

Modélisation de la dynamique d'invasion du moustique tigre *Aedes albopictus* dans le Sud de la France

Depuis l'année 2004, le Sud de la France fait face à un nouvel envahisseur. D'abord détecté à la frontière italienne, le moustique tigre a depuis envahi tout le pourtour méditerranéen. Cette invasion biologique n'est pas qu'un problème de nuisance dû à l'agressivité de ce moustique, c'est également une potentielle bombe sanitaire car il peut transmettre de nombreux virus (chikungunya, dengue, zika, etc.). C'est dans ce contexte qu'un partenariat s'est mis en place entre la Direction Générale de la Santé, le Centre National d'Expertise des Vecteurs, les Ententes Interdépartementales de Démoustication (EID-Méditerranée, EID-Rhône Alpes) et l'UMR MIVEGEC pour développer un cadre de modélisation permettant de prédire la dispersion de ce moustique sur le territoire métropolitain. Grâce à la mise à disposition des données de surveillance du moustique tigre sur plus de 1 300 pièges fournies par l'EID, des modèles statistiques ont été développés afin de comprendre la contribution des différents facteurs environnementaux (type d'habitat, température, précipitations, etc.) et humains (transport passif des moustiques adultes par les véhicules notamment) à l'expansion de ce moustique exotique.

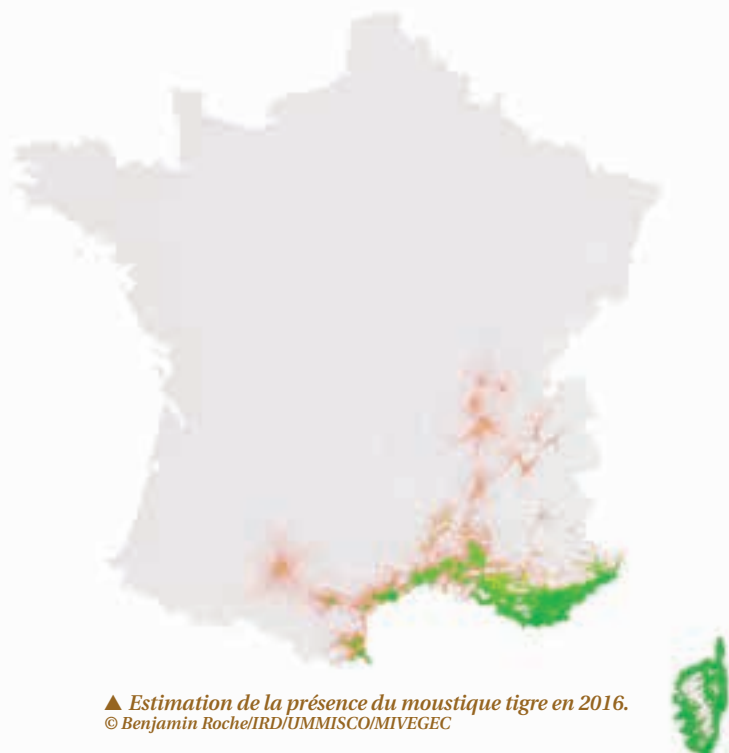
Il a ainsi été possible de mettre en évidence que la dispersion du moustique dans l'hexagone était un phénomène dynamique, avec une expansion en cours vers le Nord et l'Ouest de la France, vers des territoires qui sont aujourd'hui colonisés. Le modèle a également mis en

évidence le rôle majeur joué par l'homme et ses transports, notamment routiers, dans le processus d'invasion en révélant une corrélation étroite avec le réseau autoroutier. Enfin, cette analyse statistique a démontré que le processus d'invasion s'accélère, laissant craindre une arrivée rapide du moustique dans les grandes agglomérations qui apparaissent comme l'environnement privilégié pour l'implantation des propagules. Cette modélisation statistique sophistiquée a ainsi pu permettre aux autorités d'anticiper l'arrivée du moustique tigre dans ces zones qui n'étaient pas préparées pour faire face à cette nouvelle menace sanitaire.

Contacts : B. Roche (UMR MIVEGEC/UMMISCO), benjamin.roche@ird.fr, F. Simard (UMR MIVEGEC), frederic.simard@ird.fr



▲ Le moustique tigre, *Aedes albopictus*.
© Nil Rahola/IRD/MIVEGEC



▲ Estimation de la présence du moustique tigre en 2016.
© Benjamin Roche/IRD/UMMISCO/MIVEGEC

Le comportement explique la démographie

Les populations d'espèces animales évoluées sont constituées d'individus aux caractéristiques différentes. Certaines peuvent être aisément identifiables telles l'âge ou le sexe, mais d'autres, résultant d'interactions complexes entre leur génome et l'environnement, sont plus difficilement atteignables. Parmi les caractéristiques les plus évoluées, on peut citer le comportement. Du fait de son comportement particulier, chaque individu va avoir des interactions propres avec son environnement et ses congénères, et ce comportement va déterminer ses performances démographiques (survie, reproduction) et *in fine* sa valeur sélective. Cependant, les études démographiques classiques traitent les individus comme essentiellement identiques à l'intérieur de grandes catégories. Quant à la science du comportement, l'écoéthologie, elle tend à travailler sur des durées courtes, ne permettant pas facilement la projection des conséquences de ses observations en termes démographiques.

Une étude récente des parades nuptiales du flamant rose montre l'intérêt et la nécessité de rapprocher comportement et démographie. La complexité de la parade favorise l'accès à la reproduction dans cette espèce. Les individus les plus âgés ont en moyenne des parades moins complexes que les individus d'âge moyen et sont donc sous-représentés parmi les reproducteurs, mais, s'ils parviennent à se reproduire, leur probabilité d'amener leur unique poussin à l'envol est identique. L'observation des seuls reproducteurs ne permet donc pas de détecter une sénescence reproductive pourtant bien réelle. Dans d'autres études,

l'intégration du comportement et de la démographie, plus poussée, est faite au niveau même de l'analyse. Ainsi peut-on établir que la mésange charbonnière, fidèle à son partenaire de l'année précédente, a une survie nettement plus élevée, et de plus, une plus grande chance de retrouver le même partenaire l'année suivante, ce qui favorise à la fois la persistance des couples et la survie. Ce genre d'études combinées a toute chance de se développer.

Contacts : R. Pradel, roger.pradel@cefe.cnrs.fr et R. Choquet (UMR CEFE), remi.choquet@cefe.cnrs.fr, A. Béchet (Tour du Valat), bechet@tourduvalat.org

Plus d'informations :
<https://tourduvalat.org/publications/article-sexual-display-complexity-varies-non-linearly-with-age-and-predicts-breeding-status-in-greater-flamingos/>
<https://anticaculina.wordpress.com/my-work-as-evolutionary-biologist-and-zoologist/biology-pair-fidelity-and-divorce-in-monogamous-birds/>

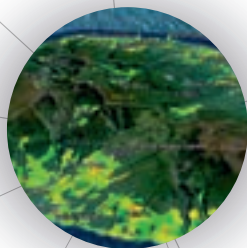
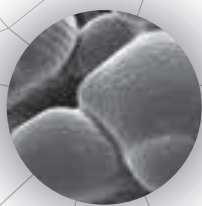


▲ Postures du Flamant-rose.

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^{er} 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) et de l'Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées (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