



## Proposition de sujet de Thèse :

**Modélisation rétrospective des dynamiques environnementales et sociales de la région amazonienne en Equateur : couplage de modèles réseaux d'acteurs et spatio-temporels**

**Mots clés :** Modélisation sociale multi-agents, modélisation spatio-temporelle probabiliste, Réseaux simulés, Modélisation rétrospective, colonisation, Amazonie Equatorienne.

**Directeur :** Martin PAEGELOW ([martin.paegelow@univ-tlse2.fr](mailto:martin.paegelow@univ-tlse2.fr))

**Codirecteur :** Mehdi SAQALLI ([mehdi.saqalli@univ-tlse2.fr](mailto:mehdi.saqalli@univ-tlse2.fr))

### Contexte du projet de thèse

L'Amazonie Equatorienne peut être séparée en deux ensembles, aux différences visibles depuis l'espace :

- Le Nord porte les stigmates d'une colonisation puissante, sous la forme classique vue depuis l'espace d'arêtes de poisson. Cette colonisation agraire y a été encouragée dans les années 70 et 80 par l'Etat à l'époque pour éviter une réforme agraire coûteuse politiquement, et fut renforcée et soutenue par la colonisation pétrolière qui lui a ouvert des routes pour l'installation. Cette colonisation, commencée au milieu des années 70, a concerné les populations les plus marginales, les sans-terres en général des provinces déshéritées, surtout andines (Gray & Bilsborrow, 2014), mais aussi les cadets des familles au lopin trop petit pour permettre un partage soutenable pour deux nouvelles familles (Rudel, 2006) ou d'autres individus dont les caractéristiques sociales les rendent déshérités. Cependant, avec 2.4 enfants par femme en 2011, l'élan démographique s'est essoufflé et, avec lui, la puissance du mouvement de colonisation. On observe même des phénomènes de retour des nouvelles générations (Bilsborrow et al. 2004). Ce pétrole, exploité depuis les années 70, ouvre accès à des emplois mais a aussi fortement pollué ce territoire. Pollué, quelque peu enclavé (il n'y a que 2 routes franchissant les Andes pour ce Nord) rendant non-rentable toutes les productions de rente comme le café et le cacao, ce territoire n'est plus si attractif ;
- Le Sud de cette petite Amazonie (200 000 km<sup>2</sup> en Equateur) est différent : si elle est mieux reliée aux Andes (5 à 6 routes acceptables vers la Sierra), la zone colonisée est mince et très mal reliée à son hinterland par de rares pistes, par les rivières et par des petits avions. Cependant, la croissance démographique indigène, devenue vigoureuse, combinée à une colonisation certes ralentie, et à l'intérêt pour ces zones de compagnies minières en particulier chinoises, font que ce Sud ne restera pas à l'écart bien longtemps.

### Projet de thèse

Il s'agit de reconstituer et d'évaluer les dynamiques humaines et environnementales passées et présentes ayant entraîné la transformation du territoire de l'Amazonie Équatorienne, d'abord par les colons issus de la Sierra mais aussi pour le Nord de l'Amazonie par des indigènes du Sud. Sur cette base, il s'agit ensuite d'élaborer des scénarii prospectifs. Cette thèse se base sur les résultats et les bases de données géographiques et socio-anthropologiques des projets ANR Monoil et MSHS-T-IDA GHIVARO, projet en voie d'achèvement. Ces informations donnent les clés de lecture pour la compréhension de ces dynamiques et un volet modélisations géomatiques sociales et spatiales imbriquées afin d'en réaliser une reconstitution puis, via des scénarios prospectifs, d'en esquisser des futurs plausibles.

Nous proposons ainsi de confronter :

1. D'une part, une approche de modélisation « processus » définie par la socio-anthropologie, à savoir un réseau dynamique d'acteurs individu-centrés, portés par des règles anthropologiques construites à partir d'enquêtes de terrain et connectés entre eux par les réseaux sociaux (familles, accointances...) auxquels ils appartiennent (Filho et al. 2011) ; nous entendons ici comme modèle processus des modèles Multi-Agents individu centrés (Saqalli et al. 2010 ; Le Page et al. 2013) appuyés sur des reconstitutions de réseaux sociaux (Thiriot & Kant, 2008) ; cette étape sera facilitée par les travaux réalisés au cours du projet ANR MONOIL, à savoir un modèle multi-agents déjà existant, portant sur les dynamiques agraires passées et actuelle en Orient amazonien. Les travaux sur ordinateur à réaliser bénéficieront de l'appui d'une équipe équatorienne compétente à l'USFQ (Universidad San Francisco de Quito). Elle sera également facilitée par le projet ANR EVKISS (en cours de soumission, portant pour un tiers sur l'Equateur). L'approche réseau s'appuiera sur une plate-forme déjà existante ;
2. D'autre part, une approche « pattern » spatialement explicite par caractérisation des dynamiques de colonisation du territoire amazonien par changement de l'occupation du sol (approche basée sur classification d'images satellite, etc. -> cartographie diachronique) ; cette étape sera facilitée par une thèse actuellement en cours (Juan Durango Cordero, financement SENESCYT) sous notre direction sur la caractérisation spatiale des risques environnementaux (contamination net déforestation) en Orient ;
3. Chacun de ces modèles sera confronté de manière rétrospective aux données les plus récentes pour en tester la validité (Amblard et al. 2006) ;
4. Ces modèles entre eux pour en tester la capacité en terme de prospective, via l'usage de scénarios.

## Problématique et verrous scientifiques du projet de thèse

En terme méthodologique, Il s'agit de questionner les validités propres aux deux processus de modélisation envisagés habituellement pour simuler des dynamiques société-environnement à savoir les approches « pattern » et les approches « processus » (Bousquet & Gautier, 1999 ; Castella & Verburg, 2007), en particulier lorsqu'on les met à l'épreuve de processus anthropologiquement dirigés et définis, et donc non déterminés par des processus spatiaux.

Seront également testé les avantages reconnus habituellement à chacun d'entre eux, à savoir la prise en compte d'émergence de dynamiques brutales pour les modèles processus individus centrés et une reconstitution plus affinée pour les modèles spatio-centrés ;

Cette combinaison d'approches verra sa valeur testée triplement :

- De manière rétrospective, pour les deux modèles processus et pattern ;
- En confrontation dans leur adéquation aux dynamiques simulées

Méthodologiquement et en termes pratiques, cette thèse pose le problème des couplages dynamiques entre modèles d'approches différentes (approche réseaux, approche multi-agents, approche spatiale « pixels »). Ce problème de la dynamique d'échange d'information sera ici interrogé avec comme solution de repli des couplages non dynamiques.

Thématiquement, il s'agit d'évaluer le devenir de cette portion équatorienne du territoire amazonien et en particulier la possibilité que, pour des raisons démographiques, sociales et politiques, le processus de déforestation s'y arrête ; d'autre part, cette combinaison de modèles se veut ainsi intégrative de différents regards habituellement difficilement conciliables sur la colonisation d'un territoire : sélectivité anthropologique des colons, prospective sur les trajectoires, effets sociaux de constitution de pôles d'attraction par création de réseaux, conséquences spatiales et sociales sur les zones d'arrivée. Elle permet de dépasser les thèmes de prédilection que sont la colonisation à l'échelle internationale (Cushing & Poot, 2003) et les dynamiques entre rural et urbain (Silvera et al. 2006 ; Cai et al. 2015).

## Etapes envisagées pour le projet de thèse

### **1. Socio-anthropologie et approche réseaux : Caractérisation des dynamiques sociales de colonisation passées et présentes et formalisation des réseaux sociaux propres aux colons**

Il s'agira ici de reconstituer spatialement et de comparer les trajectoires d'installation de différents types sociaux identifiés par une première analyse qualitative sociologique, déjà réalisée (récits de vie des trajectoires des familles et des individus selon des critères principalement spatiaux, perception individuelle et familiale du site et milieu d'arrivée). Il s'agit ensuite de remonter le courant de ces dynamiques et en reconstituer quantitativement ces flux (archives de recensement). Sur cette base, il s'agit de reconstituer la dynamique de constitution des réseaux sociaux qui se mettent en place localement. Initialement introduits en sociologie pour décrire les relations sociales (Wasserman & Faust, 1994), les réseaux sociaux sont depuis construits pour simuler et par là expliciter les dynamiques sociotechniques (Bennaïm et al. 2004). Dans notre cas, le réseau social est construit comme un avatar des caractéristiques sociodémographiques et spatiales des individus identifiés dans cette étape. Cette organisation dynamique crée le cadre de vie social de chaque agent individu (informations ? entraides et appui ?) et évolue elle-même en retour en fonction des comportements des agents simulés (Benenson et al. 2003) et des distances sociales et spatiales (Cadoret, 2006).

### **2. Modélisation multi-agents : Reconstitution des dynamiques sociales et agraires de la colonisation en Orient**

Nous nous appuyons sur un modèle, une équipe (projet ANR MONOIL) et une littérature déjà existante, entre autres produite par l'équipe partenaire de l'USFQ (Pan et al. 2004 ; Walsh et al. 2008 ; Mena et al. 2011). Cette étape portera principalement sur l'intégration dans le modèle multi-agents spatialisé et permettra de rendre la colonisation spatiale de ce modèle en les calibrant avec les dynamiques sociales et les réseaux identifiés en 1 et 2.

### **3. Caractérisation des dynamiques par changement de l'occupation du sol et sa simulation spatio-temporelle**

Retracer les dynamiques de colonisation de l'Amazonie équatorienne, approche basée sur classification d'images satellite, et d'autres connaissances spatialisées aboutira à une cartographie diachronique, support d'une analyse en termes de LUCC-budget (Land Use / Cover Change). La sélection des variables d'environnement potentiellement explicatives (« drivers ») de l'évolution constatée se fera par indices de corrélations statistiques, poids d'évidence et apprentissage type réseau neuronal pour constituer la base de connaissances d'apprentissage d'un modèle géomatique prospectif type LCM ou Dinamica Ego. La validation du scénario BAU (business as usual) se fera par extrapolation sur une date connue mais inconnue du modèle et à l'aide de plusieurs critères – quantitatifs, d'allocation spatiale, de métriques paysagères et d'analyse d'erreurs (Paegelow et al. 2014) avant de construire des scénarii contrastés plausibles.

### **4. Scénarios prospectifs, incertitude et adaptation des sociétés**

L'éventail des scénarios envisageables a déjà été formalisé via la démarche participative ARDI (Etienne et al. 2011) réalisée avec des équipes de recherche équatoriennes et françaises. L'objectif consiste à simuler les dynamiques futures de colonisation. Suivant les scénarios (tendanciels vs. Contrastés, basés sur la démographie comme inputs mais aussi sur une formalisation « pull<sup>1</sup> & attract<sup>2</sup> » des scénarios), on souhaite proposer des tendances d'évolution de l'occupation du territoire et des colonisations pour le futur (2015-2050). Plusieurs outils de validation partielle (Paegelow et Camacho, 2008 ; Paegelow et al. 2014) autorisent une évaluation des sorties des modèles mis en œuvre, première étape d'intégration.

## Candidat : Profil recherché

Cette thèse, fondamentalement interdisciplinaire, s'adresse à un(e) étudiant(e) diplômé(e) d'un master 2 (ou équivalent) en géomatique, géographie, socio-anthropologie, sciences de l'environnement. Les compétences requises sont :

- Esprit scientifique
- Maîtrise des SIG (ArcGis, QGis ou équivalent)
- Maîtrise des outils de modélisation sociale multi-agents (plateforme GAMA de préférence)
- Expérience en outils de modélisation spatiale
- Bonnes connaissances théoriques et pratiques en statistiques et géostatistiques (Matlab, R ou équivalent)
- Un intérêt pour les outils d'enquête sociale sur le terrain.
- La maîtrise de l'espagnol écrit et oral serait un plus, comme celle de l'anglais. Une maîtrise du français écrit est également un prérequis.

<sup>1</sup> Ex. : Pull négatif : moins de démographie.

<sup>2</sup> Ex. : Attract positif : prix du pétrole

## Contacts et constitution du dossier de candidature

**Martin Paegelow**, Professeur de Géographie Université Toulouse 2 Jean Jaurès, **Directeur de thèse** : [paegelow@univ-tlse2.fr](mailto:paegelow@univ-tlse2.fr)

**Mehdi Saqalli**, Chargé de Recherche 1 CNRS, **Co-Directeur de thèse** : [mehdi.saqalli@univ-tlse2.fr](mailto:mehdi.saqalli@univ-tlse2.fr)

Le dossier de candidature est à envoyer aux directeur, co-directeur, la présidente de la commission doctorale du laboratoire GEODE Christine Vergnolle-Mainar : [christine.vergnolle-mainar@univ-tlse2.fr](mailto:christine.vergnolle-mainar@univ-tlse2.fr) et le directeur de GEOED Didier Galop : [didier.galop@univ-tlse2.fr](mailto:didier.galop@univ-tlse2.fr)

L'envoi se fait uniquement par mail. *Attention, le serveur de l'université n'accepte pas les messages dont la taille des pièces jointes excède 6 Mo. Pensez à utiliser un service de transfert de fichiers.*

Le dossier comprend :

- CV
- Lettre de motivation manuscrite (scannée) de 1 page
- Cursus post-bac avec indication des mentions / moyennes de notes / rang dans la promotion (joindre obligatoirement la photocopie des diplômes et le relevé des notes pour les diplômes post-bac ; pour les diplômes étrangers : joindre obligatoirement une photocopie (traduite) certifiée conforme)
- Texte de positionnement par rapport au sujet de thèse et expérience dans le domaine

## Références

*Amblard F., Rouchier J., Bommel P. 2006. Evaluation et validation de modèles multi-agents. In: Modélisation et simulations multi-agents: application pour les sciences de l'Homme et de la Société, Amblard F., Phan D. (eds.), Paris:Hermès, p. 103-140.*

*Benenson I., Orner I., Hatna E., 2003. Agent-Based Modeling of Householders' Migration Behavior and Its Consequences, in: Billari F. C., Prskawetz A. (Eds.), Agent-Based Computational Demography. Contributions to Economics. pp. 97-115.*

*Bilsborrow R. E., Barbieri A. F., Pan W. K. Y., 2004. Changes in Population and Land Use Over Time in the Ecuadorian Amazon. Acta Amazonica 34, 635-647.*

*Bousquet F., Gautier D. 1999. Comparaison de deux approches de modélisation des dynamiques spatiales par simulation multi-agents : les approches "spatiale" et "acteurs", Cybergeog : European Journal of Geography [Online], Systems, Modelling, Geostatistics, 89.*

*Cadoret A. 2006. De la légitimité d'une géographie des réseaux sociaux: la géographie des réseaux sociaux au service d'une géographie des conflits. NETCOMM, 20, 3.*

*Cai, N., Ma, H.-Y., Khan, M.J., 2015. Agent-based model for rural-urban migration: A dynamic consideration. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 436, 806-813.*

*Castella, J.-C., Verburg, P.H., 2007. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use*

- change in a mountain area of Vietnam. *Ecological Modelling* 202, 410-420.
- Cushing, B., Poot, J., 2003. Crossing boundaries and borders: Regional science advances in migration modelling. *Papers Reg. Sci.* 83, 317–338.
- Etienne M., du Toit D., Pollard S. 2011. ARDI: a co-construction method for participatory modelling in natural resources management. *Ecology & Society*, 16, 1, 44.
- Filho, H.S.B., Neto, F.B., Fusco, W., 2011. Migration and social networks: An explanatory multi-evolutionary agent-based model, in: *Intelligent Agent (IA), 2011 IEEE Symposium on. Presented at the Intelligent Agent (IA), 2011 IEEE Symposium on*, pp. 1–7.
- Gray C. L., Bilsborrow R. E. 2014. Consequences of out-migration for land use in rural Ecuador. *Land Use Policy* 36, 182–191.
- Le Page C., Bazile D., Becu N., Bommel P., Bousquet F., Etienne M., Mathevet R., Souchère V., Trébuil G., Weber J. 2013. Agent-based modelling and simulation applied to environmental management: a review. In: *Simulating social complexity: a handbook*, Edmonds B., Meyer R. (eds.), Heidelberg:Springer, p. 499-540.
- Mas J.-F., Kolb M., Houet T., Paegelow M., Olmedo M. C. 2011. Éclairer le choix des outils de simulation des changements des modes d'occupation et d'usages des sols. Une approche comparative. *Revue Internationale de Géomatique*, 21 (3), 405-430.
- Mena C. F., Walsh S. J., Frizzelle B. G., Xiaozheng Y., Malanson G. P. 2011. Land use change on household farms in the Ecuadorian Amazon: Design and implementation of an agent-based model. *Applied Geography* 31 (1):210-222.
- Paegelow M., Camacho Olmedo M.T., Mas J.F., Houet T. 2014, Benchmarking of LUCC modelling tools by various validation techniques and error analysis. *Cybergeog*, document 701, mis en ligne le 22 décembre 2014.
- Paegelow M., Camacho Olmedo M.T. (coord.), 2008, *Modelling Environmental Dynamics. Advances in geomatic solutions. Springer, series: Environmental Science and Engineering*, 390 p.
- Pan W. K.Y., Walsh S. J., Bilsborrow R. E., Frizzelle B. G., Erlien C. M., Baquero F. 2004. Farm-level models of spatial patterns of land use and land cover dynamics in the Ecuadorian Amazon. *Agr.Eco.Env.* 101:117-134.
- Rudel T. K, 2006. After the labor migrants leave: The search for sustainable development in a sending region of the Ecuadorian Amazon. *World Development* 34, 838–851.
- Saqalli M., Biellers C. L., Defourny P., Gérard B. 2010. Simulating rural environmentally and socio-economically constrained multi-activity and multi-decision societies in a low-data context: a challenge through empirical agent-based modeling. *JASSS* 13 (2).
- Silveira, J.J., Espíndola, A.L., Penna, T.J.P., 2006. Agent-based model to rural–urban migration analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 364, 445–456.
- Thiriot S., Kant J.-D. 2008. Generate country-scale networks of interaction from scattered statistics. *European Social Simulation Association, Brescia, Italy*.
- Walsh S. J., Messina J. P., Mena C. F., Malanson G. P., Page P. H. 2008. Complexity theory, spatial simulation models, and land use dynamics in the Northern Ecuadorian Amazon. *Geoforum* 39:867-878.