

## Environnement-santé : modélisation multi-échelle de systèmes épidémiologiques

Comprendre, modéliser et prédire le comportement des systèmes éco-épidémiologiques associés aux maladies vectorielles impliquent de considérer l'homme, le(s) vecteur(s), le(s) agent(s) pathogène(s), le(s) réservoir(s) de ces pathogènes, ainsi que les interactions entre ces éléments à différentes échelles spatiales et temporelles. Les propriétés de ces éléments et leurs interactions dépendent de multiples facteurs (génétique, sociodémographique, environnemental, etc.). L'UMR ESPACE-DEV et ses partenaires\* étudient les relations environnement-santé (maladies vectorielles humaines en milieu intertropical), avec une approche interdisciplinaire. La notion d'échelle, au cœur des réflexions méthodologiques, est abordée de manière variée, par exemple :

- Les distributions spatiales des vecteurs de la maladie de Chagas dans une localité brésilienne et les taux d'incidence du paludisme dans un village de Guyane française sont étudiés *via* la décomposition en coordonnées principales de matrices de voisinages pondérés. Des méthodes avancées d'analyse factorielle permettent d'identifier les facteurs environnementaux et sociodémographiques explicatifs des composantes spatiales, et leur importance relative, selon les échelles d'analyse et zones considérées.
- La modélisation de la distribution spatiale de la dengue aux niveaux régional (Pacifique Sud), territorial (communes, Nouvelle-Calédonie) et local (quartier, Nouméa) a montré l'intérêt d'une approche multi-échelle (cf. fig. 1 ci-contre).
- Sur l'île de La Réunion, la spatialisation d'un paramètre-clé d'un modèle de prédiction des densités d'*Aedes albopictus* (vecteur de la dengue et du chikungunya) permet de lier l'échelle du gîte larvaire et celle de l'île entière. Cette spatialisation s'appuie sur une carte d'occupation du sol dérivée de données satellitaires et sur des modélisations mécanistes et statistiques (cf. fig. 2 ci-dessous).
- En Indonésie, les principaux facteurs de la dynamique de diffusion du chikungunya ont été pris en compte pour construire un modèle multi-agent qui permet d'élaborer des scénarios à destination des acteurs de la santé. Ces travaux contribuent à élaborer des outils de planification des actions de prévention des épidémies et de lutte anti-vectorielle à différentes échelles.

**Contacts :** E. Roux, emmanuel.roux@ird.fr, M. Mangeas, morgan.mangeas@ird.fr et V. Herbretreau, vincent.herbretreau@ird.fr (UMR ESPACE-DEV)

**Collaborateurs :** N. Dessay, M. Fargette et T. Libourel (UMR ESPACE-DEV)

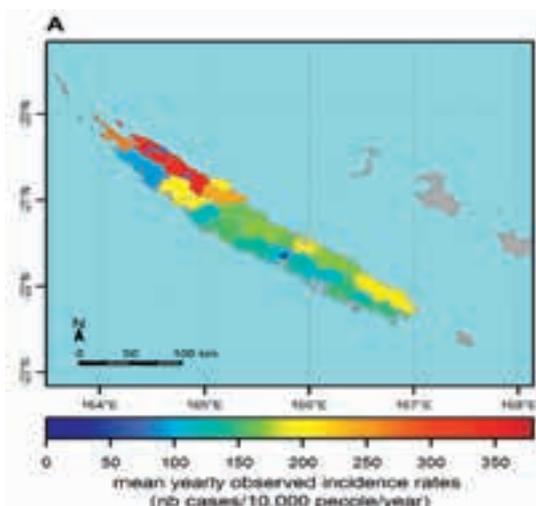
**\*Partenaires :**

Études Réunion : Cirad/AGIRs, ARS-Réunion, bureau d'étude Marie Demarchi, Univ. Réunion ;

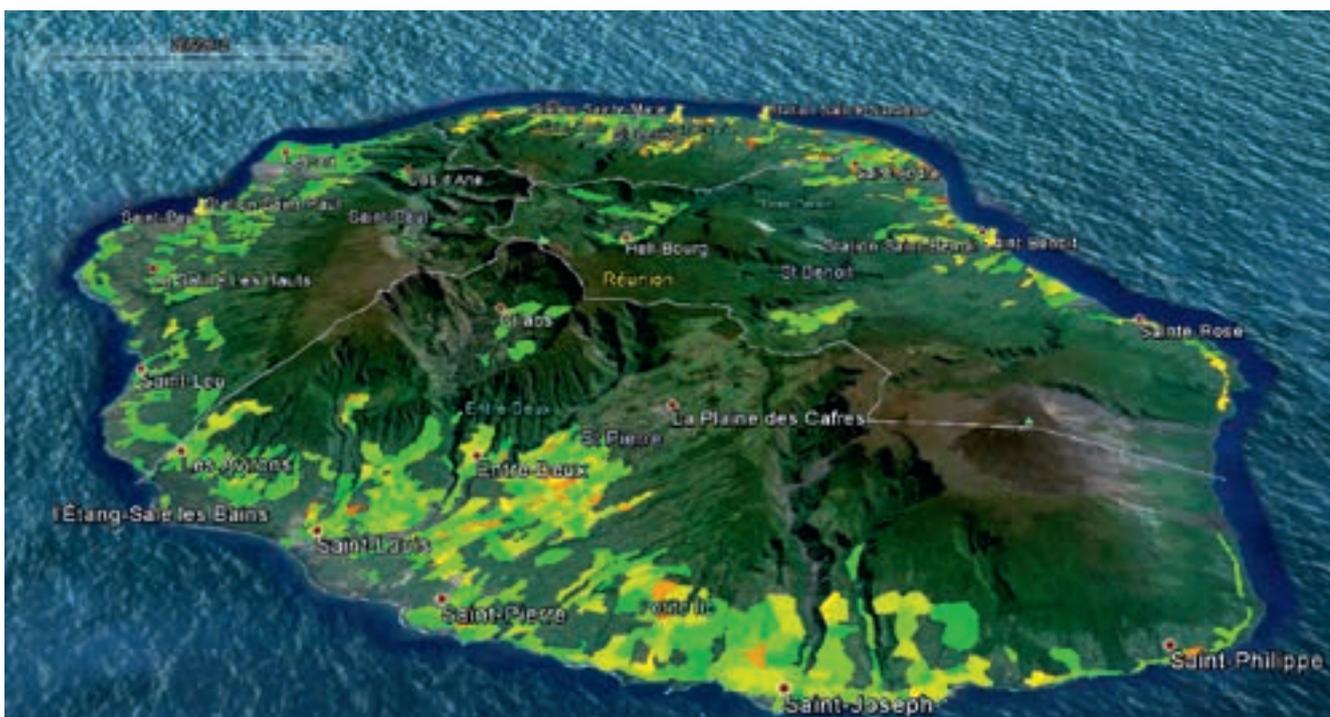
Études Guyane : UnB/CDS (Brésil), Univ. Paris Descartes, UM, UG/EpaT ;

Études Nouvelle-Calédonie : DASS-NC, SIPRES Mairie de Nouméa, Institut Pasteur NC ;

Étude Indonésie : UM, Center for Tropical Medicine, Faculty of Medicine, Gadjah Mada University, Sukoharjo Regency Health Center, Center of Java.



▲ Figure 1. Distribution spatiale de l'incidence de la dengue en Nouvelle-Calédonie.



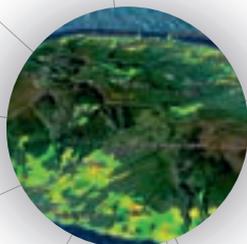
▲ Figure 2. Distribution spatiale de la densité d'*Aedes Albopictus* dans l'île de La Réunion.

© Annelise Tran/Cirad/Projet Alborun (ARS Océan Indien)

*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