

VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement

Hors-série 14 (septembre 2012)

Biodiversités et paysages : de la connaissance et de la représentation des paysages à leur aménagement durable

Anne-Elisabeth Laques, Danielle Mitja, Eric Delaître, Marcelo Cordeiro Thales, Izildinha de Souza Miranda, Roberta de Fátima Rodrigues Coelho et Sandra Maria Neiva Sampaio

Spatialisation de la biodiversité en Amazonie brésilienne pour appréhender l'influence de la colonisation des terres et des politiques publiques

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

Anne-Elisabeth Laques, Danielle Mitja, Eric Delaître, Marcelo Cordeiro Thales, Izildinha de Souza Miranda, Roberta de Fátima Rodrigues Coelho et Sandra Maria Neiva Sampaio, « Spatialisation de la biodiversité en Amazonie brésilienne pour appréhender l'influence de la colonisation des terres et des politiques publiques », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 14 | septembre 2012, mis en ligne le 18 septembre 2012, consulté le 04 octobre 2012. URL : <http://vertigo.revues.org/12501> ; DOI : 10.4000/vertigo.12501

Éditeur : Les éditions en environnements VertigO

<http://vertigo.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur :

<http://vertigo.revues.org/12501>

Document généré automatiquement le 04 octobre 2012. La pagination ne correspond pas à la pagination de l'édition papier.

© Tous droits réservés

Anne-Elisabeth Laques, Danielle Mitja, Eric Delaître, Marcelo Cordeiro Thales, Izildinha de Souza Miranda, Roberta de Fátima Rodrigues Coelho et Sandra Maria Neiva Sampaio

Spatialisation de la biodiversité en Amazonie brésilienne pour appréhender l'influence de la colonisation des terres et des politiques publiques

- 1 En Amazonie brésilienne occidentale, un projet gouvernemental a pour objectif l'intégration économique de la région au reste du pays grâce à des mesures incitatives de colonisation des terres et leur mise en pâturage pour la production de bovins (Steinberger M., 2006). Dans l'État du Para, les migrants qui s'installent en région pionnière adhèrent à ces politiques avec l'intime conviction que la mise en pâturages de la forêt et l'élevage extensif correspondent au meilleur mode d'exploitation des terres pour prospérer (Esterci N. et al., 2004). Ces pratiques ne sont pas sans conséquence sur la biodiversité locale et vont souvent à l'encontre des politiques de protection de l'environnement. Concevoir le développement en misant sur l'extension des pâturages demande de pouvoir mesurer l'ampleur et la vitesse des changements de qualité des milieux engendrés par ces choix économiques, puis indiquer les zones où l'érosion de la biodiversité initiale est plus ou moins forte. Comment alors estimer des valeurs de biodiversité et comment spatialiser ces informations de façon à apprécier l'état et les dynamiques d'évolution de ces territoires ? Quelles données produire pour apprécier le rôle joué par certaines politiques dans ces changements ?
- 2 Si les processus d'érosion de la biodiversité sont connus (entre autres Dajoz, 2008), les disparités spatiales et de rythme dans les transformations sont un apport de la méthode proposée qui devrait enrichir les connaissances sur les dynamiques de biodiversité en Amazonie.
- 3 Les travaux engagés dans le cadre de cette étude ont pour objectifs de proposer une démarche d'évaluation et de spatialisation de la biodiversité¹ cherchant à contribuer à l'appréciation de l'impact spatial des politiques de développement. Ils devraient permettre d'améliorer les connaissances sur les interactions entre la diversité végétale et certaines mesures liées au développement économique de la région. Les résultats de ces analyses pourraient ainsi participer à la prise de décision en termes d'aménagement de milieux fragiles, soumis à une exploitation des ressources difficilement contrôlable.
- 4 Concevoir ces procédés méthodologiques dans des régions comme l'Amazonie nécessite de pouvoir prendre en compte de vastes territoires quelque soit la complexité des écosystèmes et répéter la mesure à différentes dates pour surveiller les changements. La démarche développée doit donc produire rapidement des données et à terme, être reproductible d'une région à l'autre², mais aussi pouvoir prendre en compte plusieurs paramètres d'évaluation de la biodiversité en fonction de la politique publique ciblée. De par leur disponibilité, l'homogénéité de l'information produite et l'étendue de leur couverture, les images de satellite sont ici mobilisées pour servir de support à la détection des composants paysagers, élaborés comme unités spatiales de référence pour la mesure de biodiversité, et leur mise en carte.
- 5 Le programme de recherche BIODAM, financé par l'Institut Français de la Biodiversité (IFB) duquel est issu une partie des données mobilisées pour cet article, avait pour finalités d'estimer l'impact des pratiques agricoles locales sur la biodiversité à travers l'évaluation du rôle des politiques publiques sur les dynamiques spatio-temporelles du couvert végétal. Les stratégies de développement régional sont à l'origine des grandes dynamiques du paysage et des changements de biodiversité que l'on a pu mesurer. Ces travaux nous ont permis d'estimer d'une part les changements à partir d'une évaluation de la complexité des milieux en partant

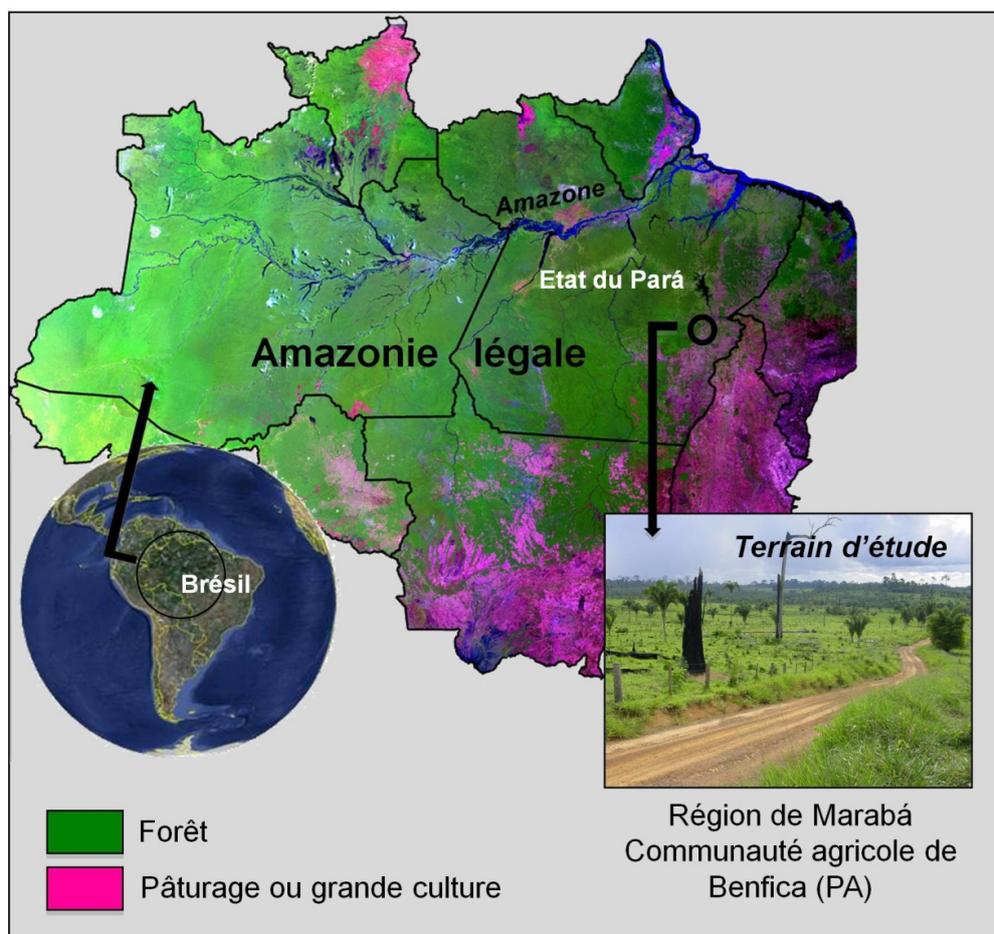
du principe que plus un paysage est complexe dans ses structures horizontales et verticales, plus il a de chances d'abriter un plus grand nombre d'espèces (Guillaumet *et al.*, 2009) et d'autre part, de spatialiser ces résultats de manière à estimer l'impact spatial d'une famille de politiques liées à l'exploitation du milieu.

6 Dans le cadre de cet article, il est maintenant question de poursuivre l'évaluation de ces mêmes politiques, mais en affinant les analyses de biodiversité, en ayant recours à un croisement d'indicateurs plus communément utilisés en écologie pour en rendre compte.

7 Cet article expose (i) la démarche explorée pour associer une valeur de biodiversité à chaque unité de paysage (composant paysager) puis les procédés de spatialisation et de suivi de ces valeurs (ii) les résultats obtenus sont ensuite exposés de manière à pouvoir commenter les relations entre les évolutions de ces valeurs dans le temps et l'espace et les événements consécutifs à la colonisation de cette région dont un programme national de soutien à l'agriculture familiale (Bianchini V., 2005).

8 L'expérimentation porte sur seulement trois des composants paysagers les plus représentatifs des régions pionnières. Ce choix a été fait de façon à nous permettre ensuite d'extrapoler ces résultats obtenus sur le territoire d'une communauté agricole (l'*assentamento* de Benfica, noté PA par la suite) à la région de Marabá (Figure 1)

Figure 1. Un terrain d'étude en région pionnière



Méthode

9 Il est intéressant de définir un procédé d'évaluation de la biodiversité parmi la multitude des procédés déjà en cours (Dubreuil *et al.*, 2010 ; Levrel H., 2007) qui soit adapté à ces régions pionnières de manière à produire une « image » de la végétation qui permette de traduire à la fois sa richesse en terme de composition floristique, mais aussi de structure et d'artificialisation par rapport à la végétation initiale de la région. Cette méthode d'étude de la biodiversité, basée

sur la mesure des changements qui se produisent lors de la mise en culture, permet de quantifier l'impact de divers événements et politiques publiques liés au monde agricole.

Une échelle de valeurs pour évaluer la biodiversité

- 10 L'échelle de Beaufort classe la force du vent, celle de Mercalli l'intensité des dégradations causées par les séismes, celle de Richter gradue l'intensité du séisme lui-même. Les échelles servent à classer, ordonner, hiérarchiser l'état ou l'intensité d'un phénomène et le risque d'occurrence d'un événement ; et cela par une suite de nombres entiers positifs ou nuls, obtenus par mesures ou combinaisons d'observations et conventionnellement agencés en rang croissant ou décroissant. La phytosociologie utilise encore aujourd'hui les coefficients d'abondance-dominance et de sociabilité proposés par J. Braun-Blanquet et repris ensuite par ses successeurs. Le « *Relevé méthodique de la végétation et du milieu* » rédigé et publié sous la direction d'Emberger (1968) en propose toute une série. Cela dit, les échelles sont surtout très communes en météorologie, non seulement pour caractériser les états environnementaux (la pollution atmosphérique urbaine par l'ozone), l'intensité des phénomènes (la force du vent, les cyclones tropicaux, les tornades), mais aussi les risques d'occurrence d'un phénomène (le risque d'avalanche). Les échelles par classes de valeur ordonnées, parfois basées à dire d'expert, sont d'utilisation fréquente dans la vie courante comme en sciences.
- 11 En géographie, le recours aux échelles de valeurs est peu courant (Laques, 2009), pourtant dans le cadre du programme BIODAM (Guillaumet et al., 2009), l'intérêt de son usage a été démontré pour ordonner les valeurs de la complexité des milieux pour différents niveaux d'organisation paysagers. Sur ce même principe, il est question ici de recourir au principe de l'échelle de manière à évaluer la biodiversité par l'attribution d'une valeur pour chaque objet paysager reconnu sur le terrain et sur les images. L'objectif de cette approche est de pouvoir suivre dans le temps et dans l'espace l'ampleur et la diffusion du phénomène d'érosion de la biodiversité (Laques A-E et al., 2005 ; Laques et al., 2007).
- 12 L'échelle de biodiversité se construit en identifiant en préalable un certain nombre d'indicateurs qualifiant chacun une particularité de la formation végétale associée aux composants paysagers.
- 13 Chacun de ces indicateurs pointe une information (richesse spécifique) qui, par un système de classe de valeurs, permet d'attribuer un certain nombre de points au composant paysager analysé. L'indice de biodiversité (IB) de chaque composant paysager (CP) correspond à la somme des notes indicielles qui lui ont été attribuées par indicateur. Plus la valeur est forte sur l'échelle, plus la biodiversité du composant paysager est élevée.
- 14 $IB_{CPi} = I_{1\ CPi} + I_{2\ CPi} + \dots + I_{n\ CPi}$
- 15 Avec
- 16 IB : valeur de l'indice de biodiversité
- 17 CP : composant paysager
- 18 i : i numéro du composant paysager
- 19 I_i : valeur donnée par l'indicateur écologique ou botanique numéro 1, et ainsi de suite avec n indicateurs différents

Les indicateurs de la biodiversité à Benfica

Le site de Benfica

- 20 Le site de Benfica localisé sur un front pionnier amazonien, se compose de deux grandes unités de territoire : Benfica 1 et Benfica 2. Initialement occupé par de grands propriétaires (fazendas), les agriculteurs qui occupent les terres actuellement sont de petits fermiers installés sur en moyenne 150 hectares à Benfica 2 et des colons dont les propriétés ont 50 hectares à Benfica 1. Le P.A. Benfica couvre une superficie de 10 026 ha et était initialement couvert par de la forêt dense humide. Les défrichements de cette forêt, la mise en culture et parfois l'abandon de ces cultures ont abouti à une mosaïque de formations de forêts denses humides, de jachères³, de cultures, de pâturages et de clairières forestières dont les superficies évoluent annuellement (Sampaio S., 2008).

La méthode de relevés sur le terrain

21 La biodiversité mesurée ici est celle des végétaux (phanérogames et ptéridophytes, spontanées ou cultivées) incluant donc à la fois des ligneux et des herbacées, et tous les stades démographiques : plantule, jeune, adulte. Les indicateurs définis par la suite seraient bien différents dans le cas de relevés uniquement effectués sur les ligneux ou sur les ligneux de fort diamètre. L'évaluation de la biodiversité du PA de Benfica passe par des mesures de terrain classiques en botanique et écologie. Les composants paysagers choisis sont au nombre de trois : 1) CP-forêt, 2) CP-jachère⁴, 3) CP-culture/pâturage ; et 17 relevés ont été effectués dans chacun d'eux. Pour chaque relevé, seront indiqués le nombre d'espèces, le nombre d'individus par espèces, l'identification botanique de chaque espèce, le nombre de strates de la formation végétale. L'échantillonnage est effectué dans chaque parcelle sur 3 transects imbriqués : 1) les ligneux de plus de 10 cm de diamètre sont échantillonnés sur une surface de 500 m² (10mx50m), 2) les ligneux de moins de 10 cm de diamètre et plus de 2 m de haut sont échantillonnés sur une surface de 250 m² (5mx50m), 3) les herbacées et ligneux de moins de 2 m de haut sont échantillonnés sur une surface de 50 m² (1mx50m).

22 Les indicateurs retenus pour la construction de l'échelle de biodiversité sont au nombre de 5.

L'indicateur de richesse spécifique estimée par la méthode de Jackknife

23 Dans les formations végétales caractérisées par un grand nombre d'espèces rares, la méthode de Jackknife d'ordre 1, notée \hat{S}_{j1} , (Burnham et Overton, 1978, 1979 ; Carpentier 1999), permet d'estimer la quantité totale d'espèces d'un milieu avec un nombre raisonnable de relevés à partir du tableau des abondances d'individus par espèces.

$$24 \hat{S}_{j1} = s_n + ((n-1)*k/n)$$

25 Avec

26 s : nombre total d'espèces présentes dans n quadrats,

27 n : nombre total de quadrats,

28 k : nombre total d'espèces uniques

29 Les richesses spécifiques de chaque composant paysager seront ensuite comparées à celle de la formation végétale native de la région, la forêt dense humide dans le cas présent, et sera calculé le pourcentage d'espèces du composant paysager en fonction du nombre total d'espèces de la formation de référence. Les classes retenues sont au nombre de 5 : 1- moins de 25 %, 2- de 25 à 50 %, 3- de 50 à 75 %, 4- de 75 à 100 %, 5- plus de 100 %. D'autres estimateurs comme le Jackknife de 2^{ème} ordre et l'estimateur Chao 2 ont également été testés. Les calculs ont été réalisés avec la fonction « specpool » du package Vegan du logiciel R (Oksanen *et al.*, 2010 et R developmentCore Team, 2010).

L'indicateur d'abondance des individus par espèces

30 La répartition du nombre d'individus par espèce varie dans les différents composants paysagers. Les espèces présentant des densités d'individus supérieures à 2000 individus/ha en moyenne et ayant une fréquence de plus de 50 % seront considérées comme ayant beaucoup d'individus. Les classes retenues sont au nombre de 4 : 1- toutes les espèces ont beaucoup d'individus, 2- une à deux espèces ont beaucoup d'individus, 3- quelques espèces ont beaucoup d'individus et la plupart ont peu d'individus, 4- toutes les espèces ont peu d'individus.

L'indicateur d'artificialisation

31 Il s'agit ici de quantifier la proportion d'individus issus d'espèces introduites à des fins agricoles. Les classes retenues sont au nombre de 4 : 1- plus de 60 % des individus sont issus d'espèces introduites, 2- de 40 à 60 % des individus sont issus d'espèces introduites, 3- de 20 à 40 % des individus sont issus d'espèces introduites, 4- moins de 20 % des individus sont issus d'espèces introduites.

L'indicateur de stratification

32 Le nombre de strates constitue un indicateur de structure verticale qui est plus ou moins complexe. Il est généralement admis qu'une structure verticale complexe comprenant un grand nombre de strates correspond à une formation végétale mature.

33 Les classes retenues sont au nombre de 3 : 1- une à deux strates, 2- deux à trois strates, 3- plus de trois strates.

L'indicateur de similarité

34 L'indice de similarité de Jaccard correspond à la proportion d'espèces communes à deux
formations végétales :

35 $J = a / (a+b+c)$

36 Avec

37 a : nombre d'espèces communes aux deux formations,

38 b : nombre d'espèces uniquement présentes dans la première formation,

39 c : d'espèces uniquement présentes dans la seconde formation.

40 La similarité sera indiquée ici entre chacune des formations végétales et la formation végétale
de référence, c.-à-d. la forêt dense humide initiale. Les classes retenues sont au nombre de 4 :
1- moins de 10 %, 2- de 10 à 25 %, 3- de 25 à 50 %, 4- plus de 50 %.

La spatialisation de la biodiversité

Les images satellites utilisées

41 La spatialisation des composants paysagers s'est faite à l'aide de 6 images satellites qui
couvrent la période 1973-2009 (Figure 2). Elles proviennent toutes du programme Landsat de
la NASA qui fournit des images d'observation de la surface terrestre depuis 1972, dans les
domaines du visible et de l'infrarouge, à partir des capteurs MSS (Multi Spectral Scanner), TM
(Thematic Mapper) et ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) (Tableau 1). Elles ont été
récupérées gratuitement sur les sites du Global Land Cover Facility et du Global Visualization
Viewer. Elles sont déjà pré-géoréférencées et ont été retenues pour leur qualité radiométrique
et leur faible couverture nuageuse. Ces six images ont toutes été prises à la même époque de
l'année entre le 22 juin et le 8 août, ce qui correspond au début de la saison sèche. Avec leurs
meilleures résolutions spatiales (taille de pixel) et leurs plus grands nombres de canaux, les
images les plus récentes (1992, 2001, 2005 et 2009) sont les plus performantes. Néanmoins,
les images de 1973 et 1986 apportent des informations assez proches et donc comparables à
celles des autres années, ce qui permet de suivre les changements des composants paysagers
sur une plus longue période (Dubreuil et al., 2008).

Figure 2. La cartographie des 3 composants paysagers à partir des 6 images Landsat

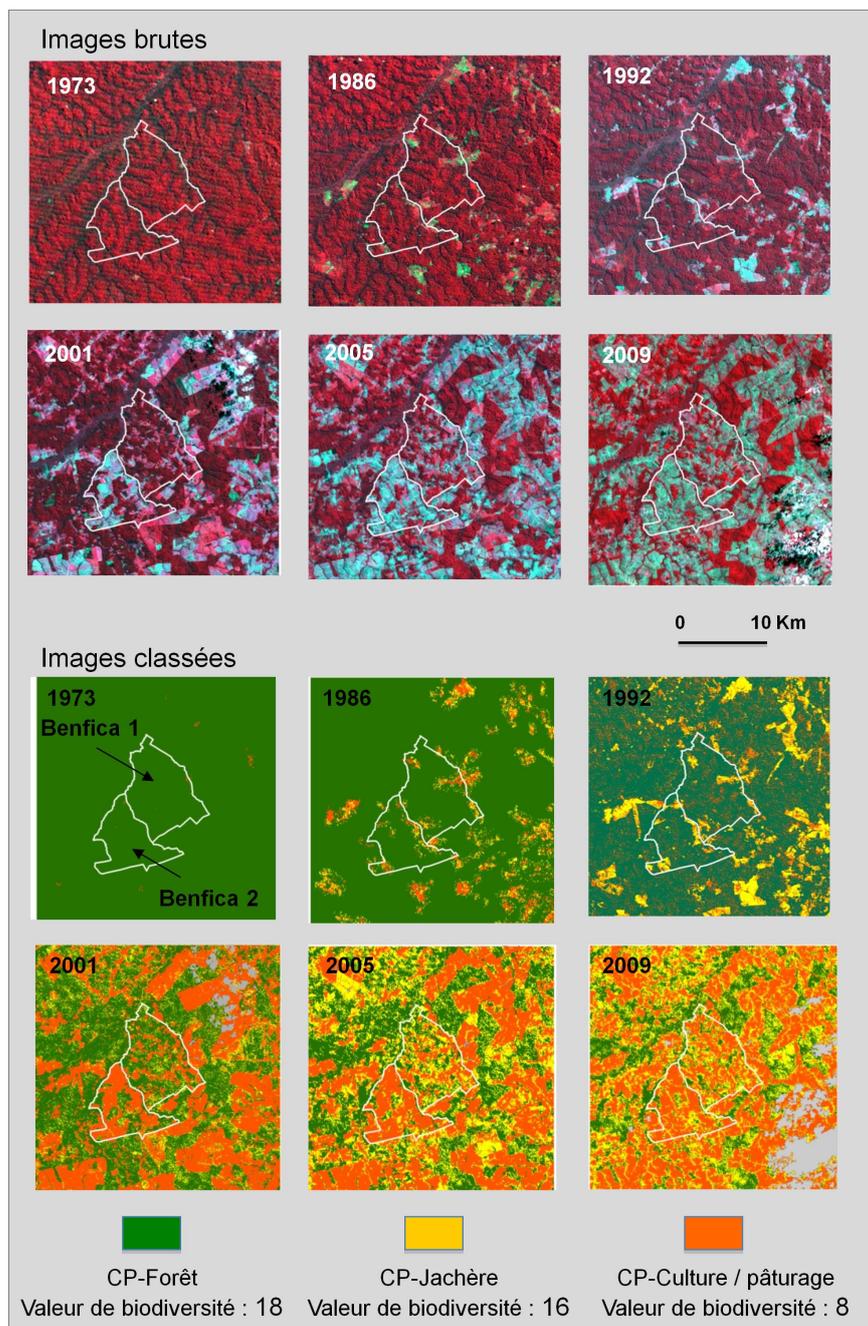


Tableau 1. Les caractéristiques des images satellites

Date	Satellite	Capteur	Référence (P/R)	Canaux	Résolution (m)	Fournisseur
04/08/1973	Landsat 1	MSS	240/064	1, 2, 3, 4	57	GLCF
24/07/1986	Landsat 4					
22/06/1992	Landsat 5					
09/07/2001	Landsat 7	ETM+	224/064	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	30	GLOVIS
12/07/2005	Landsat 5					
08/08/2009	Landsat 5					

Le traitement des images satellites pour cartographier les composants paysagers aux différentes dates

42 Le classement des pixels des images a été réalisé par la méthode de la distance minimale à la moyenne⁵ (minimum distance) (Richards, 1999). Le logiciel utilisé pour ce traitement est ENVI version 4.5 (©ITT Visual Information Solutions).

43 La classification initiale a été réalisée sur l'image de 2005, car elle correspondait à l'année de repérage sur le terrain des trois composants paysagers préalablement sélectionnés : CP-forêt, CP-culture/pâturage et CP-jachère. Il n'y a que quelques semaines de décalage entre les observations de terrain et le passage du satellite.

44 En préalable à la classification, des tests statistiques de séparabilité (Richards, 1999)⁶ des différents composants paysagers ont été effectués à partir de l'image. Ils ont montré que les CP-culture/pâturage et CP-forêt étaient les plus facilement séparables.

45 Le traitement des images satellites s'effectue en 2 étapes principales de classification :

46 La première commence par l'identification de la classe CP-culture/pâturage, qui est la plus hétérogène radiométriquement ce qui empêche une extraction unique de la classe, puisqu'elle englobe aussi bien les parcelles récemment défrichées et propres, les parcelles cultivées (riz, manioc...), que les parcelles plus anciennes et moins bien entretenues. Cette classe contient donc plusieurs sous-classes sur lesquelles il convient de travailler d'abord séparément pour les extraire de l'image avant de les combiner au final.

47 Une fois la classe correspondant au CP-culture/pâturage validée sur l'image, la seconde étape consiste à traiter les zones hors culture et pâturage en appliquant un masque et en cherchant à extraire la classe correspondant au CP-forêt qui est nettement plus homogène et donc plus simple à extraire de l'image que celle du CP-culture/pâturage.

48 Une fois la classe du CP-forêt validée sur l'image, l'espace restant, qui n'est donc ni pâturage, ni culture et ni forêt, est automatiquement rangé dans la classe du CP-jachère. On se rend compte alors que la classe CP-jachère peut correspondre également aux clairières forestières. Il n'a pas été possible en appliquant des traitements simples de séparer les jachères et les clairières forestières. Ces dernières sont donc contenues dans la classe du CP-jachère, cependant les résultats montrent que pour la région de Benfica, la superficie des clairières forestière est nettement plus faible que celle des jachères.

49 À cette étape, le résultat obtenu est une carte de la distribution spatiale des différents composants paysagers (CP-forêt, CP-culture/pâturage, CP-jachère), et c'est elle qui servira de base pour la spatialisation de la biodiversité à partir des valeurs calculées par la méthode de l'échelle.

50 Les images satellites des autres dates ont été traitées de la même façon en prenant comme sites d'entraînement des groupes de pixels de radiométries proches de celles de l'année 2005.

Des images classées à la spatialisation de la biodiversité

À l'échelle du composant paysager

51 Les cartes des indices de biodiversité calculés à partir de la méthode de l'échelle par composant paysager sont les mêmes que celles des composants paysagers obtenus par la classification des images satellites, seule la légende change : à la place de la nature du composant paysager, c'est la valeur de l'indice de biodiversité qui est donnée. L'analyse de la carte des indices de biodiversité va de pair avec celle de la carte des composants paysagers.

À l'échelle des unités de territoire

52 L'indice de biodiversité est calculé sur un espace donné à partir des superficies relatives des trois composants paysagers calculées sur ce même espace et de leurs indices propres de biodiversité donnés par l'échelle. Les superficies relatives des composants ont été obtenues en utilisant le logiciel ArcGis 9.3 (© ESRI Inc.), après la vectorisation des résultats obtenus à partir des classifications des images satellites.

53 La formule du calcul de l'indice spatialisé de biodiversité est la suivante :

$$54 \text{ ISB} = A_{\text{CP1}} * \text{IB}_{\text{CP1}} + A_{\text{CP2}} * \text{IB}_{\text{CP2}} + A_{\text{CP3}} * \text{IB}_{\text{CP3}}$$

55 Avec

56 ISB indice spatialisé de biodiversité calculé pour une région, un territoire ou une surface donnée,

- 57 A_{CPi} : superficie relative du composant paysager « i » calculé à partir d'un SIG pour la région, le territoire ou la surface étudiés,
- 58 IB_{CPi} : indice de biodiversité calculé pour le composant paysager « i » à partir des mesures de terrain et d'après l'échelle mise au point avec les indicateurs retenus.
- 59 De cette façon, cet indice spatialisé de la biodiversité (ISB) permet d'attribuer une seule valeur à un territoire constitué par une mosaïque d'indices de biodiversité (IB). L'ISB synthétise donc un ensemble d'informations spatiales données par l'échelle de biodiversité.

Résultats et discussion

L'estimation de la valeur de biodiversité par composant paysager

Pour chaque indicateur de l'échelle

Une richesse spécifique fortement liée aux conditions locales

- 60 Les valeurs de richesse spécifique observées sont relativement élevées et sont à mettre en relation avec la situation de Benfica qui est un front pionnier de forêt dense humide (Tableau 2). La forte richesse spécifique de la forêt, 425 espèces mesurées pour 8 500 m² de relevés au total, est une valeur qui ne surprend pas au regard des données de la littérature généralement uniquement basées sur une étude des ligneux de diamètre souvent supérieur à 10 cm (Puig, 2001 ; Francez et al., 2007). La richesse spécifique des cultures et pâturages, 248 espèces, bien qu'inférieure à celle des forêts est relativement élevée en comparaison à d'autres agrosystèmes. Ceci est lié à leur mise en place relativement récente, une dizaine d'années pour les plus vieilles parcelles. Il reste donc encore un nombre assez important d'espèces forestières qui cohabitent avec des espèces secondaires. De plus, les pratiques agricoles manuelles et l'absence d'utilisation d'herbicides permettent la conservation d'une bonne partie de la richesse spontanée. Pour une même superficie échantillonnée, la richesse spécifique des jachères est supérieure à la richesse des forêts natives avec une valeur de 545 espèces. Ces fortes valeurs sont dues au maintien d'espèces forestières issues de la forêt initiale qui cohabitent avec les espèces secondaires et à un retour d'espèces forestières qui avaient disparues et qui se réinstallent dans ces milieux (Mitja et al., 2008).

Tableau 2. La richesse spécifique totale des composants paysagers

n = 17 parcelles par composant paysager (CP)	Cumul de la richesse spécifique mesurée	Jackknife 1 ^{er} ordre (ES)	Jackknife 2 ^{ème} ordre	Chao 2 (ES)	Richesse spécifique par rapport à la forêt dense humide (%)		
					Jackknife1	Jackknife2	Chao 2
CP1 « Forêt »	425	627 (± 55)	762	775 (± 67)	100	100	100
CP2 « Jachère »	545	849 (± 84)	1053	1070 (± 82)	135	138	138
CP3 « Culture/ Pâturage »	248	382 (± 39)	478	524 (± 67)	61	63	68

- 61 Les valeurs obtenues pour la richesse spécifique totale des 3 composants paysagers par la méthode de Jackknife d'ordre 1 sont proportionnelles aux valeurs mesurées avec des taux comparables variant de 64 à 68 %. Ceci est dû à une forte proportion d'espèces rares dans toutes les parcelles y compris les parcelles cultivées. Si nous considérons le Jackknife d'ordre 1, la proportion de richesse spécifique par rapport à la forêt dense humide est de 61 % pour les cultures/pâturages et de 135 % pour les jachères. Les autres estimateurs, qui évaluent la richesse spécifique au double de la richesse mesurée, fournissent cependant des pourcentages comparables à ceux du Jackknife d'ordre 1. Sur l'échelle de biodiversité, la valeur de cet indicateur sera donc dans tous les cas de 4 pour le CP-forêt, de 5 pour le CP-jachère et de 3 pour le CP-culture/pâturage (Tableau 3).

Tableau 3. Les indicateurs de biodiversité des 3 composants paysagers**I – Indicateur de richesse spécifique**

	Code classe	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
1-1 – Moins de 25%	Valeur	1	2	3	4	5
1-2 – De 25 à 50%	CP1				X	
1-3 – De 50 à 75%	CP2					X
1-4 – De 75 à 100%	CP3			X		
1-5 – Plus de 100%						

En % de la richesse spécifique de la formation végétale de référence la forêt dense humide

II – Indicateur d'abondance des individus par espèce

	Code classe	2-1	2-2	2-3	2-4
2-1 – Toutes les espèces ont de nombreux individus	Valeur	1	2	3	4
2-2 – Une à deux espèces ont de très nombreux individus	CP1			X	
2-3 – Quelques espèces ont de nombreux individus et la plupart en ont peu	CP2			X	
2-4 – Toutes les espèces ont peu d'individus	CP3		X		

III – Indicateur d'artificialisation

	Code classe	3-1	3-2	3-3	3-4
3-1 – Plus de 60 %	Valeur	1	2	3	4
3-2 – De 40 à 60 %	CP1				X
3-3 – De 20 à 40 %	CP2				X
3-4 – Moins de 20 %	CP3	X			

En % du nombre d'individus d'espèces cultivées

IV – Indicateur de stratification

	Code classe	4-1	4-2	4-3
4-1 – Une à deux strates	Valeur	1	2	3
4-2 – Deux à trois strates	CP1			X
4-3 – Plus de trois strates	CP2		X	
	CP3	X		

V – Indicateur de similarité

	Code classe	5-1	5-2	5-3	5-4
5-1 – Moins de 10%	Valeur	1	2	3	4
5-2 – De 10 à 25 %	CP1				X
5-3 – De 25 à 50 %	CP2		X		
5-4 – Plus de 50 %	CP3	X			

CP1 : Forêt

CP2 : Jachère

CP3 : Culture/Pâturage

L'abondance des individus par espèces

62 Les caractéristiques environnementales et culturelles de Benfica interviennent également sur l'abondance des individus. Le défrichement manuel a permis le maintien de la banque de semence du sol et du potentiel végétatif entraînant une forte régénération d'individus herbacés et ligneux dans les cultures et les jachères. Le fait d'échantillonner à la fois les végétations ligneuses et herbacées à tous les stades de développement implique une répartition du nombre d'individus par espèces différent de celui habituellement observé lorsque l'on s'intéresse seulement aux ligneux, quel que soit leur diamètre.

63 Les forêts et les jachères sont caractérisées par quelques espèces présentant de très nombreux individus alors que la plupart ont peu d'individus. Dans les forêts, il s'agit de *Inga edulis*, *Bauhinia guianensis*, *Attalea speciosa*, *Poecilanthe effusa*, *Anaxagorea dolichocarpa*, *Tabernaemontana angulata*, *Protium apiculatum*, *Adiantum latifolium* et *Quararibea guianensis*. Dans les jachères, il s'agit d'*Attalea speciosa*, *Memora allamandiflora*, *Astrocaryum gynacanthum*, *Memora flavida*, *Geissospermum vellosii*, *Rinorea flavescens*, *Lasiacis ligulata*. Les cultures et pâturages sont caractérisés par une à deux espèces présentant

de très nombreux individus qui sont les espèces cultivées, comme *Oryza sativa* (le riz), et les deux fourragères *Brachiaria brizantha* et *Panicum maximum*.

64 Pour cet indicateur, le CP-forêt et le CP-jachère obtiennent la valeur de 3 et le CP-culture/pâturage celle de 2 (Tableau 3).

L'artificialisation

65 Les forêts sont des formations primaires qui par le passé ont toutefois été perturbées par la coupe d'arbres fournissant du bois d'œuvre, mais qui n'ont jamais été mises en culture. Elles sont exemptes d'espèces cultivées. Dans les jachères, notamment les plus récentes, il est courant d'observer quelques individus de *Brachiaria brizantha* ou de *Panicum maximum*, toujours inférieurs à 20 % du nombre total d'individus de la parcelle. Dans les cultures et pâturages, le nombre d'individus appartenant aux espèces cultivées représente plus de 60 % du nombre total d'individus. Le CP-forêt et le CP-jachère obtiennent donc la valeur de 4, et le CP-culture/pâturage celle de 1 (Tableau 3).

La stratification

66 Les forêts sont caractérisées par plus de 3 strates avec au moins la strate herbacée, la strate arborée des arbres du sous-bois, la strate arborée des arbres de la canopée et la strate arborée des émergents. Les jachères récentes ont deux strates, une herbacée et une arbustive, alors que les jachères plus vieilles ont 3 strates avec en plus une strate arborée. Les cultures et pâturages ont uniquement une strate herbacée lorsqu'ils sont entretenus et une deuxième strate arbustive lorsqu'ils sont envahis par les adventices ligneuses.

67 Le CP-forêt obtient donc la valeur de 3, le CP-jachère celle de 2 et le CP-culture/pâturage la valeur de 1 (Tableau 3).

La similarité avec la forêt initiale

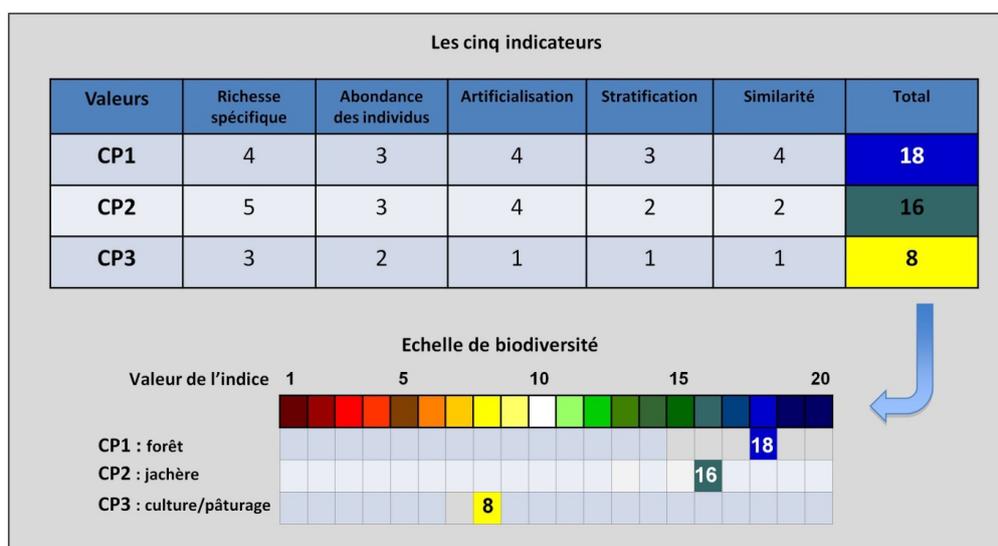
68 La similarité floristique avec la forêt dense humide est un indicateur qui permet d'évaluer la perte de biodiversité initiale. L'indice de similarité de Jaccard est de 0,21 entre la forêt et les jachères, alors qu'il est de 0,08 entre la forêt et les cultures/pâturages.

69 Le CP-forêt a donc la valeur maximale 4, le CP-jachère obtient celle de 2 et le CP-culture/pâturage celle de 1 (Tableau 3).

Pour chaque composant paysager via l'échelle

70 L'échelle de biodiversité est construite à partir des valeurs des 5 indicateurs pour les 3 composants paysagers (Figure 3). Le CP-forêt obtient une valeur finale de 18 pour son indice de biodiversité (IB), légèrement plus élevé que la valeur du CP-jachère qui s'élève à 16 et bien supérieure à celle du CP-culture/pâturage qui est de 8. Les jachères des fronts pionniers soumis à l'agriculture familiale manuelle présentent une biodiversité relativement élevée qui n'est pas sans intérêt pour les agriculteurs et les politiques publiques.

Figure 3. L'échelle de valeurs de biodiversité



Les dynamiques spatiales en relation avec les politiques publiques liées à la colonisation

Analyse diachronique des indices de biodiversité des composants paysagers par unité de territoire

71 Entre 1973 et 2009, d'après les images satellites (Figure 2), la superficie couverte par la classe du CP-forêt diminue très fortement sur l'ensemble de la région de Benfca en passant de pratiquement 100 % à seulement 21 % (Figure 2), et cela au profit des classes du CP-culture/pâturage et du CP-jachère qui finissent par atteindre respectivement 49 % et 30 %.

72 Les dynamiques de changement des superficies occupées par les 3 composants paysagers sont faibles entre 1973 et 1986, et nettement plus fortes entre 1986 et 2009 (Figure 4), en particulier après 1992. Elles paraissent se stabiliser en 2009, certaines valeurs de superficie atteignant un palier. Les espaces correspondant à Benfca 1 et Benfca 2 n'ont pas les mêmes dynamiques, si l'évolution de Benfca 1 ressemble beaucoup à celle de la région de Benfca, celle de Benfca 2 est très différente en particulier pour la classe du CP-culture/pâturage qui domine largement avec plus de 60 % dès 2001, alors que pour Benfca 1 et la région de Benfca elle n'est que de 49 % en 2009.

73 Dans le détail, les six dates fournies par les images satellites permettent de décomposer la dynamique de la région en 5 périodes (1973-1986, 1986-1992, 1992-2001, 2001-2005 et 2005-2009) au cours desquelles les composants paysagers suivent différentes évolutions (Figure 4).

1973-1986 : l'amorce de la déforestation

74 La classe du CP-forêt diminue faiblement et de la même façon, aussi bien pour l'ensemble de la région de Benfca, que pour Benfca 1 et Benfca 2, en passant de pratiquement 100 % à environ 90 % en 13 ans. Pour la région de Benfca, l'augmentation de la superficie relative des classes du CP-culture/pâturage et du CP-jachère se fait lentement, en passant de valeurs presque nulles à quelques pourcentages, respectivement 5 % et 4 %, sur 13 années. Ces valeurs sont un peu inférieures pour Benfca 1 (4 % et 4 % respectivement), et semblables pour Benfca 2 (5 % et 4 %). Globalement, l'étendue de la classe du CP-culture/pâturage est au moins égale, voire légèrement supérieure à celle de la classe du CP-jachère. C'est donc la mise en valeur des terres qui l'emporte, mais de peu sur l'abandon.

75 À cette période les terres de la région étaient pour la plupart inhabitées, quelques fermes existaient cependant et se consacraient à la récolte de la *castanha-da-Amazônia* (le noyer d'Amazonie, *Bertholletia excelsa*) ou à l'extraction de bois précieux. De minuscules parcelles cultivées permettaient de nourrir hommes et chevaux employés dans les fermes. Les cultures vivrières côtoyaient des pâturages de *Panicum maximum* (variété *colonião*).

1986-1992 : le début de l'accélération de la déforestation

76 Sur l'ensemble de la région, comme pour Benfca 1 et Benfca 2, la diminution de la classe du CP-forêt est plus importante que pour la période précédente en passant sous la valeur des 80 % en 6 ans, et en atteignant presque les 70 % pour la région, alors que pour Benfca 1 et Benfca 2 la baisse de l'étendue de la classe du CP-forêt s'arrête à 78 % et 76 % respectivement. Pour la région de Benfca, l'étendue de la classe du CP-jachère augmente plus rapidement que la classe du CP-culture/pâturage, en atteignant respectivement 18 % et 11 % en 6 années. C'est la même chose pour Benfca 1, mais de façon plus marquée avec 17 % pour la classe du CP-jachère contre seulement 6 % pour du CP-culture/pâturage. Idem pour Benfca 2, mais de façon moins marquée avec seulement 15 % pour la classe du CP-jachère par rapport à 10 % pour celle du CP-culture/pâturage. Globalement, l'abandon des terres l'emporte sur leur mise en valeur pendant cette période.

77 Deux événements permettent d'expliquer les dynamiques observées entre 1986 et 1992. Tout d'abord, les pâturages de *colonião*, plantés une dizaine d'années auparavant, se sont dégradés et ont été abandonnés à la jachère. Ensuite à partir de 1989 et jusqu'en 1992, les fermes de Benfca 2 ont été divisées et rachetées par des colons qui ont commencé à installer des cultures et des pâturages ce qui explique les plus fortes valeurs observées pour les pâturages par rapport à Benfca 1.

1992-2001 : une mise en valeur à deux vitesses entre Benfica 1 et Benfica 2

78 Pour l'ensemble de la région, la diminution de la classe du CP-forêt est relativement moins importante que pour la période précédente en passant de 71 % à 46 % en 9 ans. C'est le même phénomène pour Benfica 1, mais avec des valeurs moins fortes (78 %-56 %). Par contre pour Benfica 2, la diminution est très importante en passant de 76 % à 32 %, il y a donc une forte accélération de la déforestation. Pour la région de Benfica, l'étendue de la classe du CP-culture/pâturage augmente considérablement en atteignant la valeur de 41 % en 9 années, alors que celle du CP-jachère chute à 13 %. Benfica 1 présente la même tendance, mais elle se marque moins avec seulement 31 % pour le CP-culture/pâturage et 13 % également pour le CP-jachère. Par contre, cette tendance est encore plus marquée pour Benfica 2 en atteignant 61 % pour le CP-culture/pâturage, et à peine 8 % pour le CP-jachère.

79 Alors que les agriculteurs de Benfica 2 sont déjà installés et immédiatement opérationnels, car leur installation fait suite à la vente d'une autre propriété et qu'ils sont donc arrivés avec un pécule qui leur permet de vivre tout en installant des cultures sur de grandes superficies, les agriculteurs de Benfica 1 ne s'installent qu'à partir de 1994. Leur lot a une superficie en moyenne 3 fois inférieure à celle des agriculteurs de Benfica 2 et la plupart d'entre eux ont peu de moyens financiers et n'installent annuellement que de petites parcelles agricoles. On assiste donc globalement à un élan général de mise en valeur des terres, mais qui est inégal selon les territoires.

2001-2005 : l'abandon des terres

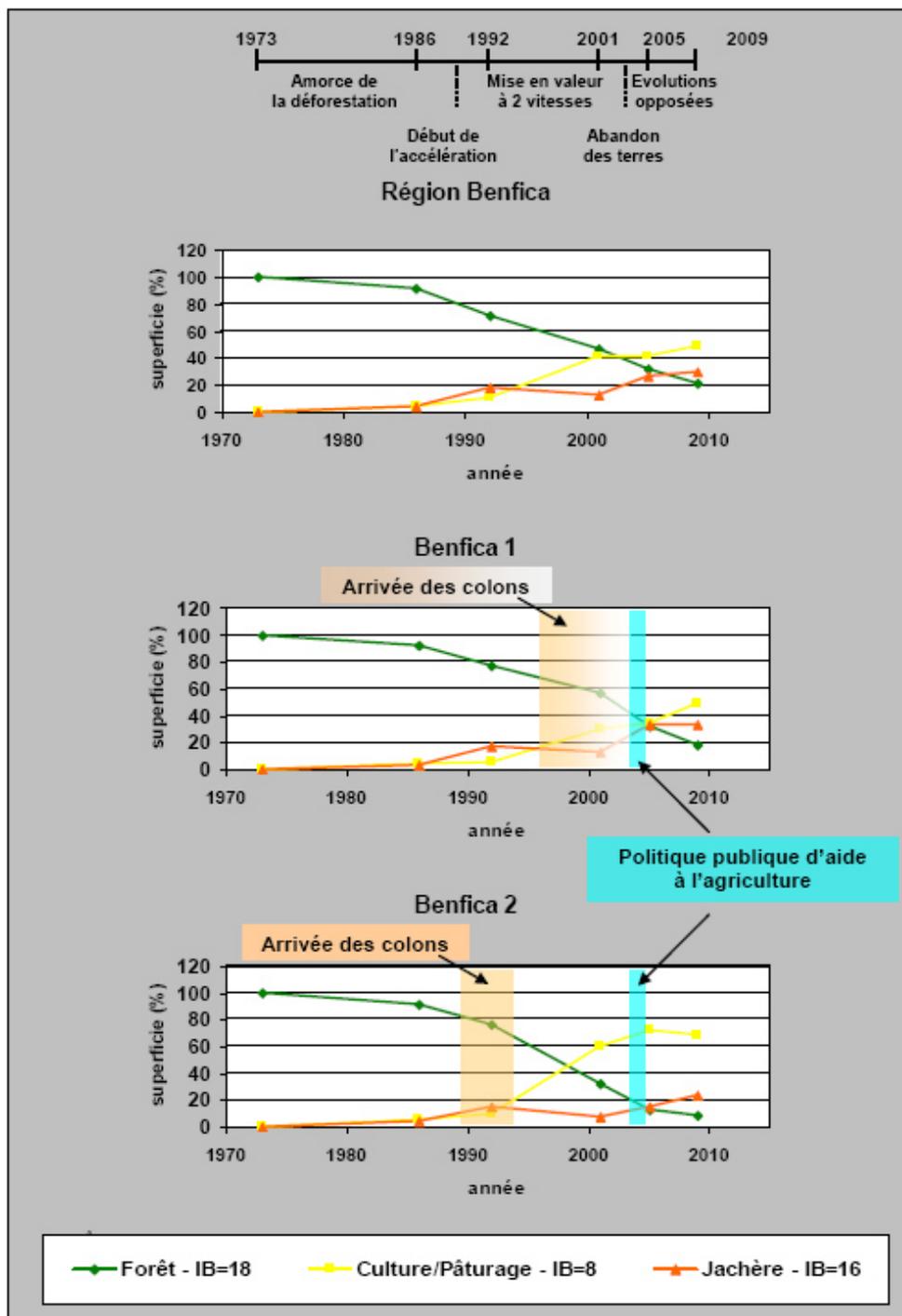
80 Pour l'ensemble de la région, la tendance reste la même, la classe du CP-forêt diminue de la même façon pendant ces 4 années, en passant de 46 % à 32 %. Pour Benfica 1, la diminution de cette classe est plus rapide en passant de 56 % à 32 %, il y a donc là une accélération de la déforestation. Pour Benfica 2, la tendance reste la même que celle de la période précédente, et la classe du CP-forêt ne couvre déjà plus que 13 % de la superficie totale. Pour la région de Benfica, la classe du CP-culture/pâturage occupe presque la même superficie (42 %) que celle de la période précédente (41 %) au bout de 4 années. Par contre, celle de la classe du CP-jachère double en passant de 13 % à 27 %. Il y a donc un relatif abandon des terres sur cette région. Cette tendance est encore plus marquée pour Benfica 1, car même si la classe du CP-culture/pâturage augmente légèrement en passant de 31 % à 35 %, la classe du CP-jachère augmente quant à elle fortement en passant de 13 % à 33 % jusqu'à presque égaler la classe du CP-culture/pâturage. Par contre pour Benfica 2 l'inverse est observé, l'augmentation de la classe du CP-culture/pâturage (11 % : de 61 % à 72 %) reste supérieure à celle de la classe du CP-jachère (7 % : de 8 % à 15 %). Les dynamiques de mise en valeur et d'abandon ne sont pas les mêmes, elles s'opposent même selon les territoires entre Benfica 1 et Benfica 2.

81 En 2001, une politique publique est mise en place pour aider les agriculteurs à mettre en valeur leur lot par l'installation de pâturages, de cultures pérennes ou de cultures vivrières. Alors que l'augmentation prévisible de la superficie des défrichements forestiers a lieu, celle tout aussi prévisible des cultures et pâturages n'est pas observée entre 2001 et 2005. De nombreux agriculteurs de Benfica 1 et de Benfica 2 adhèrent pourtant à cette politique publique, cependant l'effet de cette dernière sur les deux parties du territoire sera bien différent. Certes, la mise en place de financements spécifiques a accéléré les tentatives de mise en culture. Cependant, divers incidents dus à des retards dans les livraisons de plantules, à la mauvaise qualité du bétail fourni par les organisateurs, à de mauvaises orientations techniques pour les plantes pérennes peu connues des populations, ont entraîné une recrudescence de jachères sur des terres qui venaient d'être défrichées. À Benfica 2, les agriculteurs plus riches ont réussi à maintenir leur dynamique de mise en valeur et la proportion de jachères a été moindre. À toutes ces dynamiques influencées par les politiques publiques viennent s'ajouter les dynamiques des pâturages qui au bout de 10 à 12 ans commencent à se dégrader et à s'enfricher. Les actions liées aux politiques publiques ont eu des effets contradictoires suivant les secteurs et les catégories d'agriculteur. Elles ont la plupart du temps échoué dans leur objectif initial de développer l'agriculture familiale de ces régions, pour cette période du moins.

2005-2009 : Des évolutions opposées

- 82 Pour l'ensemble de la région, la tendance de la déforestation reste encore la même, et la classe du CP-forêt finit par ne représenter que 21 %, ce qui malgré tout reste supérieur à Benfica 2 pour la période précédente (13 %). Pour Benfica 1, la diminution de cette classe est moins rapide que pour la période précédente, et la superficie finale est proche de celle de la région avec 18 %. Pour Benfica 2, l'amorce d'un pallier semble atteinte avec la valeur de 8 %, la déforestation ralentit très fortement en grande partie faute de forêt. Pour les classes du CP-culture/pâturage et du CP-jachère, des différences sont à nouveau observées avec des inversions de tendance. Pour la région de Benfica, l'étendue de la classe du CP-culture/pâturage augmente à nouveau en passant de 42 % à 49 % en 4 ans, alors que l'extension de la classe du CP-jachère semble se stabiliser en passant de 27 % à 30 %. Pour Benfica 1, cette tendance est encore plus marquée avec comme valeur 49 % également pour le CP-culture/pâturage et seulement 33 % pour le CP-jachère comme pour la période précédente. Par contre pour Benfica 2, l'étendue de la classe du CP-culture/pâturage baisse en passant de 72 % à 68 %, c'est le seul exemple de cette tendance entre 1973 et 2009, alors que la classe du CP-jachère augmente fortement en passant de 15 % à 23 %. Les tendances de la période précédentes s'inversent donc entre Benfica 1 et Benfica 2.
- 83 Les territoires juxtaposés de Benfica 1 et Benfica 2, sur lesquels a été appliquée la même politique publique, suivent des chemins opposés. À Benfica 1, à partir des années 2001, se met en place un processus de concentration foncière. Certains agriculteurs qui ont mieux réussi que d'autres rachètent les propriétés de leurs voisins et installent des cultures entraînant une forte augmentation de la superficie cultivée. À Benfica 2, malgré les efforts des agriculteurs, de nombreux pâturages, qui pour certains ont une vingtaine d'années, sont envahis par une flore adventice herbacée et ligneuse et finalement abandonnés, expliquant ainsi la forte augmentation de la superficie des jachères.
- 84 Donc globalement, pour l'ensemble de la période 1973-2009, qui correspond à une intense activité de déforestation à partir de 1992 (les superficies couvertes par la classe du CP-culture/pâturage sont toujours supérieures ou égales à celles de la classe du CP-jachère, sauf pour la période 1986-1992 où les superficies du CP-jachère l'emporte sur celles du CP-culture/pâturage démontrant que le démarrage de la mise en valeur a été difficile. Cependant, par la suite lorsqu'on suit la dynamique de changement de ces deux classes, il arrive que certaines périodes soient moins à la mise en valeur des terres et plus à l'abandon que d'autres, et vice-versa. Ainsi sur un même espace, on peut observer une alternance de tendance entre mise en valeur et abandon. De plus, deux territoires voisins peuvent avoir des tendances opposées pour la même période. L'effet des politiques publiques n'est donc pas la même dans le temps, ni selon les territoires, quant à leurs effets sur l'environnement à travers les pratiques agricoles, et donc vraisemblablement sur la biodiversité.

Figure 4. Les dynamiques des superficies des 3 composants paysagers pour les différents territoires de Benfica entre 1973 et 2009

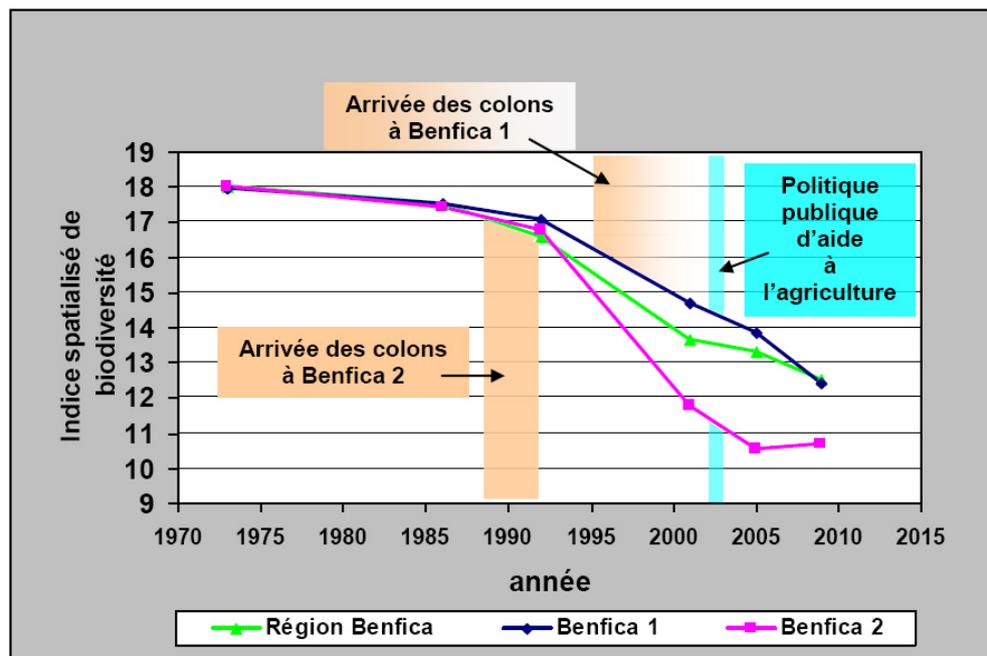


85 À chaque composant paysager correspond une valeur d'indice de biodiversité (IB) calculé à partir de la méthode de l'échelle : IB (CP-forêt) = 18, IB (CP-jachère) = 16 et IB (CP-culture / pâturage) = 8) (Figure 2 et Figure 5).

86 *Analyse diachronique des indices spatialisés de biodiversité par unité de territoire*
 Les analyses de la dynamique de la biodiversité sont ensuite conduites à l'échelle de chaque unité de territoire, à travers un seul indice spatialisé de biodiversité (ISB) issu de la combinaison des 3 IB des composants paysagers. Ce nouvel indice apporte un éclairage complémentaire pour comprendre les dynamiques spatio-temporelles des variations de la biodiversité en relation avec les stratégies d'utilisation du sol par les agriculteurs, les politiques publiques et leurs corollaires.

- 87 En 1973, les ISB des 3 territoires sont presque identiques (Figure 5), et ont une valeur très proche de 18, qui est l'IB du CP-forêt. La déforestation n'a pas encore véritablement commencé. En 1986, les trois ISB baissent légèrement et de la même façon pour atteindre des valeurs aux environs de 17,5 : l'effet de l'amorce de la déforestation se fait sentir.
- 88 En 1992, les trois ISB sont encore très proches et relativement élevés : c'est Benfica 1 qui présente le plus fort ISB avec 17,1, puis Benfica 2 avec 16,8, et enfin la région de Benfica avec 16,6. Cela correspond à une augmentation de la déforestation, mais qui est d'une certaine manière compensée par un abandon relatif des terres, les jachères (IB =16) sont plus étendues que les pâturages et cultures (IB =8). Après 1992, les ISB des 3 territoires se différencient nettement, mais la tendance générale est à la forte baisse des ISB, avec cependant des particularités. En 2001 et en 2005, c'est Benfica 1 qui garde les plus forts ISB (14,7 et 13,9), alors que Benfica 2 montre les plus faibles (11,8 et 10,5), tandis que la région de Benfica présente des ISB intermédiaires (13,6 et 13,3). Cela correspond à la formidable extension de la classe du CP-culture/pâturage sur Benfica 2 pour cette période, par rapport à la classe du CP-jachère, alors que pour Benfica 1, les pâturages et cultures augmentent peu par rapport aux jachères avec en plus une déforestation moins importante. En 2009, l'ISB de Benfica 1 est légèrement inférieur à celui de la région de Benfica (12,4 et 12,5 respectivement) : ces 2 ISB ont donc continué à baisser entre 2005 et 2009. Cela correspond dans les 2 cas à l'augmentation de la classe du CP-culture/pâturage relativement à la classe du CP-jachère. Par contre, l'ISB de Benfica 2 augmente légèrement après avoir atteint un minimum en passant de 10,5 en 2005 à 10,7. Cela correspond à une phase de relatif abandon des pâturages et cultures, au profit des jachères, alors que la déforestation ralentit.
- 89 Pour le PA de Benfica et sa région, la première période de 1973 à 1986, caractérisée par de forts ISB, correspond à l'exploitation sur pied de la forêt associée à l'extraction du noyer d'Amazonie et des bois précieux et à l'ouverture de parcelles cultivées éparses et de petite taille. Durant la seconde période de 1986 à 1992, l'arrivée à Benfica 2 de fermiers ayant un certain pécule, entraîne le début de la mise en valeur et une diminution de l'ISB qui est également observé régionalement, alors que Benfica 1 est relativement préservé. La période allant de 1992 à 2001 voit l'ISB baisser fortement sur les 3 territoires dans des proportions variables. À Benfica 2, les agriculteurs sont en pleine production, ils défrichent pour installer des pâturages. À Benfica 1, de petits colons s'installent et commencent les défrichements de manière modérée que ce soit en superficie annuelle par propriété ou en superficie totale pour la communauté. Ceci entraîne une différence de quasiment 3 points entre Benfica 1 et Benfica 2. Les deux valeurs illustrent bien la tendance régionale qui est intermédiaire. De 2001 à 2005, la diminution de l'ISB se poursuit avec un léger ralentissement dû à une recrudescence des jachères. Cette tendance est plus marquée au niveau régional. De 2005 à 2009, alors que l'ISB de Benfica 1 baisse brutalement, suite à la concentration foncière, et est pratiquement identique à celui de la région, l'ISB de Benfica 2 augmente suite à la déprise agricole qui entraîne une augmentation de la superficie des jachères. Toutefois l'ISB de Benfica 2 reste inférieur de 3,5 points à celui de Benfica 1 et de la région tout entière.
- 90 L'ISB ainsi mis au point facilite la surveillance de l'évolution de la dynamique de la biodiversité à l'échelle de communautés agricoles. Un système d'alerte pourrait donc être mis en place pour détecter des seuils critiques de biodiversité. En cas de dépassements de ces seuils, il est alors possible de mettre en place de nouvelles réglementations concernant le ou les composants paysagers impliqués dans l'érosion de la biodiversité, pour infléchir les tendances mesurées. Ces réglementations devront tenir compte des IB de chacun des composants paysagers.

Figure 5. L'évolution des indices spatialisés de biodiversité pour les 3 territoires entre 1973 et 2009



Conclusion

- 91 Cet article avait pour objectif de proposer une démarche de suivi des dynamiques spatiales de biodiversité en territoire amazonien pour évaluer l'impact de la colonisation des terres et d'une politique publique dédiée au soutien de l'agriculture familiale. Le protocole d'analyse repose sur des mesures de biodiversité effectuées sur le terrain et sur des traitements d'une série diachronique d'images satellites à travers la construction d'une échelle de biodiversité appliquée à des composants paysagers.
- 92 Cette démarche a été testée en région pionnière, au sein de la communauté agricole de Benfica (Pará, Brésil), représentative des grands processus classiques de mise en culture des écosystèmes forestiers. L'exemple traité expose une analyse détaillée des changements observés depuis presque 40 ans. S'il en ressort la mise en évidence d'une forte érosion de la biodiversité conformément aux régions pionnières, il est intéressant de mesurer l'impact disparate de l'action politique en fonction des catégories d'acteurs qui s'en emparent et les rythmes d'évolution de la biodiversité qui en découlent.
- 93 Les différentes étapes méthodologiques présentées ici articulent la mesure de biodiversité à deux niveaux d'observation. Le premier niveau est celui des trois principaux composants paysagers rencontrés sur le front pionnier (CP-forêt, CP-jachère, CP-culture/pâturage) ; pour chacun d'entre eux, un indice de biodiversité a été calculé à partir d'indicateurs mesurés sur le terrain par une méthode d'échelle de valeurs. Les valeurs des différents indices trouvés sont analysées en fonction de la dynamique spatiale et temporelle des composants paysagers cartographiés à partir des images satellites, ce qui permet de les relier à des occupations du sol, ainsi qu'à des pratiques agricoles. Le second niveau est celui de la combinaison des trois composants paysagers et de leurs IB respectifs, pour ne former qu'un seul indice spatialisé de biodiversité pour une unité de territoire. L'emboîtement des deux niveaux d'observation s'inscrit dans une double compréhension des dynamiques de biodiversité : celui des composants pris individuellement et celui des composants pris ensemble. Ces 2 niveaux d'observations peuvent être interprétés à différentes échelles : celle de l'exploitation et celle d'une communauté. C'est cette dernière qui est présentée dans cet article afin de montrer les effets conjugués d'un groupe d'acteurs ayant une histoire commune d'utilisation des ressources. Dans cet article, ce procédé aide à l'appréciation de l'impact des politiques publiques à l'échelle de l'unité de territoire, il pourrait suivant les besoins permettre de mesurer ce même impact à l'échelle de l'exploitation. La valeur de biodiversité émise à ce dernier

niveau facilite l'interprétation des conséquences en dégagant les tendances d'évolution associées à un territoire. À terme, la démarche produira des résultats à l'échelle régionale et participera ainsi à l'évaluation des programmes de développement, en se focalisant ici sur la qualité du couvert végétal et de ses modifications. Le procédé de suivi de ce territoire est reproductible grâce à l'acquisition régulière d'images satellites. Bien qu'encore en cours de validation, cette démarche se fixe d'ores et déjà pour objectif d'être applicable à d'autres espaces forestiers tropicaux.

Remerciements

94 Le projet a bénéficié du support financier de l'IFB (Institut Français de la Biodiversité), de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), du CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), de l'UFPA (Universidade Federal do Pará), de l'UFRA (Universidade Federal Rural da Amazônia) et de l'EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) – centre des Cerrados et centre d'Amazonie Orientale. Les auteurs remercient les agriculteurs de la communauté de Benfica pour leur aide, leur disponibilité et la convivialité durant le déroulement de cette recherche, ainsi que M. Deurival da Costa Carvalho et M. Manuel Cordeiro pour leur efficacité et enthousiasme au cours des travaux de terrain et d'identification des plantes. Les auteurs remercient également tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la bonne réalisation de cette recherche dont Jean-Louis Guillaumet.

Bibliographie

Bianchini, V., 2005, Políticas diferenciadas para a Agricultura Familiar : em busca do Desenvolvimento Rural Sustentável, In Flávio Borges Botelho Filho (org.), Agricultura Familiar e Desenvolvimento – Contribuições ao Debate , Brasília, Universidade de Brasília, Centro de Estudos Avançados Multidisciplinares, Núcleo de Estudos Avançados. v. 5, n. 17, pp. 81-98.

Burnham, K.P. et W.S. Overton, 1979, Robust estimation of population size when capture probabilities vary among animals, *Ecology*, 60, pp. 927-936.

Burnham, K.P. et W.S. Overton, 1978, Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals, *Biometrika*, 65, pp. 623-633.

Carpentier, P., 1999, Caractérisation des structures spatiales et temporelles en écologie. Application aux séries physico-chimiques de qualité des eaux du Réseau National de Bassin en Artois-Picardie et aux peuplements benthiques du site de Gravelines et de la Manche Orientale. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Techniques de Lille, 212 p.

Dajoz, R., 2008, La biodiversité, l'avenir de la planète et de l'homme. Editions Ellipses, Paris 275p.

Dubreuil, V., A.-E. Laques, G. Marchand et F.-M. Le Tourneau, 2010, Les bases de données spatiales et leur traitement in L'Amazonie brésilienne et le développement durable, Edition Belin, pp. 219-238

Dubreuil, V., A.-E. Laques., V. Nedelec, D. Arvor et H. Gurgel, 2008, « Paysages et fronts pionniers amazoniens sous le regard des satellites : l'exemple du Mato Grosso », *Espace Géographique* 2008/1, pp 57-74

Emberger, L., M. Godron, E. Le Floch et Ch. Sauvage, 1968, L'analyse phytosociologique de la végétation, CNRS, Paris, 292 p.

Esterci, N., P. Lena, D. Lima et M.-C. Maneschy, 2004, Projetos e políticas socioambientais : repensando estratégias, In Boletim RedeAmazônia, v.3 n° 1, "Diversidade sociocultural e perspectivas sociambientais".

Francez, L. M. de, J.O.P. de Carvalho et F. C. da S. Jardim, 2007, Mudanças ocorridas na composição florística em decorrência da exploração florestal em uma área de floresta de terra firme na região de Paragominas, PA, *Acta Amazônica*, 37, 2, pp. 219-228

Guillaumet, J.-L., A.-E. Laques, P. Léna et P. De Robert, 2009, La spatialisation de la biodiversité : un outil pour la gestion durable des territoires, éd. de l'IRD, coll. Latitude 23, 126 p.

Global Land Cover Facility, [En ligne] URL : <http://www.landcover.org> (consulté en novembre 2010)

Global Visualization Viewer, [En ligne] URL : <http://glovis.usgs.gov> (consulté en novembre 2010)

Jari Oksanen, F., G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens et H. Wagner, 2010, *Vegan : Community Ecology Package*. R package version 1.17-4. [En ligne] URL : <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>, consulté le 07/01/2011

- Sigaut, F. et P. Morlon, 2008, La jachère, d'une signification à l'autre, [En ligne] URL : http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/f/fiche-article-la-jachere-d-une-signification-a-l-autre-18581.php, consulté le 07/01/11.
- Laques, A-E., 2009, Paysage, image et observatoire : lire et diagnostiquer les territoires amazoniens. Mémoire de recherche inédit, HDR. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. Nov 2009, 271 p.
- Laques, A-E., J-L Guillaumet, H. Navegante Alves, H. Gurgel, S. Sampaio, P. Léna, P. de Robert, J.-F. Faure et V. Gond, 2007, Dynamiques de biodiversité et impact spatial des politiques publiques en Amazonie Brésilienne, Colloque "Sciences et action pour la gestion et la conservation de la biodiversité", SupAgro Florac, 18-20/09/07
- Laques, A-E. et A. Venturieri, 2005, Paysages, dynamiques spatiales et évaluation des politiques de développement, in L'Amazonie brésilienne et le développement durable. Expériences et enjeux en milieu rural. Albaladejo, C. et Arnauld de Sartre, X. (Dir.) Paris, L'Harmattan, Coll. Amérique Latine, pp. 141-155
- Levrel, H., 2007, Quels indicateurs pour la gestion de la biodiversité ?, Les cahiers de l'IFB, 94 p.
- Le petit Larousse illustré, 1999, 1998, Editions Bordas, Paris, 1787 p.
- L'internaute Encyclopédie, [En ligne] URL : <http://www.linternaute.com/encyclopedie/> consulté le 07/01/11
- Mitja, D., I. de S. Miranda, E. Velasquez et P. Lavelle., 2008, Plant species richness and floristic composition change along a rice-pasture sequence in subsistence farms of Brazilian Amazon, influence on the fallows biodiversity (Benfica, State of Pará), Agriculture Ecosystems and Environment, 124, pp. 72-84.
- Puig, H., 2001, La forêt tropicale humide, éditions Belin, Paris, 448 p.
- R Development Core Team, 2010, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, [En ligne] URL: <http://www.R-project.org/>, consulté le 07/01/2011
- Richards, J.A., 1999, Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, Berlin, 240 p.
- Sampaio, S., 2008, "Dinâmica e complexidade da paisagem do projeto de assentamento Benfica, sudeste paraense, Tese (Doutorado em Ciências Agrárias), Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 162 p.
- Steinberger, M., (org.), 2006, Território, ambiente e políticas públicas espaciais, Brasília. Ed. Paralelo 15 e LGE Editora, 2006, 408 p.

Notes

- 1 Les analyses portent ici sur la biodiversité végétale uniquement
- 2 La méthode est conçue pour être reproductible dans d'autres régions, toutefois les tests de validation n'ont pas encore été effectués.
- 3 Le terme jachère est utilisé ici dans son sens actuel : « toute parcelle laissée temporairement à l'abandon » (Le Petit Larousse, 1998 ; L'Internaute Encyclopédie, 2010 ; Sigaut et Morlon, 2008)
- 4 Jachères et clairières forestières sont très proches du point de vue des caractéristiques floristiques et structurales de la végétation qui les couvre. Le composant paysager nommé « jachère » inclura donc les deux formations. La faible superficie couverte par les clairières forestières justifie le fait que les relevés (n=17) aient uniquement été réalisés dans les jachères.
- 5 Chaque pixel de l'image est comparé à la valeur moyenne des sites d'entraînement retenus pour établir les différentes classes, la moyenne étant calculée pour chaque canal de l'image. Le pixel sera finalement attribué à la classe dont la distance euclidienne à la moyenne est la plus petite, en tenant compte d'une distance de seuil ou d'une déviation standard spécifiée. De cette façon, certains pixels peuvent ne pas être classés s'ils ne répondent pas aux critères de sélection. En raison de cette simplicité mathématique, c'est la méthode de classification la plus utilisée.
- 6 Celui des distances de Jeffries-Matusita et celui des mesures par divergence (Divergence separability measures)

Pour citer cet article

Référence électronique

Anne-Elisabeth Laques, Danielle Mitja, Eric Delaître, Marcelo Cordeiro Thales, Izildinha de Souza Miranda, Roberta de Fátima Rodrigues Coelho et Sandra Maria Neiva Sampaio, « Spatialisation de la biodiversité en Amazonie brésilienne pour appréhender l'influence de la colonisation des terres et des politiques publiques », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 14 | septembre 2012, mis en ligne le 18 septembre 2012, consulté le 04 octobre 2012. URL : <http://vertigo.revues.org/12501> ; DOI : 10.4000/vertigo.12501

À propos des auteurs

Anne-Elisabeth Laques

Géographie, IRD/UMR ESPACE-DEV, Montpellier, France, Courriel : Anne-elisabeth.Laques@ird.fr

Danielle Mitja

Écologie/botanique, IRD/UMR ESPACE-DEV, Montpellier, France, Courriel : danielle.mitja@ird.fr

Eric Delaître

Téledétection, IRD/UMR ESPACE-DEV, Montpellier, France, Courriel : eric.delaitre@ird.fr

Marcelo Cordeiro Thales

Téledétection, Museu Goeldi, Belém, Brésil, Courriel : marcelo.thales@gmail.com

Izildinha de Souza Miranda

Écologie/botanique, UFRA (Universidade federal rural da Amazônia), Belém, Courriel : izildinha.miranda@ufra.edu.br

Roberta de Fátima Rodrigues Coelho

Botanique, Escola Agrotécnica Federal de Castanhal, Castanhal, Brésil, Courriel : roberta.fatimacoelho@gmail.com

Sandra Maria Neiva Sampaio

Téledétection, EMBRAPA (Empresa brasileira de pesquisa agropecuária) /Amazônia Oriental, Belém, Brésil, Courriel : sandra@cpatu.embrapa.br

Droits d'auteur

© Tous droits réservés

Résumés

Cet article propose une démarche de suivi des dynamiques spatiales de la biodiversité survenues durant ces 40 dernières années en Amazonie brésilienne, dans la communauté agricole de Benfica (État du Pará). Elle est conçue pour estimer « où » se produisent les changements, « quand » interviennent-ils, « combien » de surfaces sont concernées et « pourquoi » surviennent-ils ? L'objectif visé est de contribuer à l'évaluation de l'impact de politiques de colonisation sur ces dynamiques. Les données produites à la fois sur les disparités spatiales et sur les rythmes de ces transformations sont un apport qui devrait enrichir les connaissances sur l'évolution de la biodiversité en région pionnière. En l'état actuel des recherches, la démarche propose d'évaluer la biodiversité en ayant recours à une échelle de valeurs combinant plusieurs indicateurs. Chacun d'eux contribue à estimer des changements qui se produisent lors de la mise en culture des terres forestières. La biodiversité est ensuite évaluée à deux niveaux : celui des différentes formes d'exploitation des ressources en rapportant la mesure de biodiversité au niveau du composant paysager (forêt, jachère et culture/pâturage) et celui de la catégorie d'acteur (du colon au petit fermier), en rapportant la mesure de biodiversité à l'unité de territoire qu'ils exploitent préférentiellement. Le procédé de suivi de ce territoire est aisément reproductible dans le temps. En effet, il ne dépend que de la disponibilité des images satellites. Bien que cette démarche soit en cours de validation, elle devrait pouvoir être réutilisée dans d'autres régions forestières anthropisées.

This article proposes a method for monitoring spatial dynamics of biodiversity which have occurred along the past 40 years ago in a farming community, Benfica, State of Pará, Brazilian Amazon. It is designed to assess "where", "when", "why" changes have occurred, and "how much" surface is impacted. ? The goal is to help assess the impact of settlement policies

on these dynamics. Data collected on both spatial disparities and rhythms of transformation should enrich knowledge on biodiversity evolution. In the current approach biodiversity is assessed by a scale of values resulting from several indicators combined. Each one contributes to estimate changes which occur during the land use change from forest to cropping. Biodiversity is then evaluated at two levels : one encountering the various forms of resources exploitation and attributing the measure of biodiversity to a landscape component (forest, fallow and crop / pasture) ; and the other, the category of actors (smallholders vs farmers), and reporting the extent of biodiversity to territory units which is preferentially operated. This monitoring process of this territory is easily replicable in time. In fact, it only depends on the availability of satellite images. This approach is on the process of validation to be used in further works dealing with similar anthropic forest regions.

Este artigo propõe uma abordagem de acompanhamento das dinâmicas espaciais da biodiversidade que ocorreram durante os 40 últimos anos na Amazônia brasileira, na comunidade agrícola de Benfica (Estado do Pará). Ela é projetada para estimar « aonde » acontecem as mudanças, « quando » acontecem, de « quanta » superfície se trata e « porque » elas acontecem ? O objectivo apontado é de contribuir para a avaliação do impacto de políticas de colonização sobre estas dinâmicas. Os dados produzidos sobre as disparidades espaciais e sobre os ritmos destas transformações, são uma contribuição que deve enriquecer os conhecimentos sobre a evolução da biodiversidade em frentes pioneiras. No estado atual das pesquisas, a abordagem propõe avaliar a biodiversidade usando uma escala de valores combinando diversos indicadores. Cada um deles contribui para avaliar mudanças que acontecem durante o cultivo das terras florestais. A biodiversidade é depois avaliada em dois níveis : o nível das diferentes formas de exploração dos recursos calculando a medida da biodiversidade ao nível do componente da paisagem (floresta, capoeira, cultivo/pastagem), e ao nível da categoria de ator (do colono, ao pequeno fazendeiro), calculando a medida da biodiversidade da unidade de território que cada um explora preferencialmente. O processo de acompanhamento deste território no tempo é facilmente realizável. De fato ele somente depende da disponibilidade de imagens de satélites. Ainda que esta abordagem seja em validação, ela poderia ser reutilizada em outras regiões florestais antropizadas.

Entrées d'index

Mots-clés : biodiversité, spatialisation, composant paysager, indicateurs, front pionnier, Amazonie, Brésil, télédétection, politiques publiques

Keywords : biodiversity, spatialization, landscape component, indicators, pioneer front, Amazonia, Brazil, remote sensing, public policy

Índice de palavras-chaves : biodiversidade, espacialização, componente da paisagem, indicador, frente pioneira, Amazônia, Brasil, sensoriamento remoto, políticas públicas