

## INRA UR0633 - URZF

### « Unité de Recherches de Zoologie Forestière »



L'Unité de Recherche de Zoologie Forestière (URZF) d'Orléans est une unité de recherches de l'INRA (UR633), créée en 1975, et comprenant un total de 18 personnels permanents, dont 8 chercheurs INRA, 1 Maître de Conférences associée, 4 ingénieurs et assistants-ingénieurs, une gestionnaire d'unité et 4 techniciens. Si

l'on prend en compte le personnel non-titulaire, chercheurs contractuels, doctorants, post-doctorants et stagiaires temporaires, son effectif avoisine le plus souvent les 25 à 30 personnes. Elle fait partie du centre INRA Val de Loire et est implantée à Ardon dans une zone forestière propice au développement d'expérimentations de plein champ. Elle entretient des liens forts avec le réseau des entomologistes forestiers (Montpellier, Avignon, Bordeaux) du département INRA EFPA « Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques » auquel elle est rattachée. Sur la période 2011-2016, elle a accueilli 3 chercheurs Le Studium, encadré ou co-encadré 10 thèses, publié 114 articles, dont 63% en commun avec des équipes étrangères (Italie, UK, Espagne, Suisse, USA, Chine, Russie, ...), et dispensé, hors MCU, près de 450 heures ETD à l'université.

L'URZF a pour objectif de comprendre les processus qui régissent la réponse des insectes forestiers aux changements d'ordre anthropogénique. Centrée à l'origine sur la dynamique des populations et les pullulations de ravageurs forestiers, elle s'est positionnée sur cette thématique au cours des années 2000 en passant d'une approche « ravageur-centrée » à une prise en compte plus globale de l'environnement, tandis que dans le même temps l'INRA se dotait d'un département dédié à l'écologie des milieux faiblement anthropisés. Les recherches sont organisées en deux volets thématiques principaux, la réponse au changement climatique et les invasions biologiques, auxquels s'est récemment ajouté un volet transversal sur les interactions entre milieu forestier et non forestier. Pour développer ces recherches, l'URZF associe des entomologistes, des écologistes, des généticiens et des modélisateurs. *In fine*, ces recherches visent à élaborer des outils permettant la gestion des impacts écologiques, économiques ou sanitaires des organismes considérés.



#### 1. Le volet « invasions biologiques »

##### Un problème vieux comme la mondialisation mais qui s'intensifie avec elle

L'intensification des échanges commerciaux au niveau mondial s'est traduite par une croissance exponentielle des transports et des introductions, intentionnelles ou non, d'espèces exotiques par-delà des barrières géographiques naturelles qu'elles ne pouvaient pas franchir seules. Pour les insectes, le processus semble avoir commencé dès les débuts de la révolution industrielle pour s'accélérer depuis l'après-guerre (**figure 1**). En Europe, tous organismes confondus, 12 000 espèces ont été introduites dans des territoires où elles étaient auparavant absentes, transportées soit depuis une

autre région soit depuis un autre continent. Après introduction et établissement dans leur nouvel environnement, une fraction de ces espèces se propage avec des impacts écologiques, sanitaires ou économiques, et sont désignées sous le terme d'« espèce invasive » ou « espèce exotique envahissante (EEE) ». Avec les changements d'usage des sols, la modification des habitats et le changement climatique, les invasions biologiques sont considérées comme une des principales causes d'érosion de la biodiversité. La « biologie des invasions » est devenue une discipline à part entière dans laquelle on cherche à comprendre les traits des espèces facilitant leur « invasivité » et les

caractéristiques des écosystèmes leur conférant une plus ou moins grande « invasibilité ». On cherche également à déterminer les routes majeures d'invasions, dans le but de mieux comprendre les processus mobilisés et de prévenir de nouvelles invasions.

### Les atouts de l'unité dans ce domaine

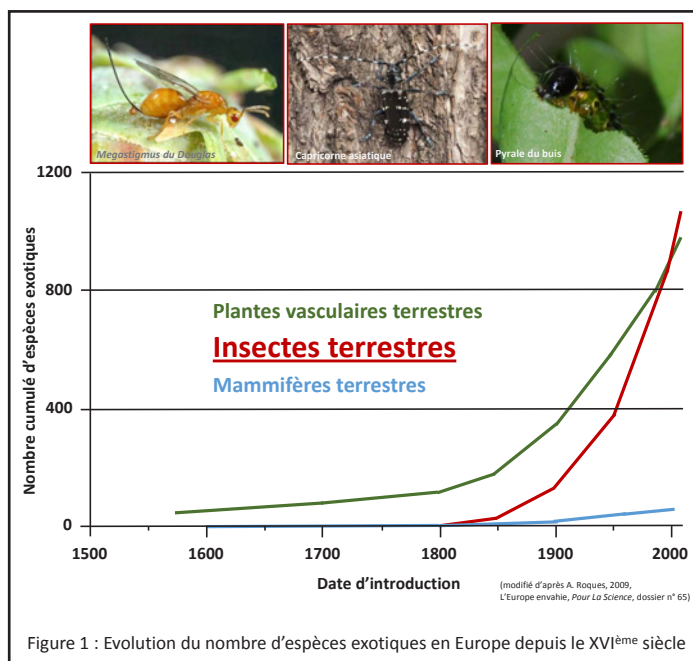
L'unité dispose de compétences en écologie, écophysiologie, modélisation, génétique des populations et systématique moléculaire, ainsi que d'un laboratoire de quarantaine permettant des expérimentations en milieu contrôlé, d'une pépinière avec des essences d'arbres originaires d'autres continents, d'un laboratoire de biologie moléculaire, de techniciens et de véhicules de terrain pour les expérimentations de terrain. Ces atouts lui ont permis de participer à la plupart des projets européens sur ces thématiques depuis le début des années 2000, ainsi qu'à de nombreux articles et ouvrages de synthèse. Hors Europe, elle bénéficie en effet également de relations fortes avec l'*U.S. Department of Agriculture* (USDA) aux Etats-Unis, l'Académie des Sciences de Russie et l'Académie des Sciences de Chine, ce dernier pays étant désormais considéré comme la principale source d'espèces invasives.

### Les espèces invasives étudiées dont certaines bien connues en région

Dans le cadre de projets européens, ministériels ou régionaux, nous avons plus particulièrement travaillé sur la mineuse du marronnier (*Cameraria ohridella*), les insectes des graines (hyménoptères du genre *Megastigmus* et la punaise américaine *Leptoglossus occidentalis*), le nématode du pin (*Bursaphelenchus xylophilus*) et son vecteur (coléoptères du genre *Monochamus*), le capricorne asiatique (*Anoplophora glabripennis*), le termite de Saintonge (*Reticulitermes flavipes*), le frelon asiatique (*Vespa velutina*) et plus récemment la pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*). Une partie de ces études a été réalisée dans le cadre de projets d'intérêt régional coordonnés soit par l'URZF soit par l'IRBI (Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte, CNRS-Université de Tours).

### De la forêt à l'arbre d'ornement et à son commerce

En ce qui concerne l'ensemble des insectes phytophages et en particulier les insectes forestiers phyllophages, séminiphages ou xylophages qui intéressent l'unité, il a été montré que le commerce de plantes d'ornement est devenu le premier pourvoyeur d'espèces invasives. Le traçage



génétique des voies d'invasion nous a permis de montrer dans plusieurs cas l'existence d'effets « tête de pont » (*bridgehead effect*) où un des premiers foyers d'invasion sert de source aux suivants pour d'autres régions du monde. Ce phénomène traduit le rôle fondamental de la mondialisation économique et de l'intensification des échanges commerciaux dans ces processus. L'URZF s'intéressant à l'origine uniquement au milieu forestier, prend en compte désormais de plus en plus les milieux urbains intégrant les arbres d'ornement. De ce fait, nous avons développé ces dernières années des partenariats avec des gestionnaires de milieux urbains (Plante&Cité, Fredon, collectivités territoriales...) même si nous collaborons toujours avec notre partenaire d'aval historique, le département de la santé des forêts (DSF) du ministère de l'agriculture.

### Une question émergente : les invasions fulgurantes

Actuellement, l'unité s'intéresse au phénomène des invasions fulgurantes : depuis les années 1990, on observe une absence de saturation des écosystèmes en insectes exotiques dont le nombre continue d'augmenter. De plus, une fois introduits en Europe, ces insectes se propagent de plus en plus rapidement et leur vitesse d'expansion initiale a été en moyenne multipliée respectivement par 3 et 4 entre la période 1990-2009 et les périodes 1950-1969 et 1970-1989. A l'instar des échanges et des transports accidentels intercontinentaux, l'hypothèse est qu'il s'agit d'une conséquence de l'augmentation des échanges intra-continentaux liée à des changements d'ordre géopolitique

comme la chute du mur de Berlin et l'extension du marché unique. Ces événements ont alors favorisé les introductions en de multiples points du territoire via des phénomènes « tête de pont » et permettent aux espèces de se propager plus vite que par leurs seuls moyens. L'Europe est l'une des régions du monde où le volume par habitant de plantes vivantes importées est le plus élevé et a le plus augmenté depuis 1995. Comme dans le reste du monde on assiste à une intensification de la production horticole, une concentration des entreprises dans le domaine de la production et de la distribution (avec de grands hubs commerciaux), et à une augmentation du nombre d'espèces végétales commercialisées. Par exemple, avec 2 millions de pieds de buis achetés chaque année par les français, la pyrale du buis est un modèle par excellence pour s'intéresser à cette question et fait actuellement l'objet d'un projet d'intérêt régional (INCA 2015-2018) du fait de ses impacts sur le patrimoine naturel (buxaies natives) et culturel (jardins à la française).

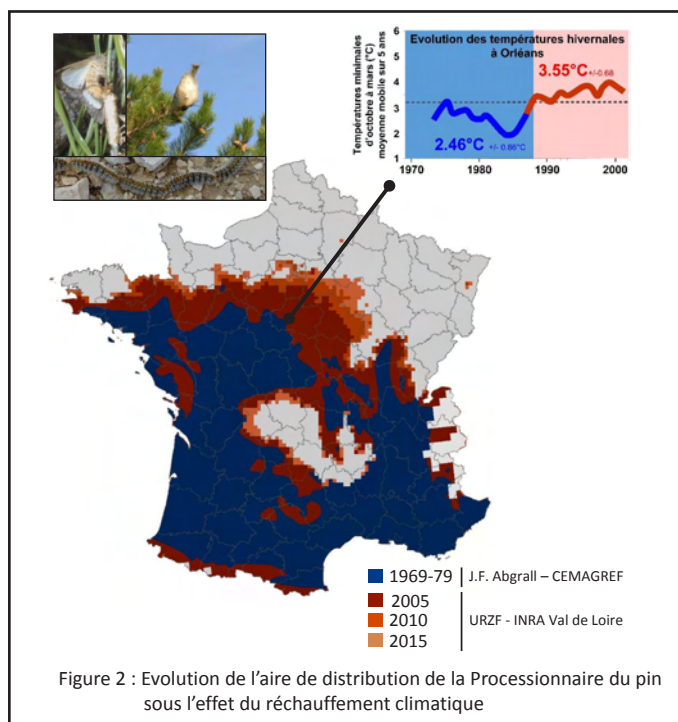
### Prévenir plutôt que guérir

Jusqu'à récemment l'activité de l'URZF était essentiellement tournée vers la compréhension des patrons d'invasions. Depuis quelques années, nous nous sommes également positionnés sur la recherche de méthodes de détection précoce, comme le piégeage multispécifique dans les lieux d'arrivée que sont les ports et les aéroports, mais aussi sur des approches novatrices et originales permettant d'anticiper l'arrivée de nouvelles espèces. Etant donné l'origine majoritairement chinoise des insectes exotiques établis en Europe, l'URZF a initié l'installation de plantations d'arbres sentinelles en Chine pour identifier précocement des espèces d'insectes susceptibles de coloniser des arbres européens s'ils étaient transférés. Cette approche est au cœur de la création en 2018 d'un laboratoire international de coopération entre l'URZF d'un côté et le « Beijing Key Laboratory of Forest Control » de l'université forestière de Pékin et l'Institut de Zoologie de l'académie chinoise des sciences de l'autre.

## 2. Le volet « réponse des organismes au changement climatique »

### Un besoin de réponses biologiques clairement attribuables au réchauffement climatique

L'émission anthropogénique de gaz à effet de serre s'est traduite par une élévation des températures de 0,85°C de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle au début du XXI<sup>ème</sup>. Fin des années 1990 et surtout courant des années 2000, s'est posée la question de l'existence de réponses avérées des organismes au changement climatique. De nombreuses observations montraient, en particulier chez les plantes et les animaux ectothermes, des signes de réponses correspondant à une phénologie plus précoce (apparition d'une phase du cycle biologique plus tôt dans l'année), une modification de l'abondance et de la dynamique des populations ou encore de l'aire de distribution. Par exemple, la montée vers le nord ou en altitude de nombreuses espèces de lépidoptères, parallèlement à celle des isothermes, est cohérente avec un effet d'un réchauffement du climat. Toutefois, dans le même temps, les organismes vivants faisaient face également à plusieurs changements globaux, dont des modifications des habitats elles aussi liées aux activités humaines. Corrélation entre évolution d'aires de distribution et des températures ne prouvait pas à elle seule l'existence



d'une relation directe de cause à effet.

### La processionnaire du pin : un modèle de choix

Au début des années 2000, nous avons principalement utilisé la processionnaire du pin, insecte d'origine méditerranéenne, pour répondre à ces questions avec une approche pluridisciplinaire. La processionnaire du pin est une espèce qui pré-

sente plusieurs avantages : (i) des données historiques sont disponibles car ses larves défoliatrices et urticantes impactent non seulement les arbres, mais aussi la santé humaine et animale, et font l'objet de surveillance et de recherches depuis des décennies ; (ii) cet insecte fait son développement larvaire en hiver et est donc très sensible aux variations de température ; (iii) les larves sont grégaires et tissent des nids en forme de grosses boules blanches facilement détectables dans les arbres, rendant cette espèce facilement cartographiable à large échelle. Nous avons ainsi pu suivre l'évolution spatiale de son aire de répartition à l'échelle nationale tous les 5 ans selon une méthode standardisée (**figure 2**). Le front de colonisation a même été enregistré en 2011 à l'échelle du continent, de l'Atlantique à la Mer Noire grâce au réseau euro-méditerranéen PCLIM coordonné par l'unité.

À l'aide d'approches mêlant expériences de terrain et de laboratoire en France, en Autriche et en Italie, nous avons pu montrer l'existence d'une relation directe entre l'augmentation des températures minimales d'octobre à mars et l'expansion de son aire de répartition en région Centre Val de Loire et dans les Alpes, via la physiologie de l'insecte et les températures requises pour son alimentation et sa survie. Le recours aux outils et aux concepts de la génétique des populations a également permis de valider le modèle de dispersion des adultes ailés utilisé, en plus des paramètres de survie, pour la modélisation mathématique de l'expansion. L'évolution de l'aire de distribution de cette espèce est pour cette raison devenue un des premiers indicateurs de l'Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) et a été citée dans le rapport du GIEC de 2007 sur l'évaluation des changements et des réponses dans les systèmes naturels et gérés. Nous avons également pu démêler les rôles respectifs de l'évolution du climat et des paysages (projet d'intérêt régional ADRIEN 2012-2015). Alors que le climat était le facteur limitant l'expansion jusqu'au début des années 1990, la ressource en plante-hôte, variant dans l'espace, s'est avérée être capable de moduler la vitesse d'expansion selon les territoires et de fournir des pistes de gestion paysagère. Un ouvrage de synthèse sur la processionnaire associant 101 auteurs de 22 pays a été publié en 2015.

### Réchauffement climatique... mais aussi dérèglement

Ce modèle est également au centre d'une approche sur l'impact du changement climatique sur les dérèglements de la phénologie de l'insecte,

notamment au travers d'une thèse (2018-2021) financée par la région Centre Val de Loire (co-direction INRA URZF Orléans, IRBI CNRS-Université de Tours). L'augmentation moyenne des températures s'accompagne aussi d'une fréquence accrue d'aléas climatiques et d'événements extrêmes de plus en plus fréquents, comme des vagues de chaleur estivales ou automnales, mais aussi des vagues de froid hivernales qui sont susceptibles de perdurer tout au long du XXI<sup>ème</sup> siècle. Les observations disponibles indiquent que la processionnaire du pin répond à ce type de changement, pas seulement par une modification de sa répartition spatiale, mais aussi par une évolution temporelle de sa phénologie au cours de l'année. Connue pour varier géographiquement en fonction des contraintes climatiques, la phénologie semble évoluer localement mais apparaît aussi de plus en plus variable entre années. Ce phénomène se traduit par une imprévisibilité et un allongement des périodes à risques sanitaires, et une difficulté croissante à mettre en œuvre les méthodes de lutte qui ciblent un stade de développement précis. Pour cette raison, gestionnaires, collectivités territoriales, agences régionales de santé, organismes de défense contre les espèces nuisibles s'intéressent de plus en plus à cette espèce, d'autant qu'elle est aujourd'hui autant urbaine que forestière.

### La réponse d'une espèce est un compromis entre plusieurs contraintes

Nous nous sommes d'abord focalisés sur la sensibilité des larves âgées aux froids hivernaux, laissant de côté notamment la probable sensibilité des jeunes larves aux premiers gels automnaux mais aussi aux chaleurs estivales. Or, la canicule de 2003 a entraîné un effondrement et un recul des populations en région Centre Val de Loire. Ceci pose la question de comment la processionnaire répondra à la fois (1), à l'augmentation des moyennes hivernales, qui lui sont bénéfiques, et (2) à la fréquence accrue d'épisodes caniculaires, qui lui sont néfastes. La plupart des études se focalise sur l'effet de contraintes climatiques à un stade donné sans s'intéresser à des effets en cascade sur les autres stades et à des effets non-additifs. Changer de phénologie peut permettre à un stade donné d'éviter une contrainte, mais, sur l'ensemble du cycle, il existe vraisemblablement des compromis limitant le champ des réponses possibles. La distribution spatiale est probablement elle-même contrainte par la réponse phénologique. C'est une question complexe que nous ambitionnons d'adresser à travers l'étude de la phénologie de la processionnaire du pin, qui constitue là aussi un modèle de choix malgré les problèmes d'hygiène et sécurité qui y sont associés.

### 3. Un volet transversal

#### Le paysage, théâtre des changements globaux

Les changements globaux interagissent entre eux. En particulier, les invasions biologiques et les expansions sous l'effet du changement climatique relèvent en partie de processus similaires. Ces événements prennent place dans des paysages hétérogènes, avec des compartiments cultivés et sauvages, et des trames de milieux forestiers, humides, aquatiques, ... Les invasions / expansions sont donc également conditionnées par les changements d'usage des sols et les pratiques culturelles. La Beauce qui n'est pas réputée pour son caractère forestier aurait a priori dû être une barrière à l'expansion de la processionnaire du pin vers le nord. Nous avons montré qu'elle a en fait été un corridor grâce aux villes, villages et hameaux qui « irriguent » ce territoire en pins et cèdres ornementaux. Ces arbres qu'on ne perçoit pas, et les flux d'insectes associés encore plus invisibles, font partie de ce que Bernard Chevassus-au-Louis a qualifié lors du lancement de l'Observatoire Régional de la Biodiversité de « matière noire » de la biodiversité et constitue un enjeu en matière de gestion de l'environnement. Dans le domaine des invasions, on observe que de nombreux invasifs forestiers s'installent en premier lieu dans des milieux artificialisés de leur zone d'introduction, en particulier dans les villes qui constituent des terres d'accueil, avant d'éventuellement partir vers les milieux forestiers. Nous avons ainsi pu constater que la pyrale du buis est passée en Chine des milieux forestiers aux zones de production horticoles et aux milieux urbains. C'est à partir de ces zones artificialisées qu'elle a été introduite accidentellement vers les zones commerciales et urbaines européennes avant de coloniser les milieux fores-

tiers. La forêt ne doit donc plus être perçue comme un milieu cloisonné sans interaction avec les autres, et notamment avec le compartiment ornemental. Cela pourra nous amener dans les années à venir à développer des collaborations avec les sciences humaines, économiques et sociales pour comprendre comment la connectivité du paysage se construit au travers de nos choix de plantations et de nos achats, afin d'identifier des leviers de gestion. D'un point de vue plus général, l'URZF poursuivra l'étude des insectes forestiers par des approches pluridisciplinaires à plusieurs échelles spatio-temporelles dans le contexte actuel et original de la perméabilité des compartiments.

Site web : <https://www6.val-de-loire.inra.fr/urzf>



**Contact : Jérôme Rousselet**  
[jerome.rousselet@inra.fr](mailto:jerome.rousselet@inra.fr)

INRA- Zoologie Forestière  
Centre de recherche d'Orléans

2163 Avenue de la Pomme  
de Pin - CS 40001 ARDON  
45075 ORLEANS Cedex 2  
France

Directrice :

**Marie-Anne  
Auger-Rozenberg**



Directrice adjointe :

**Sylvie Augustin**

