

SUJET PROPOSÉ POUR UN CONTRAT DOCTORAL D'ÉTABLISSEMENT

ANNÉE 2022

UNIVERSITÉ

Université Rennes 2

UNITÉ DE RECHERCHE

Nom complet (sigles ou acronymes développés) : UMR Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG)

Numéro de l'unité de recherche : 6554

Directeur de l'unité de recherche : Brice Trouillet / Samuel Corgne

SUJET DE THÈSE

Intitulé du sujet de thèse (en Français)

Dynamiques environnementales des hydrosystèmes du Mato Grosso : variabilité spatiale des pressions et développement d'indicateurs de suivi par télédétection en contexte de frontière agricole.

Intitulé du sujet de thèse (en Anglais)

Environmental dynamics of Mato Grosso hydrosystems: spatial variability of pressures and development of remote sensing monitoring indicators in the context of an agricultural frontier.

Mots clés (en Français)

hydrosystème, télédétection, indicateur, agriculture, Amazonie

Mots clés (en Anglais)

hydrosystem, remote sensing, indicator, agriculture, Amazonia

Discipline	Géographie
Spécialité d'inscription en thèse (à choisir exclusivement dans la liste des spécialités de l'ED)	Géographie

DIRECTEUR DE THÈSE

NOM	ARVOR
PRÉNOM	Damien
Courriel	damien.arvor@univ-rennes2.fr
Date d'obtention de l'HDR	Non, demande de dérogation en cours
Nombre de thèses encadrées au 1^{er} janvier	0

CO-DIRECTEUR DE THÈSE éventuel

NOM	DUBREUIL
PRÉNOM	Vincent
Courriel	vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr
Date d'obtention de l'HDR	2005
Nombre de thèses encadrées au 1^{er} janvier 2022	

ARGUMENTAIRE SCIENTIFIQUE

Argumentaire scientifique présentant les enjeux de la thèse :

Problématique :

L'Etat du Mato Grosso, en Amazonie méridionale, est le théâtre d'une des dernières frontières agricoles du monde. Les dynamiques de développement et de transformation de l'espace (déforestation, expansion et intensification agricole, industrialisation) y impactent fortement le fonctionnement des écosystèmes. Toutefois, alors que de nombreuses études se concentrent sur le lien entre expansion agricole et déforestation, les effets de ces dynamiques sur les systèmes fluviaux restent mal connus, notamment dans leurs dimensions géographiques (i.e. variabilité spatiale des pressions et des impacts, approche intégrée des effets sur les compartiments physiques et biologiques des hydrosystèmes). Pourtant, les services écosystémiques rendus par ces systèmes (protections contre les inondations, maintien de la biodiversité, etc...) sont aujourd'hui menacés par le développement des activités agricoles, énergétiques (hydroélectricité) et plus généralement par les changements d'occupation et d'usages du sol.

L'objectif de cette thèse est double puisqu'il s'agit 1) de développer des indicateurs de suivi des hydrosystèmes dans un contexte de front pionnier actif et 2) de caractériser les impacts de ces transformations de façon spatialement explicite. Pour cela, l'ambition de la thèse est en premier lieu méthodologique et vise à développer des méthodes capables de produire des indicateurs pertinents à la fois à large échelle, pour comparer des situations de pressions contrastées à l'échelle de grands bassins versants, et à la fois avec une résolution spatiale et temporelle suffisante pour quantifier les relations complexes entre pressions, impacts et réponses des systèmes. De plus, ce travail possède une ambition thématique forte dans la mesure où le contexte géographique du Mato Grosso se traduit par une forte diversité spatiale des pressions (depuis des zones en réserve jusqu'à des zones en agriculture intensive ; cf. *Contextualisation du projet*). Cette diversité permet de mener une approche comparative et donc de quantifier le poids relatif des différentes pressions sur les hydrosystèmes, notamment les changements d'occupation et d'usages du sol et les aménagements de cours d'eau. Or cette quantification est cruciale pour comprendre, et donc pour anticiper et accompagner, les évolutions à venir dans le contexte des changements globaux.

Contextualisation du projet de thèse :

L'Etat du Mato Grosso se situe dans la partie méridionale du bassin amazonien. Trois affluents principaux de l'Amazone y prennent leur source : le Rio Xingu (à l'est), le Rio Teles Pires (au centre de l'état) et le Rio Juruena (à l'ouest), les deux derniers formant le Rio Tapajos. Bien que ces trois bassins versants aient été largement affectés par l'avancée de la frontière agricole depuis les 1970, ils diffèrent sur de nombreux points, notamment car les modes d'occupation du territoire y sont très diversifiés. Ainsi les pâturages prédominent dans les régions forestières du nord des bassins Juruena et Teles Pires tandis que l'agriculture intensive (soja, maïs et coton) prédomine dans les zones de cerrado (savane brésilienne) du sud. Le bassin du Xingu, en grande partie en territoire indigène, est particulièrement bien préservé, mais les sources sont situées en dehors de la zone protégée, dans des régions d'agriculture intensive. Par ailleurs, cinq barrages hydroélectriques ont été construits sur le Rio Teles Pires au cours des dernières années (le dernier a été mis en eau en février 2019), ce qui le rend particulièrement pertinent pour étudier comparativement l'impact des pressions anthropiques sur les systèmes fluviaux.

Bien que le développement économique reste une priorité pour le gouvernement brésilien qui continue de soutenir les secteurs de l'industrie agroalimentaire et de l'énergie, des efforts sont également faits afin de mieux maîtriser l'expansion de la frontière agricole, un vecteur important de déforestation en Amazonie. Ainsi, le code forestier oblige les propriétaires ruraux à préserver les forêts, et notamment les ripisylves, considérées comme des aires de protection permanentes (APP). Ces APP représentent aujourd'hui un élément central du processus de restauration et apparaissent donc comme un enjeu essentiel du point de vue de la conservation des systèmes fluviaux. Toutefois, leur état de préservation souffre d'une forte disparité spatiale. Elles sont par exemple très dégradées dans les régions d'élevage et mieux préservées dans les régions agricoles, où leur rôle est toutefois plus important notamment au vu des grandes quantités de produits phytosanitaires employés pour l'agriculture intensive.

Par ailleurs, un autre élément constitue une pression supplémentaire : les retenues d'eau. De nombreuses retenues sont installées le long des cours d'eau pour avoir accès plus facilement à la ressource en eau. Cette ressource est alors utilisée principalement pour l'irrigation et la pisciculture. Les pressions engendrées par ces retenues sont plus diffuses dans le temps (le nombre de retenues est en augmentation constante) et dans l'espace que pour un barrage hydroélectrique pour lequel les pressions seront beaucoup plus concentrées.

En résumé, le Mato Grosso permet de croiser plusieurs natures (ponctuelles/diffuses, versants/cours d'eau, occupation du sol/aménagement) et plusieurs intensités (zones protégées, zones tampons plus ou moins respectées, agriculture intensive/extensive) de pression.

Méthodologie envisagée :

Ce travail s'articulera en trois étapes : 1) cartographier les différents types d'occupations du sol, 2) produire des indicateurs de caractérisation des systèmes fluviaux (pression et réponse) et 3) analyser leur évolution spatio-temporelle.

1) Cartographie de l'occupation du sol

De nombreuses données satellitaires sont aujourd'hui disponibles gratuitement à diverses résolutions spatiales (Sentinel 2 à 10 m, Landsat à 30 m, MODIS à 250 m). Ce projet s'appuiera donc sur l'utilisation de données multisources pour cartographier les dynamiques d'utilisation et d'occupation des sols dans les bassins hydrographiques de l'État du Mato Grosso, à l'échelle locale et à l'échelle du paysage. Ainsi, la haute résolution spatiale des données Sentinel 2 sera mise en avant pour détecter des objets fins (ex : retenues d'eau, ripisylves, morphologie du chenal) tandis que la haute résolution temporelle (1 jour) des données MODIS sera utile pour suivre les calendriers agricoles et ainsi cartographier les types de culture. Enfin, la profondeur historique des données Landsat (depuis 1984) permettra de suivre les dynamiques en cours sur le moyen / long terme. Toutefois, l'accès à un grand volume de données pose un défi méthodologique puisqu'il convient de développer des approches automatiques et robustes spatialement et temporellement. A ce titre, la thèse s'inscrit dans la prolongation de la démarche proposée par Arvor et al. (2021).

2) Indicateurs de caractérisation des systèmes fluviaux

A partir des images et des cartes d'occupation du sol produites, une méthodologie devra être développée afin de faire émerger des indicateurs de suivi des systèmes fluviaux sur la base de la littérature scientifique et des nécessaires adaptations au contexte d'étude (Dufour et al., 2019 ; Piégay et al., 2020). Ces indicateurs peuvent différer selon l'échelle, et/ou dans le temps, et doivent permettre *in fine* une approche multiscalaire et multi-temporelle. A travers ces indicateurs, il convient de réussir à caractériser aussi bien les pressions, comme le modèle de développement prédominant (agriculture intensive, élevage, etc), la présence d'ouvrages (barrages, retenues) ou le niveau de dégradation / restauration des APP (en suivant la dynamique temporelle), que les impacts sur les hydrosystèmes (ex. la morphologie du chenal).

3) Analyse de l'évolution spatio-temporelle des systèmes fluviaux

Une analyse comparative de ces indicateurs permettra de mieux appréhender la vulnérabilité des hydrosystèmes, à la fois dans l'espace et dans le temps. Pour cela, deux types d'indicateurs peuvent être considérés et mis en relation dans différents contextes : les indicateurs qui caractérisent les pressions ou le niveau de pression et les indicateurs qui caractérisent les impacts sur l'hydrosystème.

L'enjeu méthodologique est donc de réussir à mener une approche comparative des 3 bassins identifiés. Ceux-ci bénéficient du même contexte géographique général (front de déforestation, frontière entre le biome amazonien et cerrado) mais diffèrent du point de vue de l'évolution des modèles de développement privilégiés (agriculture intensive, élevage, territoires indigènes, énergie hydraulique) et donc des types d'occupation des sols.

INSCRIPTION DU SUJET DANS LE LABORATOIRE

Insertion du sujet dans les axes du laboratoire ; programmes de recherche éventuels

Ce projet de thèse se positionne à l'articulation de deux axes de l'UMR LETG : l'axe "environnement continentaux", qui porte sur l'étude des fonctionnements et des dynamiques socio-écologiques des milieux continentaux, à différentes échelles spatio-temporelles dans un contexte de changements globaux impactant l'ensemble des milieux (tropicaux, tempérés et polaires), et l'axe "Télédétection et géomatique", qui vise à développer des méthodes permettant de tirer profit des données numériques de nature diverse, notamment celles issues de la télédétection, et du développement des nouvelles approches de traitement des données (*machine Learning*, etc.).

De fait, il s'inscrit dans plusieurs programmes de recherches de ces axes, notamment :

- IEA SCOLTEL: Projet financé par le CNRS pour renforcer la collaboration entre le LETG et l'Université d'Etat du Mato Grosso autour des questions environnementales en Amazonie (Porteur D. Arvor)
- Projet CASTAFIOR: Projet financé par le CNES et portant sur le suivi par télédétection de la dégradation des écosystèmes forestiers en Amazonie brésilienne.
- Projet CHOVE-CHUVA : Projet financé par le CNES pour la création d'un outil de diffusion d'indicateurs socio-environnementaux au Mato Grosso.
- COST Action Converges "Knowledge conversion for enhancing management of european riparian ecosystems and services" ; Projet UE ; Porteur S. Dufour
- MISSYLE "Approche Multicapteurs et multitemporelle de la production d'Indicateurs de Suivi des SYstèmes fluviaux à Large Echelle" ; Projet Région Bretagne ; Porteur S. Dufour

Bibliographie sur le sujet proposé

Adams, W., Hughes, F., 1986. The environmental effects of dam construction in tropical africa: Impacts and planning procedures. *Geoforum* 17, 403–410.

Arvor D., Betbeder J., Daher F., Blossier T., Le Roux R., Corgne S., Corpetti T., Silgueiro V., da Silva Junior A. 2021. Towards user-adaptive remote sensing: knowledge-driven automatic classification of Sentinel 2 time series. *Remote Sensing of Environment*, 26, 112615.

Arvor, D., Meirelles, M., Dubreuil, V., Bégué, A., Shimabukuro, Y.E., 2012. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. *Appl. Geogr.* 32, 702–713.

Arvor, D., Daugeard, M., Tritsch, I., De Mello-Thery, N.A., Thery, H., Dubreuil, V., 2016. Combining socioeconomic development with environmental governance in the Brazilian Amazon: the Mato Grosso agricultural frontier at a tipping point. *Environ. Dev. Sustain.*

Arvor D., F. Daher, D. Briand, S. Dufour, A.J. Rollet, M. Simões & R.P. Ferraz (2018). Monitoring thirty years of small water reservoirs proliferation in the southern Brazilian Amazon with Landsat time series. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*

Barrow, C.J., 1987. The environmental impacts of the tucurui dam on the middle and lower tocantins river basin, brazil. *Regul. Rivers: Res. Manage.* 1, 49–60.

Bohn Gass S.L., R. Verdum, J. Corbonnois et François Laurent, « Áreas de preservação permanente (APPs) no Brasil e na França: um comparativo », *Confins* [Online], 27 | 2016, posto online no dia 15 Julho 2016, consultado o 04 Setembro 2016. URL : <http://confins.revues.org/10829> ; DOI : 10.4000/confins.10829

Carreiras, J.M.B., Jones, J., Lucas, R.M., Gabriel, C., 2014. Land use and land cover change dynamics across the Brazilian Amazon: insights from extensive time-series analysis of remote sensing data. *PLoS ONE* 9, e104144

DeFries, R., Rosenzweig, C., 2010. Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 107, 19627–19632.

Dufour S., P.M. Rodríguez-González & M. Laslier (2019). Tracing the scientific trajectory of riparian vegetation studies: Main topics, approaches and needs in a globally changing world. *Science of The Total Environment.* 653 (25) : 1168-1185.

Fearnside, P.M., 2001. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí dam: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environ. Manage.* 27, 377–396.

Ferreira, M. E., L. G. Ferreira, E. M. Latrubesse and F. Miziara, "High Resolution Remote Sensing based Quantification of the Remnant Vegetation Cover in the Araguaia River Basin, Central Brazil," *IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Boston, MA, 2008, pp. IV - 739-IV - 741.

Galford, G.L., Soares-Filho, B., Cerri, C.E.P., 2013. Prospects for land-use sustainability on the agricultural frontier of the Brazilian Amazon. *Philos. Trans. Roy. Soc. B: Biol. Sci.* 368, 20120171.

Jones, S., Fremier, A., DeClerck, F., Smedley, D., Pieck, A.O., Mulligan, M., 2017. Big data and multiple methods for mapping small reservoirs: comparing accuracies for applications in agricultural landscapes. *Remote Sens.* 9, 1307.

Latrubesse, E.M., Arima, E.Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V.R., dHorta, F.M., Wight, C., Wittmann, F., Zuanon, J., Baker, P.A., Ribas, C.C., Norgaard, R.B., Filizola, N., Ansar, A., Flyvbjerg, B., Stevaux, J.C., 2017. Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* 546, 363–369.

Morton D.C., DeFries R.S, Shimabukuro Y., Anderson L.O., Arai E., del Bon Espirito-Santo F., Freitas R., Morissette J. (2006) Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *PNAS.* 103 (39) 14637-14641

Nunes de Oliveira, S., Abílio de Carvalho Júnior, O., Trancoso Gomes, R.A., Fontes Guimarães, R., McManus, C.M., 2017. Deforestation analysis in protected areas and scenario simulation for structural corridors in the agricultural frontier of Western Bahia, Brazil. *Land Use Policy* 61, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.046>

Piégay H., F. Arnaud, B. Belletti, M. Bertrand, S. Bizzi, P. Carbonneau, S. Dufour, F. Liébault, V. Ruiz-Villanueva & L. Slater (2020). Remotely sensed rivers in the Anthropocene: state of the art and prospects. *Earth Surf. Process. Landforms.*

Ramireddygari, S., Sophocleous, M., Koelliker, J., Perkins, S., Govindaraju, R., 2000. Development and application of a comprehensive simulation model to evaluate impacts of watershed structures and irrigation water use on streamflow and groundwater: the case of Wet Walnut Creek Watershed, Kansas, USA. *J. Hydrol.* 236, 223–246.

She, X., Zhang, L., Cen, Y., Wu, T., Huang, C., Baig, M.H.A., 2015. Comparison of the continuity of vegetation indices derived from Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ data among different vegetation types. *Remote Sens.* 7, 13485–13506.

Stevaux, J.C., Martins, D.P., Meurer, M., 2009. Changes in a large regulated tropical river: the parana river downstream from the porto primavera dam, brazil. *Geomorphology* 113, 230–238.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES REQUISES POUR LE (LA) CANDIDAT(E). PERSPECTIVES D'INSERTION PROFESSIONNELLE

Profil attendu

Le candidat doit montrer un fort intérêt et de bonnes aptitudes pour la recherche scientifique s'appuyant sur :

- un Master en géographie
- un intérêt particulier pour la coopération scientifique dans les pays du Sud (une expérience de ce type de coopération serait appréciée)
- de l'autonomie, une capacité d'adaptation et goût du travail en équipe
- une aptitude à communiquer, à travailler en équipes pluridisciplinaires
- une bonne maîtrise de la langue anglaise et des méthodes géomatiques (télédétection, SIG, programmation, statistiques spatiales).

Insertion professionnelle ou poursuite de carrière envisagée

Les métiers de l'enseignement et de la recherche, recherche appliquée dans les organismes dédiés au développement et à l'aménagement durable, bureau d'étude et ONG environnementales.