

ÉTUDE DU GRADIENT THERMIQUE FORET-PATURAGE EN AMAZONIE BRÉSILIENNE : EXEMPLE DE LA SAISON 2013-2014 DANS LA RÉGION D'ALTA FLORESTA

DUBREUIL V.⁽¹⁾, SEGOUIN M.⁽¹⁾, NEDELEC V.⁽¹⁾, RACAPE A.⁽¹⁾ FUNATSU B.⁽¹⁾

(1) LETG-Rennes-COSTEL, UMR 6554 CNRS, Université Rennes 2, France [vincent.dubreuil@uhb.fr]

Résumé – L'objectif de cette étude est d'analyser les différences de températures observées entre des secteurs dont l'occupation du sol varie fortement et, notamment, montrer l'impact de la déforestation sur le climat à l'échelle locale. Le site d'étude est situé au sud de l'Amazonie brésilienne où une trentaine de capteurs ont été installés en forêt, en ville et dans les pâturages. Les résultats montrent que les secteurs en forêt sont globalement plus frais, en raison surtout de températures diurnes plus basses. Le long d'un transect forêt-pâturage d'environ deux kilomètres, on n'observe pas de phénomène de gradient, mais plutôt un comportement des stations en trois classes : celles situées en pâturage ont le comportement le plus homogène, lié au brassage de l'air dans les espaces dégagés. En forêt, deux classes s'individualisent nettement : les stations plus fraîches du cœur de la forêt et celles de lisière, où les températures sont souvent les plus élevées et empruntant, selon l'heure de la journée, leurs caractéristiques thermiques aux pâturages ou à la forêt.

Mots-clés : Gradient de température, déforestation, Amazonie.

Abstract – *Study of the thermal gradient forest-pasture in the Brazilian Amazon: example of the 2013-2014 season in the region of Alta Floresta.* The objective of this study is to show the temperature differences between the sectors where land-use varies and thus show the impact of deforestation on climate at local scale. The study site is located in the south of the Brazilian Amazon where about thirty sensors were installed in the forest, in the city and in pastures. The results show that forest areas are generally cooler, mainly due to lower daytime temperatures. Along a transect forest-pasture of about two kilometers gradient phenomenon is not observed, but rather a three class behavior among the stations: those located on pasture were the most homogeneous, due to air mixing in open spaces. In the forest, two classes are significantly distinguishable: cooler stations deep in the forest and those closer to the edge, where temperatures are often higher and adopting, depending on the time of day, their thermal characteristics either from pasture or from the forest.

Keywords : Temperature gradient, deforestation, Amazonia.

Introduction

La déforestation en Amazonie brésilienne est une des plus importantes transformations des paysages au niveau global, avec près de 750.000 km² déboisés depuis 1980, soit près d'un cinquième de sa superficie totale. Ce processus est particulièrement avancé dans sa partie méridionale et notamment dans l'Etat du Mato Grosso, au centre-ouest du Brésil. Dans cette région, les forêts et savanes ont été remplacées par des cultures d'exportation (soja, maïs, coton) mais surtout par des pâturages extensifs destinés à la production de viande. Ces terres ont été ouvertes dans le cadre de projets de colonisation publics et privés s'appuyant sur une infrastructure routière et urbaine qui ont permis l'essor de nouvelles régions productives (Dubreuil *et al.*, 2008). Les impacts sur l'environnement et les sociétés traditionnelles ont cependant été dramatiques avec d'importantes modifications sur le fonctionnement des écosystèmes (biodiversité, érosion, hydrologie). Sur le plan climatique, les conséquences ne sont pas négligeables avec une transformation des flux et échanges d'eau et de carbone dont les répercussions sont perceptibles jusqu'à échelle large.

A l'échelle locale, le remplacement de la forêt par des cultures ou des pâturages a d'abord un impact sur le bilan radiatif. En augmentant l'albédo et en diminuant la rugosité, la déforestation modifie les transferts de flux entre la surface et l'atmosphère (Lawrence & Vandecar, 2015 ; Biudes *et al.*, 2015). Le changement de végétation se traduit aussi par une diminution du flux de chaleur latente et une augmentation du flux de chaleur sensible et donc du rapport de Bowen. Les changements sont bien connus pour des mesures faites sous couvert forestier et comparées avec celles réalisées dans des espaces défrichés. La plupart des études ont montré les moindres variations de températures en forêt alors que les régions déforestées connaissent des contrastes thermiques plus marqués avec une hausse des températures maximales, accompagnée d'une diminution de l'humidité relative (Gash & Nobre, 1997 ; Priante-Filho *et al.*, 2004 ; Dubreuil *et al.*, 2012).

Cependant, la plupart des études correspondent à des sites d'observation assez éloignés les uns des autres, ne permettant pas de montrer comment s'établissent les gradients de température aux échelles fines entre parcelles en forêt et parcelles en pâturage. En outre, la mesure sous couvert forestier reflète des conditions particulières évidemment différentes de celles qu'on peut observer en paysage ouvert mais dont on ne sait pas toujours comment elles se répercutent dans des espaces ouverts inclus au sein des espaces forestiers (clairières). Pour saisir ces variations thermiques locales, il convient donc de mettre en œuvre des dispositifs de mesures spécifiques, adaptés aux échelles fines.

Le dispositif de mesure mis en place pour cette étude consiste donc en une série de stations météorologiques et de capteurs automatiques installés dans une gamme variée de types d'occupation du sol dans la région d'Alta Floresta, au nord du Mato Grosso. Une rapide présentation de la région d'étude et du dispositif expérimental est réalisée dans un premier temps avant de discuter des résultats de la campagne de mesure menée pendant l'année 2013-2014.

1. Présentation de la région d'étude et du dispositif de mesures

1.1. Une région de colonisation récente en climat tropical humide

Le dispositif de mesures a été installé dans la partie nord du Mato Grosso dans la commune d'Alta Floresta. Il s'agit d'une région située dans le domaine forestier amazonien à 10 degrés de latitude sud et 56 degrés de longitude ouest. Le relief de la région est peu marqué avec des altitudes en légère diminution du sud (340 mètres) vers le nord en direction de la vallée du fleuve Teles Pires (220 mètres). L'ensemble de la région a été marquée par une série de cycles de mise en valeur à partir de la fin des années 1970. La déforestation s'est accompagnée d'une extension des pâturages et de l'accroissement du cheptel bovin, la commune d'Alta Floresta devenant, au début des années 2000 une des principales communes productrices de viande du nord de l'Etat. Parallèlement, la croissance de la ville s'est poursuivie pour atteindre une population agglomérée de près de 50.000 habitants en 2013. La transformation du paysage a donc été spectaculaire au point qu'à proximité de la ville la forêt n'occupe plus que des espaces réduits, limités à quelques réserves légales et des aires de protection permanentes au bord des cours d'eau. Des massifs forestiers plus importants subsistent à une trentaine de kilomètres de la ville en direction du nord (parc naturel régional du Cristalino), du sud et de l'ouest (réserves de fazendas ou de domaines expérimentaux). Ces espaces protégés donnent une idée de la physionomie de la région avant l'arrivée des colons et permettent de réaliser des mesures climatiques de référence en domaine forestier.

Le climat de la région est caractérisé d'abord par une forte pluviométrie (2200 mm en moyenne par an) et l'alternance entre la saison sèche, de juin à août, et la saison des pluies centrée sur les mois d'été austral (plus de 200 mm par mois d'octobre à avril). Le régime thermique est moins contrasté que celui des précipitations. La moyenne annuelle est de 27,1°C avec une amplitude thermique moyenne annuelle de 1,8°C entre la moyenne du mois le plus chaud (28,4°C en septembre) et celle du mois le plus froid (26,2°C en juin). Les minimales (21,8°C en moyenne) restent élevées toute l'année et varient entre 22,8°C en février et 20,0°C en juillet, mois pendant lequel les invasions d'air austral peuvent faire chuter les températures jusqu'aux alentours de 10°C. Les maximales, avec une moyenne annuelle de 32,3°C sont marquées par une opposition entre la saison des pluies où le couvert nuageux limite le réchauffement diurne (30,8°C en janvier) et la fin de la saison sèche où elles dépassent fréquemment 35°C voire dépassent le seuil de 40°C : la moyenne s'établit à 34,9°C en août, mois pendant lequel l'amplitude thermique diurne moyenne atteint près de 14°C.

1.2. Mise en place du réseau de mesures

En Amazonie, la plupart des programmes de recherche (Roberts *et al.*, 2003) ont privilégié l'instrumentation de sites assez souvent éloignés les uns des autres sans offrir la possibilité d'étudier les effets de gradient à échelle fine. Pour répondre à cette question, la région d'étude choisie ici est donc de taille modeste (40 kilomètres d'est en ouest et du nord au sud), suffisamment contrastée du point de vue de l'occupation des sols (forêt/pâturages/urbain) mais pas trop sur le plan topographique pour éviter que ces derniers facteurs prennent le pas sur les autres états de surface. Le réseau de mesures (figure 1) comprend deux types de capteurs :

- un ensemble de sept stations météorologiques DAVIS-Instruments de type Vantage-Pro mesurant l'ensemble des paramètres climatiques habituels : température, humidité, vent, pression, rayonnement, pluie. Les sites retenus sont tous en position dégagée : trois stations en pâturage, deux en milieu forestier, une station urbaine et une périurbaine.

- un deuxième ensemble de 20 capteurs miniatures adaptés aux mesures aux échelles fines est également déployé sur la zone d'étude. Il s'agit de sondes de température et d'humidité équipées d'enregistreurs de données à grande capacité (typiquement près d'un an de données à un pas d'archivage d'une heure) de marque HOBO ou TINYTAG. Les sondes sont placées dans des abris tous positionnés à deux mètres de hauteur mais dans des conditions d'environnement contrastées, aussi bien en milieu ouvert (pâturages) que sous couvert forestier et en situation de clairière.

L'altitude est à peu près la même pour tous les postes (comprise entre 248 et 337 mètres, les trois quarts des stations étant situées entre 270 et 290 mètres) et aucun capteur n'est situé dans un creux topographique ni sur une pente forte afin de limiter au maximum les effets d'exposition liés au relief. Les résultats présentés ici concernent donc une période d'observation complète de 12 mois allant de juin 2013 à mai 2014.

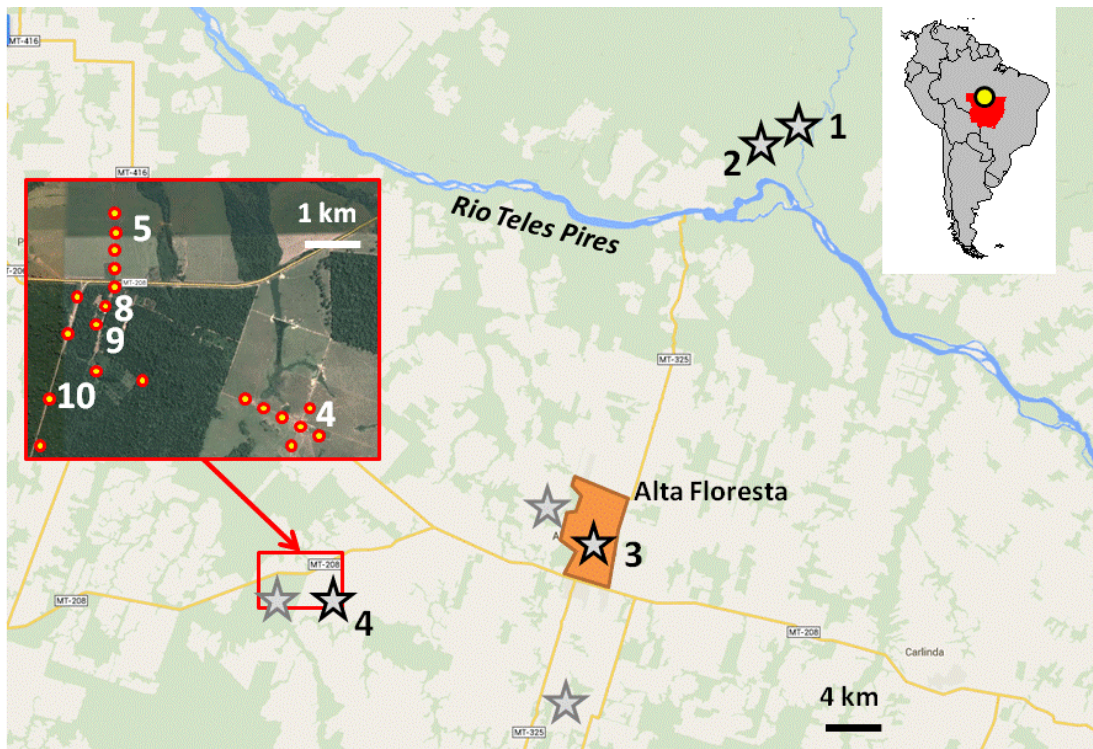


Figure 1. Localisation des stations et du site d'étude. 1 : Clairière en forêt ; 2 : Sous couvert forestier ; 3 : Centre-ville ; 4 : Pâturage. Le cadre agrandi à gauche représente le dispositif de mesures à échelle fine sur le transect forêt-pâturages.

2. Résultats à l'échelle régionale : une influence certaine de l'occupation des sols

Les mesures réalisées entre juin 2013 et mai 2014 montrent des différences sensibles entre les stations (figure 2). La moyenne annuelle varie de 24,8°C sous couvert forestier à 27,2°C en centre-ville; dans les pâturages les valeurs sont intermédiaires, généralement autour de 26,5°C. Le rythme annuel des minimales et des maximales (figure 2) permet de mieux préciser ces contrastes. Ainsi, la station urbaine enregistre systématiquement des températures plus élevées, surtout pour les minimales en saison sèche : l'îlot de chaleur urbain nocturne atteint ainsi près de 2°C en juillet et août. Les autres stations présentent des variations saisonnières similaires : les minimales sur les pâturages sont proches (21,2°C) de la forêt (21,2 et 21,0°C) sauf pour le mois d'août où un léger écart apparaît en faveur des secteurs défrichés (18,2°C pour les pâturages et 17,5°C en forêt) ; pour les minimales on n'observe pas de différence entre le capteur sous couvert forestier et celui disposé en clairière.

Les températures maximales présentent plus de contrastes mais les courbes des quatre stations restent parallèles entre elles, c'est à dire que la présence de la saison sèche ou humide ne modifie pas l'ordre des secteurs les plus chauds et plus froids. Les pâturages restent toujours plus chauds (31,7°C) que la forêt où la différence devient alors très importante entre la station sous couvert forestier (28,7°C) et la clairière du Parc Cristalino (31,2°C). Cet écart s'accuse d'ailleurs pendant la saison sèche, ainsi, le mois le plus chaud (août) connaît un écart de près de 4°C entre la clairière (35,1°C, presque autant qu'en pâturage) et la forêt (31,6°C). Au total, les écarts thermiques dans la forêt restent moins accusés (7,6°C entre les maxima et les minima) que dans les secteurs défrichés (10 à 10,5°C) quelle que soit la saison mais ceci est surtout lié à la réduction des maximales sous forêt. L'effet est négligeable sur les minimales et la déforestation ne s'accompagne donc pas d'une baisse significative des températures nocturnes.

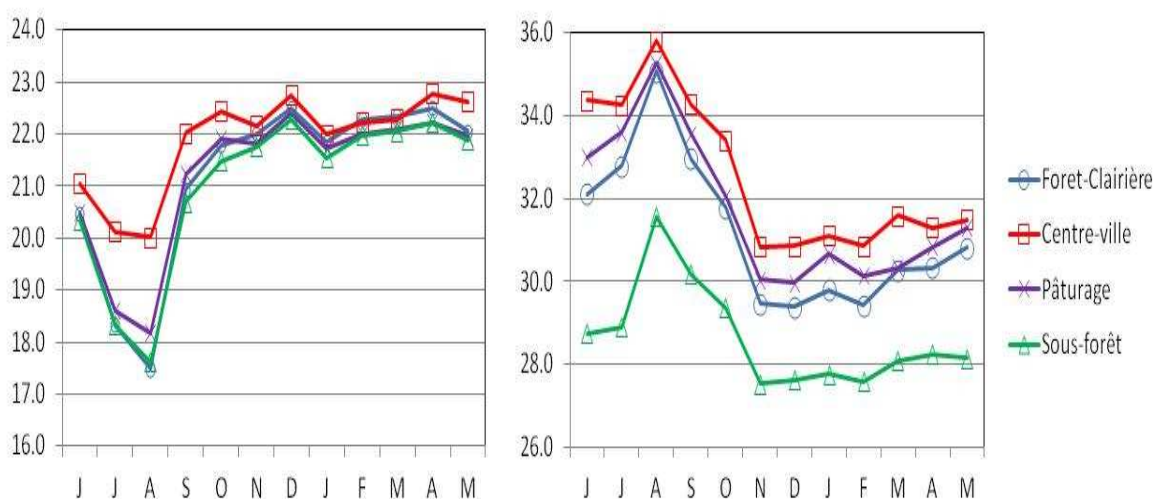


Figure 2. Températures minimales (à gauche) et maximales (à droite) de juin 2013 à mai 2014 à Alta Floresta

L'humidité relative (non montré ici) confirme l'importance des différences climatiques selon les types d'occupation des sols. En toute saison la ville est plus sèche (74,7%) que les pâturages (81,6%) eux mêmes moins humides que la forêt. En forêt, la différence est peu marquée entre la clairière (87,5%) et le couvert forestier (89,9%). La différence entre forêt et pâturage est plus marquée en saison sèche (près de 20% d'écart en août) qu'en saison des pluies.

3. Résultats à l'échelle des transects locaux : gradient ou opposition ?

Les stations de 5 à 10 positionnées le long du transect forêt-pâturage permettent de préciser comment s'effectue la transition entre le comportement thermique des deux secteurs. Le mois de juin est retenu car c'est le début de la saison sèche qui présente les contrastes les plus marqués. Le premier résultat (non montré ici) concerne l'absence de gradient au sein des pâturages où tous les capteurs présentent une grande homogénéité thermique, indépendamment de leur éloignement au massif forestier. Ceci est lié à l'existence d'une plus forte ventilation sur les couverts pastoraux (vent moyen de 5 m.s^{-1} contre 3 m.s^{-1} en forêt), participant à l'homogénéisation des températures. Le profil de la station 5 de la figure 3 est représentatif des stations de pâturages. En forêt, en revanche, deux types de comportement thermique se distinguent.

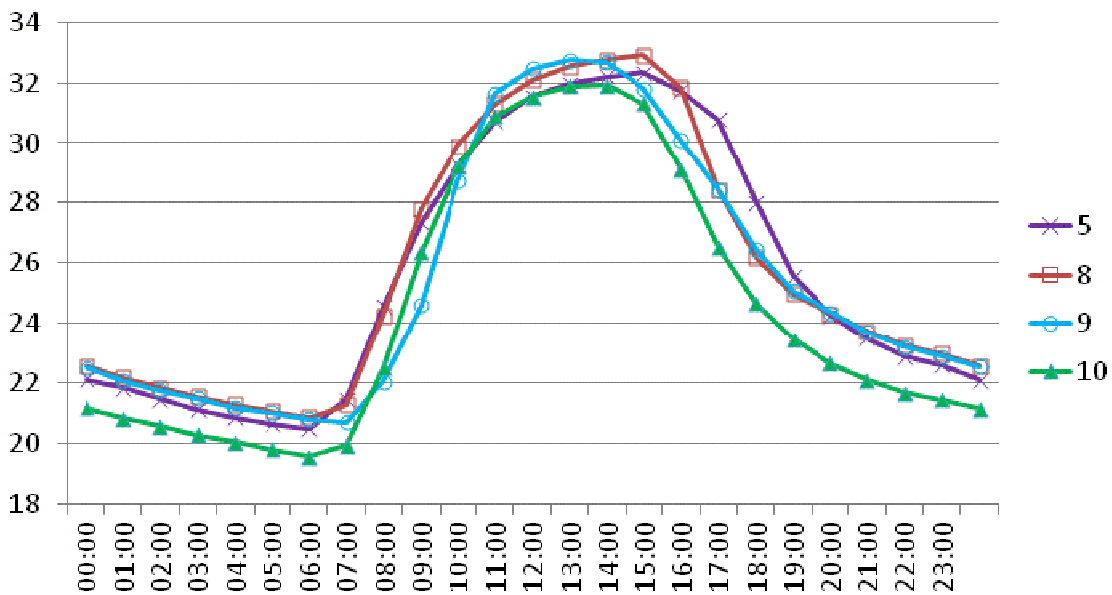


Figure 3. Température moyenne horaire en juin 2013 pour 4 stations à Alta Floresta. 5: pâturage ; 8 : lisière coté pâturage ; 9: lisière, coté forêt ; 10 : forêt (voir localisation des capteurs sur la figure 1).

Les stations situées au sein même du massif forestier (capteur 10 de la figure 3) présentent également une certaine homogénéité marquée par des températures plus faibles, aussi bien le jour que la nuit. Le fait que les mesures nocturnes indiquent que les pâturages sont plus chauds que la forêt va à l'encontre de la plupart des études comparatives forêt-pâturage déjà menées (Gash *et al.*, 1997 ; Bastable *et al.*, 1993) dans lesquelles les espaces de prairies, soumis en saison sèche majoritairement à l'énergie radiative, connaissent une forte diminution des températures après le coucher du soleil. Notre étude montre que la forêt a la capacité de conserver sa fraîcheur plus tardivement en journée, et qu'elle retrouve plus rapidement des températures basses la nuit.

L'espace de lisière côté forêt apparaît comme le site le plus particulier. En effet, si ces capteurs enregistrent des températures plus élevées que celles mesurées par les stations forestières de référence, elles sont également supérieures à celles mesurées en pâturage ! Les plus fortes températures diurnes peuvent être liées à l'effet de clairière où sont placés les capteurs et qui sont des espaces confinés où la ventilation de l'air est moins forte que dans les espaces dégagés comme les pâturages, favorisant donc l'élévation des maximales. Pendant la nuit, ce même effet radiatif favorise le maintien de températures plus élevées qu'en forêt. En outre, selon l'éloignement à la lisière, le comportement de la station est plutôt comparable à la forêt, (station 9 de la figure 3, plus éloignée de la lisière), ou au pâturage pour la station 8, station la plus proche de la lisière. La lisière de la forêt réunit donc les caractéristiques propres

à la forêt comme une forte rugosité diminuant le brassage de l'air, mais est sous l'influence thermique des pâturages.

Conclusion

Des différences climatiques significatives existent donc en Amazonie selon l'occupation des sols, soulignant l'importance des impacts potentiels de la déforestation : les espaces défrichés sont plus chauds et plus secs. Cependant, le long d'un transect forêt-pâturage d'environ deux kilomètres on n'observe pas de phénomène de gradient, mais plutôt un comportement des stations en trois classes : celles situées en pâturage ont le comportement le plus homogène, lié au brassage de l'air dans les espaces dégagés. Celles situées en forêt sont plus fraîches, de jour comme de nuit. Les capteurs situés en lisière enregistrent les températures les plus élevées et empruntent leurs caractéristiques thermiques aux pâturages comme à la forêt.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des personnes qui ont permis l'installation des stations météorologiques sur leur terrain et fourni une aide logistique à l'installation et à la maintenance des stations : Vitoria Da Riva, Alexandre Da Riva et Vagner Medeiros (Hotel Floresta Amazonica et Cristalino Jungle Lodge), Claudio Vicenti (Fundação Ecologica Cristalino), Jair (Sitio Aripuana), Rafael Labiak Olivastro (Radio Band FM), Fernando César Oliveira da Silva (CEPLAC), Milton Souza dos Santos (Fazenda Mitaju).

Cette étude a été réalisée dans le cadre des programmes de recherches suivants : USP-COFEUCUB Uc Sh 131/11 (Politiques publiques et Impacts des Changements climatiques à l'Echelle régionale & Locale sur les Espaces Fragiles), ANR-DURAMAZ-2, Cátedras Francesas 2014 do Estado de São Paulo, UNESP-Presidente Prudente, Brésil.

Références bibliographiques

- Bastable H.G., Shuttleworth W.J., Dallarosa R.L.G., Fish G., Nobre C.A., 1993 : Observation of climate, albedo, and surface radiation over cleared and undisturbed amazonian forest. *International journal of climatology*, **13**, 783-796.
- Biudes M.S., Vourlitis G.B., Machado N.D., Arruda P.H.Z., Neves G.A.R., Lobo F.A., Neale M.U., Nogueira J.S., 2015 : Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, **202**, 112-124.
- Dubreuil V., Laques A.E., Nedelec V., Arvor D., Gurgel H., 2008 : Paysages et fronts pionniers amazoniens sous le regard des satellites: l'exemple du Mato Grosso. *L'Espace Géographique*, **37**, 57-74.
- Dubreuil V., Debortoli N., Funatsu B., Nédélec V., Durieux L., 2012: Impact of land-cover change in the southern amazonia climate: a case study for the region of Alta Floresta, Mato Grosso, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, **184**(2), 877-891.
- Fish G., Machado L.A., Silva Dias M.A.F., 2004 : The convective boundary layer over pasture and forest in Amazonia. *Theoretical and applied climatology*, **78**, 47-59.
- Gash J.H.C, Nobre C.A. 1997 : Climatic effects of Amazonian Deforestation : some results from ABRACOS. *American Meteorological Society*. **78**(5), 823-830.
- Lawrence D., Vandecar K., 2015 : Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature climate change*, **5**, 27-36.
- Priante-Filho N., Vourlitis G.L., Hayashi M.M.S., Nogueira J.D.S., Campelo Jr. J.H., Nunes P.C., Souza L.S.E., Couto E.G., Hoeger W., Raiter F., Trienweiler J.L., Miranda E.J., Priante P.C., Fritzen C.L., Lacerda M., Pereira L.C., Biudes M.S., Suli G.S., Shiraiwa S., Do Paulo S.R., Silveira M., 2004 : Comparison of the mass and energy exchanges of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. *Global change biology*. **10**, 863-876.
- Roberts A., Keller M., Soares J.V., 2003 : Studies of land-cover, land-use, and biophysical properties of vegetation in the Large Scale Biosphere Atmosphere experiment in Amazônia. *Remote Sensing of Environment*. **87**, 377-388.