

## Développement de modèles « mécanistiquement riches » pour appréhender la complexité des relations populations-environnements

La gestion des rongeurs sauvages dans les zones agricoles nécessite une bonne compréhension du fonctionnement de ces populations. La géographie, l'écologie, la biologie, l'éthologie, etc., mettent chacune en évidence des facteurs explicatifs distincts des dynamiques observées qui sont tous légitimes. L'étude par simulation de l'effet conjoint et simultané de ces déterminants et de leur inter-dépendance peut apporter des clés pour une meilleure compréhension du fonctionnement de ces populations. L'approche dite des « modèles mécanistiquement riches » (DeAngelis et Mooij, 2003) vise à rendre compte de tels systèmes. Fondée sur l'utilisation de simulateurs individus centrés, elle cherche à intégrer la part la plus significative des processus connus. La figure ci-dessous présente un exemple de résultats produits par un tel modèle de populations de campagnols dans un paysage agricole variable. Les comportements saisonniers ou sexuels, la transmission génétique entre

individus simulés, les différents itinéraires techniques et la rotation des cultures ont été pris en compte. Chaque agent est semi-autonome et réalise son cycle de vie ainsi que diverses actions en fonction de son statut physiologique, des agents avec qui il a l'occasion d'interagir, de la nature changeante du terrain. Rendre compte de cette complexité permet aux simulateurs de souligner/révéler l'importance de facteurs singuliers liés à la complexité de la Nature représentée tels que la sensibilité à l'évolution des interactions dans le temps (cf. figure ci-dessous).

Contact : J. Le Fur (CBGP), lefur@ird.fr

Plus d'informations : DeAngelis D.L., Mooij W.M., 2003. In praise of mechanistically rich models. In: Canham, C.D., Cole, J.J., Lauenroth, W.K. (Eds.), Models in Ecosystem Science. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, pp. 63–82.



◀ Résultats de simulations par pas de temps quotidien pendant 5 ans d'une population de campagnol des champs (*Microtus arvalis*) dans un paysage fragmenté dynamique de Poitou-Charentes (France). Les trois cartes présentent des différences entre les distributions de rongeurs obtenues toutes choses égales par ailleurs pour trois populations initialement centrées dont les tailles ( $N_0$ ) ne diffèrent que de 1 pour mille. Les simulations soulignent ici la sensibilité du système modélisé aux trajectoires individuelles et à l'histoire des interactions.

## Réponses régionales de populations à la structure d'un paysage complexe

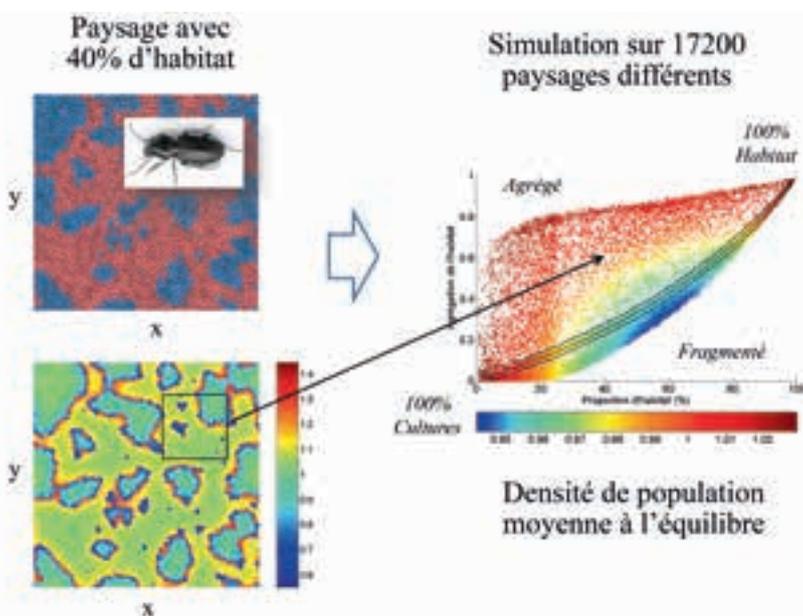
Dans le contexte environnemental actuel, il est important de comprendre l'impact des décisions de gestion des paysages agricoles sur les populations (patrimoniales, nuisibles ou plus communes) qu'ils accueillent. À cette fin, mais aussi pour disposer d'outils pour gérer ces systèmes agricoles complexes, nous avons développé un modèle numérique capable de déduire les dynamiques de populations à l'échelle régionale à partir des comportements (génériques) des espèces cibles à l'échelle locale de l'unité paysagère. Les spécialistes de ces questions écologiques spatiales dissocient les propriétés de composition (i.e. les attributs dominants des unités paysagères, généralement les proportions d'occupation du sol) et de configuration (i.e. les tailles et arrangements spatiaux des unités)

du paysage. Ces propriétés ne sont pas indépendantes. Il a longtemps été supposé que la composition paysagère dominait et guidait les dynamiques régionales des populations présentes. Cette hypothèse a été testée en modélisant, d'une part, une grande diversité de paysages aux compositions et configurations parfaitement contrôlées, et, d'autre part, plusieurs dynamiques de populations locales dans chaque unité paysagère. Le défi consistait à combiner les deux modèles pour réaliser le délicat changement d'échelle et déduire le comportement régional des populations par l'interaction spatiale et temporelle des sous-populations de chaque unité paysagère présente. De façon surprenante, ce modèle a permis de montrer que la réponse régionale (paysage) d'une population

pouvait être très différente de sa dynamique à fine échelle (unité), et pouvait dépendre autant de la configuration que de la composition du paysage. De plus, cette réponse régionale dépend fortement de l'échelle à laquelle on considère l'agrégation des dynamiques locales non-linéaires, et s'avère d'autant plus violente que l'échelle d'agrégation est proche de celle des unités paysagères. Nous espérons que de tels couplages de modèles feront école pour mieux comprendre les systèmes écologiques complexes dont nous dépendons.

Contact : C. Gaucherel (UMR AMAP), cedric.gaucherel@cirad.fr  
Collaborateurs : P. Miguet (UMR AMAP/Centre d'Études Biologiques de Chizé-CBEC), V. Bretagnolle (CBEC)

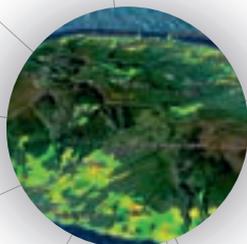
◀ Exemples de réponses fonctionnelles des populations modélisées. Partant d'un ensemble de paysages simulés (à gauche), on modélise également les dynamiques de populations d'insectes génériques au sein de chaque unité paysagère et du paysage dans son ensemble. Les migrations entre ces unités sont également prises en compte, selon la composition et la configuration du paysage (ici de 40 % et 0,6). La population ne parvient pas à s'installer complètement dans le paysage (à droite, faibles densités moyennes en couleurs froides) si les paysages sont plus fragmentés et avec des proportions d'habitats intermédiaires. © C. Gaucherel/Inra.



*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