REPRÉSENTER L'ESPACE POUR STRUCTURER LE TEMPS : APPROCHE DES DYNAMIQUES DE CHANGEMENTS FORESTIERS DANS LE SUD-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE PAR TÉLÉDÉTECTION

Johan OSZWALD[1], Jean-Marie KOUACOU ATTA[2], Claude KERGOMARD[3] et Marc ROBIN[2]

1. CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement). Adresse actuelle : Laboratoire de géomatique agricole appliquée, Département des sciences géomatiques, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec (Québec), Canada G1K 7P4
Téléphone : (418) 656-2131 ; télécopieur : (418) 656-5837 ; courriel : oszwaldjohan@hotmail.com
2. Littoral-Environnement-Télédétection-Géomatique - GEOLITTOMER (UMR CNRS 6554), Institut de géographie et d'aménagement régional, Université de Nantes, chemin la Censive du Tertre, B.P. 81227, 44312 Nantes, France
Téléphone : 02-40-14-13-08 ; télécopieur : 02-40-74-80-89 ; courriel : jeanmarie_kouac@yahoo.fr / Marc.Robin@univ-nantes.fr
3. Département de géographie, École Normale Supérieure de Paris, 48, boulevard Jourdan, 75014 Paris, France
Téléphone : 01-43-13-61-98 ; télécopieur : 01-43-13-61-90 ; courriel : claude.kergomard@ens.fr

Soumis le 4 décembre 2006 ; révisé le 23 février 2007 ; accepté le 13 avril 2007- © *Revue Télédétection*, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 271-282

Résumé

Les surfaces forestières de la Côte d'Ivoire reculent depuis les années 1960 au profit des espaces cultivés, essentiellement à des fins commerciales, par l'implantation de parcelles de café ou de cacao. Ce phénomène a été accentué par la forte croissance de la population et son exode des villes vers les campagnes, lors des crises économiques. Cette mutation est à l'origine de l'appropriation de l'espace au détriment des zones forestières. Toutefois, on connaît mal les retombées environnementales de ce phénomène, car les études approfondies sur l'évolution à long terme du couvert végétal de la Côte d'Ivoire sont encore peu nombreuses. À l'aide de l'imagerie satellitaire et d'un système d'information géographique, une étude diachronique de l'évolution des états de surface, entre 1986 et 2000, est effectuée dans une zone caractéristique en mutation du centre-est ivoirien, soit les forêts classées de la Bossématié et de la Béki. Cet article a pour but de montrer la méthodologie appliquée à l'identification de l'évolution des états de surface en forêt dense humide, afin de mettre en évidence les différents mécanismes de la déforestation au travers de modèles spatiaux. Cette étude aboutit à la mise en place d'une synthèse spatio-temporelle des changements pouvant servir de document d'aide à la décision pour les organismes de protection des espaces forestiers, tel que la Société de développement forestier (SODEFOR).

Mots-clés : télédétection, Côte d'Ivoire, SIG, déforestation, forêt classée.

Representing space for structuring time : approach of forest dynamics in the south-east of Côte d'Ivoire

Abstract

Côte d'Ivoire has sustained since the 1960's a reduction of forest areas to the benefit of cultivated areas, primarily for commercial purposes, by the establishment of cocoa or coffee plantations. This phenomenon was accentuated by strong population growth and the exodus from the cities towards rural areas at times of economic crisis. These changes are at the origin of the appropriation of space to the detriment of forest areas. However, little is known about the environmental repercussions of these phenomena, because in-depth studies on the long-term evolution of the vegetation cover of the Côte d'Ivoire are still very scarce. Using satellite imagery and a GIS, a diachronic study of the evolution of surface states is carried out, between 1986 and 2000, in a characteristic area in mutation in the east-central portion of

the Côte d'Ivoire, namely the classified forests of Bossématié and Béki. The purpose of this paper is to show the methodology applied to the identification of the dynamics of surface states in dense tropical forest, in order to highlight the various deforestation mechanisms through spatial modelling. This study results in the implementation of a spatial and temporal synthesis of changes that can be used as a decision-support tool by the organizations responsible for the protection of forest areas such as SODEFOR.

Key-words : remote Sensing, Côte d'Ivoire, GIS, deforestation, classified forest.

1. INTRODUCTION

Depuis les dix dernières années, l'étude de la dynamique de changement des paysages fait nécessairement appel à la modélisation. La première fonction d'un modèle est de schématiser la réalité, de proposer un schéma théorique qui vise à renseigner un processus, des relations existant entre les éléments d'un système (Favier, 2003). Cette fonction apparaît dès la phase de construction du modèle : quelles variables utiliser pour décrire l'état du système ? Quelles lois lient ces variables entre elles ? Quels sont les paramètres à introduire ? Cependant, l'étude des paysages et de leur évolution requiert, avant la modélisation, une analyse géographique et systémique. L'étude des changements des états de surface requiert trois niveaux d'approche (Skole *et al.*, 1994). D'abord, elle exige une estimation du taux, de la localisation, de l'emprise spatiale et de la caractéristique temporelle des processus de changement, ce qui peut se faire en grande partie par télédétection. Ensuite, la dynamique de changement des états de surface doit être quantifiée à partir de divers indices statistiques ou spatiaux. Enfin, la dernière approche concerne l'identification des facteurs qui entraînent le changement des états de surface repéré par télédétection. Ces trois approches sont abordées successivement dans cet article. En effet, on y confronte les faits observés puis modélisés à l'aide de la réalité de terrain dans le but de mieux comprendre et donc de mieux analyser le phénomène de déforestation.

La déforestation n'est pas due à une situation géographique ou historique spécifique. En effet, il n'y a pas de cause unique à la déforestation. Elle résulte de l'interaction d'une chaîne de causes qui intervient à différents niveaux d'organisation. Blaikie et Brookfield (1987) ont développé une analyse écologique régionale de la déforestation. Ils ont montré qu'elle est imputable à une variété de circonstances aux interactions très complexes et donc qu'il n'y a pas de théorie simple pour l'expliquer et la comprendre. L'approche de Blaikie et Brookfield (1987), que l'on retient, tend à expliquer que l'action de la déforestation est la résultante d'un ensemble dynamique d'interactions entre l'environnement et l'Homme, qui inclut les conditions d'accès aux ressources et les perceptions environnementales.

Dans les recherches actuelles, le suivi de la déforestation s'effectue à partir de collections de données, qui sont ensuite analysées et interprétées (Achard *et al.*, 1993 ; Crosta *et al.*, 1995 ; Chatelain *et al.*, 1996 ; N'Guessan *et al.*, 2003). Dans cette optique, les techniques satellitaires et les systèmes d'information géographique (SIG) sont couramment développés et utilisés pour observer les processus de déforestation (Lambin, 1994, 1997 ; Jeanjean *et al.*, 1995).

Les trois étapes de l'approche évoquée précédemment sont rassemblées ici dans un SIG visant à représenter les différentes dynamiques de la déforestation dans les forêts classées de la Bossématié et de la Béki. Ces espaces sont caractérisés au moyen d'une information particulièrement exhaustive, aussi bien en ce qui concerne les données environnementales que les données socio-économiques. De plus, l'étude des deux forêts permet de prendre en considération deux évolutions très différentes des espaces forestiers. En effet, la forêt classée de la Béki est caractérisée par une forte dégradation alors que la forêt classée de la Bossématié fait l'objet d'une politique très active de protection et de reforestation.

2. RÉGION D'ABENGOUROU : UNE ANCIENNE ZONE D'EXPLOITATION DU CAFÉ ET DU CACAO

Les espaces forestiers du sud-est de la Côte d'Ivoire appartiennent à une ancienne région d'exploitation du café et du cacao (Léonard et Oswald, 1993). Cette région est soumise à de fortes pressions anthropiques depuis les années 1960 avec le développement d'un front pionnier d'ampleur nationale, ce qui entraîne une dégradation des espaces forestiers dès le début du développement économique de la Côte d'Ivoire (figure 1).

Les derniers massifs forestiers subsistant au sud-est de la Côte d'Ivoire sont des forêts qui ont été classées et protégées par les services des Eaux et Forêts de Côte d'Ivoire et par la SODEFOR (Société de développement forestier) depuis les années 1970. Ces forêts sont connues et regroupées sous l'appellation de « forêts classées de l'est de la Côte d'Ivoire » et sont sous la responsabilité de la Direction régionale de la SODEFOR d'Abengourou. Deux forêts classées limitrophes nous intéressent particulièrement, celles de la Bossématié et de la Béki (figure 1). L'occupation des terres de ces forêts classées se fait de façon antagoniste depuis les années 1990, ce qui en fait un sujet d'étude particulièrement intéressant.

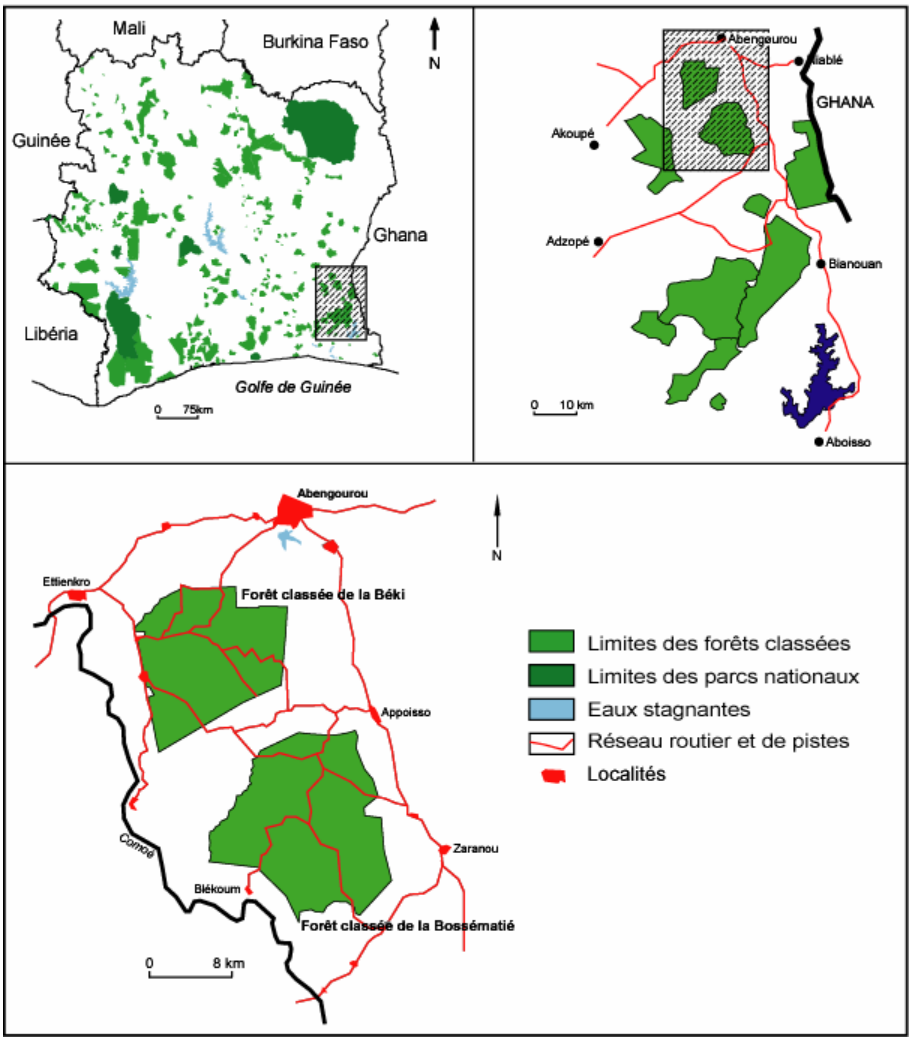
Dans les années 1980, la forêt classée de la Bossématié, qui couvre près de 21 550 ha, est en cours de dégradation à la suite de nombreuses incursions agricoles illicites et de la mise en culture de parcelles pérennes. Dès 1990, cette forêt est

reprise en main par les services de la SODEFOR sous l'égide et avec les subventions de la GTZ et du KfW (Coopération technique allemande et Banque d'aide au développement allemande).

L'objectif principal de ce projet est d'organiser les bases méthodologiques, sylvicoles et organisationnelles de la réhabilitation des forêts classées de l'est de la Côte d'Ivoire au moyen d'une approche intégrée et participative (Alexandrine, 2002). Depuis la mise en place de ce programme de protection, le désengagement des riverains en forêt classée concerne plus de la moitié des planteurs. Il en résulte un recul de 40 % des superficies préalablement mises en valeur et de nombreuses reprises forestières (Kientz, 1993).

La forêt classée de la Béki, qui couvre 16 190 ha, par contre, répond à une logique d'exploitation et de colonisation agricole depuis le milieu des années 1980. D'une part, les ressources ligneuses de la forêt ont fait l'objet d'une exploitation de type minier par les exploitants forestiers, puisque les essences à forte valeur commerciale et les arbres semenciers ont été exploités de manière intensive (SODEFOR, 2004). D'autre part, à partir de 1986, on constate de nombreuses infiltrations de paysans, de telle sorte, qu'en 2002, on constate que 1 060 chefs d'exploitation cultivent une parcelle dans la forêt classée de la Béki (SODEFOR, 2004). La superficie cultivée déclarée par les chefs d'exploitation couvre 8 827 ha sur les 16 100 ha que compte la forêt classée de la Béki. Donc, près de 54,8 % des surfaces classées de la forêt sont mises en culture, l'essentiel de cette mise en valeur reposant sur une association de cultures pérennes, de type café ou cacao.

Ainsi, l'analyse de ces deux massifs forestiers permet d'appréhender la dynamique de changement, régressive ou progressive, des paysages dans un contexte complexe d'interactions anthropique et environnementale à l'échelle locale.



Modifié de Oszwald (2005)

Figure 1 : Localisation des forêts classées de la Béki et de la Bossématié. *Location map of classified forests of Bossématié and Béki*

3. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie mise en place se déroule en deux temps : représenter la dynamique de changement diachronique de la déforestation dans la région d'Abengourou, entre 1986 et 2000, à partir de données de télédétection et de terrain, puis croiser l'évolution diachronique de l'occupation des terres avec des données environnementales et anthropiques pour permettre l'élaboration d'un modèle de suivi de la dynamique des changements agricoles.

3.1. Réalité de terrain et données de télédétection

Les espaces forestiers tropicaux sont très difficilement pénétrables, ce qui rend les relevés sur le terrain très dépendants de l'accessibilité aux sites. Ils sont donc souvent établis près des pistes et des autres accès routiers. Afin de ne pas rendre les points de calage dépendants du réseau de pistes et, de ce fait, dépendants des parcelles caractérisées par les activités anthropiques, nous avons emprunté les transects écologiques établis par les services de la SODEFOR, soit les pistes pédestres à utilisation agricole et les pistes empruntées par les éléphants et par les braconniers.

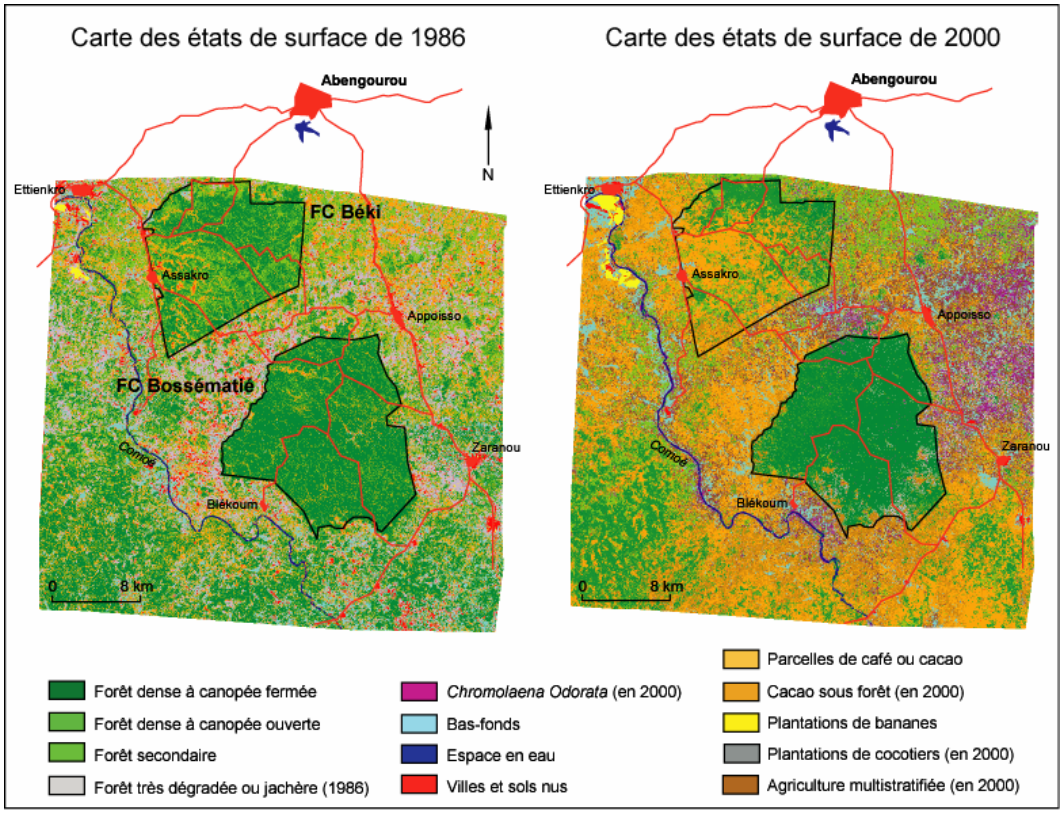
Ces espaces forestiers tropicaux sont également très complexes, que ce soit verticalement (multi-stratification de la végétation) qu'horizontalement (imbrication hétérogène des composantes d'un paysage). Avant de débuter chacune des trois campagnes de terrain (2002, 2004 et 2005), une classification visuelle des images satellitaires, dont les dates d'acquisition s'approchent le plus de celles des campagnes de terrain, est réalisée en utilisant différentes compositions colorées (Chatelain, 1996). Des structures sont individualisées à partir de la couleur, de la texture, de la forme de l'objet géographique étudié ou par les connaissances personnelles accumulées sur la région d'étude. Cette analyse préliminaire permet de dresser une stratégie d'échantillonnage, tant pour les sites de relevés des parcelles de végétation que pour l'analyse des données satellitaires à l'aide d'un GPS (*Global Positioning System*) de marque Garmin et dont la précision est d'environ un mètre. Ces zones sont ensuite visitées, puis décrites, pour permettre *in fine* l'identification des objets (Zonneveld, 1989).

Les relevés effectués lors des campagnes de terrain et localisés au moyen d'un GPS, s'appuient sur une fiche de terrain conçue pour répondre aux caractéristiques technologiques du radiomètre à balayage. Ces relevés sont effectués sous forme de stations ponctuelles et de transects, visant essentiellement à renseigner les successions des composantes des paysages. Nous privilégions donc : le volume et le taux de recouvrement des couronnes, la stratification, les deux ou trois essences dominantes et l'hydromorphie du sol. Ces transects sont très intéressants puisqu'ils permettent d'appréhender la structure des composantes du paysage et leur évolution dans l'espace, notamment dans les territoires de transition, qui sont souvent caractérisés par des espaces forestiers dégradés (Chatelain, 1996). Près de 900 points ont été relevés sur le terrain, répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. Les réponses à l'enquête sont enfin codées soit en présence/absence, soit en pourcentage. Les fiches ainsi obtenues sont rassemblées par parcelle, transcrites en pyramide afin d'analyser leur degré de ressemblance et de définir une nomenclature (Girard et Girard, 1999). Les relevés sont ensuite confrontés dans une matrice de confusion afin de distinguer les classes qui sont sans ambiguïté de celles qui sont équivoques. Cette matrice détermine le degré de probabilité d'identification des objets et le niveau de précision de leur localisation.

Cette étape a permis de mettre en place le suivi diachronique par télédétection de l'occupation des terres dans les forêts classées de la Bossématié et de la Béki, entre 1986 et 2000. Pour ce faire, nous avons utilisé les images TM de Landsat datant du 18 janvier 1986 et du 2 février 2000. Ces images ont été sélectionnées pendant la grande saison sèche, c'est-à-dire à la période de l'année où les taux de nébulosité et de couverture nuageuse sont les plus faibles (Chatelain, 1996). Les biais entraînés par ces facteurs sont ainsi moindres, même s'il est indispensable d'avoir recours à un modèle de correction atmosphérique (Forster, 1984 ; Markham and Barker, 1986 ; Markham and Chander, 2003).

La classification établie pour l'année 2000 présente un pourcentage de pixels bien classés de 82 %, avec un indice de Kappa de 0,77 (figure 2). Dans certains cas, il est difficile d'identifier statistiquement certaines classes de forêts, tant la structure de ces classes et leur étagement sont proches d'un point de vue radiométrique. Westman *et al.* (1989) présentent déjà la difficulté méthodologique pour différencier des composantes distinctes de paysages forestiers sur le terrain en Ouganda (Afrique de l'Est). Chatelain (1996) souligne également cette difficulté dans le cadre de l'étude des forêts classées de Manbo et de Divo, où seules trois classes forestières ont pu être identifiées avec certitude.

La classification de 1986 présente un pourcentage de pixels bien classés de 93 %, avec un indice de Kappa de 0,92. Cette classification possède une précision statistique très satisfaisante, avec des erreurs d'excédents et de déficits faibles. Néanmoins, l'évaluation de la précision de cette classification souffre de nombreux problèmes. Cette classification ne résulte pas d'une campagne de terrain menée dans les années 1980, mais les classes retenues découlent d'une identification spectrale des différentes composantes du paysage effectuée à la suite des connaissances accumulées sur le terrain.



Modifié de Oszwald (2005)

Figure 2 : Cartes de l'occupation des terres relevée à partir d'images TM de Landsat datant du 18 janvier 1986 et du 2 février 2000 dans le secteur d'Abengourou. *Land occupation map of the Abengourou area derived from the Landsat TM images of January 18th 1986 and February 2nd 2000*

3.2. Des données de télédétection à l'analyse spatiale à l'aide d'un SIG

Les cartes de l'occupation des terres ainsi obtenues regroupent plusieurs informations thématiques géopositionnées (classes de forêts, plantations, parcelles agricoles, etc.). Chaque thème abordé dans la légende est donc traité comme une couche d'information diachronique incorporée dans un SIG. L'étude diachronique est donc basée sur l'utilisation des classifications aux deux dates réalisées de manière indépendantes. Cette méthode, même si elle présente des imperfections, est celle qui a fourni les meilleurs résultats dans la mesure du changement dans le SIG. Ces couches d'informations sur l'occupation des terres dans la région d'Abengourou, en 1986 et en 2000, sont d'abord confrontées à des variables pouvant engendrer ou faciliter les phénomènes de défrichement, tels les pistes, le réseau hydrographique secondaire ou les villages. L'impact de chaque variable sur la dynamique de changement de l'occupation des terres est ensuite mesuré à l'aide de distances pré-établies à partir de buffers (incrémentation spatiale de la zone d'influence d'une variable sur le territoire). Le choix de ces distances est fondamental puisqu'il va influencer les résultats qui vont découler de l'analyse. Ces distances d'analyse relèvent d'un choix empirique et donc critiquable, mais il demeure indispensable de les fixer tout en prenant soin de les justifier.

De nombreuses études sur les fronts pionniers agricoles en Côte d'Ivoire ont révélé le rôle des pistes dans l'expansion des espaces en conversion (Vallat, 1979 ; Koli Bi, 1990 ; Chaléard, 1994 ; Chatelain *et al.*, 1996). Le réseau routier sert de vecteur aux défrichements en facilitant l'accès à certaines parcelles forestières, notamment celles qui se situent en bordure de pistes. Mertens et Lambin (1997, 2000) et Mertens *et al.* (2001) soulignent également l'importance du réseau de pistes dans les défrichements au Cameroun. Ils retiennent d'ailleurs cette variable comme indispensable et principal vecteur du développement des fronts de défrichements. D'autres études récentes, portant sur diverses régions du monde tropical, s'appuient sur les réseaux routiers pour expliquer la dynamique des défrichements (Southworth *et al.*, 2004 ; Roy *et al.*, 2005). Cette variable est donc essentielle pour comprendre la dynamique de l'appropriation foncière par les colons agricoles.

Les distances d'analyse par rapport aux pistes sont calculées à partir des données qui ont été recueillies sur le terrain, notamment des transects. Quelques-uns des transects de végétation, relevés lors de la campagne de terrain de 2004, débutent à partir d'une piste ou d'un chemin pédestre près d'une piste. Ces transects sont caractérisés par des distances, entre les pistes et les agrosystèmes, inférieures à 700 m (Oszwald, 2005). L'ensemble des résultats porte à penser que la distance optimale pour l'étude de l'impact du réseau de pistes sur les changements d'état de surface se situe aux alentours de 700 m. L'analyse de proximité est d'abord testée à l'aide de trois seuils spatiaux de 250 m autour de la variable initiale, ce qui porte la distance totale à 750 m pour ensuite être validée. D'autres variables peuvent intervenir et expliquer le développement de parcelles agroforestières. Le but n'est pas d'avoir une variable qui explique la dynamique de changement de toutes les variables, mais de comprendre comment ces variables, une fois confrontées, peuvent expliquer la dynamique de changement des composantes des paysages.

L'impact des localités sur les paysages n'a pas bénéficié d'une étude précise sur le terrain, essentiellement par manque de temps. Il est donc difficile de déterminer comment figurer l'expansion spatiale de la zone d'influence autour des villages. De nombreux travaux traitent de cette question ainsi que de la représentation des zones d'influence autour d'un noyau villageois (Chaléard, 1994 ; Mazoyer et Rondart, 1997 ; Fotsing *et al.*, 2003 ; Merle et Gautier, 2003). L'influence de chaque village sur les territoires limitrophes est déterminée en fonction de sa situation socio-économique et géographique. De ce fait, lors de la délimitation des aires d'influence des villages, nous tenons compte de :

- la taille des terroirs villageois ;
- la population résidente dans le village ;
- la croissance de la population entre les deux recensements généraux de la population de la Côte d'Ivoire datant de 1988 et 1998 ;
- le nombre de campements agricoles et leur croissance diachronique.

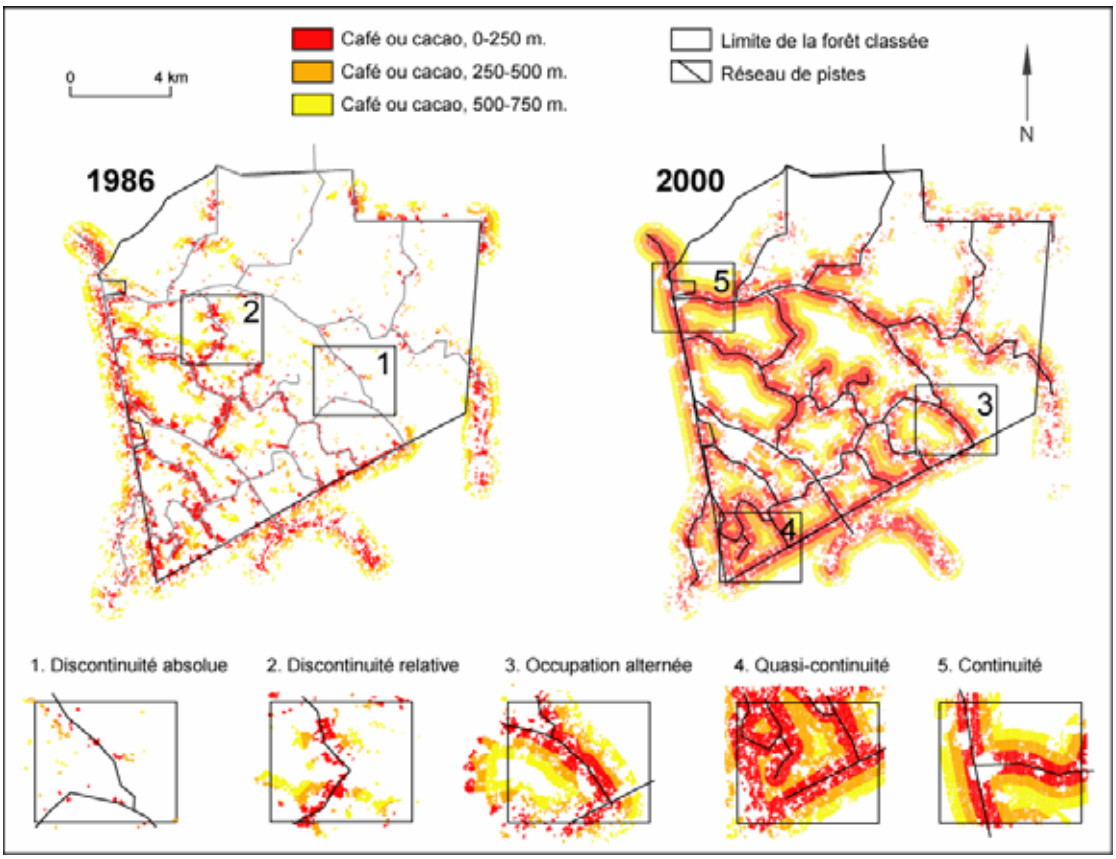
Ce dernier aspect est très important puisqu'il a été montré que les campements agricoles et les exploitations qui en dépendent ont un impact sur la dynamique de changement des paysages (Vallat, 1979 ; Chaléard, 1994).

Le réseau hydrographique secondaire peut également être considéré comme une variable structurant les parcelles de végétation en lien avec l'anthropisation. D'une part, il offre un accès plus aisé à certaines parcelles préalablement inaccessibles. D'autre part, les espaces limitrophes de ce réseau, en pente, facilitent la possibilité de mettre en place des plantations agroforestières. Les cultures vivrières et saisonnières, généralement du maïs ou du riz, sont plantées dans le bas-fond lorsque celui-ci est drainé. Cet important travail d'entretien exige que la parcelle soit située aux abords d'un village ou d'un campement agricole. La pente ou les replats à mi-pente sont occupés par des cacaoyers ou une autre culture de rente, puisqu'ils sont considérés comme les meilleurs sols pour établir des plantations pérennes (Beligne et Oualou, 1995). Enfin, les sommets sont pratiquement tous couverts par des forêts dégradées ou secondaires. Cet agencement de l'espace aux alentours des bas-fonds a été caractérisé par différents auteurs (Chaléard, 1994 ; Chatelain *et al.*, 1996) et constaté au cours de la campagne de terrain.

4. RÉSULTATS

La confrontation de la dynamique spatiale de changement relevée par télédétection entre 1986 et 2000 avec les variables identifiées permet d'obtenir deux catégories d'informations sur l'organisation spatiale régionale et sur son évolution diachronique. D'abord, cette analyse permet d'identifier des étapes clés du défrichement dans la région d'Abengourou. D'autre part, elle facilite la conception d'un modèle spatial de la dynamique spatio-temporelle de changement de l'occupation des terres. Ce modèle permet d'aboutir à une cartographie de synthèse présentant la dynamique spatiale de changement dans la région d'Abengourou entre 1986 et 2000.

À l'échelle locale, plusieurs étapes de l'appropriation de l'espace peuvent être identifiées. Ces étapes sont, en quelque sorte, des indicateurs permettant de mesurer l'avancée du défrichement pionnier. Par exemple, les clairières en cours de formation sont repérables par une forme circulaire isolée, alors que les parcelles plus anciennes se caractérisent par un parcellaire net, contigu, se trouvant le long des axes de communication ou des bas-fonds (figure 3).



Modifié de Oszwald (2005)

Figure 3 : Identification des étapes du défrichement pionnier dans la forêt classée de la Béki à partir du réseau de pistes, en 1986 et en 2000. Cette identification a été faite à partir des étapes de la mise en culture définies par Clairay (2005). *Discrimination of deforestation steps in the classified forest of Béki starting from the road network in 1986 and 2000. Identification was implemented using the expansion steps for agricultural lands defined by Clairay (2005)*

Le défrichement pionnier peut être résumé en cinq principales étapes, correspondant à cinq stations de la mise en place du front pionnier depuis les années 1980, allant dans le sens des résultats précédemment obtenus par Clairay (2005) dans le Mato Grosso :

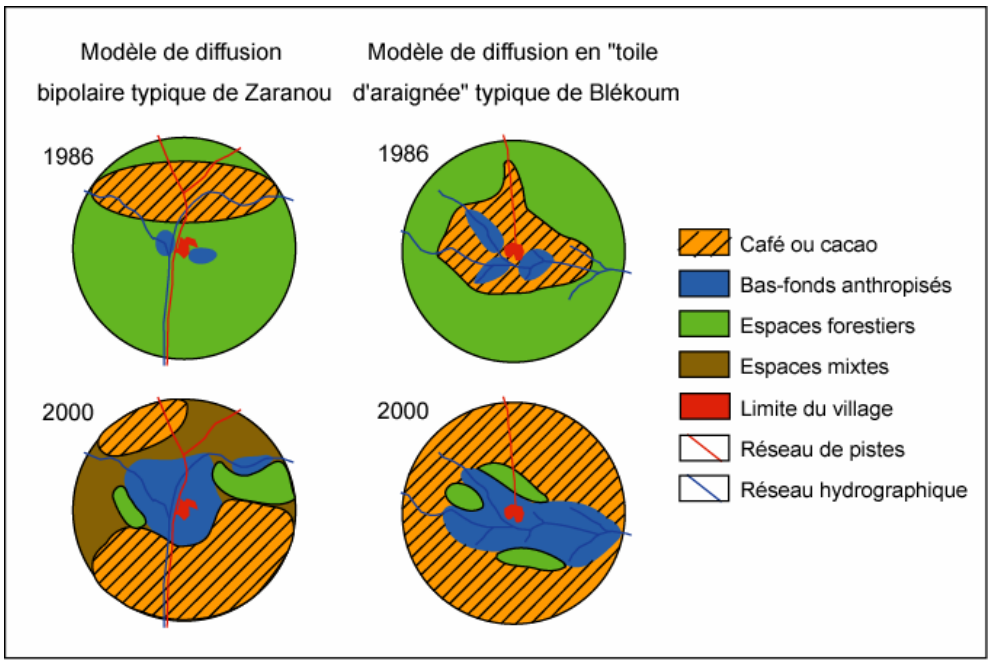
- **la discontinuité absolue** : il s'agit de la situation de départ d'un front pionnier ; les premiers indices du défrichement correspondent surtout au tracé des routes et des premiers campements agricoles (à proximité des routes aussi) ; c'est la situation du début des années 1980, à l'image du sud-est de la forêt classée en 1986 ; l'environnement forestier commence à être fragmenté mais garde une forte uniformité puisque environ 90 % du territoire est encore classé en forêt ;
- **la discontinuité relative** : les composantes élémentaires agroforestières sont plus nombreuses, commencent à se regrouper, mais gardent une structure générale assez hétérogène ; des espaces forestiers uniformes séparent encore les différentes entités principales ; le taux de défrichement peut atteindre, dans cette configuration, près de 50 % ; ce cas est typique du centre-ouest de la forêt classée en 1986 ;
- **l'occupation alternée** : les espaces défrichés deviennent plus importants que les espaces boisés ou naturels ; les éléments paysagers d'origine anthropique acquièrent une structure jointive, mais des espaces non défrichés séparent encore une exploitation sur deux ou trois ; la superficie défrichée totale peut être estimée à 75 % ; cette structure est observée au sud-est de la forêt, en 2000, dans la zone qui a été caractérisée en discontinuité absolue, en 1986 ;
- **la quasi-continuité** : les parcelles défrichées ont été pratiquement toutes réalisées et les parcelles agroforestières sont localisées de proche en proche le long d'une piste, sans réelle rupture spatiale ; les parcelles défrichées sont contiguës aux abords des pistes, la forêt ayant repoussé au-delà de la zone d'influence située à 750 m ; les parcelles de végétation localisées au sud-ouest de la forêt classée, en 2000, présentent cette répartition ;
- **la continuité** : elle caractérise la dernière étape d'un espace colonisé ; l'espace agricole est quasi uniformisé ; la végétation d'avant la colonisation a totalement disparu, sauf exception ; ces exceptions sont surtout le fait de droits d'usage ou sacrés locaux (Bigot, 2004) ; par exemple, une parcelle uniforme de forêt peut être observée

au sud-est du village d'Assakro ; cette parcelle n'est pas défrichée puisqu'elle appartient à Kady Sow depuis son attribution, en 1988, pour son statut d'ex-épouse du président Félix Houphouët-Boigny ; ce terrain n'est donc pas colonisé par les paysans, sachant que cette terre est la propriété d'une personnalité, d'après un membre de l'équipe écologie de la SODEFOR en 2004 ; cette forme aboutie de la colonisation agricole est relevée au nord-ouest de la forêt classée, dans le village de N'Grakon.

La synthèse de l'occupation des terres et des différentes variables retenues permet de produire un modèle spatial de la dynamique spatio-temporelle de changement de cette occupation. Ce modèle est basé sur les constatations relevées dans les principaux villages limitrophes des forêts classées, soit les villages d'Assakro, de N'Grakon, d'Ahinikro, de Bokakokoré, de Zaranou et de Blékoum. Deux principaux modèles de diffusion ont pu être mis en évidence (figure 4). On a d'abord un modèle de diffusion bipolaire qui est caractéristique de Zaranou ou d'Assakro. Ce modèle présente une migration des espaces agroforestiers, entre 1986 et 2000, et une nouvelle répartition des paysages. On a ensuite le modèle de diffusion en « toile d'araignée » qui est caractéristique des terroirs de Bébou ou de Blékoum. Les parcelles cultivées se concentrent autour du noyau villageois, en 1986, pour ensuite migrer sur l'ensemble du terroir sans directions privilégiées. Ce modèle conduit, à terme, à l'occupation agricole de l'ensemble du terroir et à son expansion future.

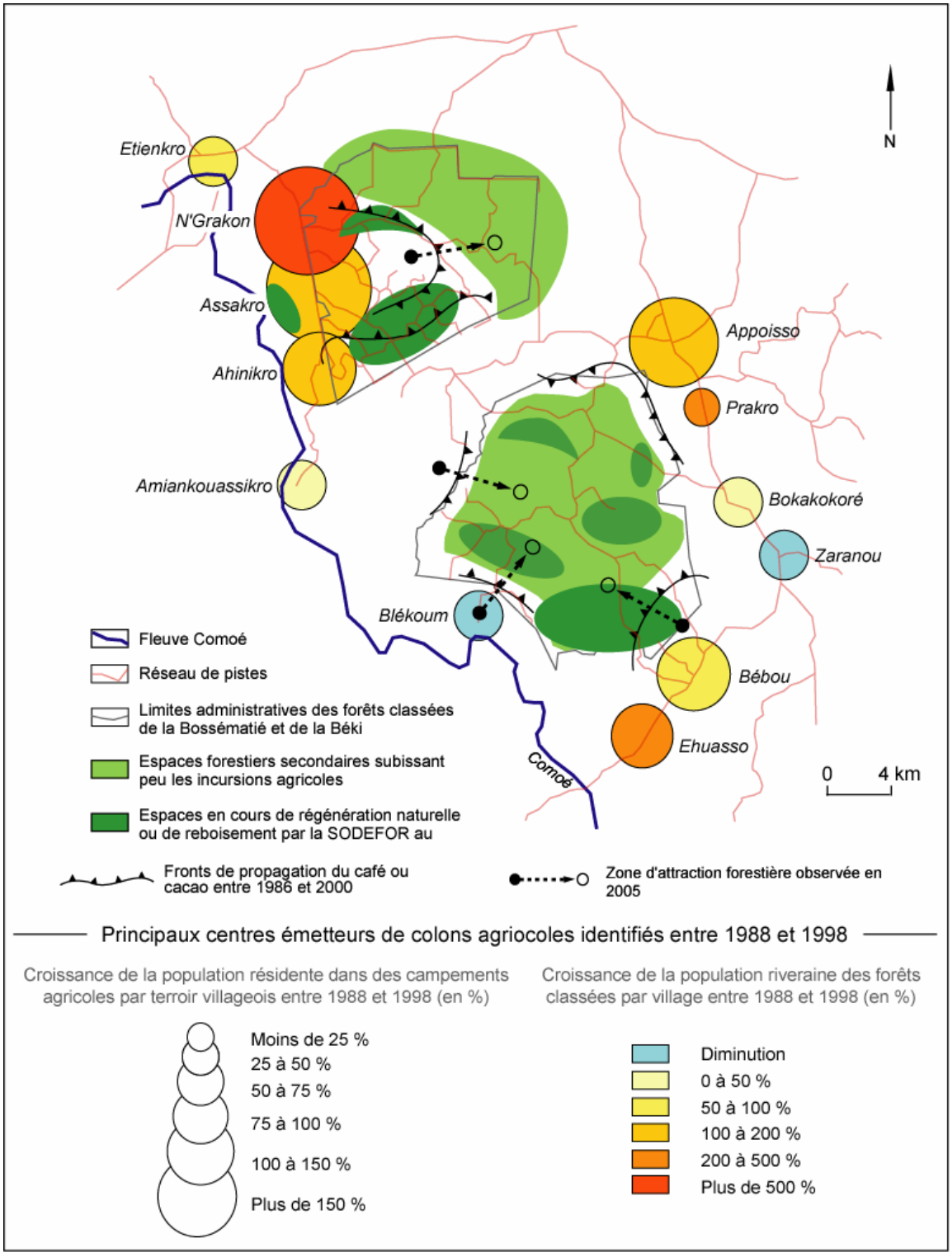
Ces modèles de diffusion et l'analyse des différentes variables illustrant une partie des phénomènes de déforestation dans la région d'Abengourou permettent d'aboutir à une carte de synthèse de la dynamique spatiale de changement entre 1986 et 2000 (figure 5). Cette carte permet également de localiser les secteurs potentiellement vulnérables aux risques de défrichement.

Le premier espace concerné se situe à l'est de la forêt classée de la Béki. À la suite de la conversion agricole de près de 70 % des parcelles de végétation qui se situent dans la moitié sud-ouest de la forêt classée, la dynamique de changement agricole devrait s'étendre vers l'est de la forêt dans les prochaines années. En effet, les parcelles de végétation qui se trouvent au nord de la forêt classée appartiennent et sont exploitées par les services de la SODEFOR d'Abengourou. Cet espace est principalement constitué de parcelles en cours de production. Les colons agricoles ne peuvent donc pas atteindre les zones forestières à cause d'une étroite surveillance des services forestiers ivoiriens. D'ailleurs, lors des relevés de terrain de la campagne menée en 2004, aucune parcelle agroforestière n'a pu être relevée dans cet espace. Les espaces forestiers qui occupent l'est de la forêt classée sont bien desservis par le réseau de pistes, ce qui en fait une zone vulnérable. De plus, ils sont proches du village d'Appoisso, le plus important village de la région, qui comptait plus de 10 500 habitants en 1998. Les exploitants agricoles de ce village ne peuvent plus exploiter les parcelles situées dans la forêt classée de la Bossématié à cause d'une surveillance renforcée et des objectifs de régénération des espaces forestiers de la SODEFOR. Lorsque le terroir d'Appoisso sera à saturation, ces exploitants risquent de se tourner vers les derniers espaces forestiers ne faisant pas l'objet d'une surveillance renforcée, à l'est de la Béki.



Modifié de Oszwald (2005)

Figure 4 : Modèles de diffusion des parcelles de café ou de cacao identifiés dans la région d'Abengourou, entre 1986 et 2000. *Diffusion model of cocoa or coffee land units in the Abengourou region between 1986 and 2000*



Modifié de Oszwald (2005)

Figure 5 : Synthèse des dynamiques de changement relevées dans les forêts classées de la Bossématié et de la Béki, entre 1986 et 2000. *Land cover dynamics synthesis in the classified forests of Bossématié and Béki between 1986 and 2000*

5. DISCUSSION

Les risques d'incursion agricole sont pourtant plus nombreux et plus importants dans la forêt classée de la Bossématié, et ce malgré la politique de conservation entamée depuis les années 1990. En effet, la forêt classée de la Bossématié est marquée par une dynamique de changement à deux vitesses : une évolution lente de régénération dans les limites administratives sous le couvert des services de la SODEFOR et une évolution rapide de conquête agricole sur les bordures de la forêt classée. La dynamique de changement actuelle révèle donc que les espaces forestiers situés en marge des limites administratives sont soumis à d'importantes pressions foncières. De multiples incursions agricoles ont aussi été constatées au-delà de ces limites. C'est notamment le cas au sud de la forêt classée, où les limites administratives de la Bossématié jouxtent les terroirs de Bébou et Blékoum. La population de ces villages a subi un fort accroissement, notamment la population émigrante, depuis les quinze dernières années. Par exemple, Bébou est passé de 2 000 habitants en 1988 à 3 500 en 1998, essentiellement avec l'arrivée de populations allogène et allochtone.

Comme nous l'avons montré précédemment, les zones d'influence de ces villages sont presque entièrement cultivées. De ce fait, si la tendance démographique enregistrée entre 1988 et 1998 se poursuit, la pression agricole va s'accroître. Or, les derniers espaces forestiers exploitables se situent dans la forêt classée de la Bossématié. D'ailleurs, la conversion agricole des parcelles forestières qui se situent en marge de la forêt classée va dans le sens de cette dynamique de l'appropriation, et ce malgré la politique protectionniste de la SODEFOR. De même, à l'est de la forêt classée, l'agroforesterie s'est largement développée le long de la rivière Bossématié, entre 1988 et 2000. De nombreuses incursions agricoles ont été relevées dans cet espace, notamment le long du réseau hydrographique secondaire. Les exploitants profitent d'un réseau de pistes peu dense et d'un accès très difficile à ces régions pour les mettre en culture. Il est en effet ardu pour les services de la SODEFOR de surveiller efficacement ces espaces difficiles d'accès. Ce nouvel axe de pénétration dans la forêt classée de la Bossématié risque de provoquer la constitution d'un nouveau front de défrichement. Les zones vulnérables sont nombreuses et seule une surveillance accrue de ces forêts peut faciliter leur sauvegarde.

Les relations paysans/terroir s'avèrent très difficiles et complexes à représenter dans leur ensemble, même en tentant de schématiser les interactions qui peuvent se produire. D'ailleurs, notre modélisation se verra reprocher d'être simpliste, car elle ne prend pas en considération de nombreux facteurs, notamment socio-économiques, comme les marchés, les flux de marchandises, l'offre et la demande, etc. Ce travail n'a pas pour finalité d'atteindre cette complexité, mais simplement de représenter les variables spatiales qui influencent le plus la dynamique de changement des parcelles de végétation dans la région d'Abengourou.

Les espaces qui se situent aux alentours des villages d'Assakro et de N'Grakon ont été affectés par la dynamique de changement agroforestier la plus intense. Les changements provenant de ces villages affectent, respectivement 40 % et 20 %, des parcelles de café ou de cacao exploitées à l'intérieur des limites administratives des forêts classées de la Béki et de la Bossématié. Cette concentration géographique ne peut être expliquée par le biais d'une seule variable spatiale. En premier lieu, elle est la conséquence de la proximité des villages qui représentent la principale source de colons. En second lieu, l'accès à ces espaces est facilité par la présence de nombreuses pistes et l'emprunt comme voie de communication d'un réseau hydrographique secondaire dense à proximité des villages. À cette échelle, le rôle du réseau hydrographique temporaire est essentiel à prendre en considération. D'ailleurs, on peut se demander si la diminution des précipitations en Côte d'Ivoire depuis les années 1970 (Paturel *et al.*, 1996 ; Bigot *et al.*, 2002) n'influence pas cette dynamique de changement. En effet, avec la diminution des précipitations, le nombre d'années sèches a augmenté depuis ces trente dernières années. Cela facilite l'accès à des cours d'eau temporaires qui sont asséchés de manière plus récurrente. On peut donc se demander si ce facteur n'a pas une influence sur les infiltrations des colons en utilisant le réseau hydrographique. Par manque de données, nous ne pouvons que pressentir qu'il a un impact sur les infiltrations : cela reste à démontrer à la suite d'une nouvelle campagne de terrain visant l'impact du réseau hydrographique secondaire sur l'occupation des terres.

6. CONCLUSION

Le recours à la télédétection et aux SIG dans l'analyse des dynamiques du défrichement a permis de mettre en évidence la dynamique de l'occupation des terres entre 1986 et 2000 et de les mettre en relation avec certains éléments explicatifs du paysage.

Dans la région d'Abengourou, les axes de défrichement sont principalement dus à la présence de villages où les colons agricoles sont très nombreux. Ces villages sont caractérisés par une croissance importante de la population allochtone et allogène, due principalement à l'immigration. Le nombre de campements agricoles a tendance à augmenter fortement, ce qui provoque la diffusion des parcelles agroforestières sur l'ensemble des terroirs villageois ou à l'intérieur des limites administratives forestières dans le cas de la forêt classée de la Béki. Ces villages représentent les zones sources des acteurs du défrichement. Les colons agricoles s'appuient sur le réseau de pistes carrossables ou pédestres et sur le réseau hydrographique secondaire pour s'infiltrer dans les espaces forestiers. Cette forme de diffusion entraîne le développement rapide des fronts de défrichement. Ainsi, plus de la moitié des espaces forestiers de la forêt classée de la Béki ont ainsi été mis en valeur entre le milieu des années 1980 et les années 2000.

À partir des vecteurs du défrichement identifiés et de l'évolution de certains indicateurs socio-économiques, nous avons pu également localiser certains espaces vulnérables au risque de défrichement.

De plus, nous avons constaté, lors de nos campagnes de terrain, l'efficacité du programme de réhabilitation des forêts classées de l'est de la Côte d'Ivoire, mené par la SODEFOR en association avec la GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). Toutefois, au terme de ce programme, les résultats obtenus sont encore en demi-teinte. Si les espaces forestiers de la forêt classée de la Bossématié sont en partie régénérés, la forêt classée de la Béki a subi une colonisation agricole irrémédiable à cause de l'ampleur des processus de pénétration et des surfaces mises en exploitation. L'utilisation de la cartographie à l'aide de la télédétection pourrait ainsi améliorer les politiques de cogestion dans l'objectif d'établir, plus rapidement et à moindre coût, un plan de gestion des parcelles infiltrées. Elle permettrait d'identifier les espaces principalement agroforestiers et ceux soumis aux infiltrations. La gestion forestière, dans le cadre des politiques participatives, fait déjà appel à ces méthodes qui facilitent l'identification des zones à protéger prioritairement. Le programme ECOFAC (Conservation et utilisation rationnelle des écosystèmes forestiers d'Afrique Centrale), privilégie une approche régionale de la conservation et de l'exploitation durable des écosystèmes forestiers. Pour ce faire, il s'appuie sur une information cartographique détaillée afin de prévoir et d'améliorer les actions de cogestion.

Remerciements

Ce travail a pu être mené à bien grâce à l'attribution à Johan Oszwald d'une bourse d'étude de l'Agence universitaire de la Francophonie ayant permis les missions en Côte d'Ivoire et la collecte des données indispensables à la rédaction de cet article. Les auteurs remercient également les services de la SODEFOR d'Abidjan et d'Abengourou, ainsi que l'équipe écologique travaillant dans les forêts classées de la Bossématié et de la Béki.

Références

Achard, F., Laporte, N. et Blasco, F. (1993) Suivi de la végétation forestière dense humide en Afrique de l'Ouest par télédétection spatiale. Chapitre 12, p. 221-227, *in* Bonn (réd.) Télédétection de l'environnement dans l'espace francophone. Presse de l'Université du Québec et Agence de coopération culturelle et technique, Sainte-Foy, 532 p.

Alexandrine, S. (2002) Rapport d'évaluation des activités de cogestion. Rapport de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit/Société de développement forestier, Abidjan, 49 p.

Beligne, V. et Oualou, K. (1995) Manuel de techniques agroforestières pour la région des forêts classées de la Béki et de la Bossématié (département d'Abengourou). Rapport de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit/Société de développement forestier, Abidjan, 46 p.

Bigot, S. (2004) Variabilité climatique, interactions et modifications environnementales - l'exemple de la Côte d'Ivoire. Mémoire d'habilitation de direction à la recherche, Université de Lille, Lille, 398 p.

Bigot, S., Brou, Y.T., Bonnardot, V. and Servat, E. (2002) Interannual stability of rainfall patterns in the Ivory Coast over the period 1950-1996. Publication of the International Association of Hydrological Sciences, vol. 274, p. 507-514.

Blaikie, P. and Brookfield, H.C. (1987) Land degradation and society. Methuen, London, 284 p.

Chaléard, J.L. (1994) Temps des villes, temps des vivres. L'essor du vivrier marchand en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat d'état, Université de Paris X-Nanterre, Paris, 424 p.

Chatelain, C. (1996) Possibilités d'application de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour l'étude des transformations de la végétation en Côte d'Ivoire forestière. Thèse de doctorat, Université de Genève, Genève, 158 p.

Chatelain, C., Gautier, L. et Spichiger, R. (1996) A recent history of forest fragmentation in southwestern Côte d'Ivoire. Biodiversity and Conservation, vol. 5, p. 37-53.

Clairay, M. (2005) Structures, composantes et formes spatiales d'un front pionnier situé au Nato Grosso, Brésil. Mappemonde, vol. 77, p. 1-7.

Crosta, A.P., Roig, H.L. and Elvidge, C.D. (1995) Multitemporal Image Analysis Applied to Environmental Monitoring in the Brazilian Amazon. P. 25-30, *in* Cuello, A.R. (réd.) Memorias del 7 Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota. Novembre 1995, Puerto Vallata, Anâlis, 332 p.

Favier, L. (2003) Hommes, savanes, forêts : modélisation de systèmes dynamiques liant l'homme à son environnement. Thèse de doctorat, Université de Paris XI Orsay, Paris, 260 p.

Forster, B.C. (1984) Derivation of atmospheric correction procedures for LANDSAT MSS with particular reference to urban data. International Journal of Remote Sensing, vol. 5, n° 5, p. 799-817.

Fotsing, E., Cheylan, J.P., De Groot, W.T. et Verburg, P.H. (2003) Un dispositif multi-échelle d'analyse des dynamiques agraires en zone des savanes de l'extrême nord du Cameroun. P. 1-16, *in* Tannier, C., Houot, H. et Chardonnel S. (réd.) 6e Rencontres de théorie quantitative : Nouvelles approches en géographie théorique et quantitative. Février 2003, Université de Franche-Comté, Besançon, 212 p.

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

Jeanjean, H., Puig, H., Fontès, J., Miquel, C. and Solier, C. (1995) Study of Forest/non-Forest Interface : Typology of Fragmentation of Tropical Forest. TREES Publications Series B2, EUR 16291 EN, Luxembourg, 84 p.

Kientz, A. (1993) Participation de la population riveraine à la protection et à la gestion de la forêt classée de la Bossématié. Rapport de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit/Société de développement forestier, Abidjan, 78 p.

Koli Bi, Z. (1990) Le front pionnier et l'évolution récente des paysages forestiers dans le sud-ouest ivoirien. P. 175-202, *in* Richard, J.F. (réd.) La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest. ORSTOM, Documentation française et Presses Universitaires de Dakar, Paris, 310 p.

Lambin, E.F. (1994) Modelling deforestation processes. Trees series B : Research Report 1, European Commission, EUR 15744 EN, Bruxelles, 113 p.

Lambin, E.F. (1997) Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. Progress in Physical Geography, vol. 21, p. 375-393.

Léonard, E. et Oswald, M. (1993) Les planteurs de cacao ivoiriens face à un double ajustement structurel : réponses sociales et techniques à une crise annoncée. P. 19-44, *in* Ruf, F. (réd.) International Conference on Cocoa Economy, Bali, 19-22 octobre 1993, CIRAD, Askindo, 276 p.

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

Markham, B.L. and Chander, G. (2003) Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, p. 2674-2677.

Mazoyer, M. et Roudart, L. (1997) Histoire des agriculteurs du monde. Du néolithique à la crise contemporaine. ORSTOM, Paris, 534 p.

Merle, C. et Gautier, D. (2003) Prélèvements de bois de feu dans les villages du sud de Maroua (Cameroun) : une modélisation. Mappemonde, vol. 69, p. 13-19.

Mertens, B. and Lambin, E.F. (1997) Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon : spatial disaggregation of diverse deforestation processes. Applied Geography, vol. 17, p. 1-20.

Mertens, B. and Lambin, E.F. (2000) Land-cover-change trajectories in Southern Cameroon. Annals of the Association of American Geographers, vol. 90, n° 3, p. 467-494.

Mertens, B., Forni, E. and Lambin, E.F. (2001) Prediction of the impact of logging activities on forest cover : A case-study in the East province of Cameroon. Journal of Environmental Management, vol. 62, p. 21-36.

N'Guessan, E., Bellan, M.F. et Blasco, F. (2003) Suivi par télédétection spatiale d'une forêt dense humide protégée soumise à des pressions anthropiques. Télédétection, vol. 3, n° 5, p. 443-456.

Oszwald, J. (2005) Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000). Suivi par télédétection et développement d'une méthode cartographique. Thèse de doctorat, Université de Lille 1, Lille, 302 p.

Paturel, J.E., Servat, E., Kouamé, B., Boyer, J.F., Lubes, N.H. et Masson, J.M. (1996) Procédures d'identification de ruptures dans des séries chronologiques - modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne. P. 99-110, *in* Chevallier, P. et Pouyaud B. (réd) L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement. Actes de la Conférence de Paris, mai 1995, IAHS Series of Proceedings and Reports, Paris, 436 p.

Roy, P.S., Paladia, H., Chauhan, N., Porwal, M.C., Gupta, S., Biswas, S. and Jagdale, R. (2005) Validation of Geospatial Model for Biodiversity Characterization at Landscape Level – A study in Adaman and Nicobar Islands (India). Ecological Modelling, vol. 185, p. 349-369.

Skole, D.L., Chomentowski, W.H., Salas, W.A. and Nobre, A.D. (1994) Physical and human dimensions of tropical deforestation in the Brazilian Amazon. Bioscience, vol. 44, n° 5, p. 314-322.

SODEFOR (1994) Aménagement de la forêt classée du Haut Sassandra, 1994-2014. Rapport de la Société de développement forestier, Abidjan, 81 p.

Southworth, J., Nagendra, H., Carlson, L.A. and Tucker, C. (2004) Assessing the impact of Celaque National Park on forest fragmentation in Western Honduras. Applied Geography, vol. 24, p. 303-322.

Vallat, C. (1979) L'immigration Baoulé en pays Bakwt – Étude d'un front pionnier. Cahiers de l'ORSTOM, Sciences humaines, vol. 16, p. 103-110.

Westman, E.W., Strong, L.L. and Wilcox, B.A. (1989) Tropical deforestation and species endangerment : the role of remote sensing. Landscape Ecology, vol. 3, n° 2, p. 97-109.

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