

## Le modèle PASHAMAMA-MONOIL : impacts des activités pétrolières en Équateur

Depuis les années 1970, la partie nord de l'Orient (Amazonie équatorienne) est colonisée du fait de l'effet conjoint d'une forte incitation étatique à cette colonisation par les habitants des Andes et de l'exploitation pétrolière, ce qui est à l'origine de nouvelles routes et de pollutions. Le modèle PASHAMAMA-MONOIL cherche à évaluer les impacts combinés de ces dynamiques à la fois sur l'environnement et sur la population humaine en reproduisant la poussée démographique, principalement par immigration, et les expositions aux pollutions pétrolières au cours du temps. Ce modèle, construit sur la plateforme de modélisation GAMA (cf. ci-dessous), est à base d'agents et spatialisé. Il sert de base pour une étude rétro-prospective :

- rétrospective des dynamiques passées (démographiques, environnementales et de contamination) ;
- prospective (scénarios) selon les politiques futures, les prix du pétrole ou des produits agricoles, la démographie, etc.

Le modèle a été développé par les UMR IRIT et GEODE ainsi que leurs partenaires\*, sur trois zones d'étude : Pacayacu, Joya de Los Sachas et Dayuma. Il intègre deux dynamiques principales :

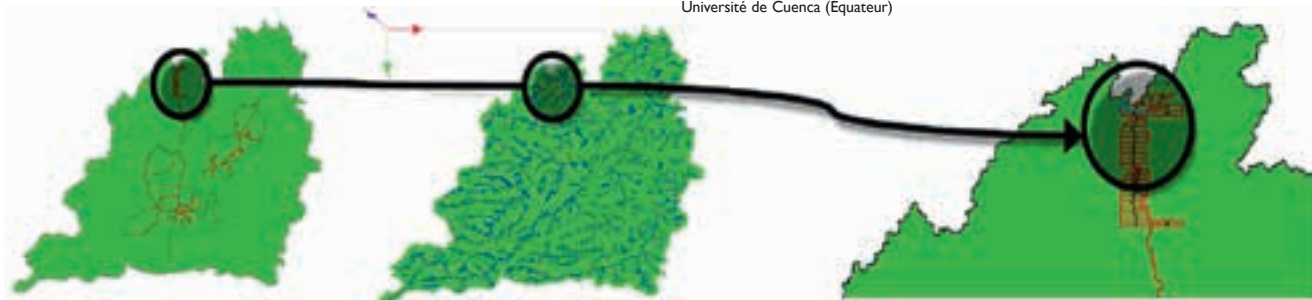
- Les compagnies pétrolières construisent des routes, des oléoducs et autres infrastructures. Celles-ci occasionnent des fuites, des ruptures et autres accidents qui produisent une pollution pétrolière locale se déversant dans les cours d'eau pour ensuite affecter les sols alentours, les exploitations agricoles et les personnes.

- Des colons, venus des Andes, de la Côte mais aussi du sud de l'Amazonie, s'installent et prennent des concessions agricoles qu'ils choisissent aussi proches des routes que possible et y produisent des cultures vivrières et commerciales.

Les données spatiales, infrastructures pétrolières et routes, proviennent du ministère équatorien de l'Environnement ainsi que des gouvernements locaux et les données démographiques de l'Institut National du Recensement équatorien. La typologie des agriculteurs se base sur des enquêtes agricoles, anthropologiques et économiques réalisées de 2014 à 2016.

**Contacts :** B. Gaudou (UMR IRIT), benoit.gaudou@ut-capitole.fr, M. Belém (WASCAL), mahamadou.belem@gmail.com, M. Saenz (Université de Cuenca), msaenz47@gmail.com, M. Paegelow, paegelow@univ-tlse2.fr, N. Maestriperi, maestriperi@univ-tlse2.fr, M. Saqalli, mehdi.saqalli@univ-tlse2.fr et L. Houssou, jaderne@gmail.com (UMR GEODE)

\* West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL, Burkina Faso) et Université de Cuenca (Équateur)



▲ Exemple d'un accident entraînant une pollution dans le site de Dayuma et affectant les zones colonisées. © L. Houssou & M. Saqalli

## GAMA : une plateforme accessible à tous de modélisation et simulation à base d'agents des systèmes complexes

La modélisation à base d'agents connaît aujourd'hui un succès grandissant pour l'étude des systèmes complexes. Cette approche consiste à étudier un système en modélisant les entités qui le composent sous la forme d'entités informatiques autonomes, appelées agents, ayant leurs propres caractéristiques et comportements. Le concept d'agent, qui provient de l'intelligence artificielle, est versatile : un agent peut représenter différents types et niveaux d'entités, par exemple un être humain, une maison, un groupe social ou une ville. Un modèle à base d'agents peut fournir des informations pertinentes sur la dynamique du système qu'il représente au travers de l'interaction des agents. Il peut également être utilisé comme un laboratoire virtuel pour tester et prévoir l'impact de nouvelles politiques. Enfin, il peut servir de média de discussion dans le cadre de processus de modélisation et simulation participatifs. La construction d'un modèle à base d'agents requiert un travail important de programmation informatique car elle nécessite de décrire sous la forme d'algorithmes l'ensemble des agents ainsi que leurs comportements. La plateforme open-source GAMA, qui est développée depuis 2007 par un consortium d'équipes de recherche



sous l'impulsion de l'unité mixte internationale (UMI) UMMISCO vise à aider les modélisateurs à réaliser ce travail. GAMA est une plateforme générique (adaptée à tout type d'application), qui permet de construire à l'aide d'un langage de modélisation simple d'accès, le GAML, le contenu d'un modèle. Elle connaît depuis quelques années un essor important grâce à sa capacité à construire et simuler des modèles à large échelle, comprenant des centaines de milliers d'agents et des données géographiques détaillées. Elle dispose également d'outils de visualisation 3D avancés ainsi que d'outils dédiés à la construction de jeux sérieux. Cette plateforme est aujourd'hui utilisée dans le cadre de nombreux projets de recherche touchant à des problématiques aussi variées que l'épidémiologie, l'évolution de l'occupation des sols, les risques naturels ou technologiques, la gestion des ressources naturelles ou encore la mobilité urbaine.

**Contacts :** P. Taillandier (UR MIAT), patrick.taillandier@inra.fr, B. Gaudou (UMR IRIT), benoit.gaudou@ut-capitole.fr, A. Drogoul (UMI UMMISCO), alexis.drogoul@ird.fr

**Plus d'informations :** <http://gama-platform.org>



▲ Capture d'écran d'une simulation du trafic routier de la ville de Rouen réalisée avec GAMA.

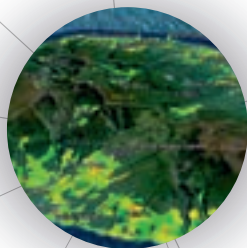
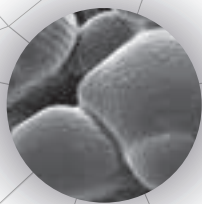


◀ Capture d'écran d'une simulation concernant la qualité de l'air intérieur réalisée avec GAMA.

*les dossiers*  
**d'AGROPOLIS**  
**INTERNATIONAL**

*Compétences de la communauté scientifique  
en région Occitanie*

**SYSTÈMES COMPLEXES**  
*de la biologie aux territoires*



**Numéro 23**  
Juin 2018

# AGROPOLIS INTERNATIONAL

agriculture • alimentation • biodiversité • environnement

## **Implanté en Occitanie, Agropolis International réunit un ensemble exceptionnel d'organismes et d'institutions impliqués dans les sciences vertes.**

Fondée par les établissements régionaux de recherche et d'enseignement supérieur, avec le soutien de l'État et des collectivités territoriales, l'association Agropolis International est, depuis son origine, un espace de travail dédié au collectif.

Ainsi, Agropolis International met en lien les différents acteurs investis dans les domaines de l'Agriculture, l'Alimentation, l'Environnement et la Biodiversité :

- Les institutions de la communauté scientifique régionale
- Les organismes de recherche étrangers et internationaux
- Les collectivités territoriales
- Des acteurs du transfert, de l'innovation, du développement économique
- Des structures de la société civile

En rassemblant un aussi grand nombre d'institutions et en s'appuyant sur une communauté scientifique d'une telle importance, **Agropolis International est devenu le premier pôle de France en agro-environnement, orienté vers les problématiques de la Méditerranée et les pays du Sud.**

Espace d'échanges et de dialogues, de formation et de capitalisation des savoirs, laboratoire d'idées, structure d'appui aux projets collectifs et de promotion à l'international, lieu d'accueil de structures et d'événements... Agropolis International décline et adapte son savoir-faire acquis depuis plus de 30 ans, dans les grandes missions que lui confient ses membres.

La communauté scientifique Agropolis International est structurée en grands domaines thématiques correspondant aux grands enjeux scientifiques, technologiques et économiques du développement.

### **Les thématiques de recherche et d'enseignement de la communauté d'Agropolis International :**

- Agronomie, plantes cultivées et systèmes de cultures, agro-écosystèmes
- Alimentation, nutrition, santé
- Biodiversité et écosystèmes aquatiques
- Biodiversité et écosystèmes terrestres
- Eau, ressources et gestion
- Économie, sociétés et développement durable
- Écotecnologies
- Interaction hôte-parasites et maladies infectieuses
- Modélisations, information géographique, biostatistiques
- Production et santé animales
- Ressources génétiques et biologie intégrative des plantes
- Une filière emblématique : la vigne et le vin

### **Quelques chiffres de la communauté scientifique Occitanie Est :**

- 27 institutions d'enseignement supérieur et de recherche
- 35 infrastructures de recherche ouvertes interinstitutionnelles et interdisciplinaires
- 150 parcours de formation
- 2 700 chercheurs et enseignants répartis dans 74 unités de recherche
- 300 chercheurs expatriés dans 50 pays
- 5 000 étudiants français et internationaux
- 1 000 chercheurs internationaux accueillis

## Compétences de recherche en région Occitanie sur les « systèmes complexes »

Le 1<sup>er</sup> janvier 2016, les anciennes régions Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées fusionnaient pour devenir la nouvelle région Occitanie / Pyrénées-Méditerranée (réforme territoriale de 2015). Aussi, ce numéro de la série *les dossiers d'Agropolis International* présente des acteurs scientifiques conduisant des activités de recherche en lien avec les systèmes complexes et, pour la première fois, sur l'ensemble de cette nouvelle région. Cette communauté scientifique regroupe 44 équipes de recherche (unités de recherche, de service, équipes d'accueil et de projet, observatoires). Plusieurs structures fédératives animent et coordonnent les activités scientifiques de ces équipes : un institut, six « laboratoires d'excellence » (LabEx), un « équipement d'excellence » (EquipEx) et un « Institut Convergences ». Enfin, plusieurs infrastructures de recherche et des centres de données et de calculs, d'envergure nationale et européenne, existent également en Occitanie et constituent des dispositifs essentiels au traitement des systèmes complexes.

Ce dossier, initié en 2013 par Fabien Boulrier et finalisé par Isabelle Amsallem (Agropolis International), vise à mieux faire (re)connaître la communauté montpelliéraine des systèmes complexes dans le cadre du Réseau national des systèmes complexes (RNSC). Depuis, l'ouverture à la communauté toulousaine a fait de cet ensemble Occitanie un des dispositifs significatifs dans le domaine aux niveaux national et européen ! Agropolis International est bien ici dans ses fonctions de mise en valeur des compétences scientifiques de cette nouvelle région dans un domaine qui est clairement sorti d'une certaine marginalité initiale. Il devient de plus en plus nécessaire, aussi bien intellectuellement que du point de vue opérationnel, de ne pas commencer par chercher à réduire la complexité des phénomènes étudiés et qu'il faut se donner les moyens de les aborder dans la richesse des interactions d'un monde qui enchevêtre de plus en plus processus sociaux et naturels !

Sans être exhaustif, ce dossier a ainsi pour ambition d'offrir au lecteur un panorama de ces acteurs scientifiques régionaux à travers des exemples concrets d'activités qu'ils développent en lien avec les systèmes complexes selon trois grands champs thématiques : Collecte et gestion des données ; Compréhension et analyse des systèmes complexes ; Modes d'utilisation de l'approche « systèmes complexes ».

Enfin, parmi les nombreuses formations dispensées en région Occitanie, diplômantes ou non, en lien avec les « systèmes complexes », seuls quelques exemples de formations consacrées spécifiquement à une meilleure maîtrise conceptuelle ou instrumentale des systèmes complexes, sont présentés. Toutefois, il existe un large choix de formations diplômantes (de bac+2 à bac+8) qui abordent le champ des « systèmes complexes ». La liste de ces formations est disponible sur le site d'Agropolis International ([www.agropolis.fr/formation](http://www.agropolis.fr/formation)) et de l'Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées ([www.univ-toulouse.fr/formation/formation-toutau-long-de-la-vie/trouver-uneformation](http://www.univ-toulouse.fr/formation/formation-toutau-long-de-la-vie/trouver-uneformation)).

**Bernard Hubert**  
Conseiller du Président d'Agropolis International

# Systemes complexes de la biologie aux territoires

## Avant-propos

4

## Systemes complexes, collecte et gestion des données

7

- Récolte des données 9
- Mise en sens des données 12
- Mise à disposition : accessibilité et interopérabilité des données 19

## Compréhension et analyse des systèmes complexes

23

- Dynamique des organismes 25
- Dynamique des populations 33
- Dynamique des écosystèmes 40
- Gestion des territoires 46

## Mode d'utilisation de l'approche « systèmes complexes »

55

- Usage des observatoires 57
- Aide à la décision multicritère 60
- Participation et concertation 64
- Nouveaux modèles pour la décision 68

## Les structures fédératives de recherche en lien avec les systèmes complexes

70

## Thématiques couvertes par les structures de recherche

72

## Les formations dans le domaine des « systèmes complexes » en Occitanie

76

## Liste des acronymes et abréviations

78

Photos de couverture :  
Méristème apical d'*Arabidopsis thaliana* © Jan Traas  
Simulation stochastique d'un manguier © F. Boudon/Cirad/Inria  
Distribution spatiale de la densité d'*Aedes Albopictus* dans l'île de La Réunion.  
© Annelise Tran/Cirad/Projet Alborun (ARS Océan Indien)  
Illustration issue de pixabay sous © CC0 public domain