

ELABORATION D'INDICATEURS D'ECO-EFFICIENCE DE FERMES SUR DES FRONTS PIONNIERS AMAZONIENS A PARTIR D'IMAGERIE SATELLITAIRE A MOYENNE RESOLUTION

Gond¹ Valéry, Oszwald² Johan, Decaëns³ Thibaud, Arnauld de Sartre⁴ Xavier, Grimaldi⁵ Michel, Veiga⁶ Iran, Ramirez⁷ Bertha, de Souza⁶ Simao, Lavelle⁵ Patrick

¹CIRAD, UPR Bsef, F-34398 Montpellier, France

²Université de Rennes 2, UMR CNRS 5664, LETG – COSTEL, France

³Université de Rouen, UPRES-EA1293 ECODIV, Mont Saint-Aignan, France

⁴Université de Pau et des Pays de l'Adour, UMR CNRS 5603 SET, Pau, France

⁵Université Paris 6 UPMC/Institut de Recherche pour le Développement, UMR Biogéochimie

⁶Universidade Federal do Pará, Belem, PA, Brasil.

⁷Universidad de la Amazonia, Florencia, Caqueta, Colombia.

Beaucoup d'études scientifiques ont été consacrées à la connaissance et à la conservation de la forêt amazonienne depuis plusieurs décennies. En revanche peu d'efforts ont été dédiés à l'optimisation économique, sociale et environnementale de l'utilisation des espaces déforestés (les fronts pionniers). Dans le projet de recherche ANR-AMAZ (*Services éco-systémiques des paysages agrosylvopastoraux amazoniens: Analyse des déterminants socio-économiques et simulation de scénarios, 2006-2010*) nous avons réalisé un diagnostic multidisciplinaire sur 51 fermes de six régions d'Amazonie (au Brésil et en Colombie) colonisées depuis 15 à 60 ans. Les principaux résultats montrent qu'en fonction de l'intensité de l'utilisation des terres (nature et structure des paysages), l'efficacité de la production (revenu par hectare et par ferme) augmente sensiblement, mais qu'en revanche les indicateurs de biodiversité diminuent, alors que les services du sol (stockage de carbone, réserve en eau, nutriments) ont des réponses contrastées. Un indicateur d'éco-efficience ou d'éco-efficacité qui combine les indicateurs de bien-être social (Sb), d'efficacité économique (Ef), de biodiversité (Bd) et de services éco-systémiques (Es) montre un déclin certain lors du dépassement d'une valeur seuil de l'intensité d'utilisation des terres. Il est alors clairement mis en évidence que les systèmes de production basés sur l'agroforesterie ont une meilleure productivité que les systèmes d'élevage extensifs et surtout un meilleur indice d'éco-efficacité général comprenant un meilleur bien-être social, une plus grande efficacité économique, une plus forte biodiversité et de meilleurs services éco-systémiques liés au sol (stockage de carbone par exemple).

Much scientific studies are being devoted to the knowledge and to the conservation of the Amazon primary forest. Reversely, at this time little has been done to assert an ecoefficient use of cleared land which could meet the economic, social and environmental challenges faced in the Amazonian region. Within the program research ANR-AMAZ (*Services éco-systémiques des paysages agrosylvopastoraux amazoniens: Analyse des déterminants socio-économiques et simulation de scénarios, 2006-2010*) we made a multidisciplinary diagnostic of 51 farms from six regions of Amazonia cleared since 15 to 60 years with diverse colonization histories. While land-use intensity increased with time, production efficiency (farm incomes per ha and per labor unit) improved sharply; biodiversity indicators decreased and the provision of soil ecosystem services exhibited contrasted responses. An ecoefficiency index that combined indicators of social wellbeing (Sb), productivity (Ef), biodiversity (Bd) and ecosystem services (Es) exhibited a sudden decrease when land use intensity passed a critical threshold value. It is then clearly shows that production system based on agro forestry have a better productivity than intensive livestock production systems. These systems have a better general ecoefficient index

CONTEXTE DE L'ETUDE

L'étude multidisciplinaire présentée lors de la conférence du *Toulouse Space Show 2012* est en cours de valorisation scientifique (Lavelle *et al.*, soumis). C'est pourquoi nous n'aborderons dans ce court article qu'un aspect de ce programme de travail financé par l'Agence Française pour la Recherche (ANR). Afin de rester cohérent avec le thème de la conférence sera abordé ici l'apport capital de la télédétection dans un programme de cette envergure. En effet les problématiques scientifiques liées à la mesure de l'érosion de la biodiversité, du bien-être des populations amazoniennes, des services éco-systémiques rendus par les sols (stockage du carbone, réserve en eau, nutriments) sont traitées indépendamment les unes des autres. Afin de donner de la cohésion entre ces domaines le projet AMAZ a fait le pari de les analyser par l'intermédiaire de la géographie des paysages. Pour cela la télédétection est apparue un outil indispensable lorsqu'il s'agit de traiter de façon homogène des sites aussi vastes, variés et de surcroît dans une dynamique temporelle.

MATERIEL ET METHODE DEVELOPPEE A PARTIR DU SUIVI SATELLITAIRE

Les sites d'étude sont au nombre de 6 identifiés suivant un gradient de dégradation forestière directement relié avec les périodes de mise en place des fronts pionniers (figure 1). Au sein de ces sites, 51 fermes ont été analysées finement. Pour notre équipe il s'agissait de cartographier de façon homogène les 6 sites tout en caractérisant leurs évolutions dans le temps. Un jeu de données SPOT à 20m de résolution a été choisi pour établir la cartographie des sites pour l'année de référence 2007. L'archive a été élaborée à partir de données LANDSAT.



Figure 1. Localisation des sites d'étude AMAZ. Sur le fond d'une image composite temporelle SPOT-VEGETATION (MIR, PIR, Rouge) les 3 sites brésiliens sont localisés à l'est de la forêt amazonienne tandis que les trois sites colombiens sont regroupés dans le secteur de Caqueta. Les dates accolées précisent les périodes d'initiation du processus de front pionnier.

La cartographie a été réalisée à partir de relevés de terrain sur chacun des sites afin d'établir une typologie contenant le maximum de précision thématique (figure 2). A partir de cette base de données nous avons réalisé une classification orientée objet afin de déterminer les structures paysagères à partir des éléments identifiés au sol. Ainsi les états de surface de chaque site étaient détaillés. Grâce au cadastre nous avons pu isoler chacune des 51 fermes analysées.

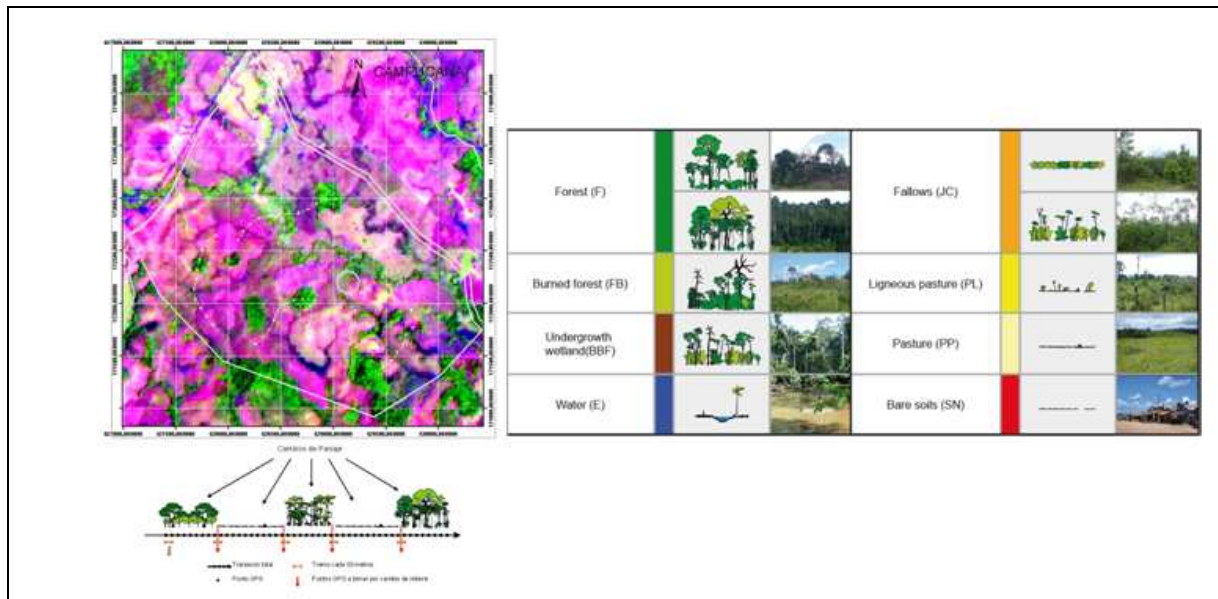


Figure 2. Procédé de classification des données de 2007. En haut plan d'échantillonnage des points de contrôle des éléments du paysage et leur traduction sous forme de fiche synthétique. En bas restitution

Afin de reconstituer l'histoire de chacun des sites et de chacune des fermes, nous avons réalisé des classifications sur les images LANDSAT à partir des signatures spectrales des objets identifiés en 2007 et par photo-interprétation (Figure 3). A partir de ces résultats concernant le suivi des dynamiques de surface nous avons élaboré une méthode statistique capable de rendre compte à la fois de la structure spatiale des paysages mais aussi de leurs trajectoires temporelles (Oswald *et al.*, 2010).

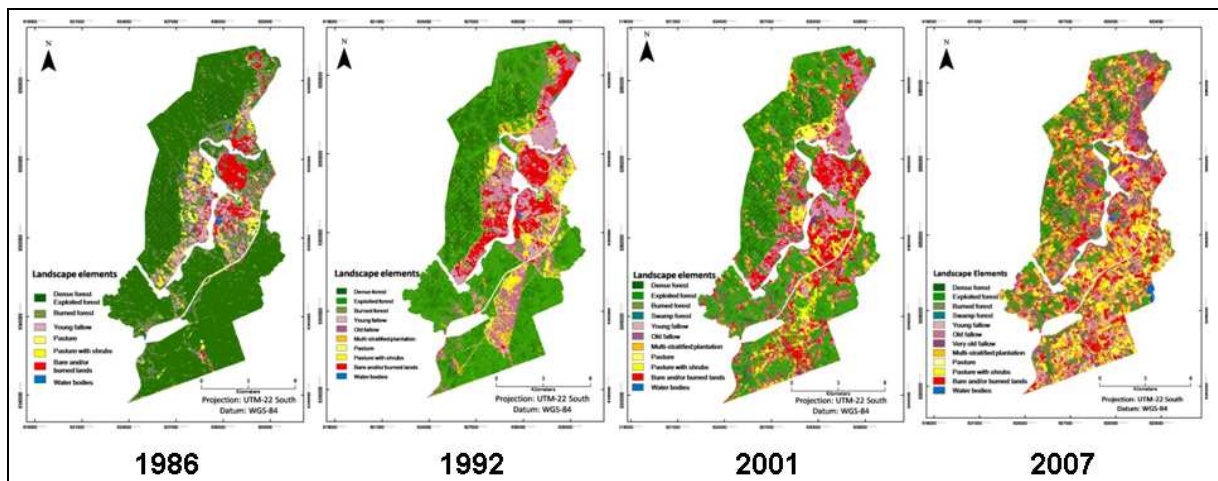


Figure 3. Exemple de suivi temporel de la déforestation sur la commune de Palmares entre 1986 et 2007.

En combinant ces informations spatiales et temporelle un indicateur paysager a été mis au point (Oswald *et al.*, 2011). Confronté aux indicateurs combinés des autres domaines d'étude d'AMAZ, le paysage est apparu comme un indicateur synthétique permettant d'évaluer la durabilité des systèmes agricoles des différents fronts pionniers de l'étude. Cet indicateur que l'on a appelé d'éco-efficience souligne un gradient d'appauvrissement en biodiversité, en services éco-systémiques et en revenus par habitants (Oswald *et al.*, 2012). Ce gradient

marque un point de rupture (*tipping-point*) où les fermes étudiées passent progressivement à un système environnemental détérioré. Les résultats majeurs obtenus (Lavelle *et al.*, soumis) montrent que les fermes agro-forestières ont un meilleur score d'éco-efficience par rapport à celles qui pratiquent l'élevage extensif. Les agriculteurs exerçant ces activités agro-forestières bénéficient d'un meilleur bien être social, d'une plus grande efficacité économique accompagnés par une plus forte biodiversité et des sols mieux préservés (carbone, eau, nutriments). Ce point de rupture est d'une importance capitale pour faire des préconisations aux décideurs locaux. En effet à partir de cet indicateur il est possible de faire des diagnostics sur l'état des fronts pionniers. A partir de ces constats il est alors envisageable de concerter les acteurs locaux afin de déterminer la possible intensification, la stabilisation ou la reconstruction des paysages afin d'atteindre un équilibre entre les aspects socio-économiques, éco-systémiques et environnementaux.

REFERENCES

Lavelle *et al.*, Agroecosystem ecoefficiency drops down below a critical forest cover threshold in Amazonia, Science, soumis

Oszwald, J., Lefebvre, A., Arnaud de Sartre, X., Thalès, M., Gond, V., 2010, Analyse des directions de changements des états de surface végétaux pour renseigner la dynamique du front pionnier de Maçaranduba (Para, Brésil) entre 1997 et 2006, *Revue Télédétection*, Volume 9: 97-111.

Oszwald, J., Gond, V., Dolédec, S., Lavelle, P., 2011, Identification d'indicateurs de changement d'occupation du sol pour le suivi des mosaïques paysagères, *Bois et Forêts des Tropiques*, 307 : 7-21.

Oszwald, J., Gond, V., Dolédec, S., Arnaud de Sartre, X., Decaëns, T., Lavelle, P., 2012, Utilisation de la télédétection, de données socio-économiques et écologiques pour comprendre l'impact des dynamiques de l'occupation des sols à Pacaja (Para), *Revue de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, Sous presse.