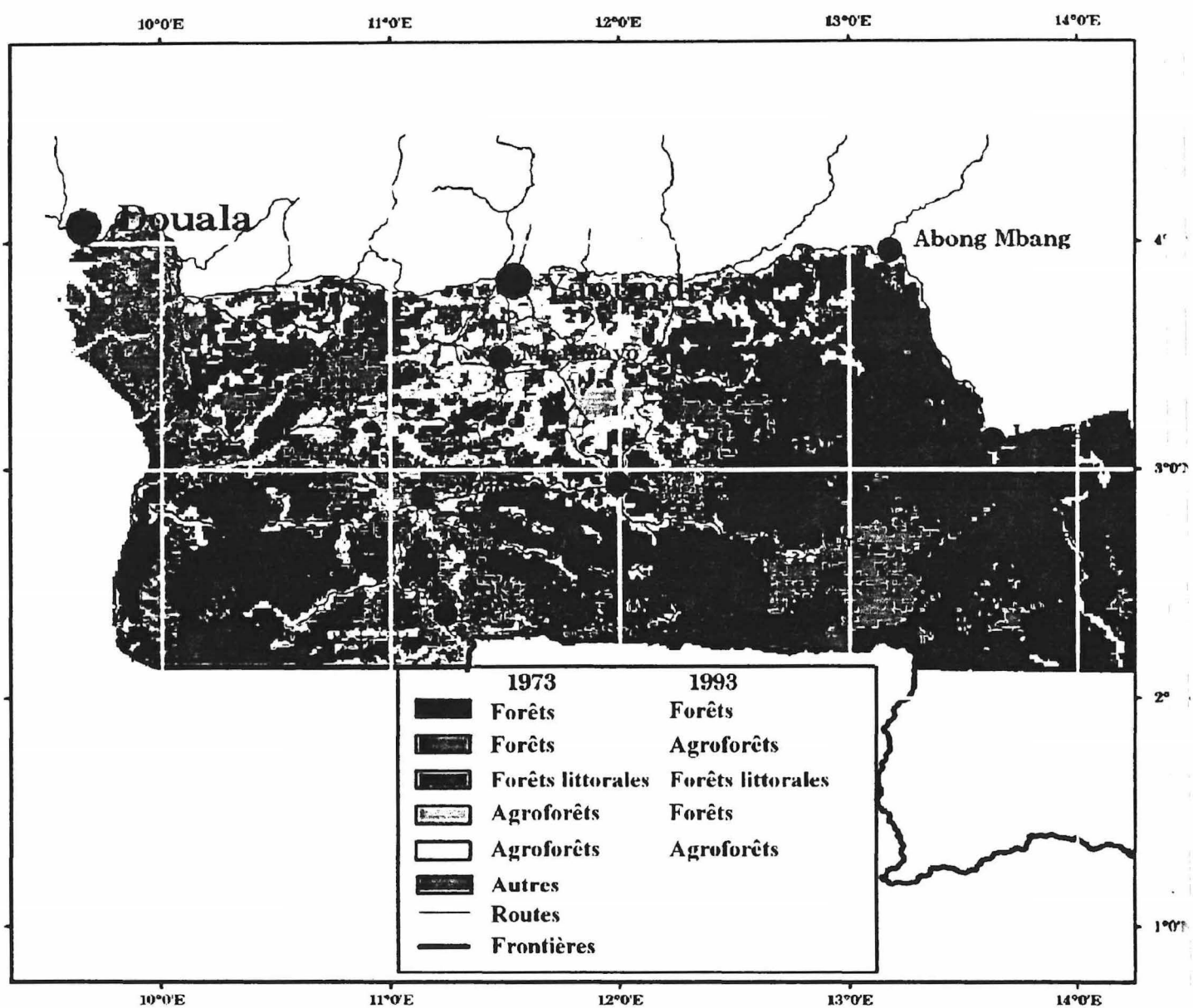
La forêt occupe une large majorité de l'espace du Sud du Cameroun. Sur la vaste étendue de près de 20 millions d'ha, seul 4% sont cultivées.

Autour de la capitale, Yaoundé, l'occupation du territoire est intensive, et son influence se remarque plusieurs kilomètres autour. Les autres villes (M'balmayo, Elbolowa, Ambam) sont plus petites et n'ont pas une telle influence sur leurs alentours.

L'agriculture est basée sur des cultures vivrières et des cultures de rentes. Les maisons sont entourées d'un jardin (dominé par des bananiers) derrière lequel on trouve des **plantations de cacao**, près des routes, pour faciliter le transport. Ces plantations sont souvent vieilles (plus de 40 ans d'âge), sous un couvert forestier parfois dense; les espèces d'arbres conservées sont sélectionnées le plus souvent par la qualité du bois.

On rencontre ensuite des champs vivriers, puis des jachères plus ou moins anciennes, et enfin la forêt secondaire ou primaire.

Fig. 15 : Changements de végétation entre 1973 (carte de Lethouzey) et 1993 (image AVHRR).



(D'après Imbernon, 1997)

Les **champs vivriers** sont petits (moins de 1 ha); on y trouve à la fois manioc, macabo, bananes, arachide, maïs, plantain et tomates. Ils sont cultivés en rotation avec les jachères. La première année, après abattage et brûlis de la parcelle forestière, ces nombreuses cultures sont associées. Le macabo, l'arachide et le maïs sont récoltés en fin de saison des pluies; le manioc est ramassé à la fin de la première année. La seconde année, la jachère couvre tout le champ; le plantain est récolté jusqu'à la fin de l'année, puis le champ est abandonné. Il est alors laissé en jachère, pendant des périodes allant de 3 à 20 ans, jusqu'aux prochaines cultures sur brûlis. Les **jachères** sont dominées par *Chromoleana odorata*. Elles sont de plus en plus courtes au fur et à mesure que l'on s'avance au Nord.

Lorsque la culture sur brûlis est pratiquée en forêt primaire, la fertilité du sol est élevée; Les paysans pratiquent alors les cultures du "concombre" (*Cucumeropsis manii*) et du plantain qui nécessitent une forte fertilité et sont hautement productives. Après 2 ans de culture, le champ est laissé en jachère pendant 5 ans puis la rotation précédente est pratiquée.

Parmi les pays d'Afrique centrale, le Cameroun est celui où l'**exploitation forestière** est la plus active et touche la plus grande surface : 333 000 ha/an, ce qui représente 4,5% par an de la surface totale de forêt dense.

L'exploitation forestière produit du bois d'ébénisterie (sapelli, sipo, bubinga, ébène, acajou), du bois de déroulage (ayou, fromager, ilomba) et du bois de construction (azobé, doussié, iroko).

Le taux de déforestation annuel serait de 1,5% de la forêt tropicale humide (FAO, 1993).

2.4. Historique de l'occupation humaine

Au début du 20ème siècle, le Sud du Cameroun était presque entièrement couvert de forêts. La forêt était cependant déjà menacée par l'homme. Sur la carte établie en 1913, la savane s'étendait jusqu'à Yaoundé, jusqu'à l'Est de la rivière Lekie et sur la rive gauche de la rivière Sanaga. Entre la savane et la forêt primaire, se trouvait le "Parklandschaft", une forêt dégradée. Ces paysages étaient donc déjà humanisés et ressemblaient à ceux que l'on observe sur la carte de la végétation de Letouzey (1973, Fig. 15).

A cette époque, les populations venaient principalement du Nord, suivant le vaste mouvement allant des savanes du Nord vers les forêts du Sud qui avait commencé deux siècles plus tôt. L'agriculture était basée sur des pratiques de cultures sur brûlis.

A l'intérieur de la forêt, l'habitat le long des rivières était évité, car malsain. Les marais et les principaux affluents étaient des obstacles à la circulation, mais à chaque gué, se trouvait un campement. Les campements traditionnels et leurs zones de cultures n'étaient donc pas distribués linéairement le long des rivières, mais dispersés dans le paysage.

L'administration coloniale française succéda en **1916** à l'administration coloniale allemande. Le paysage changea, avec l'ouverture de routes et le développement de la culture de cacao le long de ces routes par les petits agriculteurs. Le principal objectif de leur construction était d'accroître les exportations, de faciliter la perception des impôts sur le revenu et de stabiliser les agriculteurs pratiquant une agriculture itinérante. L'agriculture a alors fait un bond considérable : le caoutchouc et l'huile de palme sont de nouveau exploités; les cultures du cacao, du café, de la banane et du palmier à huile sont encouragées. De nombreux centres agricoles sont créés pour former des conseillers affectés auprès des paysans. La forêt est exploitée.

Fig. 16 : Localisation du site indonésien (Lampung).



Depuis l'indépendance (1960) on assiste à un exode rural massif. La population diminue dans les zones les moins peuplées, alors que les zones les plus peuplées bénéficient d'un taux démographique positif (ORSTOM, 1995). Les mouvements de population vers les centres urbains, surtout Douala et Yaoundé, sont très importants; les jeunes notamment quittent les régions rurales pour chercher du travail en ville.

3. Le site de Sumatra : Lampung

3.1. Localisation du site

Le site est situé dans la province de Lampung, au Sud de Sumatra (*Fig. 16*). Couvrant une superficie de 33 307 km², cette province est limitrophe avec les provinces de Sumatra Sud, Sunda Strait, Bengkulu et avec la mer de Java. Sa capitale est Bandar Lampung.

3.2. Caractéristiques générales du milieu naturel

3.2.1. Caractéristiques physiques du milieu naturel

Le site de Sumatra connaît un climat équatorial humide avec des précipitations annuelles supérieures à 2 000 mm et une humidité moyenne de 88%.

Le relief est généralement plat; seule la partie la plus à l'Est de la province présente un relief accidenté. Les plus hautes montagnes, -Tanggamus, Tebak (2215m), Rajabasa, Seminung, Pesagi et Ratai- sont des volcans éteints.

Les sols possèdent généralement une faible fertilité (surtout dans les zones de transmigration).

3.2.2. Caractéristiques biologiques du milieu naturel

L'Indonésie recèle d'une considérable richesse biologique; elle abriterait à elle seule 325 000 espèces connues (Ministry of Forestry, Republic of Indonesia, 1991). Cette diversité est le résultat de la multiple origine des espèces, asiatiques, australiennes ou locales. Elle a été influencée par des facteurs géologiques et climatiques qui ont créé des biotopes très variés.

A Sumatra, les forêts sempervirentes de plaine dominant. Cet écosystème doté d'une flore et d'une faune diversifiées est constitué de façon prépondérante, dans l'étage supérieur, par la famille des Diptérocarpacées (notamment le *Meranti*). On y dénombre également de nombreuses plantes grimpantes dont les palmiers rotang (rotin) et les épiphytes.

Le rôle joué par l'homme est incontestable et sans doute majeur : l'utilisation du feu a favorisé plus ou moins volontairement des espèces résistantes comme le Teck (*Tectona grandis*) ou *Pinus merkusii*. D'autre part certaines espèces « utiles » ont été introduites à diverses époques comme *Cocos nucifera*, *Theobroma cacao* et plus récemment *Hevea brasiliensis*.

3.3. Contexte humain

3.3.1. Caractéristiques socio-économiques

La population totale de la province atteignait 6 018 000 habitants en 1990 d'après le Central Bureau of Statistic.

La densité de population est très forte; elle était en 1990 de 181 habitants/km² sur l'ensemble de la province de Lampung. Le Nord de la province a une densité un peu inférieure allant de 50 à 100 habitants/km². Il y a un fort déséquilibre entre des grands périmètres de plantations qui sont des déserts démographiques et les installations de transmigrants densément peuplées.

Le taux de croissance démographique durant la période 1980-1990 était de 2,67%.

La province de Lampung est encore une des moins urbanisées d'Indonésie avec environ 10% de taux d'urbanisation soit la moitié de la moyenne de Sumatra.

La région de Lampung est de plus en plus intégrée dans l'économie nationale et connectée à la côte industrialisée javanaise. Les plantations agro-industrielles ont créé de grandes opportunités d'emplois et ont introduit la modernité par la réalisation d'infrastructures onéreuses et la mécanisation. La croissance économique est de 9,4%.

Les exportations concernent principalement le café, le bois, le caoutchouc et le poivre.

3.3.2. Occupation et mise en valeur du territoire

Il ne reste plus qu'une forêt relictuelle le long des fleuves.

L'espace a été divisé de façon très organisée : des populations de transmigrants ont été installées entre de larges périmètres agro-industriels. L'étendue de ces périmètres agro-industriels est considérable.

Les principales productions agricoles de la région sont le riz, le maïs, l'arachide et le petits pois; les cultures de rente sont la noix de coco, l'hévéa et le poivre.

Des lots de 2 ha, de faible fertilité, ont été attribués aux agriculteurs transmigrants. La plupart de la production est destinée à leur autoconsommation. N'ayant pas assez de revenus, ces agriculteurs travaillent pour les plantations agro-industrielles.

Les villages se présentent sous forme de villages rue ou carrés.

Le paysage s'est énormément modifié dans le Nord de Lampung au cours des 60 dernières années, avec une disparition totale de la forêt.

3.4. Historique de l'occupation humaine

Parmi les provinces d'Indonésie, Lampung est celle qui a connu les plus grands changements dans l'occupation des sols. En un demi-siècle, Lampung a été sujette à une transformation et un développement radicaux, alors que la population décuplait, passant de 376 000 habitants en 1930 à 5 250 000 en 1986 (Benoit et al, 1989).

Jusqu'en 1845-1846, la région de Lampung était très peu peuplée : sa population atteignait environ 80 000 habitants, vivants sur 28 780 km² (86% de la province) soit une densité extrêmement faible de 2-3 hab./km².

A la fin du 20ème siècle, la densité était de 5 hab./km², mais la population était très

inégalement répartie. Les habitations étaient le plus souvent regroupées dans des villages, le long des rives de la rivière Tulang Bawang et de ses affluents, ainsi que sur l'étroite plaine côtière le long du détroit de la Sonde. L'économie de Lampung était basée sur une agriculture peu productive et beaucoup de produits étaient prélevés de la forêt.

En 1905, les premiers colons javanais arrivèrent, poussés par la forte pression démographique de Java (plus de 200 hab./km²), des difficultés d'accès à la terre et des productions de riz insuffisantes.

De 1905 à 1942, la région de Lampung fut un terrain d'expérimentation pour le "Kolonisation". La densité moyenne de population augmenta de 8 hab./km² en 1920 jusqu'à plus de 12 hab./km² en 1930. A cette époque (1930) les indigènes représentaient cependant toujours la majorité, constituant 58% de la population totale. La forêt occupait une large majorité de l'espace (75%), l'accès à la terre était difficile. L'économie locale était basée sur le "ladang", une agriculture sur brûlis où l'on cultive du riz ou des cultures de rentes, sur les sols alluviaux et près des voies navigables. L'habitat était toujours de type linéaire, suivant les côtes et les rivières. Les productions étaient exportées vers Menggala, capitale économique de Lampung (15 000 habitants), située sur la rivière Tulang Bawang, et vers la côte.

Durant cette première moitié de siècle, les terres cultivées sont en fait des mosaïques de forêt dégradée et de cultures.

Entre 1950 et 1969, de nouveaux processus de colonisation apparaissent initiés par la décision gouvernementale de coloniser la forêt pour des raisons sociales, économiques et politiques. Des mesures incitatives sont alors prises et des infrastructures construites pour permettre la pénétration à l'intérieur de la forêt.

200 000 personnes sont installées entre Punggur et Seputih Rurabaya durant cette période. Les gens quittent les abords des rivières et pénètrent à l'intérieur de la forêt. Il en résulte une fragmentation importante du couvert forestier. D'importantes surfaces de forêt sont abattues autour des grands sites d'occupation comme Panaragan et Ketapang. Le front de déforestation arrive par l'Est. Des centaines de villages sont construites suivant des modèles architecturaux simples datant de la colonisation : l'espace est divisé en damier, sans possibilité d'extension. La forêt représente alors 52,6% de la surface totale, les surfaces en mosaïques couvrent 39,8% et les 7,6% restant constituent des surfaces complètement déboisées. La plupart des surfaces en mosaïques ne sont plus le fait de l'agriculture itinérante mais d'une agriculture sur brûlis permanente.

Entre 1969 et 1985, le paysage est profondément bouleversé : le front de déboisement se déplace du Sud-Ouest vers le Nord-Est, et la plupart de la surface forestière disparaît; La surface en mosaïque (40,5%) remplace la forêt et des grandes plantations de canne à sucre et d'hévéa (9,1% de la surface totale) apparaissent.

L'origine de ces transformations est le lancement d'un programme de transmigration. De 1969 à 1974, le premier plan quinquennal, subventionné par la Banque Mondiale, décide l'exécution du projet Way Abung-Panaragan. 53 000 ha sont réservés entre Kotabumo et Menggala, pour le programme et 50 000 personnes sont installées. La région est alors couverte d'un réseau routier en étoile, tout au long duquel sont implantés des villages-rue. La colonisation planifiée par le programme de transmigration de Lampung s'achèvera avec la fin du second plan quinquennal (1974-1979) qui concerna moins de 11 000 personnes.

En 1979, commença le programme de Transmigration locale : les migrants n'étaient plus originaires de l'île de Java mais de la province de Lampung elle-même. La localisation de 110 villages a été choisie : chacun de ces villages pouvait accueillir de 400 à 500 familles auxquelles étaient alloués 2 ha chacun. Ces villages sont rectangulaires, divisés au centre en parcelles de 0,25 ha, réservées à la maison et au jardin, les terres autour étant découpées en

lots de 1,75 ha destinés aux cultures.

En 1996, la forêt a totalement disparu. Il ne reste plus qu'une forêt dégradée, rémanente, formée de petits patches isolés.

L'occupation dans la partie Nord de Lampung s'est ainsi transformée, passant d'installations linéaires le long des rivières à un paysage structuré par de grandes plantations industrielles et des villages rue ou carrés de transmigrants reliés par un dense réseau de routes.

CHAPITRE 4

MÉTHODOLOGIES APPLIQUÉES

1. Introduction à de nouvelles méthodes quantitatives

Devant l'intérêt croissant accordé aux problèmes environnementaux, notamment la perte de biodiversité, et plus généralement aux dynamiques spatiales, le développement de méthodes quantitatives nouvelles reliant les *motifs spatiaux* à des processus écologiques s'est révélé nécessaire (Turner et Gardner, 1989). Ces méthodes quantitatives, désormais élargies à d'autres domaines que l'écologie, permettent d'analyser les motifs spatiaux, de déterminer l'importance de processus spatialement explicites, de comparer différents paysages, et de mettre en évidence les relations entre processus fonctionnels et motifs de paysage. Elles sont basées sur l'utilisation d'indices numériques calculés sur des données spatiales.

1.1. Les sources de données spatiales

On dispose de divers outils qui permettent d'accéder à des données spatiales : photographie aérienne, télédétection spatiale, cartes...

La télédétection nous a semblé être un outil plus particulièrement approprié à l'étude de la fragmentation de la forêt, et plus généralement de la déforestation, car il permet d'observer la structure du paysage, à différentes échelles spatiales. L'analyse de données satellites de haute résolution offre des estimations précises de la composition et de la configuration du paysage et peut apporter, de surcroît, à travers l'étude de séquences temporelles d'images, des informations sur les changements d'occupation du sol.

1.2. Les indices de spatiaux

1.2.1. Définition

Afin de rendre compte de la structure spatiale d'un paysage et de la quantifier, on peut utiliser des indices ou indicateurs de structure. Ces indicateurs sont calculés à partir de formules prenant en compte le nombre de patches, leur périmètre ou leur surface, ou encore la distance les séparant. Ils rendent compte, sur une zone et une année donnée, de la représentativité spatiale d'une classe de physionomie végétale ou éventuellement de celle de l'ensemble des classes (Delcros, 1993).

1.2.2. Le logiciel FRAGSTATS

Dans notre étude, nous avons utilisé le logiciel FRAGSTATS qui est un ensemble de programmes d'analyse des motifs spatiaux, destiné à quantifier la structure du paysage.

- Le logiciel FRAGSTATS appartient au domaine public. Il a été mis au point par K. Mac Garigal et B.J. Marks (Forest Science Department, Oregon State University). Il a été développé pour des applications écologiques et, plus particulièrement, pour l'étude de l'écologie des paysages et la quantification de leur structure. Les indices calculés doivent

permettre de quantifier les dimensions, la géométrie et la distribution spatiale des polygones (patches) formant un paysage. Le programme accepte des données matricielles (raster) et vectorielles, classées selon des unités thématiques.

- Pour une mosaïque de paysage donnée, FRAGSTATS calcule trois groupes d'indices correspondant à trois niveaux de perception différents : certaines statistiques sont calculées pour chaque patch de la mosaïque; d'autres sont calculées sur chaque classe de patch; le troisième groupe d'indices concerne le paysage dans sa globalité.

Dans le cas de notre étude, la fragmentation des forêts est un processus à l'échelle du paysage, qui intervient sur la distribution et l'étendue de la forêt, donc d'un type de patch particulier. Les groupes d'indices caractérisant les classes seront donc particulièrement intéressants pour l'étude.

- Les indices calculés par FRAGSTATS sont des indices de surface, des indices de densité, de taille et de variabilité des patches, des indices de bords, des indices de forme, des indices de surface du noyau, des indices du plus proche voisin, des indices de diversité (les différents indices sont décrits dans l'*Annexe I*).

1.2.3. Typologie des indices

On peut distinguer deux grands types d'indices pour caractériser la structure d'un paysage : les indices de composition du paysage et les indices de configuration du paysage.

1.2.3.1. Indices de composition

Les indices de composition du paysage traduisent la variété et l'abondance des différents types de patches dans le paysage. Ils sont relatifs à la présence et à la quantité de chaque type de patches mais ne considèrent pas l'information spatiale. Ils ne renseignent pas sur l'agencement et la situation des patches, ni sur leur forme.

Ces indices sont les indices de surface et les indices de diversité.

1.2.3.2. Indices de configuration

Les indices de configuration du paysage renseignent sur la distribution physique des patches dans le paysage (densité, situation des patches les uns par rapport aux autres), et sur leurs caractéristiques de forme.

Ces indices sont :

- les indices de densité, de taille et de variabilité de la taille des patches.
- les indices de forme, qui caractérisent la configuration du paysage en terme de complexité de forme. On distingue 2 types d'indices décrivant la forme des patches : les indices qui comparent la forme du patch avec une forme standard (carrée ou circulaire), et les indices fractals. Les 2 types sont basés sur des relations périmètre/surface.
- les indices de bord.
- les indices du plus proche voisin, qui traduisent l'isolement des patches et leur distribution.

Les indices de surface du noyau indices renseignent à la fois sur la composition et sur la configuration du paysage.

2. Choix et traitement des données spatiales

L'outil d'observation du paysage choisi pour cette étude est la télédétection à l'aide de satellites à haute résolution spatiale.

2.1. Les données satellites disponibles

Les images satellites disponibles pour chacun des sites sont inventoriées ci-dessous (Fig. 17). Elles ont été traitées et classées par Imbernon. La classification a été dans un premier temps non supervisée (automatique) sur 200 classes. Puis, les classes ont été agrégées par photo-interprétation interactive, en s'appuyant sur des points de contrôle localisés sur le terrain avec un système de localisation (GPS). Ce travail a conduit à l'identification de 4 ou 5 classes. Cette phase de classification est essentielle, délicate et forcément incertaine. L'influence des incertitudes de seuillage n'a pas été étudiée.

Fig. 17 : Tableau des données satellites à haute résolution spatiale disponibles.

Pays	Site	Type d'image	Date	Résolution
Brésil	Theobroma (Rondônia)	LANDSAT MSS	1973, 1978, 1987	80m*80m
		LANDSAT TM	1993, 1994	30m*30m
		SPOT XS	1996	20m*20m
	Pedro Peixoto (Acre)	LANDSAT TM	1984, 1987	30m*30m
		SPOT XS	1992, 1996	20m*20m
Pérou	Pucallpa (Ucayali)	SPOT XS	1996	20m*20m
	Yurimaguas (Loreto)	SPOT P	1989	10m*10m
		SPOT XS	1995	20m*20m
Cameroun	M'Balmayo	SPOT XS (mosaïque de 4 images)	1995	20m*20m
Sumatra	Lampung	SPOT XS	1996	20m*20m

2.2. Choix des images

• Pour la comparaison entre les sites

Pour avoir un jeu de données homogènes et établir des comparaisons, une seule image à haute résolution (SPOT XS) a été sélectionnée pour chaque site. Nous avons de plus privilégié les dates les plus récentes :

Theobroma (Rondônia) : SPOT XS 1996.

Pedro Pleixoto (Acre) : SPOT XS, 1996.

Pucallpa (Ucayali) : SPOT XS 1996.

Yurimaguas (Loreto) : SPOT XS 1995.

M'Balmayo (Sud Cameroun) : SPOT XS 1995 (4 images mosaïquées).

Lampung (Sumatra) : SPOT XS 1996.

Fig. 18 : Découpage de deux images carrées (nommées "Yaoundé" et "Ambam") dans l'image SPOT couvrant le site de M'Balmayo, Cameroun.

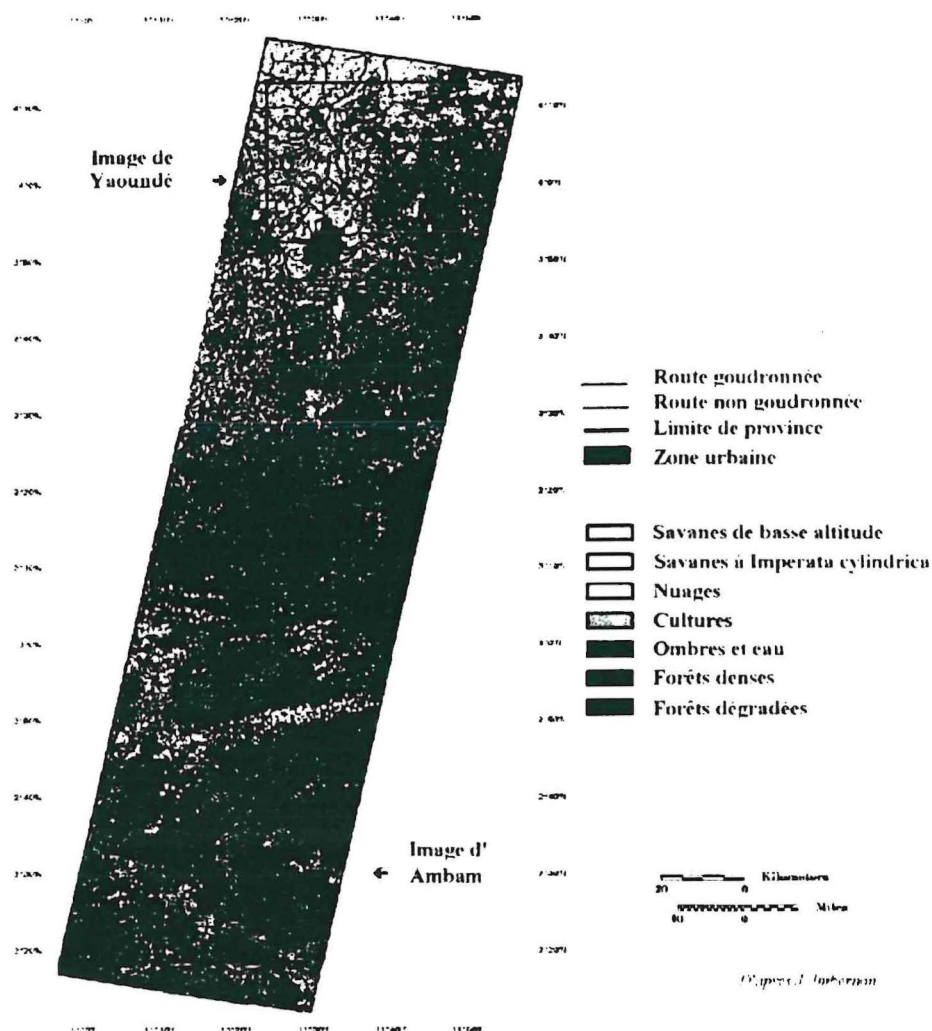
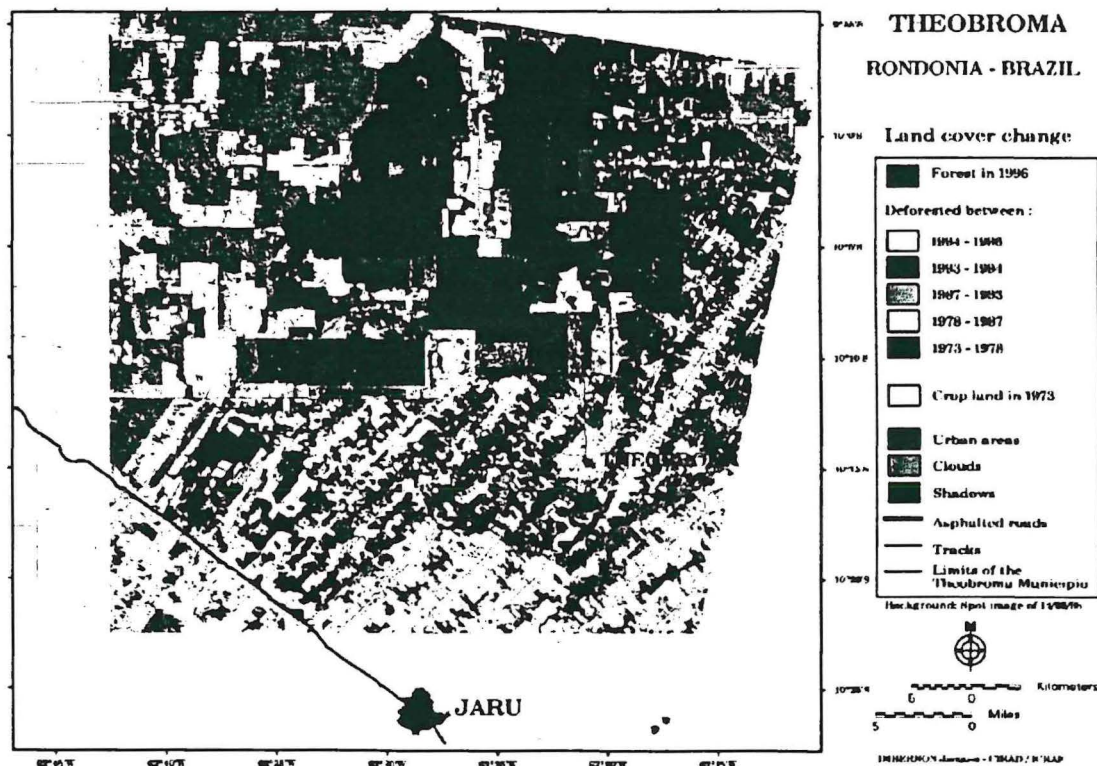


Figure 18

Fig. 19 : Découpage du Municipio de Theobroma pour l'étude spatio-temporelle, dans les images SPOT et LANDSAT couvrant le site (de 1973 à 1996).

La zone colorée correspond au Municipio de Theobroma et représente les changements de végétation; la zone grisée correspond au reste de l'image SPOT de 1996.



- **Pour l'étude spatio-temporelle**

Le site de Theobroma a été retenu car nous disposons pour ce site d'une séquence de 6 images qui couvre une période de 23 ans allant de 1973 à 1996 et nous offre la possibilité de suivre le processus de déforestation.

Toutes ces images ont été ramenées à une résolution de 20 m par rééchantillonnage spatial, mais le manque d'homogénéité lié à la résolution initiale des images sera un facteur d'erreur important dans l'analyse des indices.

2.3. Recodage des images

Dans l'étude spatiale de la déforestation par une activité agricole, des images binaires forêt/domaine agricole sont suffisantes. Les images ont donc été recodées pour n'obtenir que 3 classes : "Forêt", "Domaine agricole", et "Autre".

La classe "Forêt" représente la forêt primaire et la forêt secondaire.

La classe "Domaine agricole" comprend les terrains cultivés et les jachères.

La classe "Autre" regroupe les nuages, les ombres des nuages, les villes, les bancs sableux (cas de Yurimaguas et Pucallpa) et l'eau (rivières, plans d'eau).

Pour certaines images d'autres classes ont été rajoutées car elles ne pouvaient être assimilées ni à la forêt, ni au domaine agricole : c'est le cas des **savanes** sur le site de M'Balmayo, et des **plantations** sur le site de Lampung.

Pour l'analyse spatio-temporelle sur Theobroma, un masque de tous les nuages présents sur les images a été créé et reporté sur toutes les images afin de travailler sur les mêmes zones.

2.4. Découpage des images

- **Pour la comparaison inter-sites**

Afin de disposer d'un jeu de données homogènes, chaque image SPOT XS a été découpée en carré de 48 km de côté. Cette similarité de taille et de résolution permet une comparaison plus pertinente des différentes images.

Dans le cas du site camerounais de M'Balmayo, qui couvre une longue bande allant du Nord de Yaoundé à Ambam, deux images correspondant à la zone la plus au Nord et à la zone la plus au Sud ont été extraites et découpées; les images ont été rebaptisées respectivement Yaoundé et Ambam (Fig. 18).

- **Pour l'étude spatio-temporelle**

Il nous est apparu intéressant de n'étudier que la partie du site de Theobroma correspondant aux limites administratives du *municipio*, afin de pouvoir confronter les données spatiales avec les données socio-économiques.

Toutes les images ont donc été découpées pour avoir la même taille et couvrir la zone correspondant au *municipio* de Theobroma (Fig. 19).

Pour essayer de diminuer les effets de l'hétérogénéité de résolution spatiale, les patches de faible dimension (taille inférieure ou égale à 5 pixels) ont été supprimées sur toutes les images. Les images obtenues sont présentées dans l'Annexe 3.

2.5. Stratification des images

- **Pour la comparaison inter-sites**

Nous pouvons observer, que certaines images possèdent plusieurs types bien distincts de paysages. Pour évaluer cette variabilité interne, qui caractérise également le site, et si possible

stratifier de façon systématique chaque image suivant ces types de paysages, chacune des images a été subdivisée en 36 cellules (cellules) de 8 km par 8 km (400*400 pixels). Les dimensions ont été choisies de sorte qu'elles soient assez faibles pour pouvoir détecter les limites entre différents paysages, mais suffisantes pour correspondre à un motif spatial interprétable en terme d'occupation du sol. Les cellules ont été numérotées suivant leur position dans l'image, i étant la coordonnée suivant l'axe Est/Ouest ($i=1..6$), j étant la coordonnée suivant l'axe Nord /Sud ($j=1..6$). Les images des sites ainsi quadrillés sont représentées en *Annexe 2*.

- **Pour l'étude spatio-temporelle**

Une stratification de l'image a été réalisée visuellement à partir de l'image de 1996, en distinguant deux types différents d'occupation du sol et en s'appuyant sur le réseau routier qui semble à certains endroits marquer la séparation. La première strate, nommée " zone NO " correspond au ¼ Nord-Ouest de l'image; la seconde strate, nommée " zone S/E " correspond au reste de l'image (*Annexe 12*).

3. Calculs des indices spatiaux

Le logiciel FRAGSTATS offre le choix de donner un poids aux bordures (importance de la lisière pour le phénomène considéré) et de calculer les indices de la surface du noyau (si une largeur de lisière est mentionnée), les indices de proximité (le rayon doit être déterminé par l'utilisateur) et de plus proche voisin (*Annexe 1*).

Les **indices de bords** ne peuvent être calculés qu'en attribuant un contraste aux frontières entre patches de classes distinctes, destiné à donner plus ou moins d'importance aux frontières en fonction des types limitrophes. Vu le nombre limité de classes considérées et le but de l'analyse qui porte plus sur la caractérisation de la structure spatiale que celle de la fonction du paysage, ces indices de bords ne nous apporteront aucune information. Donc aucun poids n'a été attribué aux bordures des patches et les indices de bordure n'ont pas été calculés.

Les **indices de la surface du noyau** sont intéressants si on choisit une largeur de bordure (lisière) ayant une signification biologique. Certains auteurs (Jeanjean et al., 1994; Skole et Tucker, 1993) semblent considérer que les effets de lisières agissent jusqu'à 1 km de la bordure forêt/non-forêt. D'autres estiment qu'un effet de lisière peut se faire sentir à 10 km de la bordure (FAO). Nous avons choisi de conserver la distance de 1 km qui est la plus communément utilisée.

Dans le calcul de l'indice de proximité, nous avons également choisi un rayon de 1 km.

- **Pour la comparaison inter-sites**

Les indices ont été calculés à la fois sur l'image entière et sur les 36 cellules de chaque image. Les indices de surface du noyau ont été calculés sur les images entières mais pas sur chaque cellule, la taille d'une cellule n'étant pas suffisante pour de tels calculs.

Les indices de proximité et de plus proche voisin n'ont pu être calculés pour les images entières, car l'espace réservé par FRAGSTATS pour stocker les fichiers de distances s'est avéré insuffisant.

- **Pour l'étude spatio-temporelle**

Les indices ont été calculés aux différentes dates pour l'image entière et pour les deux strates

prises séparément.

Les résultats donnés par FRAGSTATS se présentent sous forme de 4 fichiers : un premier concerne les patches, un autre les classes, le troisième l'ensemble du paysage. Enfin, un autre fichier synthétise les trois précédents.

4. Elaboration de tableaux d'indices

Les données contenues dans les fichiers des classes et du paysage créés par FRAGSTATS sont peu ou pas lisibles; elles ont été transférées sous EXCEL afin de faciliter le traitement.

- **Pour la comparaison entre les sites**

Un tableau synthétique a été réalisé pour chaque site, contenant les indices calculés sur les 36 cellules de l'image.

Deux autres tableaux ont été créés :

- un premier répertoire, pour tous les sites, les indices calculés sur l'image entière (*Annexe 8*);
- un autre répertoire, pour tous les sites, les indices calculés sur toutes les cellules.

- **Pour l'analyse spatio-temporelle** deux tableaux ont été créés :

- un premier répertoire, les indices calculés sur l'image entière pour toutes les dates (*Annexe 13*);
- un autre répertoire, pour toutes les dates, les indices calculés sur les deux strates (*Annexe 14*).

Pour tous ces tableaux, seuls ont été gardés les indices calculés sur les classes "forêt" (rebaptisés du nom de l'indice suivi de c1) et "domaine agricole" (rebaptisé du nom de l'indice suivi de c2), ainsi que les indices de paysage (rebaptisé du nom de l'indice suivi de p).

Certains indices ont été éliminés de tous les tableaux : la surface de chaque classe (redondant avec le pourcentage occupé), la surface totale du paysage (toutes les images ont la même dimension), les densités de patches (redondant avec le nombre de patches pour la comparaison uniquement), la densité et le total de haies (redondants avec l'indice de forme LSI), les indices où sont considérés les poids des bordures et tous les indices de diversité car ces derniers sont relatifs au nombre de classes présentes dans le paysage et à l'agencement de ces différentes classes entre elles (notre analyse ne porte que sur deux classes).

L'indice de Matheron (MI) a été rajouté car c'est celui utilisé par le projet TREES (Jeanjean et al., 1994) comme indice de fragmentation. La formule de cet indice, calculé sur la classe forêt, est :

$$MI_{c1} = \frac{\text{nombre d'interface forêt/non-forêt}}{\sqrt{\text{surface de la classe forêt} * \text{surface totale du paysage}}} * 100$$

5. Choix des indices pour la comparaison quantitative entre les sites

5.1. Comment comparer quantitativement des paysages de fragmentation?

Sur le plan qualitatif on pourra, comme dans le projet TREES, distinguer visuellement un type de fragmentation diffus d'un type de fragmentation linéaire. L'oeil synthétise les informations présentes dans l'image pour trouver un motif spatial à l'échelle du phénomène considéré, récurrent à l'intérieur de l'image, et qui différencie cette image d'une autre.

Mais on cherchera dans cette étude à comparer quantitativement des paysages de fragmentation. Le nombre d'attributs caractérisant un motif étant très élevé, il faudra donc synthétiser l'information spatiale en trouvant des caractéristiques moyennes ou des indices qui, sans être exhaustifs, donnent une bonne représentation de ce motif. Quantitativement, ce sera un indice ou une combinaison d'indices numériques que l'on retrouve dans plusieurs endroits de l'image.

Pour détecter un motif spatial récurrent, on peut considérer les caractéristiques spatiales des patches et déceler celles qui se répètent. Cependant, par une telle démarche, on perd les informations de spatialisation : localisation des patches à l'intérieur de l'image et relation entre ces patches. De plus, la complexité des images traitées et le nombre de patches pourrait rendre le traitement des données difficile; d'ailleurs, le logiciel FRAGSTATS n'a la possibilité d'attribuer aux patches que 32 700 identificateurs différents, si bien que, pour certaines images, deux patches peuvent avoir le même identificateur. Il devient alors impossible de les repérer géographiquement.

Pour éviter ces problèmes nous avons choisi d'utiliser les caractéristiques spatiales des cellules et de garder uniquement les indices de classes et de paysages, qui synthétisent les indices calculés sur les patches. Les dimensions des cellules ont été choisies en fonction du phénomène de fragmentation, et le motif spatial sera donc détecté à cette échelle.

5.2. Choix des indices : traitements statistiques des données

Pour les raisons évoquées précédemment, nous avons choisi de considérer les indices calculés sur les cellules pour pouvoir sélectionner ceux qui discriminent les images entre elles, et les caractérisent. Tous les traitements suivants ont donc été réalisés sur le tableau répertoriant pour tous les sites les indices calculés sur toutes les cellules.

Le but est de n'avoir qu'un petit nombre d'indices différenciant au mieux les sites entre eux et apportant des informations différentes. Or, à ce niveau de l'étude, nous avons encore 61 indices calculés.

⇒ Elimination de certains indices fortement corrélés

Une matrice de corrélation a été établie sur les indices de tous les sites réunis pour identifier les indices fortement corrélés entre eux (r^2 supérieur à 0,9). Il n'a été conservé qu'un seul indice parmi les indices corrélés (*Annexe 4*). A l'issue de cette opération, il ne reste plus que 42 indices dans le tableau de synthèse de toutes les cellules de tous les sites, et 35 dans le tableau des images entières. Notons que la réalisation d'une analyse en composantes principales aurait pu simplifier cette étape.

⇒ Réalisation de graphiques d'observation des différences entre les sites

La moyenne par site de l'indice a été calculée et représentée sur des graphiques de valeur de

l'indice en fonction du site (*Annexe 5*). Ces graphiques permettent d'identifier visuellement les indices qui différencient les sites entre eux.

Le nombre d'indices étant encore important, nous avons choisi d'effectuer une **étude statistique**. Certains auteurs ont choisi pour cela d'effectuer une analyse factorielle en composantes principales (Ritters et al, 1995), mais l'inconvénient d'une telle méthode statistique est l'interprétation des axes. Notre choix a été porté sur une analyse de variance.

⇒ **Réalisation d'une analyse de variance à un seul facteur**

Une analyse de variance (ANOVA) permet de trouver les indices qui différencient le mieux les différents sites entre eux, c'est à dire ceux pour lesquels la variabilité intra-site est minimale et la variabilité inter-sites est maximale.

Les conditions de normalité, d'homoscédasticité et d'indépendance des échantillons de l'ANOVA n'ont pas à être testées puisque l'on compare les rapports des variances intra-site et inter-sites (F) des ANOVA sur chaque site. On ne cherche pas à savoir si les différences de valeur de l'indice entre les sites sont significatives, mais on cherche les indices qui traduisent le mieux les différences entre les sites.

Cependant, pour les indices dont on a des valeurs proches de 0, l'analyse de variance peut-être faussée. Dans ce cas une transformation logarithmique des données a été réalisée avant d'effectuer l'ANOVA (indices MPI, MPS, PSSD, NNSD). Les points aberrants ont également été enlevés.

⇒ **Classement et sélection des indices**

La sélection a été effectuée en considérant les 3 critères suivants :

- indices avec les F les plus grands. Ce sont les indices qui différencient le mieux les sites (*Annexe 6*).
- indices faiblement corrélés entre eux ($r^2 < 0,5$).
- indices de chaque type : configuration et composition, ayant donc des valeurs interprétatives distinctes.

5.3. Evaluation des différences significatives

Par le test "F" de l'ANOVA, on peut tester globalement l'effet de l'indice étudié. Si ce test est significatif, on sait alors que deux au moins des modalités (les sites) diffèrent. L'Analyse de Variance permet donc de détecter l'existence d'une hétérogénéité au sein des sept moyennes de l'indice des différents sites. Cependant on ne sait pas quels sites se distinguent des autres. L'étape suivante consiste à identifier les moyennes qui diffèrent significativement les unes des autres.

Les échantillons (les cellules) pris dans chaque site n'étant pas indépendants, il n'existe pas de méthode statistique qui permettent de détecter si la différence pour un indice entre les moyennes de deux sites est significative. On peut cependant utiliser des méthodes statistiques pour avoir une idée des sites qui sont différenciés par tel ou tel indice.

Parmi les méthodes les plus courantes, figure la méthode de la "plus petite différence significative" (ppds) :

$$Ppds = t_{0,95/2(2n-2)} * RACINE(2 * sw / n)$$

sw = variance intra-site

n = nombre d'échantillons (252)

Cette méthode a l'inconvénient de lier les comparaisons de moyennes et de ne pas tenir compte du fait que l'on effectue plusieurs comparaisons de moyennes.

Les ppds ont été calculées et reportées sur les graphiques représentant la valeur de l'indice sélectionné en fonction du site. On considère que deux sites diffèrent pour un indice donné lorsque la différence des moyennes de cet indice est supérieure à deux fois la ppds.

6. Choix d'indices pour l'analyse spatio-temporelle du site de Theobroma

Dans ce cas, il s'agit de comparer les paysages d'un même site à des dates différentes, et de suivre le processus de fragmentation du couvert forestier.

Le nombre d'images étudiées étant trop faible, une sélection statistique des indices s'avérerait peu efficace. Les indices ont donc été choisis en regard du phénomène étudié : l'étendue du couvert forestier (pourcentage de forêt), la taille des fragments de forêt (taille moyenne des patches de forêt), nombre de fragments de forêt (nombre ou densité de patches de forêt), le nombre et la taille moyenne des patches de domaine agricole, la forme et complexité de la forme des patches (dimension fractale, indices de Matheron) et les indices de spatialisation (distance au plus proche voisin) seront étudiés.

L'étude de la corrélation entre ses indices de structure pourra apporter également des informations.

Récapitulatif de la démarche méthodologique

Comparaison inter-sites

Analyse spatio-temporelle

1/ Choix des images et traitement des images

• Choix des images à étudier

- Une image par site
- Images de la même résolution
- Images les plus récentes

Plus grande séquence temporelle possible, commençant si possible au début du processus considéré.

• Recodage des images en 3 classes :

« Forêt », « Domaine agricole » et « Autre » (nuages, villes...)

Report des nuages de chaque date sur toutes les images

• Découpage des images et stratification

Sélection dans chaque image d'un carré de même taille (48 km).

Découpage du *municipio* de Theobroma.

Division des images en 36 cellules de 8km*8km.

Stratification visuelle en 2 zones.

2/ Calculs des indices

Sur chaque site :

- sur l'intégralité de l'image
- sur les 36 cellules

A chaque date :

- sur toute l'image
- sur chacune des strates

3/ Elaboration de tableaux synthétiques

Pour l'intégralité des images et pour les cellules (inter-sites) ou les strates (intra-site).
Elimination des indices redondants et prise en compte de l'indice de Matheron.

4/ Choix des indices

- avec les F les plus grands après ANOVA;
- faiblement corrélés ($r^2 < 0,5$);
- de chaque type : configuration et composition.

Choix des indices en fonction du phénomène étudié (la fragmentation) et des spécificités des sites.

- nombre et taille moyenne des fragments de forêt;
- nombre et taille moyenne des fragments de domaine agricole;
- dispersion et forme des fragments.

Partie II

TRAITEMENTS ET RÉSULTATS

CHAPITRE 5	CARACTERISATION ET COMPARAISON QUANTITATIVE DES SITES	67
1. Choix définitif des indices.....		67
2. Comparaison visuelle des paysages des sites.....		68
3. Analyse et comparaison quantitative.....		69
3.1. Comparaison quantitative des sites		69
3.2. Etude de la variabilité interne des sites		71
3.3. Synthèse de l'analyse quantitative site par site		79
CHAPITRE 6	ANALYSE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE APPLIQUEE AU SITE DE THEOBROMA	85
1. Analyse visuelle de l'évolution du paysage		85
2. Analyse quantitative de la dynamique spatiale		86
2.1. Indices conservés pour l'analyse quantitative		86
2.2. Analyse des indices		87
2.3. Récapitulatif de l'évolution des motifs spatiaux entre 1973 et 1996		96
2.4. Apports et limites de l'analyse quantitative de la dynamique spatiale.....		97
3. Mise en relation avec le processus de déforestation		98
3.1. 1973 : la forêt omniprésente		98
3.2. 1973 - 1978 : début de la déforestation par des petits agriculteurs		99
3.3. 1978 - 1987 : début de la déforestation par les "fazendeiros"		99
3.4. 1987 - 1996 : poursuite du processus et accélération des déboisements à partir de 1994		99

Fig. 20 : Images des sites étudiés.

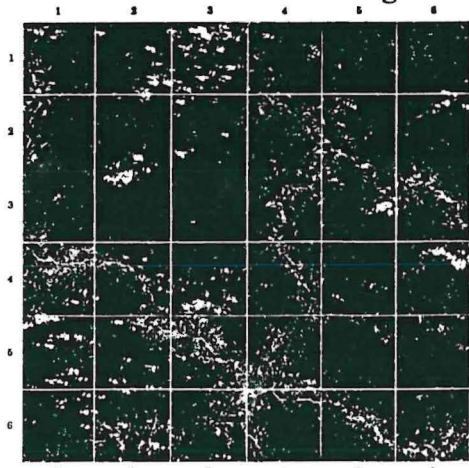


Image du site d'Ambam (Cameroun)

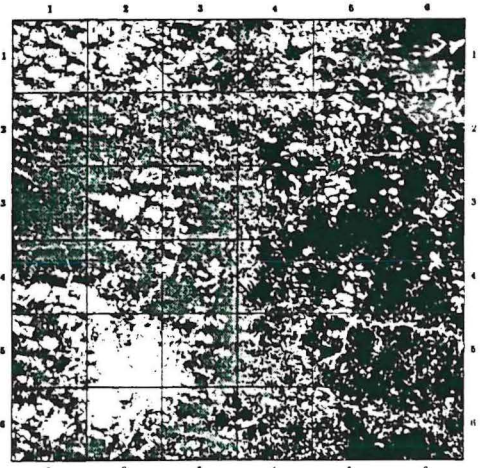


Image du site de Yaoundé (Cameroun)

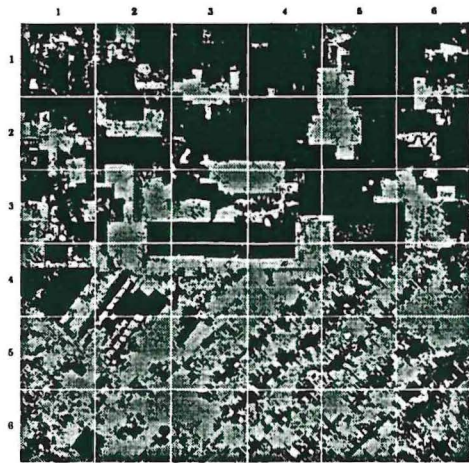


Image du site de Theobroma (Rondônia, Brésil)

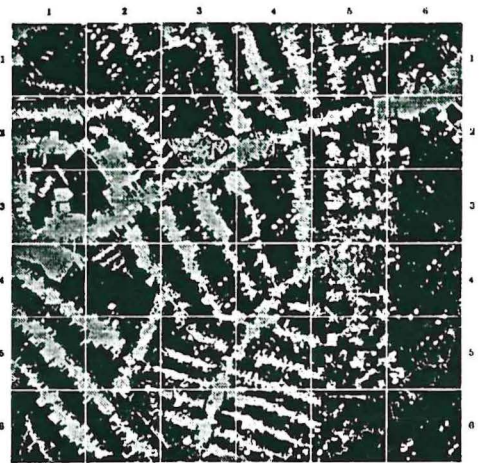


Image du site de Pedro Peixoto (Acre, Brésil)

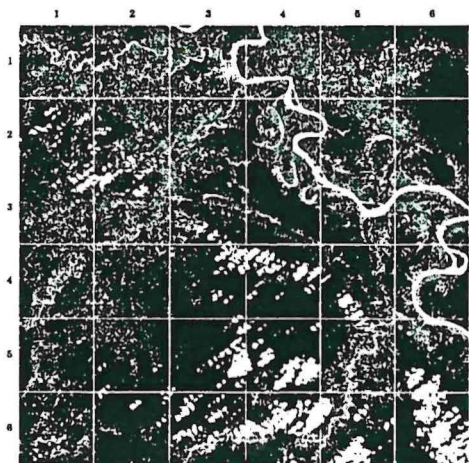


Image du site de Yurimaguas (Loreto, Pérou)

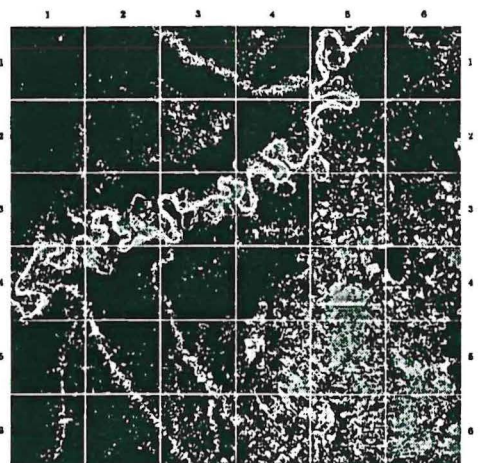
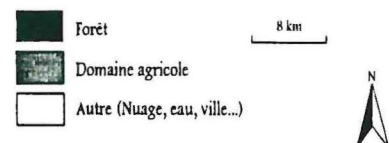


Image du site de Pucallpa (Ucayali, Pérou)



⇐ Image du site de Lampung (Sumatra, Indonésie)



CHAPITRE 5

CARACTÉRISATION ET COMPARAISON QUANTITATIVE DES SITES

Tous les sites étudiés sont soumis à des processus de déforestation. Les motifs de paysage forêt/non-forêt qui en résultent apparaissent visuellement très différents d'un site à l'autre (*Fig. 20*). Certaines images montrent de plus des motifs de paysage différents à l'intérieur de l'image.

Cependant la caractérisation et la comparaison visuelle de ces motifs restent subjectives; elles sont sujettes à des interprétations personnelles et ne constituent pas une base uniforme. Une approche quantitative des paysages devrait permettre de réduire voire enlever la part de subjectivité.

Nous verrons d'abord quels sont les indices qui ont été sélectionnés à l'issue du traitement décrit dans la méthodologie. Puis nous comparerons les différents sites en analysant lorsqu'il y a lieu la variabilité interne de l'image, visuellement dans un premier temps, puis à l'aide des indices spatiaux.

1. Choix définitif des indices

Les indices ont été choisis sur 3 critères évoqués dans la partie méthodologie : (1) valeur du F de l'ANOVA élevée; (2) indices peu corrélés; (3) indices de chaque type (configuration, composition).

Le pourcentage de forêt (%LANDc1, indice de composition, de surface), le nombre de patches de domaine agricole (NPc2, indice de composition, de densité), la dimension fractale de l'ensemble des patches du paysage (DLFDp, indice de configuration et de forme), la taille moyenne des patches de domaine agricole (MPSc2, indice de configuration et de taille); l'écart type des distances au plus proche voisin des patches de forêt (NNSDc1, indice de configuration, de distance au plus proche voisin), ont été sélectionnés suivant ces 3 critères.

Enfin, nous avons conservé un indice de complexité de forme calculé à partir du ratio périmètre/aire : l'indice de Matheron (MIc1) qui semble bien approprié puisque qu'il est caractérisé par un F élevé et qu'il sera intéressant de comparer avec le projet TREES.

En ce qui concerne les indices de distance au plus proche voisin et de proximité, le NNSDc1 a le défaut de ne pas être facilement interprétable. Il serait plus parlant de considérer la moyenne des distances au plus proche voisin (MNNp) et l'indice de proximité (MPIc1). Ces indices sont cependant bien corrélés avec d'autres indices déjà cités.

Nous conserverons donc :

- **Le nombre de patches de domaine agricole (NPc2)**, qui est l'indice le plus discriminant.
- **La dimension fractale (DLFDp)** calculée par la régression $\log(\text{Périmètre})/\log(\text{Aire})$ qui est également fortement discriminante et caractérise la complexité du paysage;
- **L'indice de Matheron (MIc1)** qui constitue un indice de fragmentation du paysage.

- **Le pourcentage de forêt (%LANDc1)** qui donne une indication sur l'état de dégradation du couvert forestier.
- **La moyenne des indices de proximité sur les patches de forêt (MPIc1)**, qui traduit l'isolement des patches de forêt, mais a le défaut d'être fortement corrélée avec le pourcentage de forêt (%LANDc1) et risque de ne pas apporter beaucoup d'informations supplémentaires.
- **La taille moyenne des patches de domaine agricole (MPSc2)**.
- **La moyenne des distances au plus proche voisin sur l'ensemble des patches (MNNp)** qui est bien corrélée avec DLFDp et pourrait ne pas apporter beaucoup d'informations.

Cet ensemble de 7 indices devrait permettre de différencier les sites tout en traduisant des informations sur la structure des paysages et sur les motifs spatiaux.

2. Comparaison visuelle des paysages des sites

On peut utiliser la typologie de fragmentation établie par TREES pour décrire visuellement les différents paysages.

- Certains sites offrent des **paysages de fragmentation de type diffus** où de nombreux fragments de domaine agricole sont dispersés dans un fonds de forêt (ou réciproquement). C'est le cas de **Ambam** (*Annexe 2e*), où de nombreux petits patches de domaine agricole sont éparpillés dans la forêt, généralement suivant certains axes routiers (type **diffus/linéaire**). La forêt occupe sur ce site presque tout l'espace et constitue la matrice du paysage.

Le site de **Lampung** (*Annexe 2 g*) présente également ce type de paysage, mais sur ce site ce sont des petits fragments de forêts qui sont distribués dans le domaine agricole, suivant les axes des rivières (type **diffus/linéaire**). On remarquera sur ce site la présence de grandes plantations.

Le site de **Yaoundé** (*Annexe 2f*) présente aussi ce type de fragmentation (**diffus/massif**). Il comporte cependant 3 zones : une zone à l'Ouest avec des petits fragments de forêts se détachant d'une matrice de domaine agricole; une zone au Sud-Est avec des petits patches de domaine agricole dispersés à l'intérieur de la forêt; une zone au Nord-Est, difficilement définissable par un des types, avec un mélange savane/forêt/domaine agricole. Notons que des nuages couvrent une partie de l'image.

- D'autres sites montrent une fragmentation de **type linéaire**.

Le site de **Pedro Peixoto** (*Annexe 2a*) a un paysage très régulier, où alternent des bandes de domaine agricole et des bandes de forêt suivant un motif en "arêtes de poisson" et où la forêt est légèrement majoritaire (type **linéaire/massif**). La partie Est de l'image présente un aspect différent et elle est largement dominée par la forêt.

Le site de **Theobroma** (*Annexe 2b*) est divisé en deux paysages bien distincts. La zone Sud révèle un type de fragmentation **linéaire** similaire à celui de Pedro Peixoto, en "arêtes de poisson"; le domaine agricole occupe la plus grande partie de l'espace. La zone Nord de l'image est plutôt de type **insulaire** avec la présence de larges blocs de domaine agricole qui occupent un espace dominé par la forêt.

- Les sites péruviens de **Yurimaguas** et **Pucallpa** (*Annexes 2c et 2d*) présentent à la fois un type de fragmentation **linéaire**, le long des rivières (le domaine agricole forme une bande autour des fleuves), et un type **diffus** avec des patches de domaine agricole dispersés dans la forêt et des patches de forêt dispersés dans le domaine agricole. Les patches de domaines agricoles sont globalement plus petits et plus nombreux dans le site de Yurimaguas où le

paysage semble plus fragmenté. On peut noter la présence de nombreux nuages dans le Sud-Est de l'image.

On arrive donc à différencier visuellement la plupart des sites entre eux et à identifier, à l'échelle de l'image, différents type de motifs de fragmentation. Nous allons voir à présent quelles informations supplémentaires nous apporte une analyse quantitative.

3. Analyse et comparaison quantitative

Les valeurs des 7 indices sélectionnés ont été calculées au niveau de l'ensemble de l'image, et à une échelle plus fine que constitue la cellule de l'image.

Les images présentent parfois plusieurs types de motifs de paysage, correspondant à des utilisations du sol distinctes. Les valeurs calculées sur l'image auront donc une signification limitée. Il est donc important d'étudier la variabilité interne de chaque site et d'identifier les différents types de motifs de paysage présents à l'intérieur d'une image. L'échelle de la cellule apparaît alors plus adaptée.

3.1. Comparaison quantitative des sites

Les graphes de comparaison des sites se trouvent dans les Annexes 7 (valeurs de l'indice sur les cellules de l'image) et 8 (indices calculés sur l'image entière). Un tableau synthétique est présenté dans la figure 21.

Fig. 21 : Tableau synthétique de comparaison des sites.

Indice	Ambam	Pucallpa	Pedro Peixoto	Theobroma	Yurimaguas	Yaoundé	Lampung
NPc2							
DLFDp							
%LANDc1							
MIc1							
MPIC1							
MPSc2							
MNNp							

Le grisé des cellules est d'autant plus foncé que la valeur de l'indice sur l'image est grande.

Des sites ayant des gris différents sont significativement différents (si on considère les ppds).

3.1.1. Nombre de patches de domaine agricole (NPc2)

- Deux sites se distinguent par un grand nombre de patches de domaine agricole, bien supérieur à celui des autres sites : **Yurimaguas** et **Ambam**.

Dans le cas du site de **Yurimaguas**, le nombre de patches de domaine agricole atteint plus de 30 000 sur l'ensemble de l'image. Si on considère les cellules, il est presque toujours supérieur à 600 patches, - c'est à dire supérieur à celui de toutes les cellules de tous les autres sites (sauf Ambam).

Dans le cas **Ambam**, la valeur de l'indice avoisine les 18 000 patches (la moyenne sur les

cellules est de 520 patches).

- A l'opposé, le site de **Lampung** possède très peu de patches de domaine agricole par rapport aux autres sites (3 500 sur l'intégralité de l'image).

Pedro Peixoto en a également peu mais ne peut être vraiment différencié (si on considère les "ppds") que de **Theobroma**.

- Les sites de **Pucallpa**, **Theobroma** et **Yaoundé** ont des valeurs intermédiaires et relativement similaires sur l'intégralité de l'image.

3.1.2. Dimension fractale (DLFDp)

- Le site de **Lampung** se distingue toujours des autres sites avec une dimension fractale calculée sur l'image plus élevée que celle des autres sites.

Le site de **Yurimaguas** a lui aussi une dimension fractale relativement haute, légèrement plus faible que celle de Lampung.

- **Pedro Peixoto** a un indice fractal au contraire bien plus faible que les autres sites.
- **Ambam**, **Yaoundé** et **Pucallpa** ont des dimensions fractales intermédiaires très similaires, plus faibles que celles du site de **Theobroma** qui se différencie de tous les autres sites.

3.1.3. Pourcentage occupé par la forêt (%LANDc1)

- La forêt occupe une grande majorité de l'espace (87%) de façon relativement uniforme sur le site de **Ambam** : le taux de couvert forestier de chacune des cellules ne descend pas au-dessous de 66%.

Le site de **Pucallpa** est aussi largement boisé : la forêt occupe 74% de l'image.

La couverture forestière est encore majoritaire pour les sites de **Pedro Peixoto** et de **Yurimaguas** avec des taux respectifs de 65% et 61%.

- Dans le cas de **Theobroma** la forêt ne constitue plus que la moitié de la surface de l'image.
- Les sites de **Yaoundé** et de **Lampung** présentent des taux de forêt au-dessous de 50% : la forêt n'occupe que 31% du site de Yaoundé et 14% du site de Lampung.

3.1.4. Moyenne de taille de patches de domaine agricole (MPSc2)

La taille moyenne des patches de domaine agricole varie énormément entre les sites.

- Les deux extrêmes sont représentés par **Lampung** et **Ambam**, dont les moyennes respectives de l'indice sur l'image sont de près de 40 ha et de 1,5 ha.

- Le site de **Yurimaguas** se remarque également par la faible valeur de l'indice (2,2 ha en moyenne sur l'image), comparable à celle de Ambam.

- **Pucallpa** possède un indice un peu plus élevé en moyenne, de 6 ha.

- Les autres sites, **Theobroma**, **Pedro Peixoto** et **Yaoundé** ont des valeurs similaires entre 10 et 14 ha.

3.1.5. Indice de Matheron (MIc1)

- **Lampung** se différencie de tous les autres sites par un indice de Matheron fort (32) sur l'ensemble de l'image. **Yurimaguas** et **Yaoundé** ont également un indice de Matheron élevé (respectivement 27 et 19).

Ces sites possèdent donc une forêt très fragmentée sur au moins une partie de l'image.

- Parmi les autres sites, le site de **Pedro Peixoto** se distingue car il possède dans toute l'image un faible indice de Matheron (8). Le site de **Ambam** a une moyenne de l'indice assez similaire (10).
- Les sites de **Pucallpa** et de **Theobroma** ont eux aussi des valeurs faibles, à peu près équivalentes (respectivement 11 et 13).

3.1.6. Comparaison de l'indice de proximité (MPIc1)

- **Lampung** et **Yaoundé** diffèrent de tous les autres sites par un faible indice de proximité.
- Les autres sites ont des indices de proximité très similaires.
- Seul le site de **Ambam** se distingue avec un fort indice de proximité sur toute l'image.

3.1.7. Moyenne des distances au plus proche voisin (MNNp)

- Le site de **Pedro Peixoto** possède un fort indice du plus proche voisin, comparé aux autres sites.
- Les sites de **Yurimaguas** et de **Lampung** ont au contraire un très faible indice.
- Les autres sites ont des indices relativement identiques, intermédiaires avec plus ou moins de variabilité intra-site.

L'ensemble de 7 indices sélectionné parvient à discriminer tous les sites. Les sites de **Ambam**, **Yurimaguas**, **Lampung** et **Pedro Peixoto** se distinguent plus fortement que les autres, par un indice au moins très faible ou très fort par rapport à celui des autres sites.

Les autres sites (**Pucallpa**, **Theobroma**, **Yaoundé**) ont des valeurs intermédiaires mais présentent aussi une variabilité interne marquée : les valeurs moyennes, calculées sur l'image, ne représentent donc pas vraiment un motif spatial caractéristique. Une étude plus fine, au niveau de l'image, s'impose.

3.2. Etude de la variabilité interne des sites

Pour appréhender la variabilité interne d'un site, nous avons réalisé pour chaque indice des grilles carrées 6*6 correspondant au découpage de l'image en cellules. Les cellules ont été colorées en gris d'intensité proportionnelle à la valeur de l'indice (255 valeurs de gris). Nous avons ensuite délimité des zones dont la valeur de l'indice est strictement supérieure à la moyenne sur l'image (*Annexe 10*).

Cela nous a permis d'identifier des unités aux caractéristiques spatiales (groupe de valeurs d'indices) similaires. Pour identifier ces unités nous nous sommes basés en priorité sur les indices présentant un fort coefficient de variation et nous avons établi des filtres. Chacune de ces unités correspond à un motif de paysage différent.

Rappelons toutefois que les indices ont été choisis de façon à ce que la variance intra-site soit minimale et la variance inter-sites maximale. Ce ne sont donc pas les meilleurs indices pour étudier la variabilité interne.

Fig. 22 : Stratification du site de Pucallpa (Ucayali, Pérou).

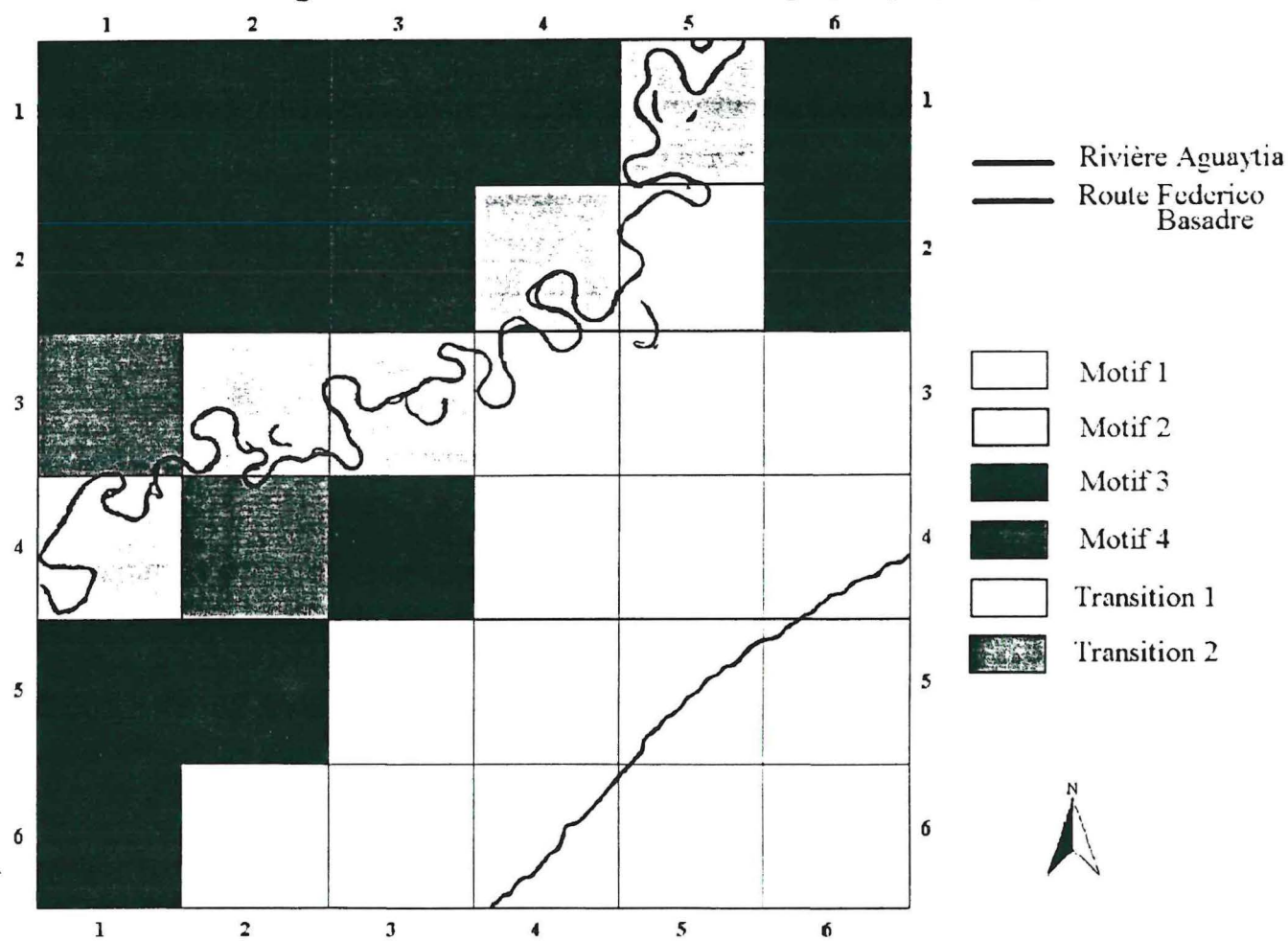
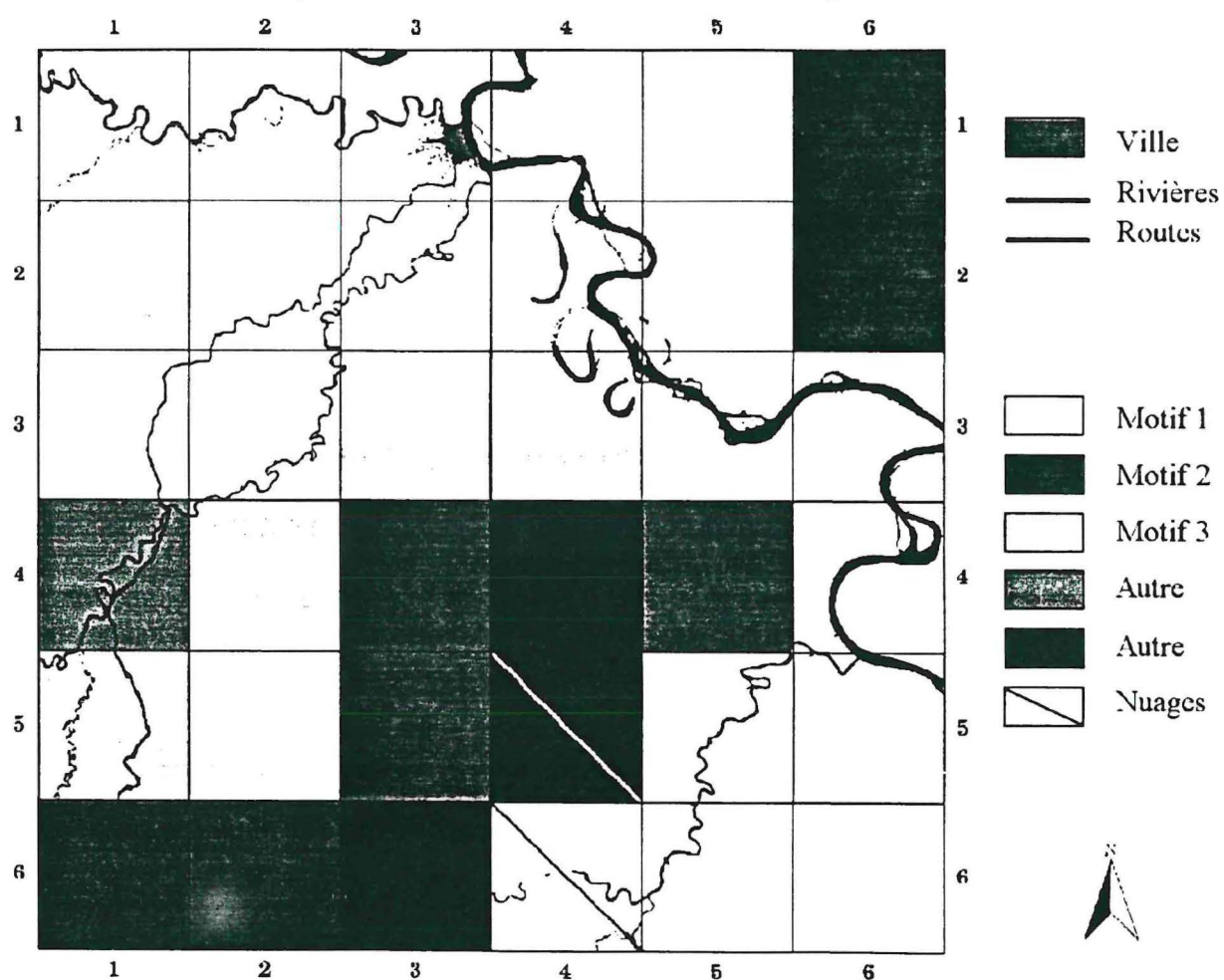


Fig. 23 : Stratification du site de Yurimaguas (Loreto, Pérou).



3.2.1. Site de Pucallpa (Fig. 22)

On peut identifier deux foyers d'occupation sur le site de Pucallpa (*Annexes 10a et 11a*). Ces centres se caractérisent tous deux par de forts indices fractal et de Matheron, un faible nombre de patches de domaine agricole de dimensions relativement grandes, un faible pourcentage de forêt, un faible indice de proximité et du plus proche voisin, comparés au reste de l'image.

- La première zone d'occupation (**motif 1**) coïncide avec la route Federico Basadre. La forêt y est peu abondante et fragmentée; le domaine agricole est composé de grands patches de taille moyenne supérieure à 15 ha.
- Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la route (jusqu'à la rivière) : le nombre de patches augmente puis diminue, la taille moyenne des patches de domaine agricole baisse, le pourcentage de forêt s'élève et devient supérieur à 50%, l'indice fractal et de Matheron diminue; le nombre de patches de domaine agricole diminue puis la distance au plus proche voisin augmente. Cette zone de transition (**transition 1**) peut-être évaluée si on considère la taille des cellules, à une dizaine de kilomètres maximum de largeur.
- La seconde zone (**motif 2**) correspond à la rivière Aguaytía. La dimension fractale et la proportion de forêt sont plus élevées que dans le motif de type 1, la taille des patches de domaine agricole est plus faible (6 à 10 ha).
- L'influence de la rivière apparaît plus limitée que celle de la route, elle agit sur la largeur d'une cellule, donc à un maximum de 4 à 5 km; les cellules limitrophes présentent des caractéristiques souvent très différentes (**transition 2**).
- On peut identifier un autre motif de paysage (**motif 3**) où le couvert forestier occupe presque tout l'espace. Le domaine agricole se présente sous forme de petits patches (<2 ha) dispersés. La fragmentation de la forêt est inexistante dans ces zones.
- On remarque également une petite zone particulière (**motif 4**) où l'on trouve beaucoup de patches de domaine agricole, groupés, entourés d'un couvert forestier important.

Cette stratification montre l'influence de la rivière Aguaytía et de la route Federico Basadre sur l'occupation agricole. La route semble être le centre d'installation humaine privilégié.

En retrait de la route et du fleuve, l'espace est presque inoccupé, excepté quelques endroits où on rencontre de nombreux petits patches relativement groupés.

3.2.2. Site de Yurimaguas (Fig. 23)

L'observation de la variabilité des indices dans l'image (*Annexes 10b et 11b*) nous amène à distinguer 3 motifs de paysage.

- Le **motif 1** se trouve le long des rivières, près de la ville de Yurimaguas. Ce sont des zones dominées par le domaine agricole, présentant une forêt fractionnée en fragments relativement isolés. On peut noter la présence d'un gradient, le long des rivières (surtout Shanusi et Paranapura) descendant pour l'indice de Matheron et ascendant pour le pourcentage de forêt avec la distance à la ville Yurimaguas.
- Le **motif 2** correspond à une zone éloignée des rivières et des routes. Cette zone présente un type de fragmentation diffus : la forêt est perforée par de nombreux petits patches de domaine agricole.
- Le **motif 3** est intermédiaire. Il se différencie du motif 2 par une dimension fractale plus forte et un faible indice du plus proche voisin; les patches de domaine agricole sont moins

Fig. 24 : Stratification du site de Pedro Peixoto (Acre, Brésil).

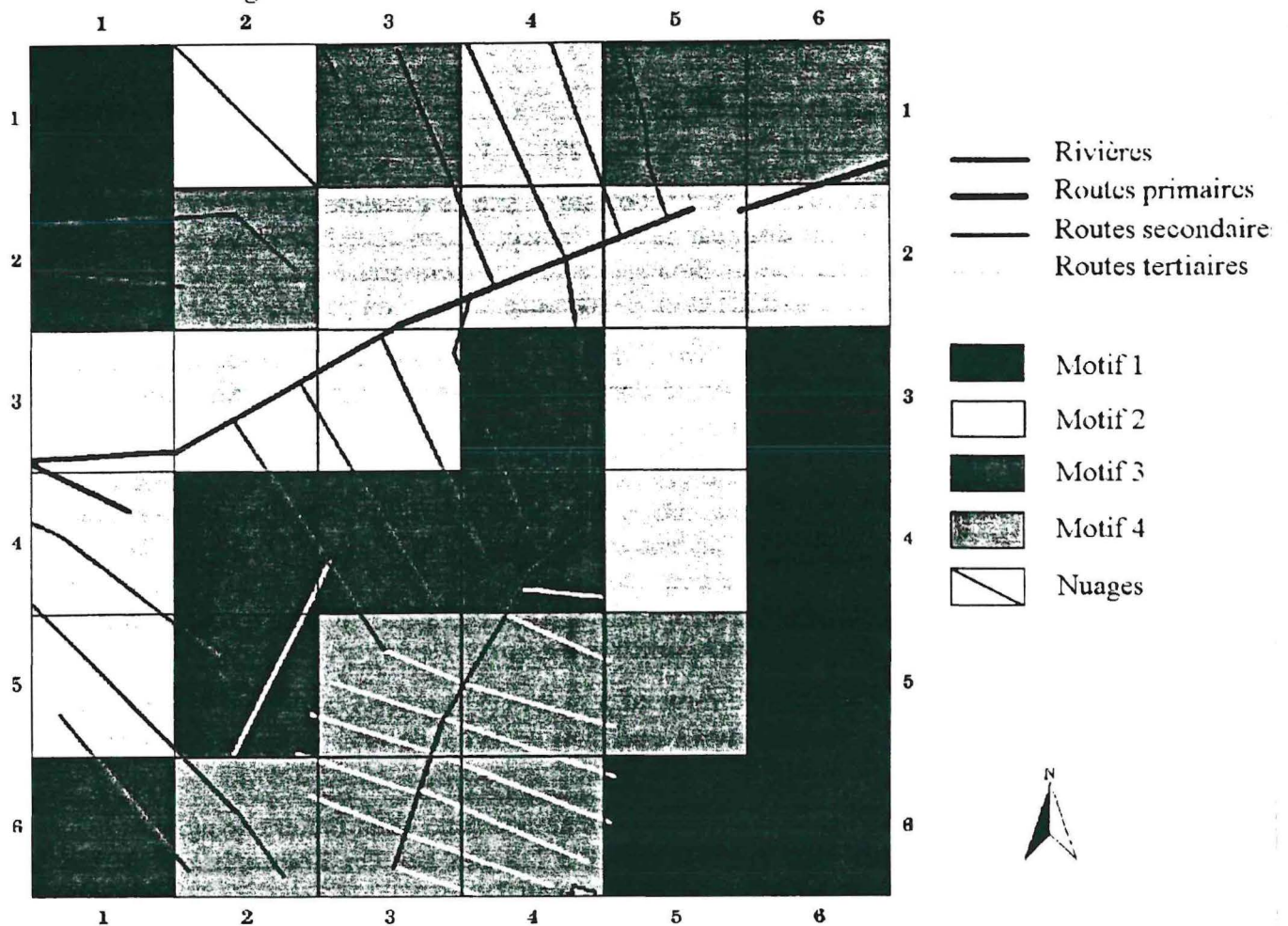
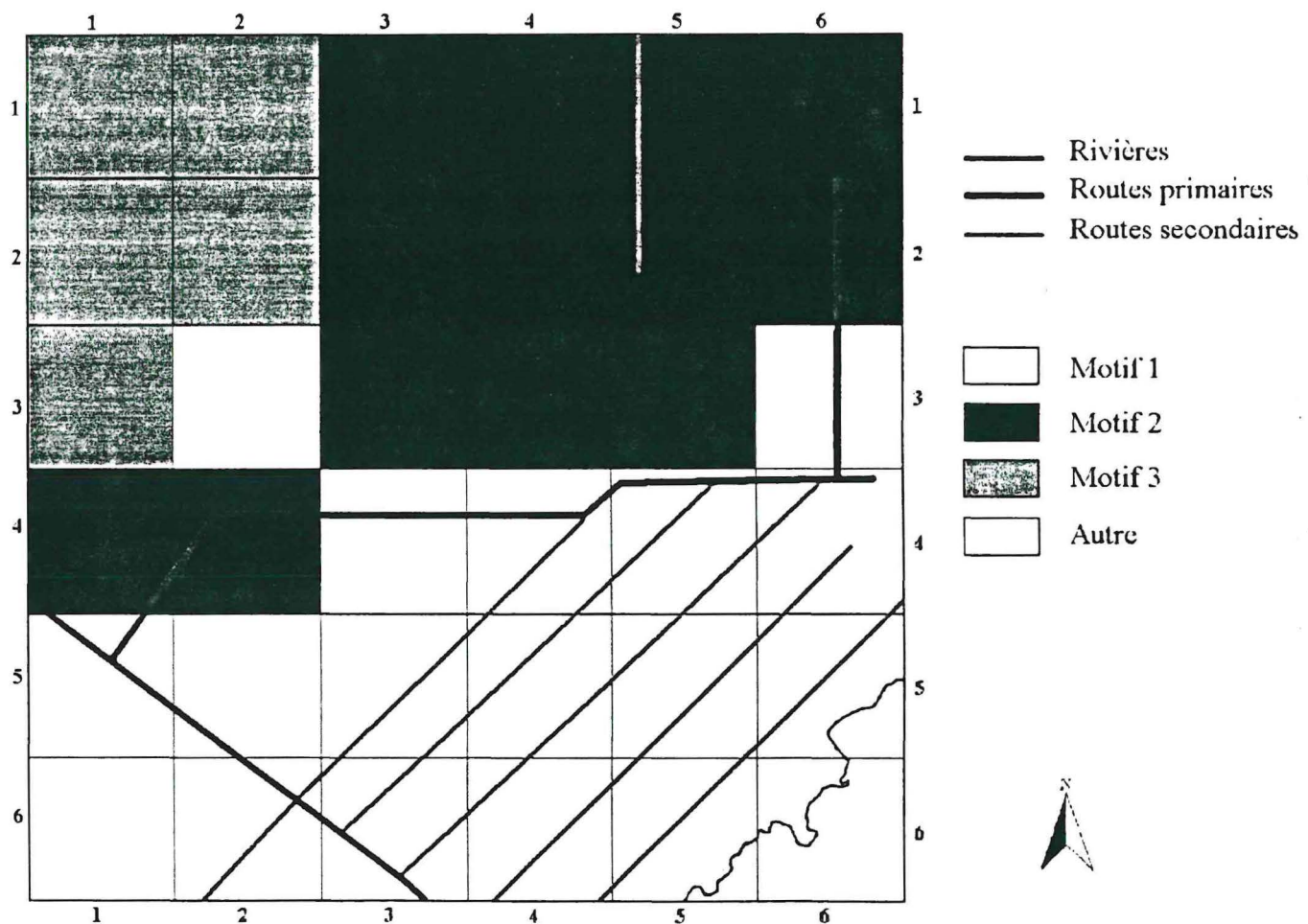


Fig. 25 : Stratification du site de Theobroma (Rondônia, Brésil).



isolés. Ce type est limitrophe au type 1.

- Certaines cellules de l'image peuvent difficilement être assimilées à ces 3 types et représentent des zones transitoires :

- la cellule 14 : elle correspond à une zone fluviale. Elle comporte peu de forêt, mais beaucoup de patches de domaine agricole de faible taille moyenne, les indices fractal et de Matheron sont élevés. Cette zone apparaît comme intermédiaire entre les types de motif 1 et 3.

- les cellules 44, 45, 36 : elles ont les mêmes caractéristiques que le motif 2 mais ont un nombre de patches de domaine agricole plus faible, la dimension fractale également (entre 1,35 et 1,37). Ces cellules sont encore plus éloignées de la ville et de la route et ne bénéficient pas de la proximité immédiate de la rivière Huallaga ou d'une rivière secondaire (sauf dans le cas de la cellule 36). Ces cellules sont cependant " polluées " par de nombreux nuages.

Cette stratification, montre l'influence combinée de la rivière et de la ville. On a un gradient d'intensité d'occupation par le domaine agricole qui diminue avec la distance à la ville et aux rivières.

3.2.3. Site de Pedro Peixoto (Fig. 24)

L'étude de la variabilité des indices dans l'image (*Annexes 10c et 11c*) nous a conduit à différencier 4 motifs :

- Le **motif 1** correspond aux zones presque entièrement couvertes de forêt (80 à 95%). Les valeurs les plus fortes de la dimension fractale sont localisées là où passe une rivière.

- Le **motif 2** correspond à la route principale. Il est surtout caractérisé par une taille moyenne des patches de domaine agricole élevée (supérieure à 20 ha).

- Le **motif 3** se différencie du précédent type par sa taille moyenne des patches de domaine agricole plus faible. Le pourcentage de forêt est également supérieur. Il correspond à des ramifications secondaires du réseau routier.

- Le **motif 4** a été différencié des 2 types précédents par une taille des patches de domaine agricole encore inférieure. Il se rencontre au niveau des ramifications tertiaire du réseau routier.

Le site de Pedro Peixoto est structuré par son réseau routier. Il apparaît cependant relativement homogène par rapport aux autres sites à la vue des indices sélectionnés, et la stratification n'a pu se faire qu'en considérant la taille moyenne des patches de domaine agricole. Les indices mathématiques semblent indiquer une homogénéité de fragmentation (indice de Matheron, distance au plus proche voisin) et de composition (pourcentage de forêt).

3.2.4. Etude de la variabilité interne du site de Theobroma (Fig. 25)

Une distinction très nette apparaît entre deux types de structures spatiales, correspondant à la zone Nord et zone Sud de l'image (*Annexes 10d et 11e*).

- Le **motif 1** est localisé dans la partie Sud de l'image. De grandes unités de domaine agricole occupent la majorité de l'espace et la forêt est plus fragmentée qu'ailleurs.

- Le **motif 2** correspond à la moitié Nord de l'image; il est caractérisé par un nombre moyen de patches de domaine agricole dispersés dans un environnement plutôt forestier, et par un faible indice de Matheron. Il y a cependant une grande hétérogénéité dans les valeurs des indices, notamment le pourcentage de forêt : on a un mélange de cellules presque totalement couvertes de forêt, comportant des patches de domaine agricole de faible dimension, et des

Fig. 26 : Stratification du site d'Ambam (Sud Cameroun).

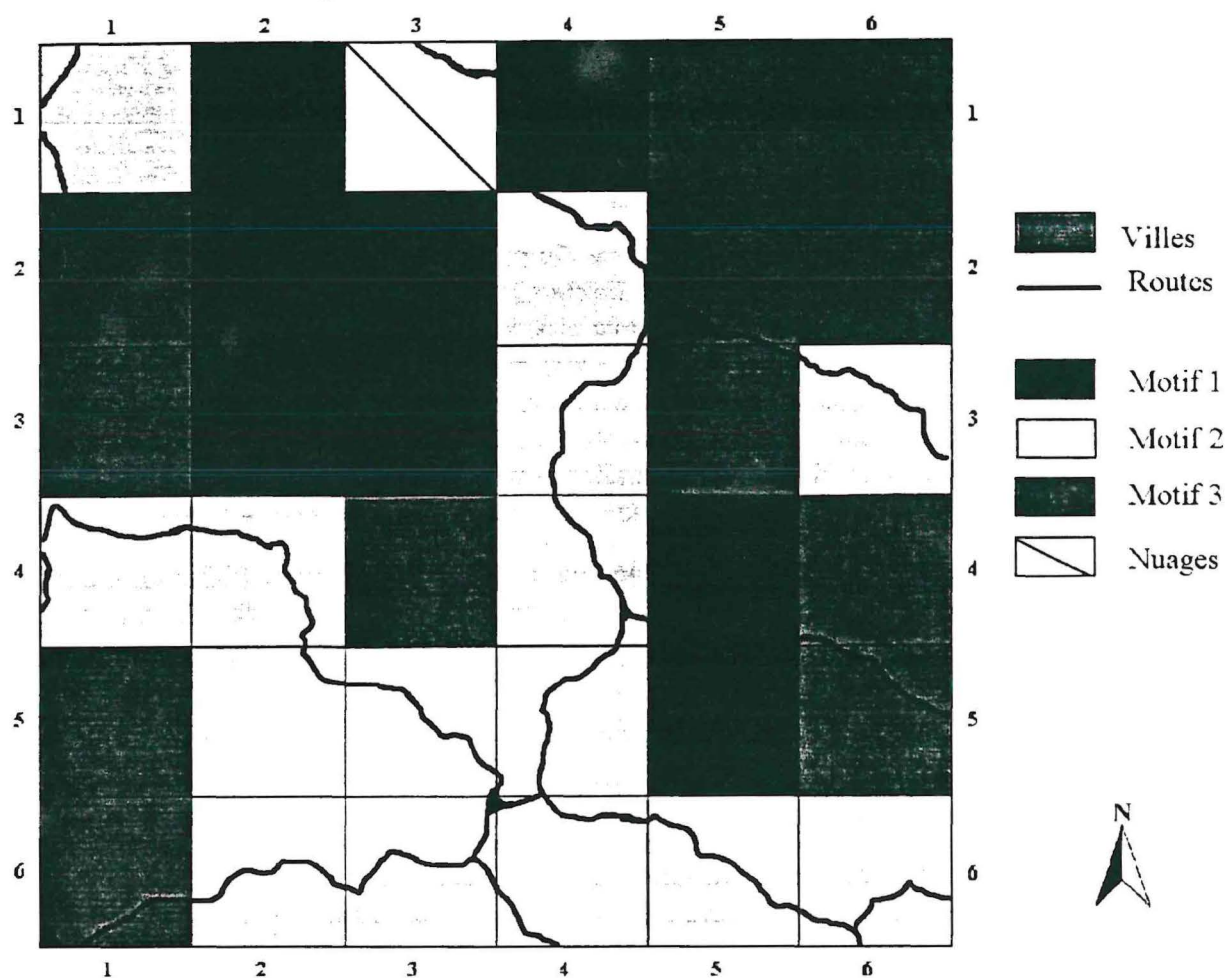
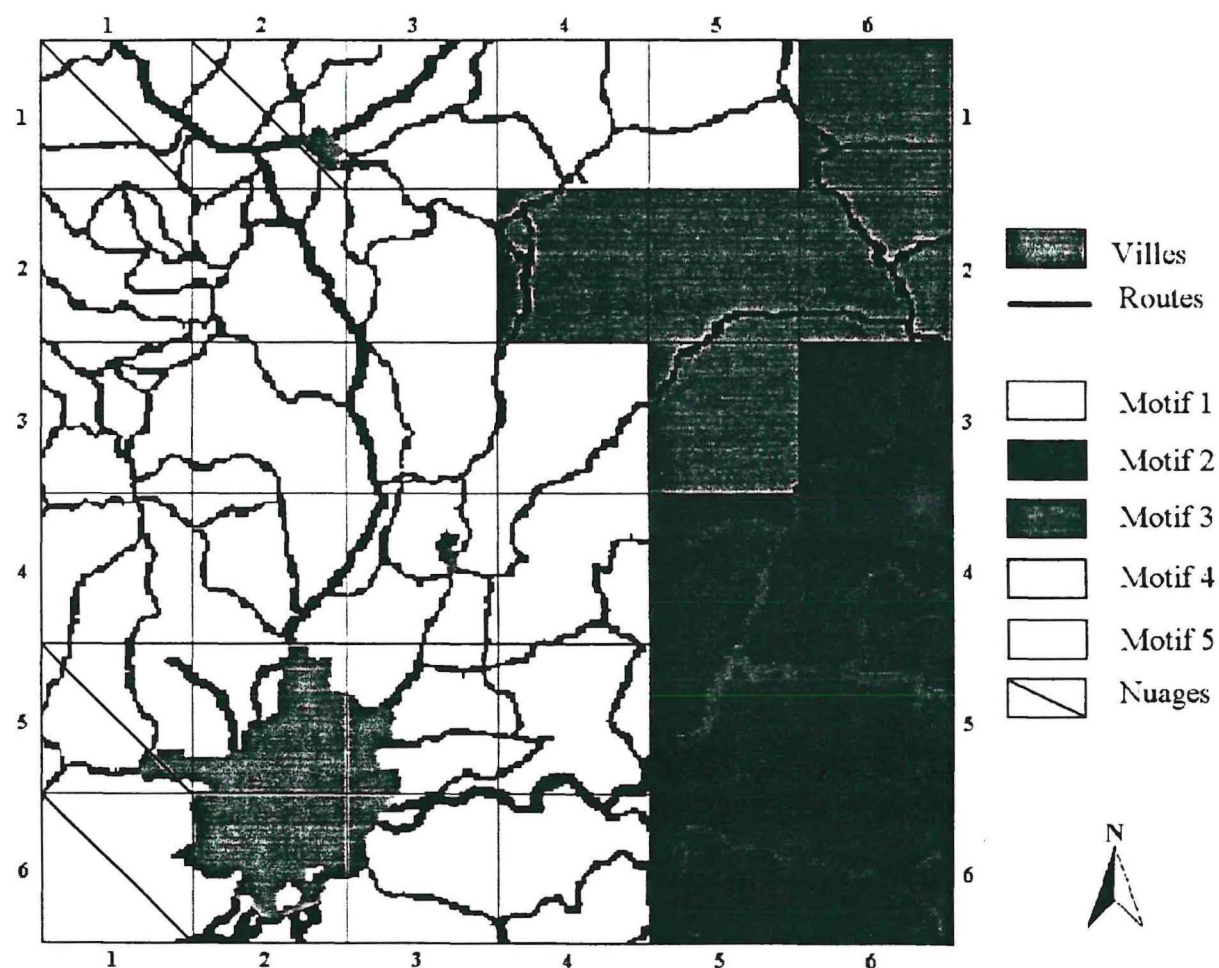


Fig. 27 : Stratification du site de Yaoundé (Centre Cameroun).



zones un peu moins boisées, comprenant moins de patches de domaine agricole, de dimensions supérieures. Cette variabilité peut nous indiquer que l'échelle est trop grande (taille des cellules trop petite) pour détecter le motif spatial.

- Le **motif 3** correspond à une zone au Nord-Ouest de l'image. Il diffère du motif 2 uniquement par le nombre très important de petits patches de domaine agricole, relativement rapproché.

Le site de Theobroma est stratifié en deux zones bien distinctes dont les principales différences spatiales sont le pourcentage de forêt, et le nombre et la taille des patches de domaine agricole.

3.2.5. Site de Ambam (Fig. 26)

On peut différencier 3 types de structures de paysage dans l'image (*Annexes 10e et 11e*) :

- Le **motif 1** correspond à des zones où la forêt couvre presque tout l'espace (plus de 95%). Des petits patches de domaine agricole distants les uns des autres perforent la matrice forestière.
- Le **motif 2** correspond aux zones les plus cultivées et se rencontre le long des routes. Les patches de domaine agricole sont nombreux et relativement grands.
- Le **motif 3** est un type intermédiaire dont la principale caractéristique est l'abondance de patches de domaine agricole disséminés dans une matrice forestière.
- La cellule 31 est difficile à classer, car de nombreux nuages l'obstruent et leurs ombres semblent avoir été classées en domaine agricole.

On peut également noter que toutes les cellules qui comprennent des tronçons de routes ont des indices fractals plus élevés que la moyenne de l'image.

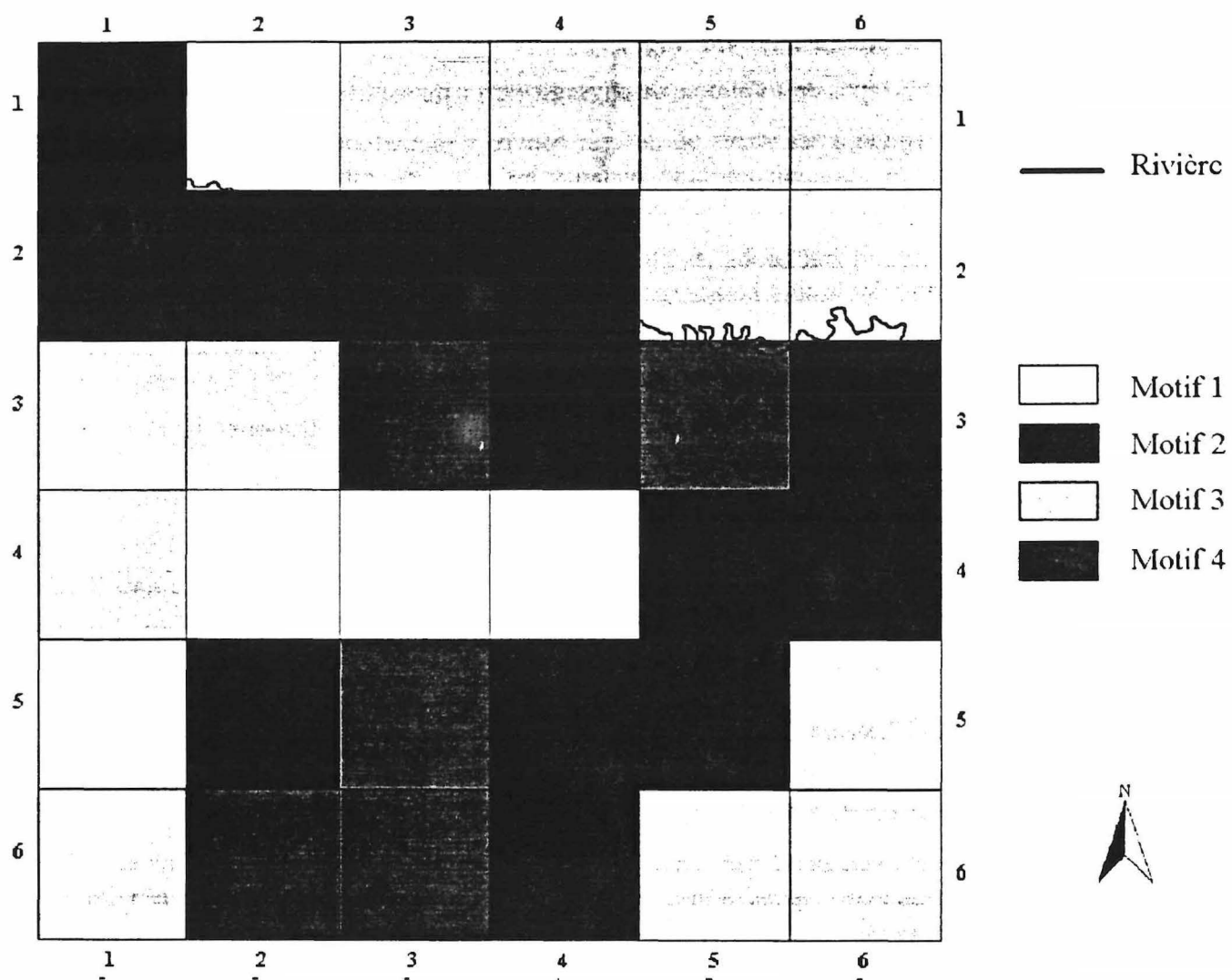
Le site de Ambam est relativement homogène pour les indices sélectionnés. Cette mosaïque spatiale semble là aussi structurée par les routes, et dans une plus faible mesure par la ville de Ambam.

3.2.6. Site de Yaoundé (Fig. 27)

On peut distinguer 5 zones différentes dans ce site (*Annexes 10f et 11f*) correspondant à des motifs de paysage différents :

- Le **motif 1** est très peu boisé : le domaine agricole occupe tout l'espace, la forêt est très fragmentée. Cette zone correspond à la moitié Ouest de l'image (emplacement de la ville de Yaoundé et ses alentours).
- Le **motif 2** correspond à une zone dominée par la forêt. Le domaine agricole est présent sous forme de nombreux patches de faible taille. Il coïncide avec la partie Est de l'image.
- Le **motif 3** présente un mélange savane/forêt/domaine agricole; il correspond à une zone de petites collines où la forêt se rencontre dans les interfluves. Il se différencie notamment par un fort indice fractal.
- Le **motif 4** est une zone de confrontation entre la zone forestière (motif 2) et la zone agricole/ville (motif 1).
- Le **motif 5** correspond à un mélange savane/domaine agricole, où la forêt est très minoritaire. Il est localisé au Nord de l'image.

Fig. 28 : Stratification du site de Lampung (Sumatra, Indonésie).



Dans le cas du site de Yaoundé, on remarque une forte variabilité interne. Trois zones se distinguent très nettement par leurs attributs spatiaux. La partie Ouest, entièrement déboisée dans laquelle se trouve la ville de Yaoundé. La zone la plus à l'Ouest où la forêt est dominante. Et le Nord de l'image, qui offre des paysages de savanes. Le passage de la zone forestière à la partie déboisée apparaît relativement brutal, malgré une zone de transition où on observe la présence de chacune des classes en proportion variable.

3.2.7. Site de Lampung (Fig. 28)

Par combinaison des indices spatiaux (*Annexes 10g et 11g*), on peut identifier 4 types de motif de paysage distincts dans l'image :

- Le **motif 1** correspond aux cellules presque complètement couvertes de plantation, sans grandes unités de domaine agricole ou de forêt.
- Le **motif 2** est caractérisé par une présence plus importante de forêt. Il s'agit d'une forêt fragmentée. Ce motif se rencontre dans les zones de rivières.
- Le **motif 3** correspond à des paysages dominés par le domaine agricole. La forêt est faiblement représentée, elle est formée de fragments relativement isolés, distants. Ce type est localisé généralement dans les zones éloignées des rivières. Les plantations y occupent parfois une place importante.
- Le **motif 4** est intermédiaire. Les fragments de forêt sont moins distants. Il est localisé sur des zones soit de rivière soit proche d'une rivière. La forêt est plus présente que sur le motif 3.

La variabilité de l'image de Lampung est ainsi étroitement conditionnée par la présence des rivières et des plantations.

3.3. Synthèse de l'analyse quantitative site par site

3.3.1. Pucallpa

Pucallpa se distingue des autres sites par un fort pourcentage de forêt, un indice de proximité élevé et un indice de Matheron assez faible. Les autres indices sont moyens par rapport aux autres sites.

Ce site est donc difficile à caractériser si on considère les résultats obtenus sur l'image.

Ceci peut s'expliquer par la **forte variabilité interne** au site : certaines zones sont complètement couvertes de forêt, d'autres correspondant à la route Federico Basadre à la rivière Rio Aguaytía possèdent des taux d'occupation élevés.

L'influence de la route agit relativement loin, jusqu'à 10 km environ; celle **de la rivière** est limitée à une distance de 4-5 km.

Ailleurs, la forêt occupe plus de 90% de la surface. Dans certaines zones de l'image, elle est parsemée de petits patches de domaine agricole, de taille inférieure à 1,5 ha. Dans d'autres zones, derrière la rivière Aguaytía (à l'opposé de la route) on trouve des patches de domaine agricole un peu plus grands (3 à 6 ha), plus nombreux et plus groupés.

Ce paysage est plutôt **diffus** : il présente tantôt une matrice forestière trouée de petits patches de domaine agricole, tantôt une matrice agricole couverte de quelques rares fragments de forêt. Ce paysage est cependant beaucoup moins diffus que ceux de Ambam ou Yurimaguas.

3.3.2. Yurimaguas

Le site de Yurimaguas se distingue beaucoup des autres sites.

Ses **principales caractéristiques spatiales** sont un nombre de patches de domaine agricole très élevé dans toute l'image, un indice de Matheron fort par endroits (ville et fleuves), un indice fractal élevé (surtout le long des fleuves), un très faible indice du plus proche voisin partout dans l'image.

Le site de Yurimaguas offre un **paysage semi-forestier, semi-agricole** (la forêt occupe 61% sur l'image) mais présente en fait de grandes disparités suivant la zone de l'image. Certaines zones (motif 1) sont dominées par le domaine agricole et présentent une forêt très fragmentée (indice de Matheron très élevé, valeurs comparables à celles Lampung et Yaoundé). Ces zones correspondent aux rivières et à la ville de Yurimaguas.

D'autres zones (motif 2) sont majoritairement forestières.

L'important nombre de patches de domaine agricole partout dans l'image nous indique que le paysage est beaucoup plus **diffus** que dans les autres images. La taille moyenne des patches n'excède jamais 10 ha, même avec un taux de couvert forestier inférieur à 30%. Ceci peut s'expliquer d'une part par la présence de la rivière Huallaga qui segmente l'espace, d'autre part par la conservation, malgré une forte déforestation de lambeaux de forêt entre ou dans les exploitations agricoles. Le faible indice du plus proche voisin sur le site indique que les fragments de forêt tout comme les patches de domaine agricoles sont moins isolés les uns des autres que dans les autres sites. Ce paysage est plus complexe que les autres en terme d'indice fractal.

Ce paysage est fortement **structuré par les cours d'eau**, notamment la rivière Huallaga qui concentre l'occupation agricole. Loin de ces axes de communication, on trouve un paysage plus diffus formé de très nombreux petits patches de domaine agricole trouant la couverture forestière.

3.3.3. Pedro Peixoto

Le site de Pedro Peixoto est surtout différencié des autres sites par un faible indice de Matheron un faible indice fractal, une forte distance au plus proche voisin et un faible nombre de patches de domaine agricole. Il est également caractérisé par une taille importante des patches de domaine agricole.

Ce site, **majoritairement occupé par la forêt**, est **structuré par le réseau routier**. Il présente des formes géométriques plus simples que les autres sites, aussi bien pour les unités forestières que pour les patches de domaine agricole (faible indice fractal). Le faible indice de Matheron nous indique que **la forêt est très peu fragmentée** dans l'image : elle forme des **blocs** relativement grands avec des transitions nettes avec le domaine agricole, même lorsqu'elle n'occupe que 40% de l'image. Il en est de même avec le **domaine agricole** : les patches ont une **taille importante** (près de 14 ha en moyenne sur l'image) et sont **peu nombreux**.

Seule quelques petites zones de l'image montrent un type de paysage **plutôt diffus** formé d'un nombre assez fort de petits patches de domaine agricole, de faible taille et éparpillés dans la forêt (motif 1).

3.3.4. Theobroma

Le principal indice spatial qui distingue le site de Theobroma de tous les autres est sa dimension fractale relativement élevée sur toute l'image. Elle est toutefois inférieure à celle de Lampung et Yurimaguas. Les autres indices qui le différencient sont le faible pourcentage de forêt et la taille élevée des patches de domaine agricole.

On remarque cependant une **grande différence entre le Sud et le Nord de l'image**, si bien que les moyennes des indices sur l'image ne sont pas toujours caractéristiques.

⇒ La **zone Sud** est caractérisée par de grands patches de domaine agricole (> 15 ha), et un faible couvert forestier (30% en moyenne). Cette zone comprend un **dense réseau routier**.

⇒ La **zone Nord** est surtout composée de forêt, elle peut être divisée en 2. La partie au Nord Ouest est très peu fragmentée et comprend à la fois des zones très peu occupées par le domaine agricole et des zones où les patches ont des tailles moyennes de 10 ha. La partie **Nord-Est** comporte de nombreux patches de domaine agricole. Elle offre un paysage beaucoup plus diffus.

Avec des taux de forêt similaires à ceux de Yurimaguas, il est intéressant de voir que l'indice de Matheron, sur la zone Sud de l'image, est beaucoup moins élevé sur ce site : la forêt est donc beaucoup **moins fragmentée**.

3.3.5. Ambam

Les **principaux attributs spatiaux du site de Ambam** sont un pourcentage de forêt et un indice de proximité très importants, un nombre de patches de domaine agricole très élevé, une faible taille moyenne des patches de domaine agricole, une distance au plus proche voisin élevée, un faible indice de Matheron.

Ce paysage apparaît **très peu fragmenté** en comparaison des autres sites étudiés. La **forêt occupe toujours une très grande proportion de l'espace** sur toute l'image. Le nombre élevé de patches de domaine agricole, de très faible dimension, nous indique un motif de type **diffus**. La forêt est trouée par de nombreux petits patches de domaine agricole relativement dispersés et distants (fort indice du plus proche voisin).

L'étude de la **variabilité interne** a montré une **structuration du paysage par les routes** le long desquelles l'installation humaine s'est faite à peu près uniformément. Ces zones d'occupation ont le même caractère **diffus** que le reste de l'image, les patches de domaine agricole sont cependant plus groupés et de dimension plus importante qu'ailleurs (1,5 à 3 ha) bien que très faible comparée aux autres sites.

Un peu plus loin des routes, on rencontre des paysages où le domaine agricole est plus dispersé, avec de nombreux petits patches de domaine agricole, de taille inférieure à 1,5 ha, distants les uns des autres. **Si on s'écarte encore de la route**, le domaine agricole continue à se raréfier : il n'est plus représenté que par de minuscules taches inférieures à 0,5 ha.

3.3.6. Yaoundé

Le site de Yaoundé se distingue des autres sites par un faible pourcentage de forêt, un faible indice de proximité, une taille importante des patches de domaine agricole et un indice de Matheron assez élevé.

Mais on remarque surtout de **fortes disparités entre l'Est et l'Ouest de l'image** qui font que les indices calculés sur l'image ne caractérisent pas bien l'image entière.

⇒ **La zone Ouest** de l'image, qui correspond notamment à la ville de Yaoundé, comporte très peu de forêt. Celle-ci est très fragmentée et dispersée dans le domaine agricole.

⇒ **La zone Est** possède un couvert forestier majoritaire dans lequel le domaine agricole forme de nombreuses unités de taille moyenne (3 à 6 ha).

La **transition** est relativement brutale entre ces deux zones.

Au Nord, on remarque des paysages de savane mélangée tantôt à de la forêt (l'indice fractal est alors particulièrement élevé), tantôt à du domaine agricole.

3.3.7. Lampung

Lampung se distingue de tous les autres sites un très faible nombre de patches de domaine agricole sur l'ensemble de l'image, un faible indice de proximité et de plus proche voisin, un faible pourcentage de forêt et au contraire un indice de Matheron très élevé, un fort indice fractal, une taille moyenne des patches de domaine agricole élevée.

Lampung représente ainsi un extrême par rapport à tous les autres sites. Il n'est recouvert que par un faible pourcentage de forêt (14% de l'image), le domaine agricole et les plantations occupant une grande majorité de l'espace (respectivement 61% et 24%). La taille moyenne des patches de **domaine agricole** est élevée (40 ha). Le domaine agricole constitue la matrice de l'image.

Les **plantations** forment également de grandes plages uniformes. On peut compter sur l'image 17 plantations de 3 300 ha de surface moyenne. Beaucoup de ces périmètres ne sont cependant pas intégralement représentés dans l'image et on peut penser que la surface moyenne doit être supérieure.

La **forêt** est localisée majoritairement le long de la rivière Tulang Bawang et de ses affluents, elle apparaît très fragmentée (indice de Matheron élevé).

Loin d'être un site forestier, Lampung offre ainsi un paysage formé d'immenses plantations entre lesquelles s'étendent de vastes étendues de domaine agricole. La forêt y est uniquement représentée par des petits fragments le long des fleuves. Ce mélange fragments de forêt/ domaine agricole/ plantations crée un paysage relativement complexe (indice fractal).

La faible proportion de forêt comparée aux autres sites est un critère de différenciation très fort, qui ne rend pas vraiment nécessaire une comparaison spatiale de ce paysage avec ceux des autres sites. Toutefois Lampung reste un site intéressant car il représente l'étape ultime de dégradation du couvert et peut donner une idée de ce que pourraient devenir des paysages de frontières agraires comme ceux du Brésil (les facteurs sont bien distincts de ceux des sites Theobroma et de Pedro Peixoto).

Le paysage apparaît globalement diffus avec de petits fragments de forêt dans une matrice agricole à l'Ouest, des petits patches de domaine agricole dans une matrice forestière à l'Est. Mais il montre une transition assez brutale entre ces deux types de paysages totalement distincts en terme d'occupation et de structure spatiale.

L'analyse quantitative nous a donc permis de préciser certaines caractéristiques spatiales des sites étudiés.

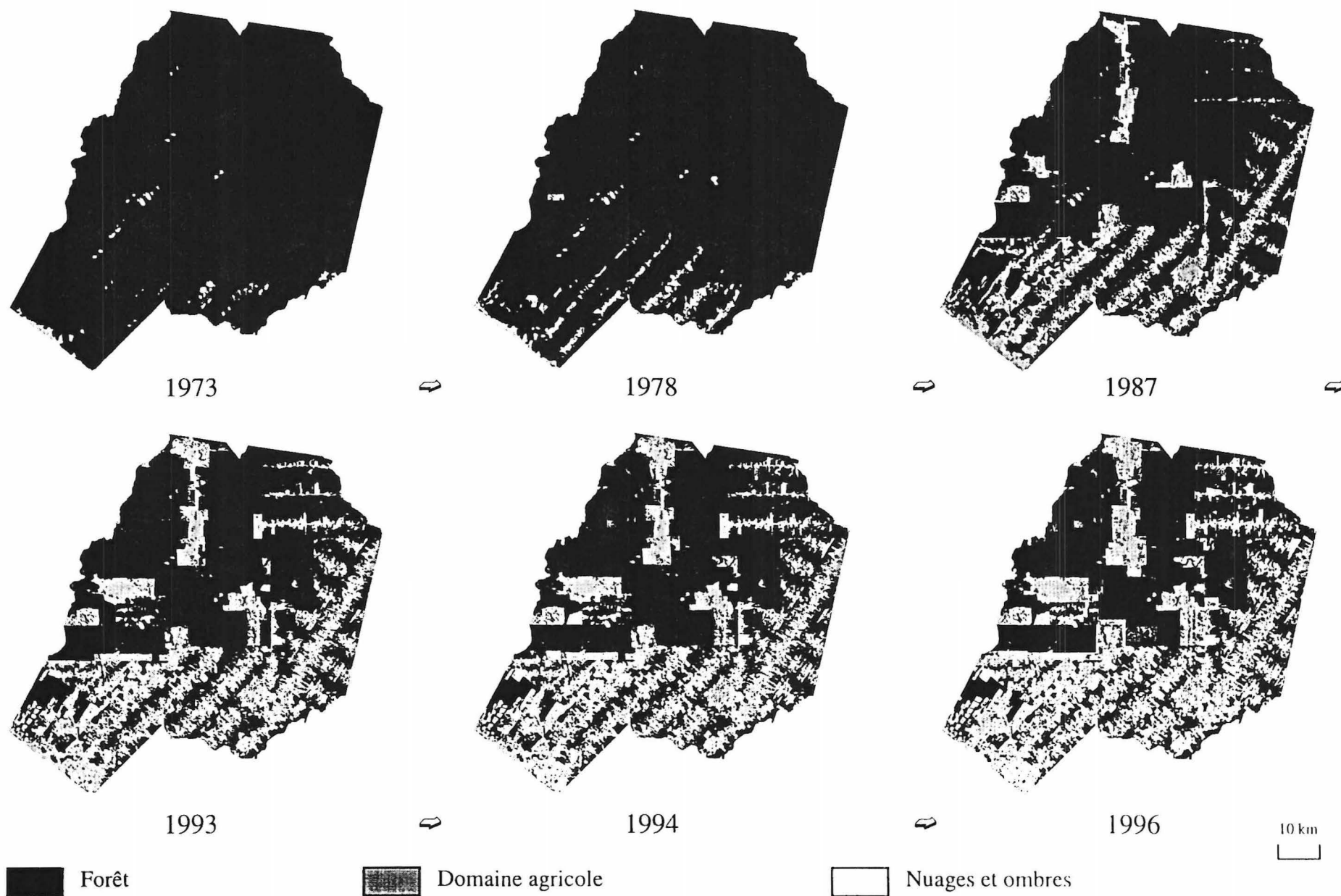
En terme de composition tout d'abord, elle nous a renseigné sur les pourcentages des différents types de couvert et sur le nombre d'éléments du paysage, difficilement appréciables visuellement dans des paysages aussi complexes. Elle nous a également aidé à stratifier le paysage et à identifier plusieurs types de motifs de paysage par une étude de la variabilité interne des indices. Elle a permis enfin de différencier les sites et de les comparer.

Les indices sélectionnés décrivent et caractérisent bien les différents paysages. Les plus intéressants s'avèrent être le pourcentage de forêt, le nombre de patches de domaine agricole la taille moyenne des patches de domaine agricole, l'indice fractale et l'indice de Matheron.

L'analyse visuelle apparaît plus synthétique que la méthode quantitative : elle permet une description rapide, et à différentes échelles, des motifs de paysage et de la variabilité interne d'une image. La lecture des indices est de même parfois difficile. Toutefois, l'analyse quantitative comporte trois principaux avantages par rapport à une analyse visuelle : la précision, la reproductibilité et l'objectivité. Elle offre de plus un vocabulaire de description clairement défini et univoque.

L'identification et la différenciation des structures spatiales constituent une première étape importante mais non suffisante. Il s'agit maintenant de considérer leur évolution dans le temps et de donner une signification à des différences numériques ainsi explicitées, de les relier à des différences de fonctionnement biologiques et/ou socio-économiques.

Fig. 29 : Séquence d'images satellitales du *Município* de Theobroma (Rondônia, Brésil) allant de 1973 à 1996.



CHAPITRE 6

ANALYSE QUANTITATIVE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE SUR LE SITE DE THEOBROMA

Dans le chapitre précédent, nous avons considéré des paysages une année donnée sur différents sites. Ce travail nous a permis de comparer les motifs de paysage, d'étudier leur variabilité et de les caractériser par un ensemble d'indices. Mais l'étude du processus de déforestation à l'oeuvre dans chacun de ces sites est difficilement accessible par cette vision statique; elle nécessite un suivi à travers le temps.

Ne pouvant aborder cet aspect sur tous les sites en raison du manque de données disponibles, nous nous intéresserons à décrire le processus de déforestation sur le site de Theobroma (Rondônia) pour lequel nous disposons d'une séquence temporelle d'images satellitaires allant du début du phénomène de colonisation (1973) à la période actuelle (1996) (*Fig. 29*).

Le but de ce chapitre est l'analyse quantitative de l'évolution du paysage. Cependant il apparaît intéressant d'analyser d'abord qualitativement (visuellement) la dynamique spatiale, afin de pouvoir déterminer les avantages et les inconvénients de l'analyse quantitative.

Nous nous proposons donc d'appréhender dans un premier temps l'évolution spatiale et temporelle à travers une analyse visuelle d'images satellites (paragraphe 1). Puis nous étudierons cette évolution à l'aide d'indices numériques et nous tenterons de dégager les apports, et les limites de l'analyse quantitative sur l'analyse visuelle (paragraphe 2).

Enfin, dans un troisième paragraphe nous tenterons de mettre en relation les changements spatiaux avec le processus de déforestation et de colonisation agricole qui les ont induits.

1. Analyse visuelle de l'évolution du paysage

- **En 1973**, on constate l'omniprésence de la forêt. Seules quelques zones de bordure, au Sud de l'image, sont déboisées.

- **En 1978**, des patches de domaine agricole apparaissent dans la partie Sud de l'image. Ces patches sont allongés dans le sens sud-ouest/nord-est et forment des lignes "en pointillés", parallèles, espacées à intervalles réguliers. Dans la partie plus au Nord, seuls deux îlots de domaine agricole émergent de la masse forestière.

- **En 1987**, les changements qui sont intervenus sont importants. Le domaine agricole a gagné toute la zone Sud et apparaît de façon plus significative dans la zone Nord de l'image. Dans la zone Sud, les lignes de domaine agricole sont désormais continues et se sont épaissies; certaines se sont prolongées, plus au Nord; leurs bords sont très découpés. On note la présence, de chaque côté de la ligne la plus à l'Est, de lignes perpendiculaires à intervalle régulier. Chacune de ces perpendiculaires débute à quelques mètres de la ligne principale. Au Nord-Est de l'image apparaissent également 3 nouvelles lignes "en pointillés", parallèles suivant un axe Est-Ouest.

Au Nord de l'image, une ligne de domaine agricole de direction Nord-Sud est apparue, plus épaisse que celles situées dans le Sud; ses bords sont plus droits; elle est formée de plusieurs grands rectangles jointifs. Trois grands patches isolés de domaines agricoles de forme rectangulaire sont également apparus dans le quart Nord-Ouest de l'image.

- **En 1993**, les patches de domaines agricoles ont pris de l'ampleur. Quelques grands rectangles de domaine agricole sont apparus dans le centre et le centre-est. Les bords des lignes sont plus ciselés, certaines sont reliées entre elles. L'opposition entre le quart Nord-Ouest - composé de grands rectangles déboisés plus ou moins jointifs et où la forêt est encore très présente - et le reste de l'image - constituée d'un réseau de lignes parallèles et perpendiculaires, aux bords très circonvolués et où la forêt est désormais minoritaire - est de plus en plus accentuée.
- **En 1994**, on note surtout un épaississement des différentes formes et l'apparition de quelques petits patches de domaine agricole plutôt rectangulaires dans le quart Nord-Ouest.
- **En 1996**, les patches se sont encore épaissis. Dans le quart Nord-Est, on remarque l'apparition de nouveaux grands rectangles. Dans le reste de l'image, les patches se sont agrégés.

Cette approche visuelle de l'espace nous a permis de suivre l'évolution d'un espace. On est passé en 23 ans d'un paysage totalement recouvert par la forêt à un paysage largement occupé par le domaine agricole. Cette évolution a conduit à la différenciation de 2 zones. Dans la première, située dans le quart Nord-Est, on voit apparaître de grands patches rectangulaires plus ou moins jointifs. La seconde se caractérise par un réseau de lignes en "arêtes de poisson" qui ont tendance à s'épaissir et à s'anastomoser.

L'analyse visuelle nous permet de synthétiser rapidement l'information spatiale, d'individualiser et de caractériser des formes, de stratifier et découper l'image, d'estimer la part des différents éléments de l'image.

Cependant, cette étude visuelle demeure approximative et imprécise voire incorrecte notamment en ce qui concerne l'estimation de la surface occupée par les différents types de couverts. Cette imprécision est accentuée par la complexité et le nombre de patches de l'image qui oblige à des simplifications mentales. Il réside une grande part de subjectivité et deux observateurs différents analyseront différemment une même image.

2. Analyse quantitative de la dynamique spatiale

Rappelons qu'un zonage a été réalisé (*Annexe 12*) pour distinguer deux strates correspondant à deux types différents d'occupation du sol. La première strate, nommée "zone NO" correspond au ¼ Nord-Ouest de l'image; la seconde strate, nommée "zone S/E" correspond au reste de l'image. Nous analyserons les indices en considérant leurs valeurs sur l'image entière et sur les strates prises séparément.

2.1. Indices conservés pour l'analyse quantitative

Les indices analysés pour la comparaison entre les sites ne sont pas nécessairement les plus pertinents dans le cadre d'une étude temporelle.

Nous avons essayé de garder si possible les mêmes indices mais dans l'analyse d'un processus, notamment de fragmentation, il paraît utile de garder des indices de densité et de

taille des patches de forêt.

Nous conservons pour cette étude

- le pourcentage de surface occupée par la classe forêt (%LANDc1) qui donne une idée de la dégradation du couvert forestier;
- la densité de patches de forêt et de domaine agricole (PDc1 et PDc2)
- la moyenne de la taille des patches de forêt et de domaine agricole (MPSc1 et MPSc2).
- les dimensions fractales des patches de forêt, de domaine agricole et de l'ensemble des patches (toutes classes confondues) (DLFDc1, DLFDc2 et DLFDp), qui donne une idée de complexité des formes.
- l'indice de Matheron (MIc1) qui quantifie la fragmentation du paysage.
- la distance au plus proche voisin des patches de forêt et de domaine agricole (MNNc1 et MNNc2).

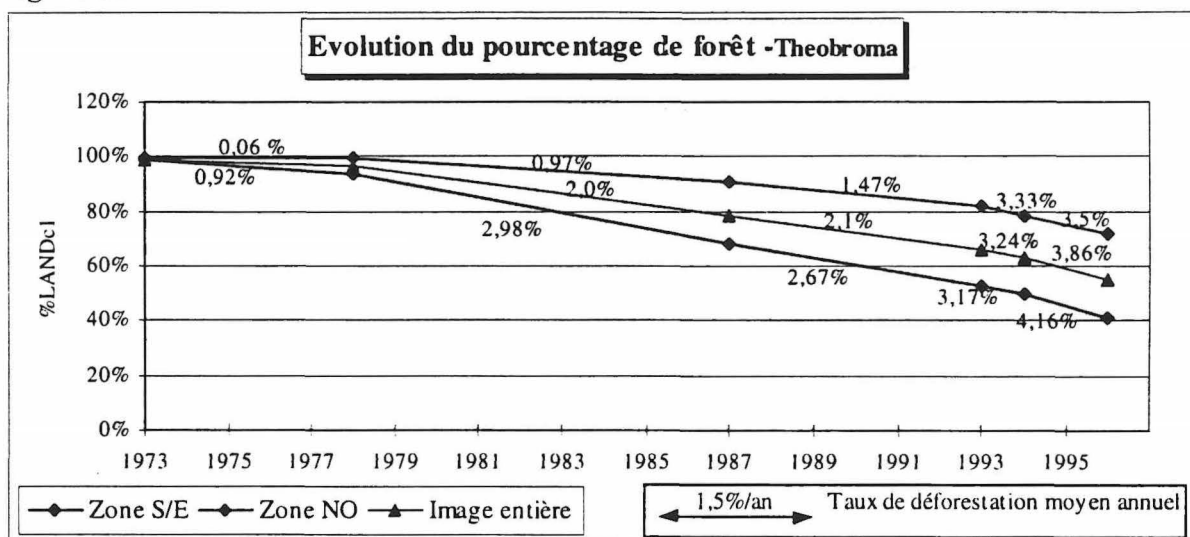
Pour certains de ces indices, lorsqu'il s'agit de moyenne, il est apparu intéressant de regarder le coefficient de variation.

Les valeurs des indices sont représentées dans les annexes 13 et 14.

2.2. Analyse des indices

2.2.1. Evolution du pourcentage de forêt (%LANDc1)

Figure 30



• Evolution de la couverture forestière sur l'image entière (Fig. 30)

Le pourcentage de forêt n'a cessé de diminuer entre 1973 et 1996. En 23 ans il a été divisé de moitié.

En 1973, la couverture forestière occupait la quasi-totalité de l'espace (99,09%)

Entre 1973 et 1978, ce pourcentage commence à baisser, le taux de déboisement moyen est relativement faible : 0,53% par an.

Entre 1978 et 1993, le déboisement s'accélère, le taux moyen de déboisement est à peu près identique pour les périodes 1978-1987 et 1987-1993, il atteint respectivement 2,0% et 2,1%/an.

Entre 1993 et 1996, on remarque un nouvel accroissement du taux de déboisement qui passe à 3,24% par an entre 1993 et 1994 et à 3,86% par an entre 1994 et 1996.

- **Evolution du taux de couvert forestier sur les strates (Fig. 30)**

L'analyse du pourcentage de forêt au niveau des deux zones est plus précise et plus informative sur l'évolution du couvert forestier. Dans chacune des deux strates, on constate une diminution sensible de la couverture forestière. Cependant, le processus de déboisement commence à des périodes distinctes et se poursuit à des vitesses différentes.

En 1973, le pourcentage de forêt approche les 100% dans les deux zones.

Entre 1973 et 1978, la déforestation commence dans la zone S/E, avec un taux de déboisement relativement faible de 0,92%. Elle est quasiment nulle dans la zone NO (0,06%). En 1978, la forêt couvre 91% de la zone NO et 68% de la zone Sud.

Entre 1978 et 1987, le déboisement débute dans la partie NO, avec un taux moyen de 3%. Environ 1/3 du couvert forestier disparaît alors.

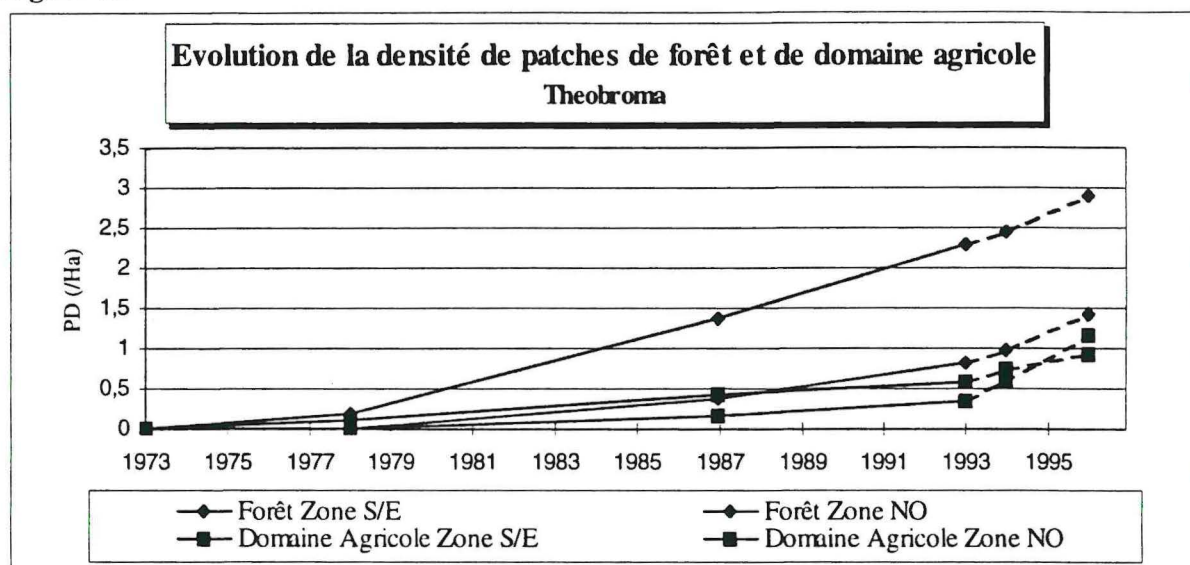
Entre 1987 et 1993, le déboisement se poursuit avec un taux moyen de déboisement un peu plus faible dans la zone S/E (2,67%). En revanche, il s'accélère dans la zone NO (1,47% par an).

Entre 1993 et 1994, et **entre 1994 et 1996**, on assiste à une accélération de la déforestation avec des taux respectifs de 3,33% par an et 3,5% par an pour la zone NO et 3,17% par an et 4,16% par an pour la strate S/E.

De 1973 à 1996, le couvert forestier a été réduit du tiers dans la zone NO, -il s'élève à 71,41%-, et de plus de la moitié dans la zone S/E -il atteint 40,19%.

2.2.2. Evolution du nombre de patches (Fig. 31)

Figure 31



- **Problèmes liés au changement de résolution**

Les images des années 1994 et 1996 ont des résolutions différentes de celles des années précédentes. L'influence sur le nombre de patches est considérable : en 1996, le nombre de patches inférieur à 0,32 ha est égal à 401 ce qui représente une surface de 87,6 ha. Elle l'est beaucoup moins sur le pourcentage de forêt en 1996, si on considère que tous ces patches auraient été classés en forêt avec des résolutions plus basses, le pourcentage passe de 71,41 % à 72,55 % ce qui ne constitue pas une grande différence.

Le nombre de patches ne pourra donc pas être considéré pour la période 1993 à 1996.

- **Nombre de patches de forêt (NPc1) (Fig. 31)**

De 1973 à 1993, le nombre de patches de forêt augmente sur l'ensemble de l'image comme sur les deux zones prises séparément. Cette croissance commence à s'observer entre 1973 et 1978 dans la zone S/E : le nombre de patches de forêt passe alors de 3 à 173, alors qu'elle n'intervient qu'entre 1978 et 1987 dans la zone NO : le nombre de patches augmente de 5 à 283. Il croît de plus en plus rapidement et environ deux fois plus vite dans la zone S/E que dans la zone NO.

On constate donc une division de plus en plus accentuée de la forêt.

- **Nombre de patches de domaine agricole (NPc2) (Fig. 31)**

Le nombre de patches de domaine agricole ne cesse d'augmenter entre 1973 et 1996.

Dans la partie S/E de l'image, ce nombre initialement très faible, 13 patches, commence à s'élever dès 1973. Entre 1973 et 1978, il est multiplié par 10. Le nombre de patches triple entre 1978 et 1987 puis ralentit entre 1987 et 1993.

Dans la zone NO, le nombre de patches de domaine agricole, initialement nul, croît d'abord lentement entre 1978 et 1987 pour ensuite s'accélérer entre 1987 et 1993.

2.2.3. Analyse de l'évolution de la dimension fractale (Fig. 32 à 37)

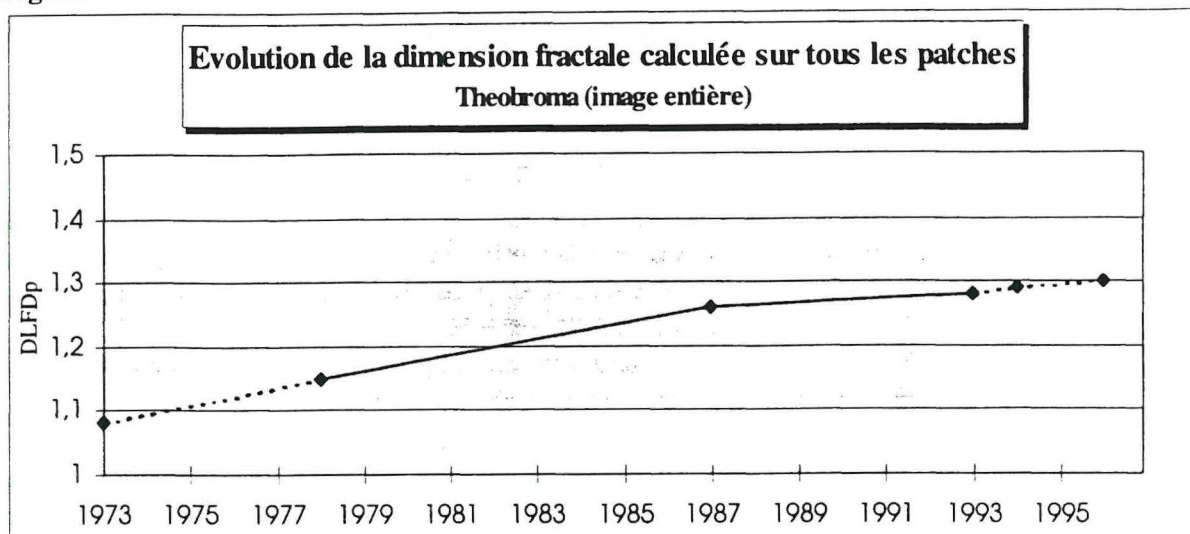
Là encore, l'absence d'homogénéité des données pourrait conduire à d'importantes erreurs, la dimension fractale étant calculée par une régression sur tous les patches $\log(\text{Aire})/\log(\text{Périmètre})$. Nous ne considérerons donc pas les valeurs calculées en 1994 et 1996.

De plus, pour que cette valeur, obtenue par régression, soit pertinente il faudrait que le nombre de patches soit supérieur à 20. Or en 1973, il n'y a qu'un patch de forêt dans la zone NO, le reste des patches étant des nuages. Il en est de même dans la zone S/E où la plupart des patches sont des nuages (61 sur 88). En 1978, on compte toujours très peu de patches autres que des nuages dans la zone NO (9). Par contre le nombre de patches de forêt et de domaine agricole étant élevé dans la partie S/E, la dimension fractale calculée peut-être prise en considération. Les résultats sur l'image entière sont également valables. Pour l'année 1987 et 1993, les résultats peuvent être considérés pour les deux zones et l'image entière.

Il apparaît intéressant d'analyser les dimensions fractales calculées sur les patches de forêt, sur les patches de domaines agricoles, et sur l'ensemble des patches, pour estimer la complexification du paysage et des différentes classes prises séparément.

- Dimension fractale calculée sur l'ensemble des patches (DLFDp)

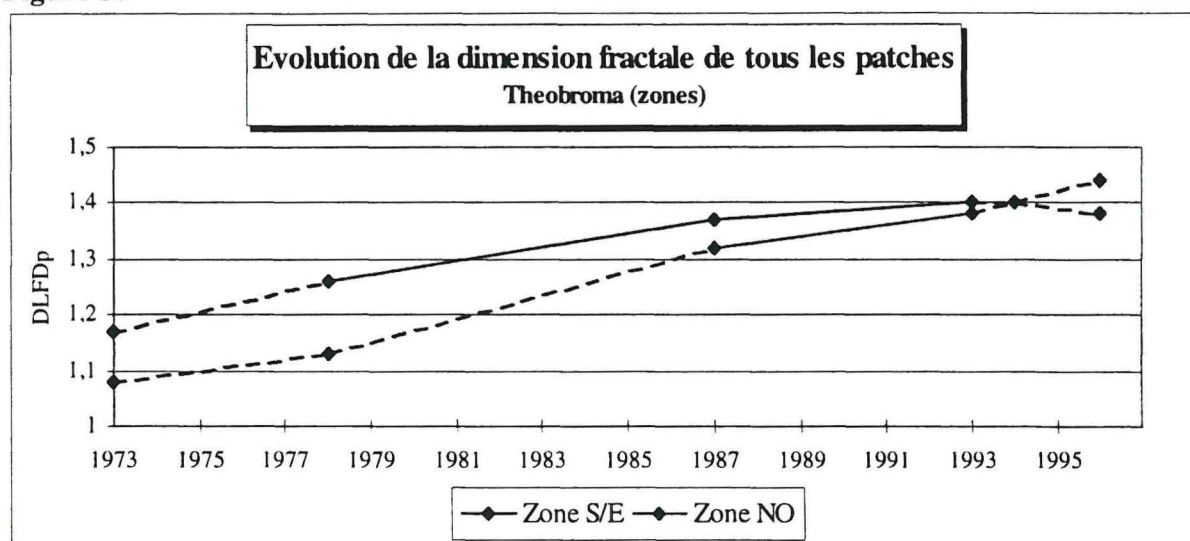
Figure 32



La dimension fractale calculée sur toute l'image augmente de **1978 à 1987**. Cette croissance, forte entre **1978 et 1987** et elle ralentit entre **1987 et 1993** (Fig. 32).

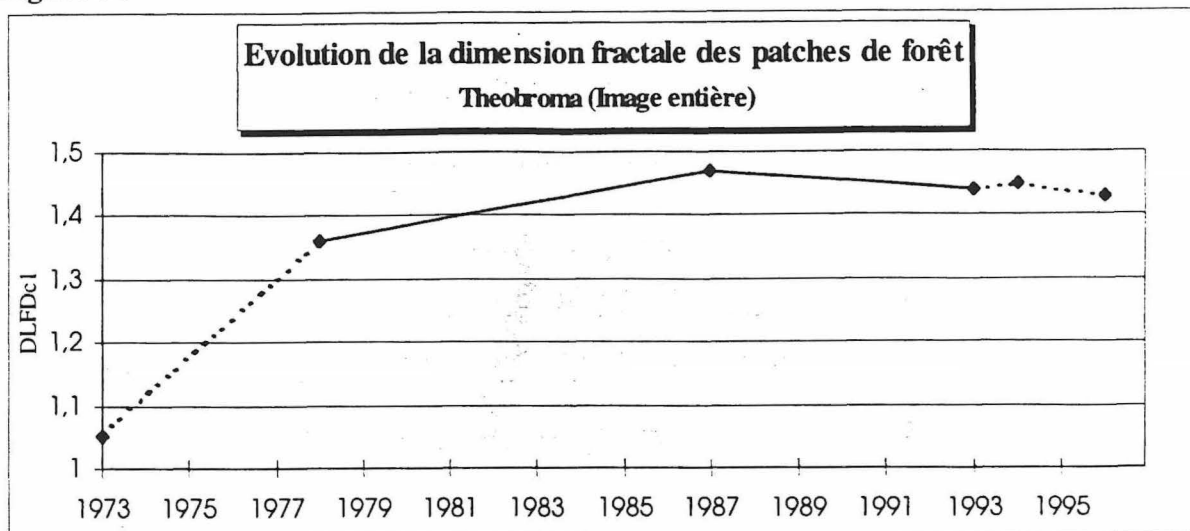
On observe donc une complexification du paysage, mais cette tendance se réduit entre 1987 et 1993. La dimension fractale sur l'ensemble des classes de la zone NO, est inférieure à celle de la partie S/E, mais augmente plus rapidement (Fig. 33).

Figure 33



- Dimension fractale calculée sur les patches de forêt (DLFDc1)

Figure 34



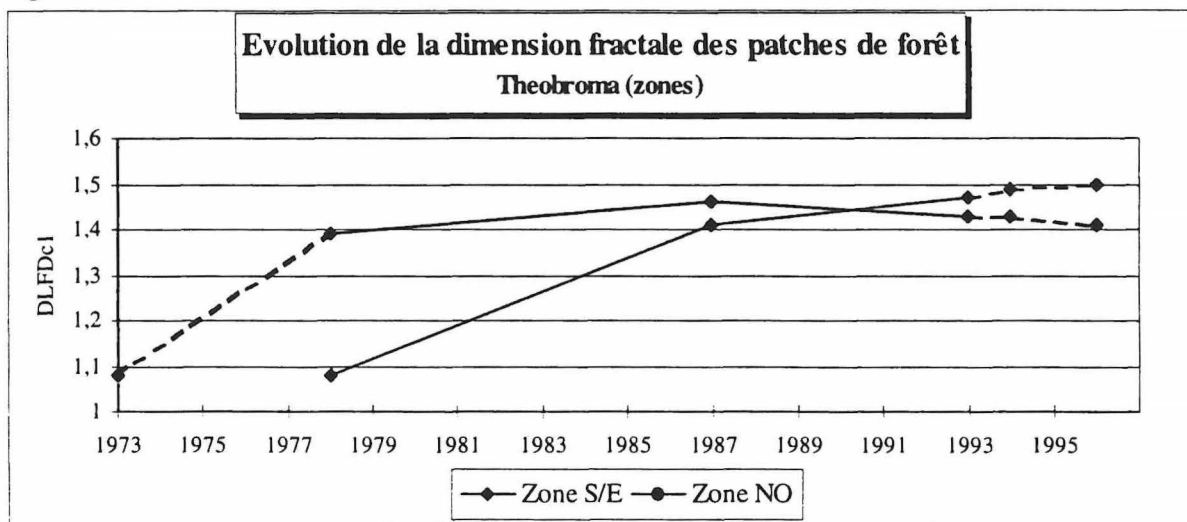
La dimension fractale des patches de forêt de l'ensemble de l'image augmente **entre 1978 et 1987** et diminue **entre 1987 et 1993** (Fig. 34).

Lorsque l'on considère la dimension l'indice sur la zone S/E, on retrouve ces mêmes tendances, un peu moins accentuées. Dans la partie NO par contre, on observe un accroissement de l'indice **entre 1987 et 1993**.

Alors qu'en 1987 la valeur de l'indice est supérieure dans la zone S à celle de l'indice calculé pour la zone NO, on constate qu'en 1993 ce rapport est inversé (Fig. 35).

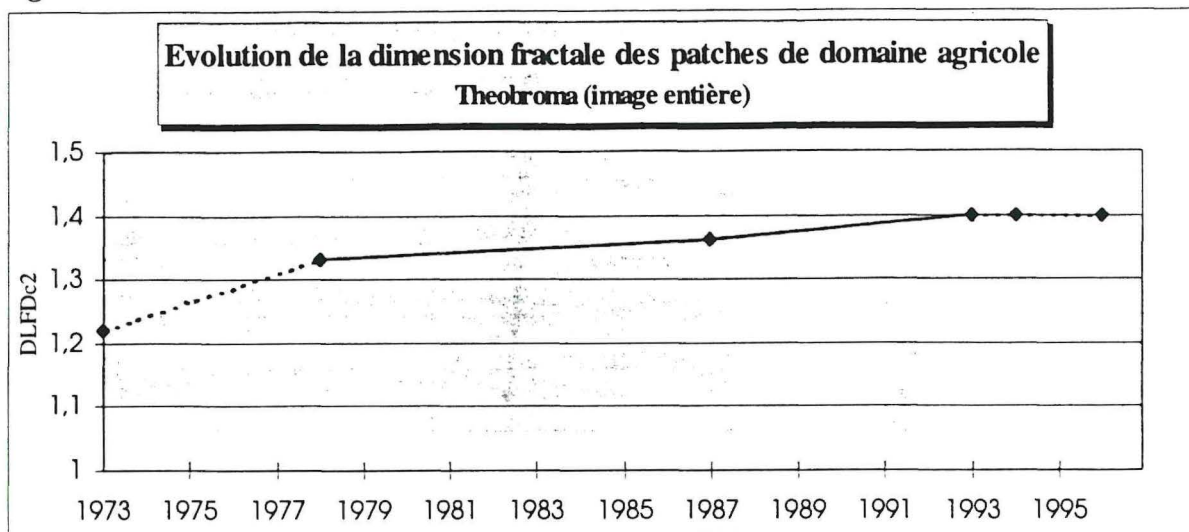
Les formes des patches de forêts semblent donc se complexifier **entre 1978 et 1987** sur l'ensemble de l'image. Ensuite elles vont se simplifier dans la partie Sud et continuer (ou commencer) à se complexifier dans la partie Nord.

Figure 35



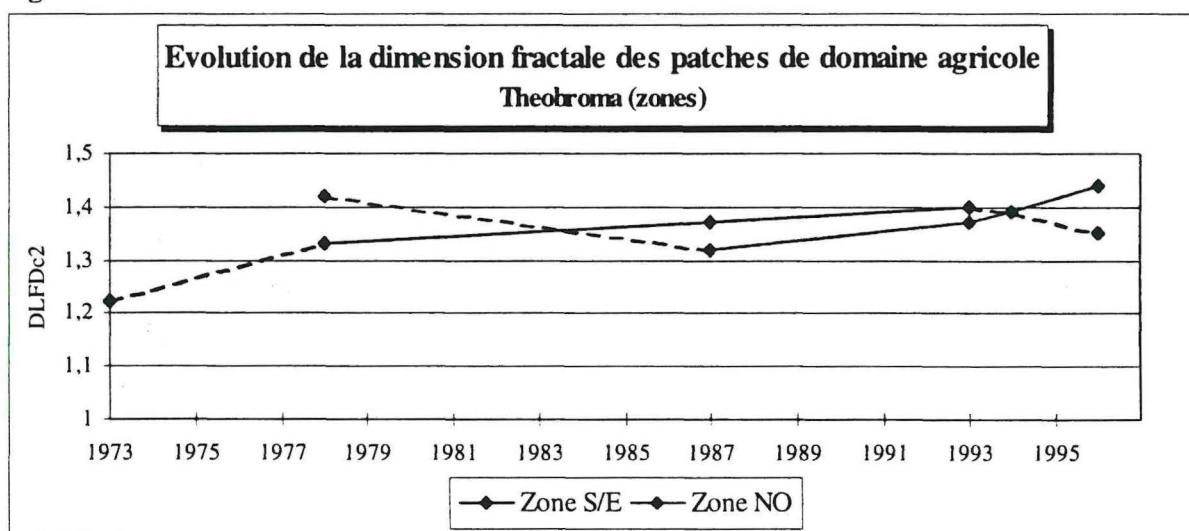
- Dimension fractale calculée sur les patches de domaine agricole (DLFDc2)

Figure 36



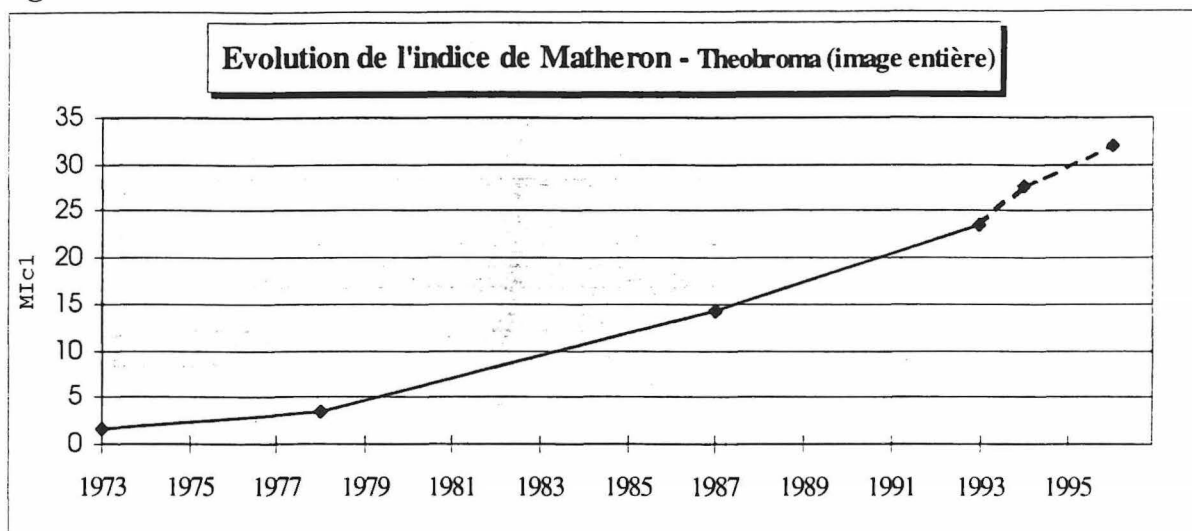
La dimension fractale calculée sur les patches de domaine agricole augmente de façon continue dans l'ensemble de l'image **entre 1978 et 1993**. Cette tendance semble s'accroître **entre 1987 et 1993** (Fig. 36). Durant cette période, bien que les valeurs de l'indice soient inférieures dans la partie NO, la croissance y est supérieure à celle de la zone S/E (Fig. 37). On observe donc une complexification globale de la forme des patches de domaine agricole **entre 1978 et 1993**. Elle est plus rapide dans la partie NO de l'image entre **1987 et 1993**, même si les formes restent moins complexes que dans la partie S/E.

Figure 37



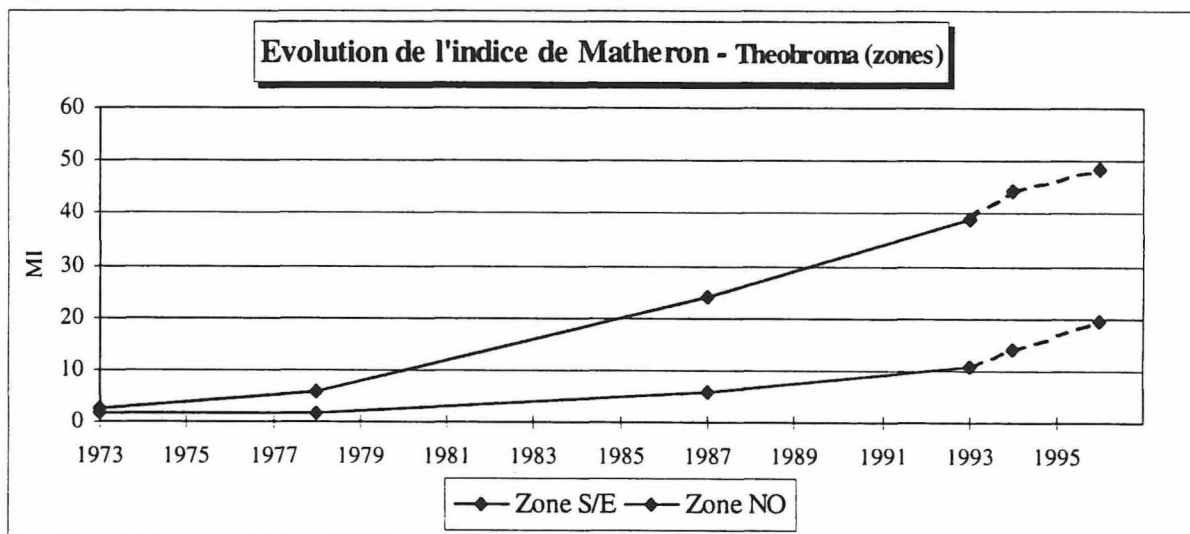
2.2.4. Evolution de l'indice de Matheron (MIc1)

Figure 38



L'indice de Matheron augmente de plus en plus fortement **entre 1973 et 1993** (Fig. 38). Cette croissance est beaucoup plus forte dans la zone S/E que dans la zone NO (Fig. 39). La fragmentation du couvert forestier est donc de plus en plus importante et est bien supérieure dans la partie S/E que dans la partie NO.

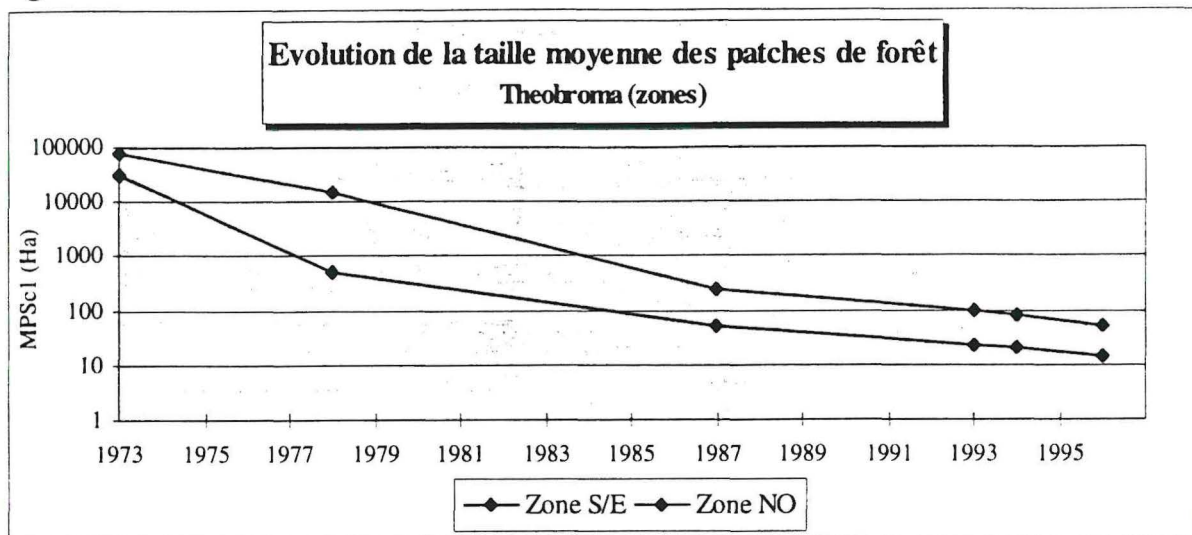
Figure 39



2.2.5. Taille moyenne des patches

- Taille moyenne des patches de forêt (MPSc1).

Figure 40

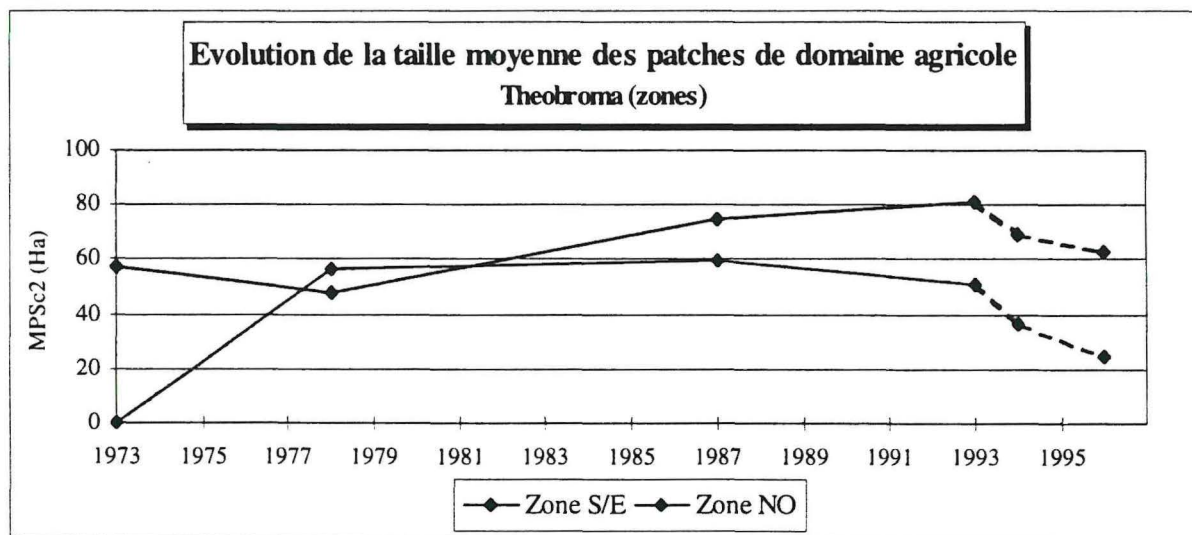


Les dimensions moyennes des patches de forêt diminuent presque exponentiellement (Fig. 40). Elles évoluent de façon similaire dans le S/E et le NO mais restent supérieures dans la partie NO.

Le fort coefficient de variation indique d'importantes différences de taille entre les différents patches de forêt. On constate ainsi qu'en 1978, il n'y avait qu'un patch supérieur ou égal à 10 ha dans toute l'image : il occupait une surface d'environ 160 800 ha soit 96% de la couverture forestière. En 1987, on en dénombre 16 dont le plus grand couvre 80% de la surface de la classe forêt. En 1993 on en compte 68, le plus grand représente 66% de la forêt. En 1994 il y en a 76 et en 1996 on en compte 108, le plus grand représente respectivement 63% et 55% de la surface de forêt.

- Taille moyenne des patches de domaine agricole (MPSc2)

Figure 41



Dans la zone S/E, la taille moyenne des patches de domaine agricole est de 58 ha en 1973 mais il n'y a qu'un seul gros patch (Fig. 41). Elle baisse entre 1973 et 1978 puis augmente fortement entre 1978 et 1987, puis plus faiblement entre 1987 et 1993.

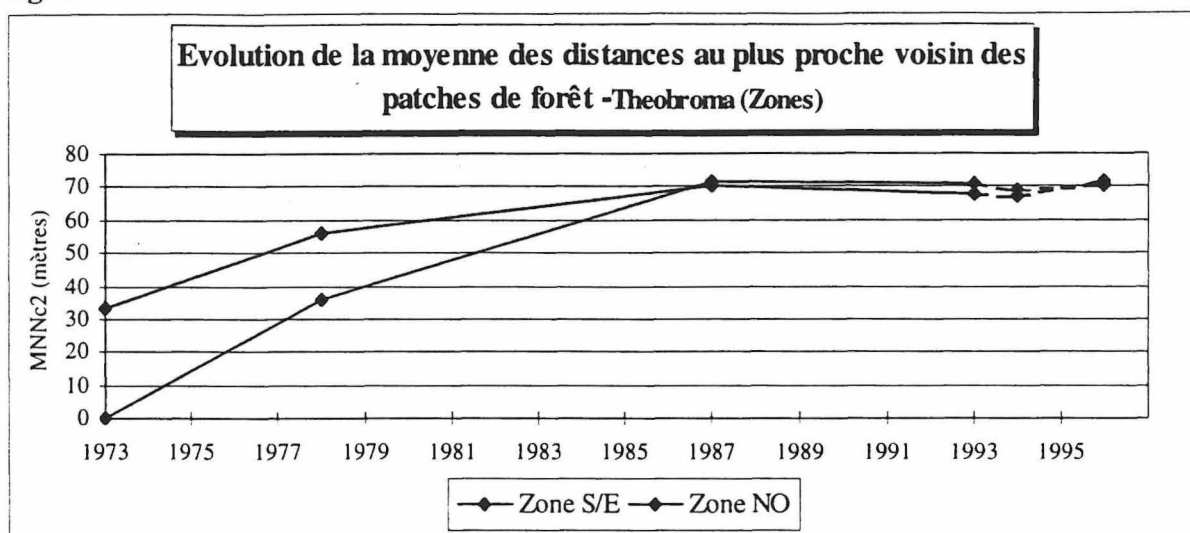
Dans la partie NO, l'indice augmente faiblement entre 1978 et 1987 puis diminue entre 1987 et 1993. La taille moyenne des patches de domaine agricole de la partie NO est d'abord supérieure à celle de la partie Sud en 1978, puis elle devient inférieure.

On peut également noter que le coefficient de variation, déjà très élevé en 1973, a tendance à augmenter de plus en plus. On a donc des disparités de plus en plus nettes dans la taille des patches de domaine agricole.

2.2.6. Evolution des distances au plus proche voisin MNNc1 et MNNc2

- Distance au plus proche voisin des patches de forêt (MNNc1)

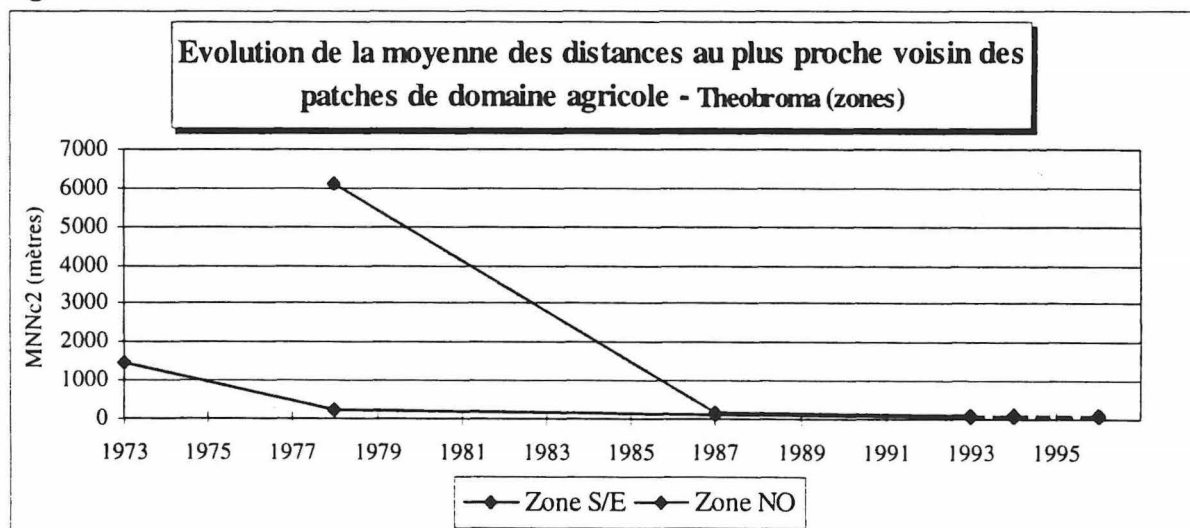
Figure 42



La distance au plus proche voisin des patches de forêt augmente de 1973 à 1987 pour ensuite se stabiliser entre 1987 et 1993 et même baisser dans la zone S/E de l'image (Fig. 42). Elle est supérieure dans la partie S/E par rapport à celle de la zone NO.

- Distance au plus proche voisin des patches de domaine agricole (MNNc2)

Figure 43



La distance au plus proche voisin des patches de domaine agricole, très élevée en 1973, ne cesse de baisser jusqu'en 1993 (*Fig. 43*).

En 1973, la distance au plus proche voisin est élevée dans la strate S/E. Le fort coefficient de variation (environ 250%) montre que certains patches sont très isolés alors que d'autres sont très proches. Il n'y a pas de valeur pour la zone NO car il n'y a aucun patch de domaine agricole dans cette zone. **En 1978** elle a énormément chuté dans la strate S/E mais elle reste élevée dans la partie NO. **De 1978 à 1987**, elle baisse surtout dans la strate NO, plus faiblement dans la zone S/E.

Les patches de domaine agricole sont donc de moins en moins isolés, alors que les fragments de forêt le sont de plus en plus.

2.3. Récapitulatif de l'évolution des motifs spatiaux entre 1973 et 1996

- **En 1973**, la forêt couvre la quasi-totalité de la surface de l'image; elle occupe 99 % de l'espace. Seule une toute petite partie de la zone S/E est occupée par le domaine agricole. Certains de ces patches de domaines agricoles sont groupés, d'autres sont isolés. Ils ont une taille moyenne de 58 ha, mais il y a de grandes différences de taille entre ces patches.

- **Entre 1973 et 1978**, la couverture forestière commence à disparaître au profit du domaine agricole. Celui-ci commence à gagner surtout dans la partie Sud de l'image où le nombre de patches de domaine agricole a été multiplié par 10. Ces patches occupent 48 ha en moyenne, mais là encore il y a de grandes disparités de taille entre les patches et la distance au plus proche voisin a diminué. Le couvert forestier s'est fragmenté : le nombre de patches de forêt est passé de 3 à 173 et la taille moyenne a bien sûr diminué sensiblement. La différence de taille entre les patches de forêt est cependant considérable (le coefficient de variation est de 1300%). Un grand patch de forêt occupe la majorité de l'espace, tous les autres couvrant des superficies inférieures à 10 ha (la forêt n'est donc pas fragmentée mais plutôt perforée). L'indice de Matheron augmente légèrement confirmant la fragmentation ou plutôt l'augmentation des lisières par rapport à la surface occupée.

Dans la **partie Nord-Ouest de l'image**, quelques patches de domaine agricole sont apparues (4 au total). Elles sont très isolées (la distance au plus proche voisin est de 6 km en moyenne) et sont en moyennes légèrement plus grandes que dans la partie NO. La surface occupée par la forêt n'a quasiment pas varié.

- **Entre 1978 et 1987**, on observe une accélération de la disparition de la couverture forestière, dans la partie S/E, et le début du déboisement dans la partie Nord-Ouest.

Le taux moyen annuel de déboisement au cours de cette période est respectivement de 0,97 % et 3% dans les strates NO et S/E.

En 1987, la forêt ne couvre plus que 68% dans la **partie S/E**. La fragmentation s'est accrue : le nombre de patches de forêt a encore augmenté et dépasse désormais 1200. Leur taille moyenne a diminué. L'indice de Matheron a presque quadruplé et la distance moyenne au plus proche voisin continue à s'élever. Le nombre de patches de domaine agricole a continué également à croître plus rapidement : il a triplé durant ces 9 années. Leur taille a augmenté rapidement et la distance au plus proche voisin diminué. Il semble donc qu'on ait eu à la fois un accroissement de la dimension des patches de domaine agricole, - ayant parfois conduit à leur regroupement-, et l'apparition de nouveaux patches. L'indice fractal nous indique que les formes des patches de forêt et de domaine agricole se sont complexifiées.

Dans la **zone NO** le couvert forestier couvre 91% de l'espace. Le nombre de patches de forêt a augmenté marquant un début de fragmentation du couvert; leur taille moyenne a diminué mais

on a toujours un grand patch de forêt, occupant la majorité de l'espace et des patches beaucoup plus petits (inférieurs à 10 ha), inclus dans les patches de domaines agricoles nouvellement formés. Les patches de forêt sont plus isolés, la distance au plus proche voisin s'est élevée. La fragmentation est bien plus faible que dans la partie S/E, l'indice de Matheron est plus fort mais sa valeur est bien inférieure à celle de la zone S/E. Les patches de domaine agricole demeurent bien moins nombreux que dans la zone S/E, mais leur nombre a sensiblement augmenté et ils sont beaucoup moins éloignés les uns des autres qu'en 1978. Leur taille moyenne est légèrement plus élevée qu'en 1978 mais désormais inférieure à celle des patches de domaine agricole de la zone S/E. La forme des patches de forêt et de domaine agricole est moins complexe que dans la partie S/E.

- De 1987 à 1993, on constate encore une diminution de la couverture forestière, aussi bien dans le Nord que dans le Sud de l'image. Le déboisement a un peu diminué dans la partie Sud mais reste toujours très actif avec un taux de déboisement de 2,67% par an. Il s'est par contre accéléré dans la zone NO avec un taux annuel de déboisement de 1,47% par an.

La fragmentation du couvert forestier se poursuit dans les deux parties de l'image, le nombre de patches de forêt augmentant encore plus vite et leur taille diminuant. La fragmentation est cependant toujours plus poussée dans la zone S/E de l'image où l'indice de Matheron et le nombre de patches de forêt sont plus élevés et s'accroissent beaucoup plus fortement. Par contre, leur dimension fractale a baissé dans la zone S/E alors qu'elle continue à augmenter dans la partie NO. Les formes des patches de forêt se complexifient dans la partie NO alors qu'elles commencent à se simplifier dans la partie Sud. Elles sont désormais plus complexes dans la partie NO. La distance au plus proche voisin reste identique au Nord et baisse au Sud, ce qui peut être dû à un effet de segmentation plus fort que celui de la disparition de forêt.

Le nombre de patches de domaine agricole continue également à croître dans toute l'image à la même allure. Leur taille moyenne continue à s'accroître dans le Sud, alors qu'elle accuse une baisse dans la partie NO : l'apparition de nouveaux sites de déboisement dans la partie NO est prépondérante. Dans la partie S/E on constate à la fois la formation de foyers de déboisement et un important accroissement des dimensions des patches qui ont une plus grande probabilité de fusionner dans leur extension, puisqu'elles occupent proportionnellement plus d'espace. Les formes des patches de domaine agricole se sont encore complexifiées.

En 1993, on a deux paysages différents. Celui de la zone Nord est encore dominé par la forêt contrairement à celui du Sud. Il est également moins fragmenté et moins complexe en terme d'indices fractals bien que les patches de forêt aient des formes plus complexes.

- Pour les périodes allant de 1993 à 1994 et de 1994 à 1996, étant données les difficultés d'interprétation liées au changement de résolution des images, on peut uniquement considérer les pourcentages de forêt. Ceux-ci continuent à diminuer plus fortement encore pour atteindre 71,4% dans la zone NO et 40,2% dans la zone S/E. En 23 ans, un tiers de la surface de forêt dans le Nord et plus de la moitié dans le Sud ont donc disparu.

2.4. Apports et limites de l'analyse quantitative de la dynamique spatiale

2.4.1. Avantages de l'analyse quantitative sur l'analyse visuelle

L'analyse quantitative effectuée donne des **valeurs fiables** et non des estimations, aux erreurs de seuillage et de classification près. Elle permet de déterminer plus exactement le pourcentage occupé par chacune des classes, et le nombre et la taille des éléments du paysage.

Cela est difficilement réalisable visuellement dans des paysages aussi complexes et étendus.

Elle aide également au **suivi des transformations spatiales**. Les courbes d'évolution permettent d'observer comment évolue le paysage en terme de composition et de configuration. Elles indiquent les tendances. Certains indices synthétiques permettent d'observer cette évolution en terme de dégradation (pourcentage de forêt dans le paysage), de complexification des formes (indice fractal) et de fragmentation (indice de Matheron, nombre et taille des patches) du paysage. Ils informent sur la nature du processus spatial (perforation, fragmentation). De ce fait, elle pourrait permettre une **modélisation** de ce processus spatial.

Enfin, le suivi des indices sur les deux strates d'une même image a permis d'individualiser deux tendances nettes, intervenant à des dates distinctes et de les comparer.

2.4.2. Limites de l'analyse quantitative

Mais l'analyse quantitative, telle qu'elle a été réalisée, comporte des limites.

Elle ne permet pas la **spatialisation** (localisation des patches). Il aurait fallu découper l'image comme dans l'intercomparaison pour savoir dans quel sens évolue le front, mais pour des questions de temps cela n'a pu être réalisé. Les distances au plus proche voisin pourraient apporter une information mais ce sont des moyennes entre un trop grand nombre de patches et leur interprétation est donc peu précise.

Il apparaît difficile de **caractériser mathématiquement une forme**. Les indices fractals donnent juste une idée de leur complexité. L'oeil semble pour l'instant plus performant.

Il est de même impossible de **suivre un patch en particulier** ou d'évaluer la quantité de patches qui apparaissent ou disparaissent par fusion ou par diminution. On peut utiliser la combinaison taille et nombre de patches d'une classe donnée, mais cela reste imprécis.

Pour suivre une dynamique, elle demande un **nombre important d'images** les plus rapprochées possible dans le temps, depuis le début du processus, et de même résolution spatiale.

Enfin, elle nécessite des **temps de calculs** importants.

3. Mise en relation avec le processus de déforestation

Il serait intéressant d'effectuer des corrélations entre les indices spatiaux et des données démographiques, économiques ou politiques (indicateurs). Cependant ces données manquent. Les *municipios* ayant été créés durant les dernières décennies (celui Theobroma a été créé en 1991), les données démographiques ne sont utilisables que pour les années récentes. Nous nous contenterons de relier les "événements" spatiaux avec quelques événements historiques.

3.1. 1973 : la forêt omniprésente

En 1973, la déforestation n'a pas encore commencé sur le futur *municipio* de Theobroma. La forêt dense occupe tout l'espace. On décèle uniquement l'existence d'un foyer de peuplement dans le Sud de l'image.

Suivant le modèle d'évolution des fronts de Reboratti (1979) on est dans une phase de

“frontière potentielle” il n’y a pas encore d’occupation permanente du sol, la densité de population est presque nulle, la terre est réputée libre. Cet espace est susceptible d’être colonisé.

3.2. 1973 - 1978 : début de la déforestation par des petits agriculteurs

Entre 1973 et 1978 on note les premiers changements dans le Sud de l’image. Le front de colonisation arrive par le Sud. La frontière a fait l’objet d’une planification préalable : l’année 1978 marque le début du programme de colonisation de Theobroma. Des routes sont ouvertes, des lots de 100 ha sont attribués à des petits agriculteurs. Il s’ensuit un afflux d’immigrants, petits paysans issus de l’état du Para, qui viennent d’installer près de ces axes. Ces routes correspondent aux “lignes” parallèles visibles sur l’image de 1978. L’occupation est encore peu importante : elle s’étale le long des routes et forme des patches de faibles dimensions (48 ha en moyenne).

On est dans une phase de “front d’expansion” (installation) qui se caractérise par un premier contact entre les terres libres et les populations.

On commence à voir apparaître des zones déboisées dans le Nord de l’image, d’emblée de grandes dimensions (4 zones de 56 ha en moyenne).

3.3. 1978 - 1987 : début de la déforestation par les "fazendeiros"

Le Nord de l’image est à son tour largement déboisé par les propriétaires de ranches, les fazendeiros. Les structures des surfaces déboisées sont géométriquement plus simples que dans le Sud.

La déforestation par les petits paysans est bien avancée dans le Sud. Elle se poursuit avec la création de nouvelles routes secondaires, puis tertiaires, quadrillant tout l’espace, qui conduit à une accélération de la déforestation et de la fragmentation de la forêt.

3.4. 1987 - 1996 : poursuite du processus et accélération des déboisements à partir de 1994

Le processus de déboisement s’amplifie. La déforestation est toujours plus active dans le Sud que dans le Nord. Elle a un peu ralenti entre 1987 et 1993. Mais entre 1993 et 1996, les déboisements se sont accélérés dans toute l’image. On observe alors une fragmentation de plus en plus importante de la forêt dont la taille moyenne des patches approche les 10 ha dans le Sud du *município*.

Les deux approches, visuelle et quantitative, apparaissent complémentaires dans l’étude spatiale d’un processus. L’approche visuelle permet d’avoir des informations rapides sur la nature du paysage et sur l’évolution des formes géométriques. L’approche quantitative nous renseigne exactement sur la composition des paysages à différentes dates et nous offre des indicateurs fiables sur les tendances d’évolution d’un paysage. Elle peut nous permettre de confirmer et d’appuyer des observations visuelles.

Elle pourrait également permettre, si on disposait de plus de dates, plus rapprochées de modéliser le processus et de projeter dans l’avenir les tendances actuelles.

Partie III

DISCUSSION

CHAPITRE 7 : MISE EN RELATION DU PAYSAGE AVEC LES FACTEURS DE DEFORESTATION

1. Des situations initiales assez semblables.....	104
1.1. Des conditions biophysiques proches.....	104
1.2. De vastes espaces disponibles	104
2. La situation présente : une déforestation plus ou moins massive selon des motifs différents.....	104
2.1. Disparition d'une partie du couvert forestier.....	104
2.2. Des motifs spatiaux de déforestation très différents d'un site à un autre	105
3. Causes et facteurs de la déforestation : ce qui a conduit à de telles différences spatiales.....	106
3.1. Les causes du changement.....	106
3.2. Les facteurs de déforestation	107
3.3. Les facteurs politiques	114
4. Processus actuel et perspectives envisageables.....	115

CHAPITRE 7

PAYSAGE ET FACTEURS DE DÉFORESTATION

L'intérêt croissant accordé aux paysages et à l'analyse spatiale provient de ce que beaucoup d'auteurs supposent une correspondance entre l'organisation de l'espace et les processus qu'ils étudient. Cette correspondance varie selon les approches adoptées.

Certains auteurs analysent le **paysage comme révélateur du fonctionnement des systèmes "naturels"**. En écologie du paysage, on étudie l'incidence de l'organisation spatiale sur les processus écologiques. Inversement Bertrand (1978) cherche à délimiter le fonctionnement du géosystème en formant l'hypothèse que le paysage est le résultat de ce fonctionnement (Duvernoy, 1994).

Les géographes étudient les **relations entre les structures spatiales et le fonctionnement des systèmes socio-économiques**. Ils postulent que l'organisation de l'espace et les processus socio-économiques ne peuvent être séparés car ils se produisent mutuellement. Ainsi, les liens entre les activités humaines et l'organisation de l'espace géographique naissent des différents statuts de l'espace. Il s'agit toujours d'une **ressource** (par exemple espace pour la colonisation agricole). Mais, il peut être transformé par les activités auxquelles il sert de ressources : l'espace devient un **produit**. Enfin, cette production s'accompagne d'une inscription spatiale des activités passées : l'espace représente une **mémoire**. Réciproquement, les activités se déroulant dans l'espace et transformant l'espace ressource sont conditionnées par les caractéristiques de l'espace, qui est donc aussi **facteur**. Par exemple, la colonisation agricole s'effectue de préférence à proximité des voies de communications (Lardon et al., 1990).

Sur les sites étudiés, la **déforestation** constitue la principale marque des activités humaines, et en particulier de l'activité agricole. Les motifs de fragmentation (forêt/non-forêt) reflètent ainsi l'histoire des interactions de l'homme avec la forêt. L'analyse comparative des indices spatiaux des différents sites de notre étude a montré que ces motifs spatiaux étaient très différents d'un site à l'autre, bien qu'ils présentent des conditions biophysiques similaires. Mieux comprendre l'origine de ces différences implique d'étudier comment les acteurs gèrent leur espace, d'identifier leurs contraintes et d'observer comment cette gestion s'imprime spatialement.

Nous essaierons donc d'établir le rapport entre les structures spatiales quantifiées par des indices numériques, et le fonctionnement des systèmes socio-économiques.

1. Des situations initiales assez semblables

1.1. Des conditions biophysiques proches

Tous les sites étudiés appartiennent à la zone intertropicale. Ils possèdent un climat de type tropical de forêt humide caractérisé par des températures moyennes élevées et stable toute l'année, des précipitations constamment supérieures à l'évapotranspiration et une humidité relative très élevée, supérieure à 80%. Ce climat est particulièrement favorable au développement des plantes, en dépit des sols extrêmement appauvris qu'il génère. La pédogenèse atteint effectivement les stades les plus avancés et conduit à la formation de sols ferrallitiques riches en kaolinite et hydroxydes de fer et d'aluminium (Moreau, 1993). Ce sont des sols profonds présentant de bonnes caractéristiques physiques, mais des caractéristiques chimiques médiocres. La forêt, en assurant le stockage biologique des éléments minéraux par les racines et mycorhizes, constitue le principal facteur de la richesse de l'écosystème.

Les reliefs sont plats, excepté celui du site camerounais qui présente un relief de collines.

1.2. De vastes espaces disponibles

Les conditions climatiques du Bassin Amazonien, du Bassin du Congo et de Sumatra étant propices à la végétation, tous les sites étudiés étaient intégralement couverts d'une forêt dense. C'étaient des zones d'espaces disponibles, très peu peuplés et sans droit foncier, qui représentaient (et représentent encore) des territoires de conquête de terres nouvelles.

2. La situation présente : une déforestation plus ou moins massive selon des motifs différents

2.1. Disparition d'une partie du couvert forestier

L'activité humaine a conduit à une déforestation et une dégradation plus ou moins massive de la forêt.

2.1.1. Etat de dégradation actuel du couvert forestier

La proportion de forêt est encore élevée dans certains sites : elle occupe encore 87% du site de Ambam (Cameroun), 74% de Pucallpa (Pérou). Elle couvre une petite majorité de l'espace des sites de Pedro Peixoto (Brésil) et de Yurimaguas (Pérou) : 65 et 61% respectivement. Les sites de Theobroma (Brésil), Yaoundé (Cameroun) et surtout Lampung (Sumatra) sont clairement plus déboisés que les autres : 50%, 30%, 14% respectivement.

Le couvert forestier est essentiellement constitué de forêt dense, excepté sur les sites de Yaoundé et Lampung où l'intégralité de la forêt n'est plus qu'une forêt secondaire, fortement dégradée.

2.1.2. Taux de déforestation et évolution

Les sites les plus anciennement colonisés sont ceux de Yurimaguas, Lampung et les sites camerounais : la colonisation de Yurimaguas a été initiée à la fin du 19^{ème} siècle, celle de Lampung, a commencé vers 1905. L'occupation du Sud du Cameroun a eu lieu en 1919, avec l'arrivée des allemands et le développement du commerce du cacao. La colonisation des autres sites est bien plus récente et a eu lieu durant les dernières décennies : l'installation humaine a débuté vers 1945 sur le site de Pucallpa, et dans les années 70 sur les sites brésiliens (en 1972 sur le site de Pedro Peixoto, en 1978 sur le site de Theobroma).

Les taux annuels de déboisement actuels sont assez similaires et très faibles pour les sites de Yurimaguas et Pucallpa : 0,48% et 0,49% entre 1989 et 1995. Ces taux sont certainement minimisés par la rapide régénération de la forêt sur les jachères et les terres agricoles abandonnées.

Les sites brésiliens ont des taux beaucoup plus élevés : le site de Theobroma avait un taux de 4,1% entre 1994 et 1996; celui de Pedro Peixoto s'élevait à 2,63% entre 1992 et 1996. Le taux de déboisement est relativement élevé dans le Sud Cameroun : 1,5% en 1993.

2.2. Des motifs spatiaux de déforestation très différents d'un site à un autre

L'analyse comparative des indices spatiaux a révélé de grandes différences suivant les sites entre les motifs spatiaux de déforestation:

- **Yurimaguas** : la déforestation s'est faite autour de la ville de Yurimaguas et le long des rivières. A une certaine distance de ces axes, la déforestation devient disséminée et présente beaucoup de petits patches. Le motif de déforestation est diffus dans toute l'image.
- Dans la région de **Pucallpa**, nous avons le même motif linéaire, le long de la rivière Aguaytía, mais c'est surtout autour de la route Federico Basadre et de son réseau secondaire que se sont installés les hommes.
- Sur le site de **Theobroma**, l'analyse de l'image a montré la présence de deux zones de structure très différentes : avec un réseau routier dense, une zone agricole et une zone plus largement boisée avec de grands ranches.
- Le site de **Pedro Peixoto** présente des motifs de déforestation très réguliers avec alternance de grandes unités de domaine agricole et de grandes unités de forêt.
- Le site de **Yaoundé** présente une zone totalement déboisée autour de la ville de Yaoundé à l'Ouest (modèle concentrique) et des zones plus forestières à l'Est; le Nord quant à lui présente des paysages de savane.
- La région d'**Ambam** présente un motif de déforestation diffus, parsemé de patches de domaine agricole plus nombreux et plus grands le long des axes routiers (modèle linéaire). Le domaine agricole est assez uniformément réparti le long des routes. Il semble un peu plus concentré autour de la petite ville de Ambam.
- **Lampung** offre un paysage totalement déboisé, sauf le long des rivières où subsiste une forêt très fragmentée. Ce paysage est structuré par d'immenses plantations agro-industrielles.

Ces différents motifs et rythme de déforestation, dans des situations biophysiques similaires, ont donc été induits par des causes et des facteurs très différents.

3. Causes et facteurs de la déforestation : ce qui a conduit à de telles différences spatiales

La déforestation est la conséquence d'une multitude de facteurs intervenant à une grande variété d'échelles. Les facteurs et les causes de déforestation décrits dans ce chapitre ne seront pas exhaustifs. Nous reprendrons ceux qui ont été mis en évidence sur les régions étudiées, pour relever lorsque c'est possible leur inscription spatiale.

3.1. Les causes du changement

Le projet ASB s'intéressant à l'agriculture-sur-brûlis (*slash-and-burn agriculture*), sur tous les sites l'agriculture est la principale cause de déforestation.

3.1.1. L'agriculture

- Sur les sites brésiliens, la déforestation est due à une agriculture paysanne sur brûlis basée sur des cultures annuelles et surtout sur les pâturages. Des cultures pérennes (café, cacao, azerole) sont également plantées dans le cas de Theobroma. Lorsque les migrants s'installent, ils coupent et brûlent la forêt pour y cultiver des plantes annuelles pendant 1 à 3 ans, suivant la fertilité du sol, et ils établissent ensuite des pâtures.

Mais de grands ranches, dont la taille moyenne est de 300 ha, se sont également créés (Moran, 1993). Ces grandes " fazendas " correspondent à la zone Nord (motif 2, fig. 25) de l'image du site Theobroma.

- La déforestation sur le site de Yurimaguas a commencé au début du siècle par l'exploitation de l'hévéa le long des rivières. Actuellement la déforestation est due à une agriculture itinérante, basée sur des cultures vivrières annuelles. Mais la culture de la coca constitue également une cause de déforestation dans la région (motif 3 et 4).

- Sur le site de Pucallpa, la création de pâturages le long des routes (motif 1, fig. 22) semble avoir été la cause principale de déforestation dans les années 70 et 80. Ailleurs, la déforestation est occasionnée par une agriculture de subsistance, basée sur des cultures annuelles.

- Sur les sites camerounais, la déforestation est engendrée par une agriculture itinérante basée sur des cultures vivrières. Des cultures de rente (cacao) sont également très répandues mais se pratiquent sous couvert boisé.

- Dans le cas de Lampung, la déforestation a été induite dans les années 70 par la création de grandes plantations agro-industrielles d'une part (motif 1, fig. 27) et par l'implantation de village de " transmigrants " pratiquant une agriculture vivrière.

3.1.2. Autres causes de déforestation

Sans vouloir être exhaustif, on peut citer l'exploitation forestière, l'urbanisation et le développement des infrastructures de communication. Ces causes apparaissent cependant mineures, par rapport au rôle joué par l'activité agricole, sur les sites étudiés.

- L'exploitation forestière

L'exploitation forestière a été identifiée comme cause de déforestation dans les sites péruviens, en particulier la région de Pucallpa, et sur les sites camerounais. On estime

qu'entre 1955 et 1974, le front d'extraction prédominait au front de production dans la région de Pucallpa (Rodriguez et al, 1996). Ce ne sont jamais des déforestations massives puisque c'est une exploitation sélective qui est pratiquée, conduisant à un écrémage systématique de quelques espèces de valeur. Les chemins d'exploitation causent cependant des dommages à la forêt.

La multitude des petits patches de domaine agricole rencontrés dans les sites de Ambam (motif 3, *fig. 26*), et de Pucallpa (motifs 3 et 4, *fig. 22*) pourraient être issus de l'exploitation forestière.

- **L'urbanisation**

Sur les sites étudiés, l'urbanisation est une cause mineure de déforestation, à l'exception peut-être du site de Yaoundé : la ville de Yaoundé croît en effet rapidement depuis quelques décennies. Les villes sont de petite taille sur les autres sites.

- **Le développement des infrastructures de communication**

La construction d'un dense réseau routier sur les sites brésiliens (Rondônia et Acre), sur les sites de Yaoundé et de Lampung, et la création de la route Federico Basadre sur le site de Pucallpa ont entraîné des déboisements.

Au total, les indices spatiaux calculés sur des images "forêt"/"domaine agricole" renseignent assez bien sur les causes agricoles qui sont la source majeure des déboisements sur les sites étudiés. Mais leur information est plus limitée pour d'autres types de couvert où les causes non-agricoles sont plus importantes; dans ce cas d'autres indicateurs calculés sur d'autres classes et à partir d'images codées différemment seraient nécessaires.

3.2. Les facteurs de déforestation

3.2.1. Les facteurs physiques et environnementaux

Les mouvements de populations sont conditionnés par des facteurs (et des contraintes) physiques et environnementaux : la fertilité des sols, la distance aux infrastructures, la distribution des forêts, etc., influencent l'installation humaine. La propagation des populations ne se fait ainsi généralement pas, ou peu, de façon uniforme; l'avancée a souvent une composante linéaire, le long des voies de communication (cours d'eau, piste) ou d'une ligne de plus grand profit (secteurs les plus rentables).

L'influence de ces facteurs physiques a pu être appréhendée par l'étude de la variabilité interne des indices sur chaque site. Nous avons pu voir que dans tous les sites étudiés, l'occupation humaine était concentrée dans certaines zones de l'image. Certains des paysages sont structurés spatialement par les rivières et les routes avec une structure linéaire. Certains ont une structure plus concentrique. D'autres enfin combinent une occupation linéaire et concentrique.

3.2.1.1. Traduction spatiale des facteurs de déforestation physiques et environnementaux

- **Des paysages structurés par les rivières**

Les sites de Pucallpa, Yurimaguas et Lampung présentent des paysages structurés complètement ou en partie par les cours d'eau.

Sur le site de **Pucallpa**, des zones déboisées s'étendent le long du Rio Aguaytía (motif 2, *fig. 22*); elles vont jusqu'à une distance maximale de 5 km de la rivière.

L'influence du réseau fluvial est encore plus remarquable sur le site de **Yurimaguas** : l'occupation a principalement été réalisée près des cours d'eau, les villes et les villages étant installés sur leurs rives. Nous avons vu que les plus faibles pourcentages de forêt se trouvaient à leur proximité (motif 1, *fig. 23*). La forêt y est présente mais très fragmentée (fort indice de Matheron).

Par une étude quantitative à l'aide de zones tampon, Imbernon (1996) a montré que 70% des terres cultivées sont situées à moins de 3 km d'une rivière et que la proportion de domaine agricole décroît exponentiellement avec la distance à la rivière.

Ce motif de déforestation le long des rivières est caractéristique du Bassin Amazonien.

Le site de **Lampung** présente également un type de motif de paysage (motif 2, *fig. 27*) le long de la rivière Tulang Bawang et de ses affluents différent du reste de l'image. La forêt y est plus présente que dans le reste de l'image, elle est très fragmentée. L'installation humaine s'est faite préférentiellement en dehors de ces zones alluviales. On peut noter qu'en 1950, l'occupation humaine était au contraire uniquement concentrée le long des cours d'eau.

Les zones de rivières possèdent généralement les dimensions fractales les plus élevées de l'image. Les distances au plus proche voisin sont également faibles.

Cependant, les indices spatiaux de la zone de la rivière Aguaytía (site de **Pucallpa**) sont relativement différents de ceux des zones de rivières des autres sites. La proportion occupée par la forêt notamment est bien plus importante.

Par contre les sites de Lampung et Yurimaguas possèdent des taux de couvert forestier similaires; les autres indices spatiaux ont les mêmes valeurs : fort indice de Matheron, fort indice fractal, faible distance au plus proche voisin. Le nombre de patches de domaine agricole est cependant bien supérieur sur le site de Yurimaguas; leur taille moyenne est également plus faible.

• Des paysages structurés par les routes

Les sites de Pucallpa, Pedro Peixoto, Theobroma, Ambam et Yaoundé offrent des paysages structurés par leur réseau routier.

Sur le site de **Pucallpa**, on a pu constater que l'occupation humaine se manifestait surtout le long de la route Federico Basadre, reliant Pucallpa à Lima (motif 1, *fig. 22*). Les zones déboisées sont concentrées dans les zones adjacentes de la route et de ses ramifications secondaires. Le front de déforestation pénètre de 5 à 10 km de distance de la route principale (Federico Basadre) et de 1 à 4 km des routes secondaires.

Dans la région de **Pedro Peixoto**, l'occupation agricole est structurée par le dense réseau routier. Le domaine agricole s'étend plus au niveau des axes routiers primaires (les plus anciennement installés, motif 1, *fig. 24*). En 1992, 40% des terres cultivées sont situées à moins de 300 m d'une route (Imbernon, 1996); cette proportion décroît exponentiellement avec la distance à la route.

Le site de **Theobroma** révèle également une forte relation entre le réseau routier et l'intensité d'occupation des sols. La partie sud de l'image, densément quadrillée par un réseau routier, est également la plus occupée (motif 1, *fig. 25*). L'intensité d'occupation des sols diminue avec la distance à la route : 29% des terres cultivées sont à moins de 300 m de la route et 7% des zones de domaine agricole sont situées entre 1 200 m et 1 500 m d'une route.

On remarque également la présence de corridors de déforestation le long des routes sur les sites de **Yaoundé et surtout d'Ambam**. La route goudronnée Obala-Yaoundé-Mbalmayo-Ebolowa et sa partie non goudronnée allant jusqu'à Ambam attirent une occupation intensive du sol. Sur le site de Ambam (motif 2, *fig. 26*) les cellules sont occupées à 15% par le domaine agricole. La plupart des installations se font linéairement, le long de ces routes, sous forme de villages-rue. 40% des terres du site de M'Balmayo sont situées à moins de 1 km d'une route (Imbernon, 1996). Contrairement au site de Yaoundé, le réseau routier de la région d'Ambam est très pauvre.

Dans le cas de **Yurimaguas**, la présence des routes (non goudronnées sur ce site) constitue un facteur de déforestation bien moindre. On observe la présence d'un couloir de déforestation le long des routes allant à Munichis et Tarapoto, mais leur effet se confond avec l'influence de la rivière (motif 1).

Les densités de réseau routier varient énormément d'une région à l'autre : elles sont très abondantes dans les sites de Acre et de Theobroma, un peu moins dans le cas de Yaoundé et Lampung, moyenne dans le cas de Pucallpa et très faible dans le cas de Yurimaguas.

• La proximité à la ville

L'influence de la ville est clairement visible sur l'image de **Yurimaguas**. Nous avons pu identifier un gradient d'occupation qui croît avec la proximité à la ville (motif 1, *fig. 23*). Les principales activités agricoles sont localisées autour de la ville : 21,7% des terres agricoles de toute la région sont situées dans un rayon de 11,5 km autour de Yurimaguas (J. Imbernon, 1996).

Au Cameroun, l'occupation du territoire est intensive autour de la capitale, **Yaoundé**, et son influence se remarque sur un rayon de plus de 16 km où les terres agricoles couvrent plus de 40% à l'intégralité de la surface des cellules (motif 1, *fig. 25*). La transition est brutale entre les alentours de Yaoundé, totalement déboisés, et la zone de forêt.

La ville de Ambam est beaucoup plus petite et n'a pas une telle influence sur ses alentours.

3.2.1.2. L'accès à la terre

A l'échelle nationale, un des principaux obstacles à l'occupation des forêts tropicales denses est la pénétration du milieu. C'est ce problème physique d'accès à la terre qui a longtemps freiné ou empêché la colonisation de l'Amazonie, de la forêt dense camerounaise ou de la province de Lampung. L'homme s'est donc installé de façon privilégiée le long des voies de pénétration que sont les rivières et les routes. Les routes et les rivières sont ainsi un moyen de coloniser ces espaces, d'accéder à la terre.

Dans la région de **Yurimaguas**, la **rivière** principale, le Rio Huallaga, a été et reste la principale voie d'accès à la terre. C'est la voie qu'empruntèrent les colons espagnols et c'est par là qu'arrivèrent, à la fin du 19ème siècle, les milliers d'hommes venus récolter le caoutchouc. Les rivières secondaires sont des voies de pénétration vers l'intérieur de la forêt, et relient les villages.

A **Lampung**, les premières habitations étaient également installées le long de la rivière Tulang et de ses affluents, seuls axes de pénétration alors possibles.

Mais les rivières ne permettent pas une colonisation massive, vue la difficulté de pénétrer à l'intérieur de la forêt. Les **routes** sont des moyens plus efficaces. Le réseau routier qui a été ouvert dans les dernières décennies à travers l'**Amazonie** a réellement permis de pénétrer la forêt et de déboiser de nouvelles surfaces.

La rivière Aguaytía sur le site de **Pucallpa** a rendu possible l'occupation des zones limitrophes; c'est cependant la route Federico Basadre qui a véritablement permis d'accéder à

la terre : la colonisation des rives de la rivière Aguaytía n'a été réalisée qu'après et l'occupation y est beaucoup moins importante que le long de la route.

Dans l'état du **Rondônia**, la construction de la BR-364 (Cuiba-Pôrto Velho) en 1968 a permis d'accéder à des terres et a été suivie d'une vague de migration.

Au **Cameroun**, les rivières étaient évitées car malsaines. C'est l'ouverture des routes par l'administration coloniale allemande provoqua là aussi un afflux de population.

Lorsqu'il ne s'effectue pas le long d'un fleuve ou d'une route, le processus de déforestation est souvent initié par l'ouverture des chemins forestiers. Au **Cameroun** ou en Amazonie **péruvienne** (Pucallpa surtout) les nouveaux **chemins d'exploitations** attirent les paysans à la recherche de terres cultivables. Parfois, pour aller chercher un seul arbre, les forestiers ouvrent des pistes sur lesquelles s'engouffrent les populations locales.

3.2.1.3. L'accès aux marchés et aux infrastructures

Les rivières et les routes sont aussi des voies de communication avec les villes ou l'extérieur, et offrent ainsi l'accès aux marchés locaux, nationaux ou internationaux et aussi aux écoles, aux centres de santé... Pour pouvoir accéder plus facilement aux marchés et aux infrastructures, les agriculteurs s'installent préférentiellement à proximité des routes, des rivières et des villes. Les villes s'étant rapidement développées en Amazonie ou au Cameroun (Yaoundé), celles-ci peuvent absorber une part de la production agricole sur le marché local.

Sur le site de **Yurimaguas**, la rivière Huallaga relie Yurimaguas à Iquitos, à Manaus et à l'Océan. Ce fut une voie de communication privilégiée que suivit le commerce du caoutchouc. Les routes étant généralement mauvaises (non goudronnées et inutilisables durant la saison des pluies) et peu nombreuses (seulement la route Yurimaguas-Tarapoto au sud, et Yurimaguas - Munichis à l'est), les rivières sont restées un moyen de transport important, aussi bien pour les hommes que pour les marchandises. Le bois et la viande sont transportés vers les marchés d'Iquitos et Manaus. La production de coca est entièrement dirigée vers les marchés internationaux.

La ville de Yurimaguas constitue le marché principal de la région. Quelques produits comme le plantain ou le boeuf sont envoyés par bateau au marché d'Iquitos mais en raison de l'absence de route goudronnée et de la distance par la rivière d'Iquitos (2 jours), une grande part des produits agricoles sont vendus directement à Yurimaguas. Ainsi le manque d'infrastructures et d'accès à des marchés apparaît être une limitation à la déforestation à Yurimaguas.

Dans le cas de **Pucallpa**, la rivière aide également au transport des grumes de faible densité (flottables). Mais la route Federico Basadre est le seul lien direct entre la forêt amazonienne et le pays : elle permet un accès au marché de Lima ainsi qu'au marché international, via le port donnant sur l'Océan Pacifique. Toutefois si certains produits comme le Guarana et le "Palmito de Pijuayo" sont très demandés sur le marché international (Toledo, 1994), la plupart des marchés sont très peu développés à l'échelle internationale et souffrent du manque d'infrastructures de transformation locale.

Là encore, étant donné la faible intégration de l'Amazonie péruvienne au marché international, la plupart des produits sont commercialisés dans la ville de Pucallpa essentiellement.

Au **Cameroun**, les routes principales, surtout la route goudronnée Obala-Yaoundé-Mbalmayo-Ebolowa et son tronçon non goudronné allant jusqu'à Ambam, jouent un rôle essentiel pour le transport et l'écoulement des productions du cacao. Elles donnent donc un accès au marché international. Les routes de terres étant très dégradées et impraticables durant la saison des pluies, la majorité de la population rurale est localisée près des routes

principales.

Yaoundé, capitale administrative du Cameroun (800 000 habitants), constitue un centre de consommation important pour l'agriculture. Elle s'octroie en conséquence une large zone d'influence.

La ville de Ambam a également un certain effet qui peut être expliqué par sa proximité aux nombreuses frontières qui lui ouvrent un commerce avec les pays voisins (Guinée équatoriale, Gabon, Congo).

3.2.1.4. Loin des voies d'accès...

Dans le cas des sites de Pucallpa (motifs 3 et 4, *fig. 22*) et surtout Yurimaguas (motif 2, *fig. 23*), on peut noter la présence de domaine agricole loin des voies d'accès, à des distances supérieures à 5 km d'une route ou d'un cours d'eau. Le type de déforestation est alors souvent diffus, composé d'une multitude de petits patches dispersés, inférieurs à 2 ha. Cette présence peut s'expliquer par l'existence de petits chemins forestiers et par une exploitation sélective du bois; elle peut également se rencontrer là où sont pratiquées des cultures illégales comme la coca. Le besoin de cacher les cultures est alors un des principaux facteurs.

3.2.1.5. Les facteurs environnementaux

La plupart des sols sont pauvres, de faible fertilité, fortement dégradés et sensibles à l'érosion. Ils sont en conséquence de mauvaise qualité pour l'agriculture et sont pourtant cultivés dans de larges proportions. La qualité du sol ne constitue donc pas un facteur prépondérant de déforestation.

Ce facteur agit néanmoins dans une certaine mesure sur quelques sites.

Dans le cas de **Yurimaguas**, la forte occupation des zones de rivière (motif 1, *fig. 23*) peut aussi s'expliquer par le sol : on peut observer des bandes déboisées parallèles, le long de la rivière Huallaga. Ces zones correspondent à d'anciens lits de rivières dont les sols alluviaux sont de bien meilleure fertilité qu'ailleurs. Elles sont cultivées durant la saison sèche, lorsque le niveau de l'eau baisse, et peuvent parfois même être cultivées en riz, lorsqu'elles sont immergées pendant la saison des pluies. Ce sont ces terres alluviales qui ont d'abord été déboisées et cultivées.

De même, sur le site de **Pucallpa**, les rives du Rio Aguaytía semblent avoir attiré des agriculteurs, malgré l'éloignement de la route et des marchés(motif 2, *fig. 22*). Elles correspondent là encore aux terres les plus fertiles et préférée des agriculteurs qui y pratiquent des cultures commerciales (riz). Cette zone de basses terrasses est également sujette à une exploitation drastique de certaines espèces recherchées qui ne poussent que dans ces conditions.

On peut aussi supposer que si les zones de rivières sont moins cultivées que les autres sur le site de **Lampung** (motif 2, *fig. 27*), c'est qu'elles souffrent de moins bonnes conditions du milieu (hydromorphie, inondations).

3.2.2. Facteurs socio-économiques

Les motivations des migrants venus s'installer dans ces terres nouvelles sont multiples, le plus souvent d'ordre économique : exclusion des terres d'origine, misère, spéculation...

Leurs objectifs économiques, changeant au cours du temps, s'inscrivent dans une stratégie individuelle, -ils produisent pour vendre mais aussi pour l'autoconsommation, pour assurer le devenir de l'exploitation en accumulant un capital (sous forme d'animaux, de plantations), pour augmenter leur statut social. Mais ces objectifs s'inscrivent également dans un contexte national voire international.

Ces facteurs ne peuvent être mis en évidence que par une étude dynamique en mettant en parallèle l'histoire et les déboisements.

3.2.2.1. Motivations économiques des colons

- **Exclusion des terres d'origine, misère et recherche de terres nourricières**

Sur le site de Yurimaguas, les premiers migrants du début du siècle ont été "forcés" de s'installer dans la région pour servir de main d'oeuvre lors de l'apogée caoutchoutière. Puis, beaucoup de migrants ont afflué des Hautes Terres des Andes en raison de l'appauvrissement. Le programme d'éradication de la coca instauré dans les années 70 dans le Alto Huallaga aurait d'autre part "chassé" les producteurs de coca et contribué à les déplacer vers l'Amazonie.

Au **Brésil**, ce sont les paysans du Nord qui sont dans un premier temps, jusqu'en 1970, venus par l'Amazonie ou la rivière Madeiras s'installer dans le Rondônia ou dans l'Acre. Les plans de colonisation ont attiré à la suite de nouveaux colons originaires de l'état du Parana (Sud).

Lampung a de même été peuplé de migrants partis de Java en raison des mauvaises conditions de vie et de la saturation de l'espace.

- **Richesses végétales et abondance d'espace**

La forêt est la principale ressource de l'activité agricole dans tous ces sites parce qu'elle est pour les petits agriculteurs sans terre une ressource d'espace mais aussi de fertilité. Ces paysans ont une stratégie du risque minimum durant leur installation et ils investissent peu, utilisant uniquement le capital représenté par la fertilité des sols après brûlis.

La forêt est également une ressource économique, quand il est possible de vendre du bois.

- **Prix des terres, avantages fiscaux attractifs**

En Amazonie brésilienne ou à Lampung, les incitations financières offertes par l'Etat ont encouragé l'installation. Les prix des lots attribués aux paysans étaient attractifs, l'espace était doté d'infrastructures basiques. Au Brésil, des crédits officiels pour le bétail ont été instaurés.

Au Pérou, dans les années 70 et 80, la promotion par la Banque Agraire de l'élevage et des cultures du maïs, du riz et du manioc aurait favorisé le front agricole. De plus les titres de fonciers sont rares et la terre appartient à ceux qui la défrichent.

- **Spéculation foncière au Brésil**

Dans le projet de colonisation de Theobroma, 80% des lots attribués en 1978 avaient changé de propriétaires 15 ans plus tard. La mise en valeur des terres apporte des plus-values importantes et les gains obtenus par la spéculation apparaissent très hauts. Or la productivité du sol chute après déforestation, en raison de sa faible fertilité. Ce n'est donc pas sa valeur

productive qui est forte. La valeur de la terre est plutôt liée à sa **capacité à capter des rentes institutionnelles** comme les crédits et les subventions, ce que Bhagwati appelle “*unproductive profit-seeking activities*” (1982). Pour obtenir ces rentes, les forêts ont été converties en pâtures. La dynamique du marché international a peu à voir dans l’expansion de l’élevage (Hecht, 1993) et les liens avec l’économie régionale sont faibles même si les centres urbains locaux consomment de la viande amazonienne.

Les agriculteurs ayant vendu leur terre se déplacent; aucune étude n’a été réalisée sur leur destination. Il semblerait que certains aillent vers les villes, d’autres vers de nouvelles frontières, probablement pour spéculer sur de nouvelles terres.

3.2.2.2. *Le contexte économique régional, national et international*

Les **fluctuations des marchés internationaux** peuvent influencer la déforestation.

A la fin du 19^{ème} siècle, l’industrialisation et la forte demande sur le marché international de caoutchouc furent un motif déterminant de la colonisation de l’**Amazonie**; son déclin causa l’abandon des terres et le départ de beaucoup d’agriculteurs.

Au **Cameroun**, les cours mondiaux du cacao interviennent sur l’abandon ou au contraire l’installation de nouvelles cacaoyères. Le marché de la coca au Pérou est également un facteur de déforestation : l’accroissement de la demande dans les années 70 et les forts revenus obtenus par la vente de la coca ont conduit les agriculteurs à étendre leur surface cultivée. La déforestation est dans ce cas essentiellement liée au marché international.

Au **Brésil** la déforestation semble également fortement liée aux changements des conditions économiques dans le sud, et plus particulièrement à ceux de l’état du Parana (modernisation de l’agriculture consécutive au développement du soja).

3.2.2.3. *Facteurs démographiques*

On peut distinguer au moins deux facteurs démographiques : la densité et la croissance (naturelle ou due aux flux migratoires). Les différentes valeurs de ces paramètres exercent une pression sur l’environnement.

• **La densité démographique**

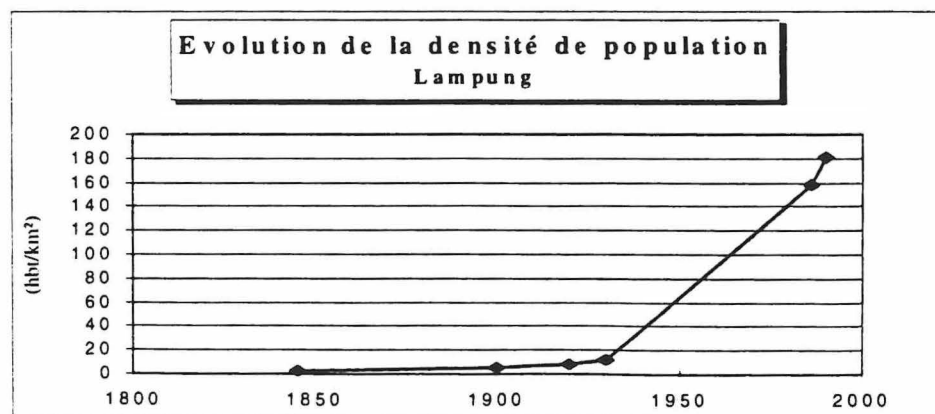
Le site de Lampung se distingue des autres sites par une densité démographique très élevée (180 hab./km²). L’espace y est saturé. Les densités sont également élevées sur le site de Yaoundé (70 hab./km²). Il en résulte des surfaces déboisées importantes dans ces deux sites.

Les autres sites comptent de faibles densités de population (inférieures à 15 hab./km²).

• **Les flux migratoires**

La population a été multipliée par 18 entre 1920 et 1990 sur la province de Lampung (*fig. 43*). Cette croissance démographique est la conséquence des afflux de migrants venus dès le début du 20^{ème} siècle de Java, poussés par une forte pression démographique.

Figure 43



En Amazonie ou au Cameroun, la déforestation a surtout été réalisée par des populations migrantes. La conversion de la forêt en terres agricoles n'est pas le résultat de la pression de la population locale. La population a augmenté de 330% entre 1950 et 1996 dans l'état du Rondônia. L'état de Acre a connu une immigration considérablement plus faible que celle du Rondônia avec un solde migratoire de + 13 640 personnes entre 1970 et 1980, comparé avec celui du Rondônia, de + 207 610 personnes.

Cependant, la corrélation entre ces indicateurs de pressions démographiques et la déforestation n'est pas toujours vérifiée. Ainsi dans les anciennes zones de colonisation du Brésil l'accroissement de population est actuellement faible, mais le taux de déboisement est encore élevé.

3.3. Les facteurs politiques

Parmi les facteurs politiques ayant agi directement sur la déforestation on ne citera que les plus importants : l'ouverture des routes, les mesures incitatives, les projets de colonisation .

3.3.1.1. L'ouverture des routes

L'ouverture de routes est le plus souvent initiée par l'état. Les raisons sont diverses. Elles peuvent être économiques : goudronnage de la BR-364 en 1980 pour contrecarrer les problèmes économiques dans le Rondônia et ouverture des routes au Sud Cameroun pour accroître les exportations de café et de cacao. Elles peuvent viser au contrôle des populations : perception des impôts sur le revenu et de fixation des agriculteurs itinérants lors de la colonisation allemande du Sud Cameroun.

3.3.1.2. Les mesures incitatives

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les mesures incitatives proposées par les gouvernements pour la promotion de certaines activités agricoles ont conduit à l'installation de migrants et donc à des déboisements. L'instauration de ces mesures s'inscrit dans des politiques plus globales. Elles ont dans certains cas été établies dans le cadre de vastes programmes de colonisation de l'espace.

3.3.1.3. Les programmes de colonisation étatiques

Les sites de Theobroma, Pedro Peixoto et Lampung ont été sujets à des colonisations planifiées par l'Etat. Ce fut le cas du programme de transmigration vers Sumatra initié par le gouvernement colonial hollandais en 1905. Ce fut également le cas des projets de développement étatiques des années 70 et 80 du Brésil.

3.3.1.4. Organisation spatiale spontanée ou dirigée

L'organisation spatiale est très différente suivant qu'elle est issue d'une colonisation spontanée ou dirigée par entreprise de l'Etat.

Les régions de Yurimaguas, Pucallpa, Ambam et Yaoundé n'ont pas fait l'objet d'un projet de colonisation : l'organisation spatiale fut spontanée. Il en résulte des types de motifs de paysage beaucoup plus diffus et une colonisation plus lente.

Dans le cas d'une organisation planifiée, le domaine agricole forme des grandes unités, groupées. Ainsi, l'Etat a joué un rôle crucial dans la colonisation des sites brésiliens et de Lampung, qui peut se " lire " dans le paysage.

4. Processus actuel et perspectives envisageables

- **La région de Yurimaguas** a connu deux zones de front :

- le front qui a conduit à l'occupation des rivières est ancien : initié par le "boom" du caoutchouc vers 1880, il fut stoppé avec l'effondrement du marché du caoutchouc après la seconde guerre mondiale. L'emprise anthropique est désormais stabilisée, et tournée vers la ville.

- le mouvement migratoire, initié dans les années 70 et 80 et lié au marché de la coca, s'est désormais déplacé vers d'autres régions, les paysans ayant été chassés par l'installation d'une base militaire américaine.

- **Sur le site de Pucallpa**, le front est toujours actif, progressant de la route Federico Basadre vers l'intérieur de la forêt et le long de la rivière Aguaytía.

- **Sur le site de Acre**, il reste encore une proportion élevée de forêt qui a tendance à disparaître rapidement : 2,63% par an. Le front est actif et encore jeune. On peut supposer que le mouvement va s'amplifier.

- **Le site de Theobroma** est contigu aux larges zones totalement déboisées de l'état du Mato Grosso. Il reste peu de terres disponibles dans le Rondônia. Le front est toujours actif, au vu des taux de déboisement actuels : 4,1%. Et ces grandes fazendas d'élevage apparaissent désormais comme l'un des principaux moteurs de l'avancée du front, au fur et à mesure qu'elles absorbent les petites exploitations et la forêt. On peut prédire que la déforestation risque de continuer dans ce site jusqu'à disparition totale de la forêt.

- **Sur le site de Ambam**, il ne semble pas que l'on a une frontière agraire. Le système agricole est le même que celui qui se pratiquait dans les années 70s. Le peu d'infrastructures et la faible urbanisation créent peu d'opportunités pour l'extension de l'agriculture. De plus les mouvements de population se font désormais surtout vers les villes (Yaoundé notamment) et on enregistre des soldes démographiques négatifs dans les zones rurales.

- **Le site de Yaoundé** attire actuellement des populations rurales, et le processus de déboisement semble bien réel. La pression sur la terre est beaucoup plus grande en raison de son important réseau routier et sa proximité aux marchés. Il ne reste plus que des forêts secondaires, plus ou moins dégradées. Il pourrait se produire un processus encore plus fort de dégradation du couvert forestier dû à la baisse de fertilité du sol en raison des jachères de courte durée (3 ans).

- **Dans le cas de Lampung**, le front est ancien. L'emprise anthropique s'est stabilisée. Il ne reste presque plus de forêts naturelles, seuls quelques fragments le long des rivières, et le processus de déforestation ne peut donc plus progresser. Il n'y a désormais plus de terres disponibles pour que l'activité agricole s'étende.

Les plantations industrielles et les déserts de population qu'elles créent sont très spécifiques de la région. Il n'y a donc pas de modèle de ce qui pourrait advenir au paysage de cette zone. Mais l'analyse du paysage de Lampung durant ces 60 dernières années peut être particulièrement utile pour étudier l'avenir d'autres frontières en forêts tropicales, comme celles des bassins amazonien et congolais.

Les sites de Pucallpa et de Acre sont, parmi les sites étudiés ceux qui sont les plus susceptibles de changer. Ces deux sites sont désormais bien reliés à des centres urbains importants : Lima dans le cas de Pucallpa et toutes les villes du sud du Brésil - Cuiba, Goinia, dans le cas de Pedro Peixoto. Ils disposent encore de larges zones forestières.

Il existe certainement d'autres facteurs et causes de déforestation que celles qui ont été citées. L'approche spatiale apparaît utile et efficace pour montrer les contraintes et les facteurs liés au milieu physique comme l'accès au marché ou la pénétration du milieu. Les relations entre les indices et les autres facteurs, dont les composantes spatiales sont moins marquées, nécessiteraient d'être approfondies et plus étudiées.

La lecture d'un paysage par une analyse quantitative d'images satellitales nous apportent beaucoup d'informations sur la nature d'un processus de déforestation. Elle ne suffira certainement pas à l'expliquer totalement : la bibliographie et le travail de terrain restent indispensables à sa compréhension.

CONCLUSION

L'analyse quantitative à l'aide d'un ensemble de 7 indices numériques nous a permis de comparer, caractériser et suivre objectivement des mosaïques de paysage forêt/non-forêt.

La comparaison quantitative d'une part nous a aidés à définir et mesurer des différences spatiales entre les sites. Elle fait ressortir ce qui dans un paysage représente un trait de différenciation fort par rapport à d'autres paysages, ce qui le caractérise. Elle permet d'appuyer des observations visuelles ou intuitives.

Par l'étude de la variabilité interne d'autre part, nous avons stratifié les images et identifié des groupes d'indices qui caractérisent des motifs de paysage. L'analyse de la variabilité interne permet de définir des zones homogènes et apporte des informations notamment sur les facteurs physiques de déforestation. Elle pourrait, à condition d'être réalisée sur des pas d'espace plus fins, servir de base à des cartographies d'occupation des sols.

L'étude de la dynamique spatiale sur le site de Theobroma a enfin contribué à identifier des tendances et à quantifier les transformations du paysage. Pour le suivi d'un processus de déforestation l'analyse quantitative apparaît très intéressante : elle nous apporte beaucoup de précisions sur l'évolution du paysage et nous offre des instruments de suivi et de prédiction. Certains indices synthétiques permettent d'observer une évolution en terme de dégradation, de complexification et de fragmentation du paysage. Ces indices peuvent être intéressants pour le suivi d'une zone dans le cadre de la gestion du territoire.

Les indices numériques constituent ainsi un langage universel qui permet de décrire uniformément un paysage et apporte de nouvelles informations.

L'inconvénient majeur de leur utilisation, outre qu'ils imposent des contraintes de calculs importantes, est qu'ils sont difficilement déchiffrables et nécessitent un apprentissage de lecture.

L'utilité et l'efficacité de l'analyse quantitative résident en effet dans l'analyse des processus, des fonctionnements biologiques et socio-économiques, et donc dans l'interprétation des indices et de leur variation d'un paysage à l'autre.

L'interprétation de certains indices, comme l'indice fractal ou même la distance au plus proche voisin, est cependant d'autant plus délicate que le paysage est complexe et comporte de nombreux patches. Ces indices constituent des moyennes sur tellement de patches qu'ils perdent de leur signification.

Les paysages étudiés sont également trop différents pour que nous puissions savoir précisément ce que signifient les différences d'indices entre les sites en terme de processus et de fonctionnement des systèmes.

De même, l'analyse quantitative ne peut suffire à la compréhension d'un processus qui n'est pas exclusivement spatial. Or la déforestation est la conséquence d'une variété de facteurs qui interviennent à de nombreuses échelles, avec des composantes spatiales et fonctionnelles.

L'étude effectuée a permis de développer des méthodes d'utilisation des indices de structure et de caractérisation quantitative des paysages. Il faudrait à l'avenir approfondir la mise en relation entre fonctionnement et indices. Peu de recherches ont en effet encore été menées sur le sujet. L'approche quantitative du paysage est récente et n'a pas encore beaucoup de recul.

Une autre perspective de ce travail serait de réaliser une typologie quantitative des motifs de paysage de fragmentation des forêts qui puisse servir de référence et être reliée à des fonctionnements soit biologiques, soit socio-économiques. Il serait alors possible de déterminer des seuils au-delà desquels, par exemple, des problèmes environnementaux sont susceptibles d'apparaître. Cela suppose d'étudier un grand nombre de sites tant au niveau de la structure du paysage que du fonctionnement.

BIBLIOGRAPHIE

- **ALBALADEJO C. et TULET J.C.**, 1996. Les fronts pionniers de l'Amazonie brésilienne. La formation de nouveaux territoires. Ed. L'Harmattan, Paris, 358 p.
- **ALLEN J.C. et BARNES D.F.**, 1985. The causes of deforestation in developing countries. *Annals of the Association of American Geographers* **75** : 163-184.
- **APODESA-FUNDEAGRO** (Fundación para el Desarrollo del Agro), 1992. Deforestación caso actual de las tierras de la cuenca del region Aguaytía y carretera Federico Basadre. Pucallpa, region Ucayali, Pérou.
- **AUBERTIN C. et LENA P.**, 1986. Frontières, mythes et pratiques (Brésil, Nicaragua, Malaysia) : présentation. *Cahiers des Sciences Humaines de l'ORSTOM* **22**(3/4) : 263-266.
- **AVILA M.**, 1994. Alternatives-to-Slash-and-Burn in South America : Report of research-site selection in Acre and Rondônia states of Amazon region, Brazil, conducted from 31 August to 15 September 1992. International Center for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya.
- **BAUDRY J.**, 1986. Approche écologique du paysage. *Lecture du paysage*, éd. Foucher, Paris, pp. 23-32.
- **BHAGWATI D.**, 1982. Directly unproductive profit seeking activities. *Journal of Political economy* **90** : 988-1002.
- **BECKER B.K.**, 1993. Undoing Myths : The Amazon, an urbanized forest in Brazilian. Perspective sustainable on development of the Amazon Region. Ed. par Clüsener-Godt and I. Sachs. Man and the Biosphere series **15** : 53-89.
- **BEDOYA GARLAND E.**, 1990. The social and economic causes of deforestation in the Peruvian Amazon Basin : natives and colonists. *The Social Causes of Enviromental Destruction in Latin America*, pp. 217-246.
- **BENOIT D., LEVANG D., PAIN M. et SEVIN O.**, 1989. Transmigration et migration spontanées en Indonésie. ORSTOM, Bondy, France, 443 p.
- **BENOIT M., BROSSIER J., DEFFONTAINES J.P., MAIGROT J.L., MARSHALL E., MOISAN H. et MORARDET S.**, 1989. Etudier une agriculture locale. INRA/SAD, Collection Document de Travail, 107 p.
- **BERTRAND G.**, 1978. Le paysage entre la nature et la société. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud Ouest* **49**(2) : 239-258.
- **BLANDIN P. et LAMOTTE M.**, 1988. Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages : la notion d'écocomplexe. *Bulletin d'Ecologie*, **19**(4) : 547-555.

- **BRUNET R., FERRAS R. et THERY H.**, 1992. Les mots de la Géographie. dictionnaire critique. GIP Reclus et La Documentation Française, Montpellier et Paris, 470 p.
- **Comité de Reforestación de Pucallpa et Instituto de Investigaciones de la Amazonía peruana (IIAP)**, 1996. Deforestación en el area de influencia de la carretera Federico Basadre. Iquitos, Pérou, 72 p.
- **CHONCHOL J.**, 1991. Modernisation agricole et exclusion des paysans en Amérique Latine. *L'Amérique Latine : 25 ans de bouleversements*, CNRS, Paris, pp. 61-76.
- **DALE V. H., SOUTHWORTH, F., O'NEILL R.V., ROSEN A. et FROHN R.**, 1993a. Simulating spatial patterns of land use change in Rondônia, Brazil. *Lectures on Mathematics in the Life Sciences* **23** : 29-35.
- **DALE V. H., O'NEILL R.V., PEDLOWSKI M. et SOUTHWORTH F.**, 1993b. Causes and effects of land use change in Central Rondônia, Brazil. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **59** : 997-1005.
- **DE GOUVELLO C.**, 1993. Desserte énergétique et développement rural. L'action publique entre projets, techniques et régulation spatiale. Une contribution à partir du cas brésilien. Thèse de doctorat de l'EHESS en socio-économie du Développement, 690 pages.
- **DELCROS P.**, 1993. Ecologie du paysage et dynamique végétale post-culturelle en zone de montagne. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble I. CEMAGREF, *Gestion des territoires* **13**, 335 p.
- **DE SÁ C.P.**, 1995. Análise do perfil et do sistema da produção dos produtores do projeto de assetamento dirigido Pedro Peixoto. PAD « Pedro ». Período 1984/94. Acre, Brazil : Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Centro de Pesquisa de Acre (CPAF Acre).
- **DOLLFUS O.**, 1981. Phénomènes pionniers et problèmes de frontières : quelques remarques en guise de conclusion. *Les phénomènes de « frontière » dans les pays tropicaux*, éd. IHEAL, Paris, pp. 445-448.
- **DOUROJEANNI M.**, 1990. Amazonia. Que acer ? Centro de estudios teologicos de la Amazonía (CETA), Iquitos, Peru, 444 p.
- **DUANE NELLIS M. et BRIGGS J.M.**, 1989. The effects of spatiale scale on Konza landscape classification using textural analysis. *Landscape Ecology* **2**(2) : 93-100.
- **DUNNING J.B., DANIELSON B.J. et PULLIAM H.R.**, 1992. Ecological process that affect populations in complex landscapes. *Oikos* **65** : 169-175.
- **DURAND F.**, 1994. Les forêts su Sud-Est. Recul et exploitation. Le cas de l'Indonésie. Ed. L'Harmattan, Paris, 441 p.
- **DUVERNOY I.**, 1994. Diagnostic de la perennisation de l'activité agricole dans la frontière agricole de Misiones (Argentine). Une méthode de généralisation spatiale. Thèse

de doctorat de l'Institut Polytechnique de Toulouse, 198 p.

- **EWEL J., BERISH C., BROWN B., PRICE N. et RAICH J.**, 1981. Slash And Burn Impacts On a Costa Rican Wet Forest Site. *Ecology* **62** (3) : 816-829.
- **FEARNSIDE P.M.**, 1989. Deforestation in Amazonia. *Environment* **31**(4) : 17-20; 39-40.
- **FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO)**, 1993. Forest ressources assesment 1990. tropical countries. FAO forestry paper 112, FAO Rome, Italy, 30 p. et annexes.
- **FORMAN R.T.T.**, 1995. Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge, 632 p.
- **FORMAN R.T.T. et GODRON M.**, 1986. Landscape Ecology. John Wiley, New York. 619 p.
- **FROHN R.C., MAC GWIRE K.C., DALE V.H. et ESTES J.E.**, 1996. Using saltellite remote sensing analysis to evaluate a socio-economic and ecological model of deforestation in Rondônia, Brazil. *Remote Sensing* **17** (16) : 3233-3255.
- **FUJISAKA S., HURTADO L. et URIBE R.**, 1996. A Working Classification of slash-and-burn agricultural systems. *Agroforestry Systems* **34** : 151-169.
- **GEORGE P.**, 1984. Dictionnaire de la Géographie. Presses Universitaires de France (PUF), Paris, 492 p
- **GUICHONNET P. et RAFFESTIN C.**, 1974. Géographie des frontières. PUF, Paris, 223 p.
- **HECHT S.B.**, 1993. The logic of livestock and deforestation in Amazonia. *Bioscience* **43**(10) : 687-695.
- **HENNESY A.**, 1981. The frontier in Latin America history. Les phénomènes de « frontière » dans les bois tropicaux. CREDAL, Paris, pp 9-23.
- **HOUGHTON R.A., LEFKOWTIZ D.S. et SKOLE D.L.**, 1991. Changes in the Landscape of Latin America between 1850 and 1985. I. Progressive loss of Forests. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam., *Forest Ecology and Management*, **38** : 143-172.
- **INSTITUTO BRASILEIROS DE GEOGRAPHICO E ESTATISTICA (IBGE)**, 1997. Censo Agropecuario. Rio de Juanero, Brazil.
- **IMBERNON J.**, 1996. Visions of Landscapes and Vegetation Changes. International Center For Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya, 129 p.
- **IMBERNON J.**, 1997. From shifting cultivation to shifted cultivators. 60 years of landscape changes in North Lampung-Sumatra. International Center For Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya, 6 p.

- **IMBERNON J.**, 1997. A Comparison of the Driving forces behind deforestation in Peruvian and Brazilian Amazon. International Center For Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya, 13 p.
- **IMBERNON J.**, 1997. Population growth and deforestation. The Case of Rondonia in the Brazilian Amazon. International Center For Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya, 7 p.
- **JEANJEAN H., FONTES J., PUIG H., MIQUEL C., MALINGREAU J.P. et ARCHARD F.**, 1995. Tropical Forest Fragmentation : Typology and Characterization. *SPIE* 2314 : 300-311.
- **JEANJEAN H., MIQUEL C., FONTES. J., PUIG H. et HUSSON A.**, 1994. Study Of Forest Non-Forest Interface. Typology of Fragmentation of Tropical Forest. Catalogue. ISPF, JRC. Ispra, Italie, 87 p.
- **JORDAN C.F.**, 1987. Amazonian rain forests : ecosystem disturbance and recovery. New York, Springer Verlag, *Ecological studies* 60.
- **KRUMMEL J.R., GARDNER R.H., SUGIHARA G., O'NEILL R.V. et COLEMAN P.R.**, 1987. Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos* 48 : 321-324.
- **Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Dirección General Forestal et Ministerio de Agricultura**, 1996. Guia explicativa del Mapa Forestal 1995. INR-49-DGF-Lima, Peru.
- **LACQUES A.E.**, 1993. Dynamique d'un front pionnier en domaine forestier tropical : le cas de Ticoporo (Piémont des Andes Vénézuéliennes). Contribution de l'imagerie satellitaire à la conception d'une méthode d'aide à l'aménagement. Thèse de doctorat de l'Université du Mirail, 241 p.
- **LAMBIN E.**, 1994. Modelling deforestation processes : a review, TREES series B : Research report n°1, Luxembourg : European Commission, DG XIII, 128 p.
- **LARDON S., DEFFONTAINES J.P., BAUDRY J. et BENOIT M.**, 1990. L'espace est aussi ailleurs. *Modélisation systémique et systèmes agraires. Décision et organisation. Actes du séminaires du département de recherches sur les systèmes agraires et le développement, Saint Maximin, 2-3 Mars 1989, INRA, Paris*, pp 321-337.
- **LENA P.**, 1992. Trajectoires sociales, mobilité spatiale et accumulation paysanne en Amazonie brésilienne : un exemple en Rondônia. *Les Cahiers des Sciences Humaines* 28 (2) : 209-234.
- **LETOUZEY R.**, 1968. Etude phytogéographique du Cameroun. Paris, Ed. P. Lechevalier, 508 p. et cartes.
- **LEVANG P.**, 1995. Communication présentée au séminaire "Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides" (CIRAD), Montpellier - 13/17 novembre 1995. *Bulletin de Presse de SYFIA* 83.
- **MAC GARIGAL K. et J. MARKS B.**, 1994. FRAGSTATS. Spatial pattern analysis

program for quantifying landscape structure. Forest Science Department, Oregon State University, 67 p.

- **MANGA T.**, 1994. Alternatives to Slash-and-Burn project. Cameroun benchmark site. Annual report. IRA, Yaoundé, 30 p.
- **MATHERON G.**, 1970. La théorie des variables régionalisées et ses applications. Fontainebleau, *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau* 5.
- **MERTENS B.**, 1996. Contribution to the analysis and modelling of tropical deforestation processes using high resolution satellite data and GIS.
- **MONBEIG P.**, 1981. Les mouvements pionniers en Amérique Latine. In : Les phénomènes de « frontière » dans les pays tropicaux. CREDAL, Paris, pp. 49-57.
- **MORAN E.**, 1993. Deforestation and land use in the Brazilian Amazon. *Human Ecology* 21 (1) : 1-21.
- **ORSTOM**, 1995. Atlas régional du Sud-Cameroun. Paris, ORSTOM éd.
- **REBORATTI C.E.**, 1979. Migraciones y frontera agraria :Argentina y Brasil en al cuenca del Alto Paraná-Uruguay. *Cuaderno del CENEP* 8, 47 p.
- **RITTERS K.H., O'NEILL R.V., HUNTSAKER C.T., WICKHAM J.D., YANKEE D.H., TMMINS S.P., JONES K.B. et JACKSON B.L.**, 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* 10(1) : 23-39.
- **RODRIGUES ACHUNG F.R., CASTO MEDINA G.I., BENDAYAN ACOSTA L., ESCOBEDO TORRES R., QUEVEDO GUEVARA A., MERCADO JAUREGUI G. et LIMACHI HUALLPA L.**, 1996. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). Deforestacion en el area de influencia de la carretera Federico Basadre - Pucallpa. Comité de reforestación de Pucallpa.
- **SAWYER D.R. et SAWYER D.R.T.O.**, 1987. Malaria on the Amazon Frontier : economic and social aspects of transmigration and control. Relatorio de pesquisa. Belo Horizonte : CEDEPLAR.
- **SCHIAVONI G.**, 1991. Agricultura familiar y diferenciación social en la frontera sz Misiones. Documento de trabajo *PISPAD* 10, Universidad Nacinal de Misiones, Posadas, 28p.
- **SEPLAN** (Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral), **EMATER-RO** (Associação de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Rondônia), 1996. Rondônia : Anuário estatístico agropecuário, 1995. Rondônia, Brazil.
- **SKOLE D.L., CHOMENTOWSKI W.H., SALAS W.A. et NOBRE A.D.**, 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *Bioscience* 44(5) : 314-322.
- **SKOLE D.L. et TUCKER C.**, 1993. Tropical deforestation and Habitat Fragmentation

in the Amazon : Satellite Data from 1978 to 1988. *Science* **260** : 1905-1910.

- **SOUZA DA SILVA.**, 1997. Monografia de Rondônia. IBGE. In press.
- **THERY H.**, 1986. Une recherche cartographique : génèse et combinaison des chorèmes du Brésil. *Mappemonde* **4** : 14-19.
- **THIELE G.**, 1991. La crisis del barbecho : una reevaluación. CIAT, *Informe Técnico* **1**, 63 p.
- **TURNER M.G.** et **GARDNERS R.**, 1991. Quantitative Methods in Landscape Ecology. The Analysis and interpretation of Landscape Heterogeneity. Ed. Springer-Verlag, *ecological studies* **82**, 536 p.
- **TURNER M.G.** et **RUSCHER C.L.**, 1988. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecology* **1**(4) : 241-251.
- **WIENS J.A.**, 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecoogy* **3** : 385-397.
- **VOSTI S.** et **WITCOVER J.**, 1994. Alternatives-To-Slash-And-Burn Agriculture (ASB). A Characterization of Brazilian Benchmark Sites Of Pedro Peixoto and Theobroma (august/September 1994). Environment and Production Division (EPTD), International Food Policy Research Institute, Washington D.C. Mimeo, 44p.
- **WOOD C.H.**, **SKOLE D.**, **PERZ S.** et **CAETANO A.**, 1996. Population and Deforestation in the Brazilian Amazon. Paper presented at the 1996 annual meeting of the population of America (PAA), 33 p.