

VOYAGE DE PRESSE « BIODIVERSITÉ »

Montpellier - Jeudi 18 mai 2006

Dossier de presse

Institut des sciences de l'évolution de Montpellier

Laboratoire Génétique et évolution des maladies infectieuses

Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive

Contact presse :

Muriel Ilous

T 01 44 96 43 09

muriel.ilous@cnrs-dir.fr



Voyage de presse « Biodiversité » Montpellier – Jeudi 18 mai 2006

Mieux connaître la biodiversité afin de la préserver et la restaurer, utiliser les ressources naturelles dans un objectif durable font partie des grands enjeux de notre société. De nombreux laboratoires du CNRS travaillent sur ces thématiques. Quelques jours avant la journée mondiale de la biodiversité (22 mai 2006) nous vous invitons à Montpellier pour découvrir les activités de trois d'entre eux : l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier, le laboratoire Génétique et évolution des maladies infectieuses et le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive.

Programme de la journée :

- 7h45 Rendez-vous à l'enregistrement de l'aéroport Paris Orly W
- 8h45 Départ de Paris Orly W, vol AF 7542
- 10h Arrivée à l'aéroport de Montpellier

- 10h30 - 12h30 **Visite de l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier**,
rencontre avec des biologistes et des paléontologues qui décryptent l'origine et la dynamique
de la biodiversité en se fondant sur l'étude d'organismes actuels et de fossiles.

- 13h – 15h **Déjeuner avec les chercheurs du laboratoire Génétique et
évolution des maladies infectieuses**, spécialistes des relations hôtes-parasites qui
travaillent notamment sur les pathogènes responsables de la grippe aviaire, du chikungunya
ou du paludisme.

- 15h-18h30 **Visite du Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive**, laboratoire
impliqué dans la biodiversité, les changements à l'échelle planétaire, le développement
durable et spécialisé dans l'étude des écosystèmes méditerranéens et tropicaux.

- 18h30 Départ pour l'aéroport
- 19h50 Départ de l'aéroport de Montpellier, vol AF 7553
- 21h10 Arrivée à Paris Orly W



Institut des sciences de l'évolution de Montpellier

(Université Montpellier 2 – CNRS)

Sommaire

- Présentation générale de l'Institut
- Paléontologie, phylogénie et paléobiologie
 - Phylogénie moléculaire
 - Paléontologie et paléobiologie
- Paléoenvironnements et paléoclimats
- Génétique et environnement
 - Extinction, adaptation et spéciation : la fragmentation des habitats est-elle un mal nécessaire à la diversification ?
 - Quand l'adaptation des espèces à leur milieu devient un problème de santé publique : la résistance aux insecticides



Institut des sciences de l'évolution de Montpellier

L'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier (ISE-M) est une unité mixte de recherche de l'Université Montpellier 2 et du CNRS. L'institut a été créé en 1981 par le professeur Louis Thaler. A cette occasion, l'intégration d'équipes de biologistes - notamment de généticiens des populations - dans son laboratoire de paléontologie, a encouragé la voie de la pluridisciplinarité dans l'approche des transformations du monde vivant. En appuyant son projet sur la création de formations doctorales, Louis Thaler a fait de l'ISE-M le berceau de l'école montpelliéraine de biologie évolutive et, par conséquent, de l'étude de la biodiversité. Aujourd'hui, les recherches qui y sont menées se nourrissent des partenariats établis avec les nombreux autres laboratoires du site de Montpellier, avec lesquels il constitue la première communauté française dans ce domaine.



© CNRS – ISE-M

Les sciences de l'évolution s'attachent à restituer l'histoire et les modalités de l'évolution des organismes et à comprendre les mécanismes impliqués dans les transformations du monde vivant. Cela revient à appréhender les processus impliqués dans l'émergence de la biodiversité et dans sa dynamique : comment naissent les espèces ? Par quels mécanismes s'adaptent-elles à leur milieu ? Quelles voies évolutives peuvent-elles adopter face à des environnements changeants, notamment sous l'action de l'homme ? Comment, en retour, ces changements jouent-ils un rôle sur la structure de la biodiversité et son devenir.

La spécificité de l'ISE-M est de fonder ses recherches sur les organismes actuels et sur les groupes fossiles. Les approches sont expérimentales, théoriques ou menées sur le terrain. Elles se complètent et se répondent. Les questions sont envisagées à des échelles de temps variées et ce à divers niveaux de conceptualisation, du gène à l'écosystème en passant par l'individu, la population, l'espèce et la communauté. Les recherches portent sur de nombreux modèles animaux, végétaux et bactériens.

L'ISE-M est constitué de 3 équipes regroupant environ 140 personnes, dont 85 chercheurs, enseignants-chercheurs, doctorants et post-doctorants. De nouvelles équipes l'intégreront début 2007. Il produit 130 publications par an et une trentaine de thèses. Il participe à plusieurs programmes européens et à une dizaine de projets ANR.

Contacts direction de l'ISE-M : Nicole Pasteur, 04 67 14 34 80, dir.isem@isem.univ-montp2.fr
Jean-Christophe Auffray, 04 67 14 47 16, auffray@isem.univ-montp2.fr

Pour en savoir plus : www.isem.univ-montp2.fr (ancien site, nouveau site en construction !)

Paléontologie, phylogénie et paléobiologie

Phylogénie moléculaire

Les Tuniciers. Ces organismes marins dotés d'un génome réduit se prêtent parfaitement au séquençage et aux modifications génétiques. Se développant de manière originale, ils constituent un modèle idéal pour l'étude de la transition évolutive entre invertébrés et vertébrés.

Deux transitions évolutives majeures ont eu lieu au cours de l'histoire des animaux Deutérostomiens (Echinodermes, Hémichordés, et Chordés - Fig. 1). La première est à l'origine des Chordés (Tuniciers [ou Urochordés], Céphalo-chordés et vertébrés) avec l'acquisition d'une chorde nerveuse dorsale et d'une notochorde. Cette dernière structure assurant un soutien axial a probablement permis le passage d'une nage ciliée à une nage active chez l'ancêtre de ces animaux. La deuxième transition est marquée par l'apparition d'une véritable colonne vertébrale incorporant le système nerveux central, marquant ainsi la transition entre invertébrés et vertébrés. C'est à l'**origine de ces deux transitions majeures** que s'intéresse l'équipe Phylogénie moléculaire de l'ISE-M, en retraçant l'histoire évolutive des Deutérostomiens.

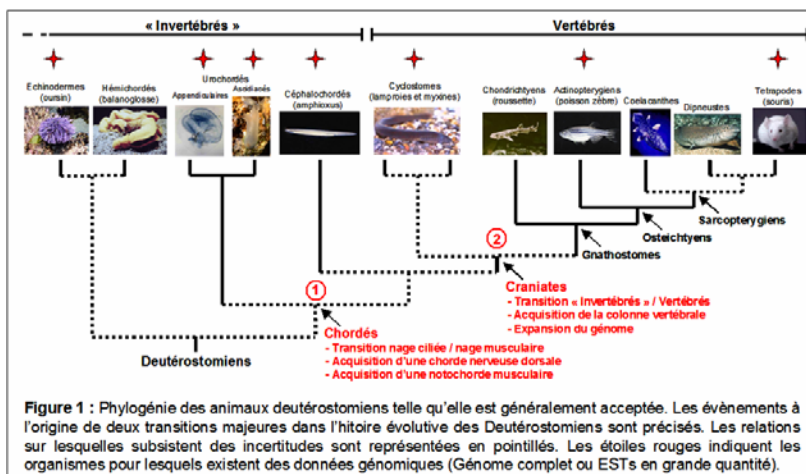


Figure 1 : Phylogénie des animaux deutérostomiens telle qu'elle est généralement acceptée. Les événements à l'origine de deux transitions majeures dans l'histoire évolutive des Deutérostomiens sont précisés. Les relations sur lesquelles subsistent des incertitudes sont représentées en pointillés. Les étoiles rouges indiquent les organismes pour lesquels existent des données génomiques (Génome complet ou ESTs en grande quantité).

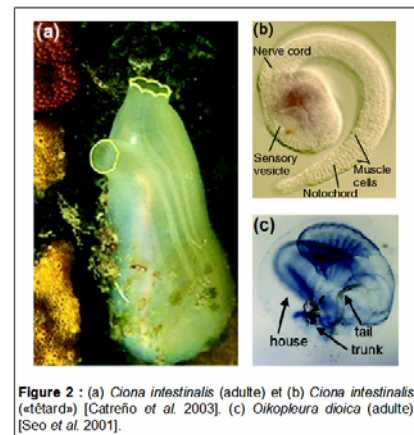


Figure 2 : (a) *Ciona intestinalis* (adulte) et (b) *Ciona intestinalis* («têtard») [Catreño et al. 2003]. (c) *Oikopleura dioica* (adulte) [Seo et al. 2001].

De par leur **position clef dans cette phylogénie** — à la frontière entre Invertébrés et Vertébrés — les Tuniciers représentent des modèles de choix pour l'étude du développement des Chordés (par exemple la cione intestinale *Ciona intestinalis* - Fig. 2). Plus de 2500 espèces de Tuniciers appartenant à 16 familles ont été décrites et sans doute beaucoup d'autres restent à découvrir. Sur le plan taxonomique, les Tuniciers sont classiquement divisés en trois Classes : Ascidiacés (ex. ciones : Fig. 2), Thaliacés (salpes), et Appendiculaires (ex. *Oikopleura* : Fig. 2). Afin de lever les incertitudes pesant sur l'histoire évolutive des Tuniciers, les chercheurs tirent profit de récentes avancées réalisées au niveau génomique et reconstituent leur phylogénie à la lumière de multiples séquences d'ADN (gènes) et d'acides aminés (protéines).

Les rongeurs. Ce sont les plus abondants des mammifères actuels. Ils présentent une étonnante diversité de formes et de modes de vie. L'exploration moléculaire de leur génome renseigne sur l'évolution passée et actuelle des espèces.

Les rongeurs constituent l'ordre de mammifères le plus diversifié dans la nature actuelle, et représentent à eux seuls environ la moitié du nombre total d'espèces de Placentaires. Les 2000 espèces existantes de rongeurs se répartissent en 28 familles, dont quelques unes sont bien connues du grand public — Muridés (famille du rat et de la souris), Gliridés (famille du loir) ou encore Caviidés (famille du cochon d'Inde) —, tandis que quelques autres sont beaucoup plus confidentielles — Anomaluridés ("écureuils volants" à queue écaillée) ou encore Abrocomidae ("rats-chinchillas"). Le grand nombre d'espèces de rongeurs combiné à la diversité de leurs morphotypes a toujours rendu difficile la reconstruction de leurs relations de parenté, que ce soit par l'étude de caractères morpho-anatomiques ou encore paléontologiques. Les données moléculaires collectées dans les génomes mitochondriaux et nucléaires éclairent d'un jour nouveau la phylogénie des rongeurs, ainsi que la chronologie de leur diversification, et les modalités de la colonisation de grandes provinces biogéographiques comme l'Asie, l'Afrique et l'Amérique du Sud.

Contacts : Frédéric Delsuc, T 04 67 14 39 64, delsuc@isem.univ-montp2.fr
Emmanuel Douzery, T 04 67 14 48 63, douzery@isem.univ-montp2.fr

Paléontologie et Paléobiologie

Phylogénie des mammifères : origines, relations de parenté et diversifications

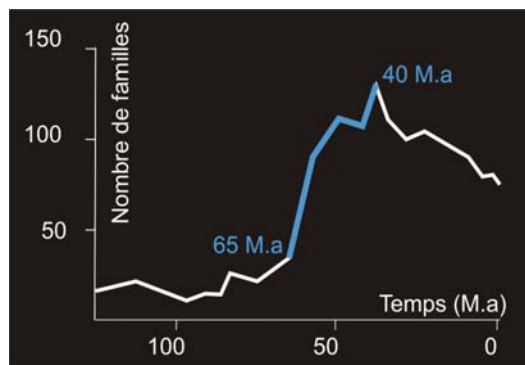
L'histoire des premiers mammifères placentaires est ponctuée de deux épisodes déterminants :

1. La conquête rapide des niches écologiques disponibles après les extinctions massives de la limite Crétacé/Tertiaire (~65 millions d'années).
2. La différenciation rapide des ordres « modernes » et les dispersions inter-continentales (~55 millions d'années).

Ce phénomène, très rapide à l'échelle géologique, a toujours constitué un handicap pour résoudre les relations de parenté entre les divers ordres de placentaires. De plus, les hypothèses avancées par les données fossiles sont souvent démenties par l'approche moléculaire et vice versa. **Il n'existe aucun consensus actuel entre paléontologues, zoologistes et molécularistes quant à la phylogénie des mammifères.** Pourtant l'établissement de celle-ci est une priorité pour mieux comprendre l'évolution de la biodiversité et en permettre une exploitation prédictive au niveau humain (prospection pour la recherche pharmaceutique et agrochimique, évolution et dispersion des vecteurs de maladies...).

Les paléomammalogistes de notre équipe s'intéressent à trois groupes clé : les Rongeurs, les Primates et les Afrothères. Dans ce contexte, la découverte de fossiles est la seule source de nouveauté. L'équipe mène ainsi de grands chantiers de prospections et de fouilles en Afrique et en Asie.

- **Rongeurs** : histoire évolutive des différentes familles (en parallèle aux travaux menés par le groupe « phylogénie moléculaire ») ; influences respectives de la phylogénie et de l'adaptation sur la morphologie ; échanges et migrations entre l'Afrique, l'Europe et l'Asie au cours du Tertiaire.
- **Primates** : différenciation des lémurs, origine et évolution des singes anthropoïdes ; relations de parenté entre les anthropoïdes primitifs d'Afrique et d'Asie. Evolution morphologique en réponse aux variations climatiques et aux changements paléoenvironnementaux.
- **Afrothères** ou « mammifères endémiques africains » : ce groupe a été mis en évidence par les biologistes moléculaires. Il rassemble plus du tiers des ordres actuels de placentaires ; notamment les Proboscidiens (éléphants), les Hyracoïdes (damans) ou encore les Macroscélidés (rats à trompe). Les afrothères seraient les derniers survivants d'un groupe très ancien et témoigneraient d'une origine africaine des placentaires.



© CNRS-ISE-M

Evolution de la diversité des mammifères au cours du temps ; la partie bleue correspond à la diversification rapide (radiation) des placentaires au début du Tertiaire.

Pour en savoir plus :

Lire l'article du Journal du CNRS *De l'origine de l'homme et des autres espèces* - N°172 mai 2004 :

<http://www2.cnrs.fr/presse/journal/1410.htm>

Contacts : Laurent Marivaux, T 04 67 14 49 11, marivaux@isem.univ-montp2.fr

Rodolphe Tabuce, T 04 67 14 47 56, rtabuce@isem.univ-montp2.fr

Paléoenvironnements et paléoclimats

Les changements paléoenvironnementaux passés

La période géologique du quaternaire récent a enregistré des changements climatiques importants et cycliques qui sont liés aux variations de l'orbite de la Terre. Ces successions de cycles climatiques (100 000 ans environ) ont eu un impact fort sur la composition, le fonctionnement et la diversité des écosystèmes. Les périodes dites interglaciaires sont des périodes où la végétation se développe de façon analogue à celle que nous connaissons aujourd'hui. La stabilité, la durée, et l'analogie des interglaciaires passés avec celui que vivons (dit Holocène) est une question fortement débattue.

Les données palynologiques issues de séquences sédimentaires permettent de reconstituer non seulement les végétations passées mais également les climats. Des variations d'une amplitude de 15 à 20°C sont enregistrées à chaque fin de période glaciaire. Ces changements ont été enregistrés de façon globale.

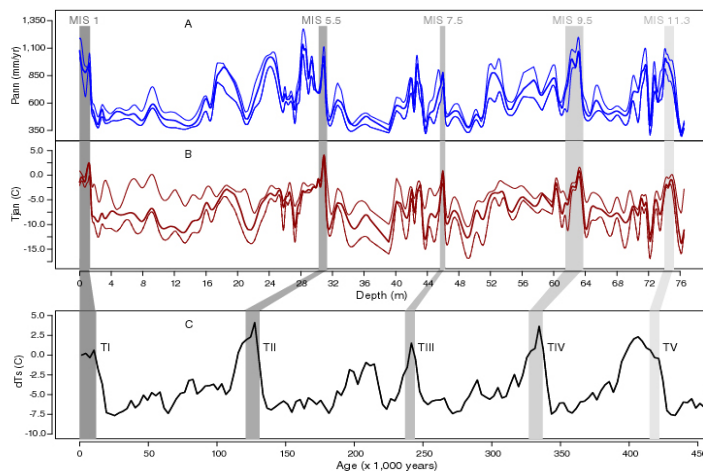


Figure 1 - Cheddadi et al.

Si durant les périodes glaciaires le climat global connaît des variations abruptes (tel que les événements Heinrich et Dansgaard-Oeschger), les périodes interglaciaires sont plus stables. Malgré ces stabilités relatives, les cinq derniers interglaciaires montrent qu'il y a une certaine dynamique dans les écosystèmes et qu'elle est assez similaire depuis au moins 450 000 ans. Le développement des forêts de conifères marque le début des interglaciaires; la recolonisation de la chênaie mixte qui elle-même est remplacée par une forêt mésophile occupe la quasi-totalité des interglaciaires et le re-développement de la forêt de conifères marque la fin des interglaciaires.

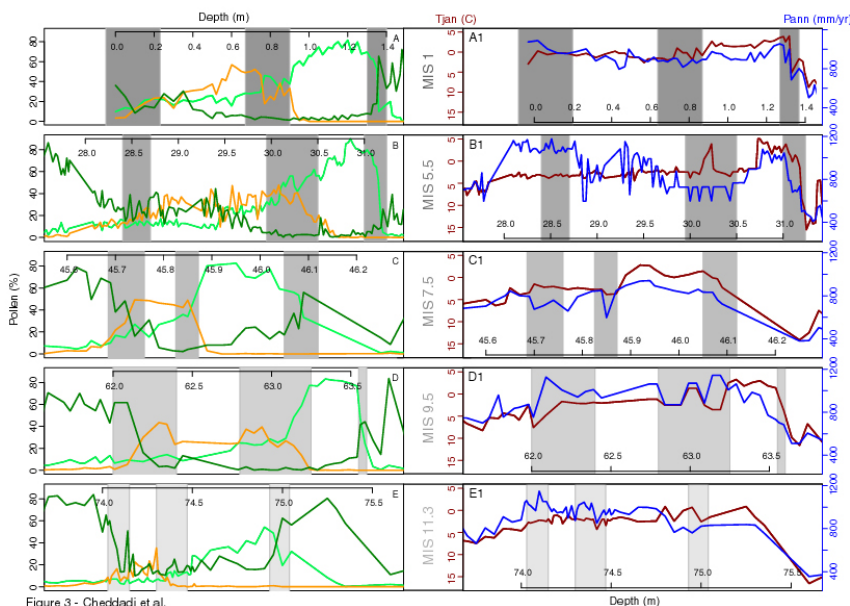


Figure 3 - Cheddadi et al.

Comparaison :

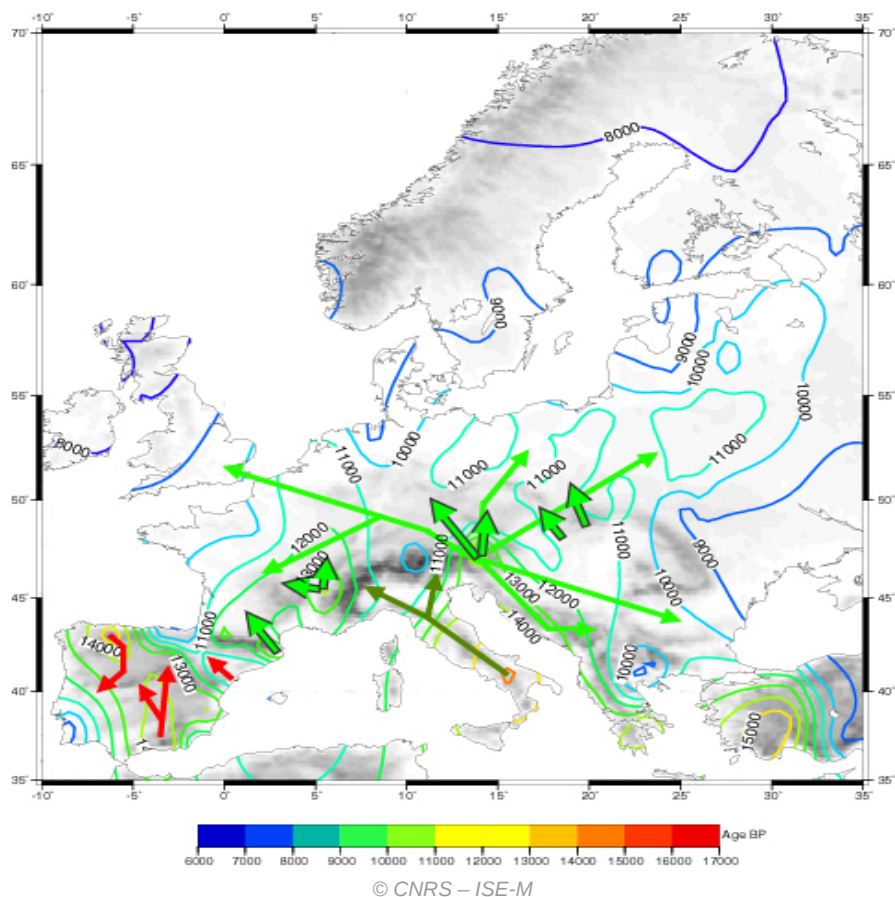
- de la dynamique des écosystèmes durant les cinq dernières périodes interglaciaires (centrés autour de 420 000 ans, 320 000 ans, 220 000 ans, 120 000 ans et l'Holocène).
- vert foncé= conifères
- vert clair= chênaie mixte
- orange= arbres mésophiles

- et des changements climatiques
- bleu= précipitations annuelles
- rouge= température de janvier

Cette similarité dans la dynamique des écosystèmes entre les cinq derniers interglaciaires suggère que le nôtre touche à sa fin. Nous dirigeons-nous vers une période glaciaire ou bien allons-nous connaître une période qui n'a pas eu d'analogue durant les 450 derniers millénaires?

Impact des changements environnementaux sur la diversité génétique

Ces changements climatiques de grande amplitude ont eu un impact sur l'extension des aires de distribution des plantes. Durant les périodes glaciaires, les arbres tempérés qui peuplent les forêts européennes aujourd'hui, ont survécu dans des zones refuges assez restreintes et discontinues. Ces périodes d'isolement, qui ont duré plusieurs millénaires, ont laissé des empreintes dans la diversité génétique de toutes les espèces forestières actuelles. A titre d'exemple, actuellement en Europe, le pin sylvestre se distingue par trois haplotypes dont deux sont localisés dans la péninsule Ibérique et au sud de l'arc alpin et un troisième qui domine le reste de l'Europe. La reconstitution des aires refuges glaciaires de cette espèce ainsi que ces routes de migration durant la période de déglaciation, à partir des pollens fossiles, permet de retracer l'origine de chaque haplotype et de déceler lequel s'est propagé le plus rapidement en Europe. **Ces approches intégrant des données génétiques de matériel actuel et des données paléoenvironnementales permettent donc également de déceler les variants génétiques qui ont eu une réponse rapide aux changements climatiques passés.**



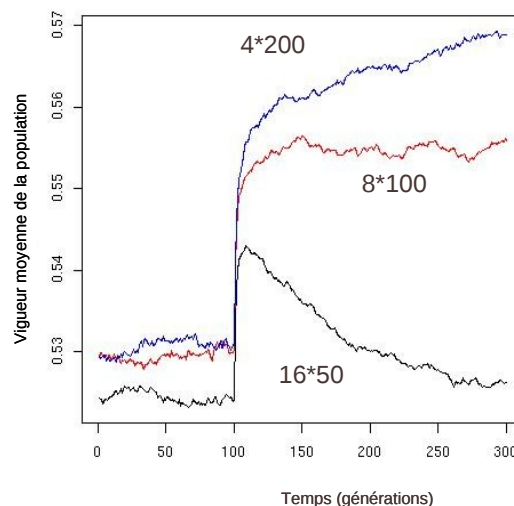
Contact : Rachid Cheddadi, T 04 67 14 32 71, cheddadi@isem.univ-montp2.fr

Génétique et environnement

Extinction, adaptation et spéciation : la fragmentation des habitats est-elle un mal nécessaire à la diversification ?

La plupart des espèces actuelles ont vu leur habitat se transformer, du fait de changements climatiques passés ou, plus récemment, du fait de changements dans les activités humaines. Nous étions 5 millions d'êtres humains aux débuts de l'agriculture (il y a environ 10 000 ans), nous sommes 6 milliards aujourd'hui. Une telle expansion démographique a bien sûr eu des effets sur les autres espèces animales et végétales, ne serait-ce que par l'augmentation de territoires anthropisés et la réduction concomitante d'habitats naturels qui l'ont accompagnée. En raison de la nature exponentielle de la croissance démographique humaine, les effets de l'homme sur la biodiversité n'ont commencé à se faire sentir que récemment : **la moitié des extinctions connues depuis 1600 sont intervenues au 20^{ème} siècle. Au cours des 50 prochaines années, la moitié des espèces actuelles pourrait être amenée à disparaître.** Les mécanismes qui sous-tendent les cinq crises d'extinctions passées sont mal connus et sujets à controverses. En revanche, **mettre en évidence la ou les causes actuelles de l'extinction des espèces ainsi que les mécanismes qui y mènent constitue l'enjeu de la compréhension et de la préservation de la biodiversité.**

L'impact de l'homme sur les paysages écologiques est détectable, selon les données paléoécologiques, depuis environ 6000 ans en Europe occidentale. Néanmoins, l'évolution récente des paysages se caractérise par une fragmentation croissante, une augmentation des surfaces d'habitat secondaire, et l'introduction de cultures et d'espèces exotiques susceptibles d'interagir directement avec les espèces sauvages locales. La manière dont des populations subdivisées persistent et évoluent dans de tels habitats instables et hétérogènes reste encore mal comprise, d'un point de vue tant théorique qu'empirique. Le but de nos recherches est de mieux comprendre comment évoluent les populations dans un tel contexte et quelles sont les circonstances qui favorisent leur persistance et leur adaptation à de nouvelles conditions, voire leur évolution vers une spécialisation accrue (pouvant mener à de nouvelles espèces). Des modèles théoriques généraux sont développés afin de mieux décrire comment flux de gènes et phénomènes de sélection interagissent dans des populations subdivisées et hétérogènes.



© CNRS – ISE-M

La fragmentation d'une population peut être décrite par la taille et le nombre des fragments ainsi que par l'isolement de ces fragments (qui détermine les flux de gènes entre sous-populations).

Les chercheurs ont étudié les conséquences d'une réduction des échanges génétiques en fonction du degré de fragmentation initial d'une population (soit très subdivisée, avec 16 sous-populations de 50 individus, ou moyennement subdivisée avec 8 sous-populations de 100 individus, ou peu subdivisée avec 4 sous-populations de 200 individus).

La figure montre l'évolution de la vigueur moyenne d'une population, suite à la rupture des flux de gènes entre fragments (à t=100). On voit que les conséquences de la fragmentation diffèrent à court et à long terme et selon le degré initial de fragmentation du paysage. La fragmentation a ici à court terme des effets positifs sur la vigueur des populations en permettant une meilleure adaptation aux conditions écologiques locales. Mais lorsque les fragments sont déjà de très petite taille, la fixation aléatoire de mutations néfastes est inévitable et la vigueur des populations décline à plus long terme (courbe noire).

D'un point de vue expérimental, les relations entre mal adaptation, dispersion et spéciation sont étudiées dans le contexte :

- de la biologie de la conservation (espèces rares : Chou insulaire (*Brassica insularis*) en Corse, Centaurée de la Clape (*Centaurea corymbosa*) près de Narbonne, Protéacées d'Afrique du Sud (*Leucadendron*) endémiques de la région du Cap,
- de la phytoremédiation (espèce hyperaccumulatrice de métaux lourds : Tabouret alpestre, *Thlaspi caerulescens*),
- des invasions biologiques (sénéçon du Cap, *Senecio inaequidens*).

Espèces métallicoles et phytoremédiation

Les écosystèmes riches en métaux lourds (zinc, plomb, cadmium, nickel, etc.), ou écosystèmes métallifères, présentent un intérêt majeur pour l'étude des phénomènes liés aux stratégies d'adaptation aux milieux extrêmes chez les espèces végétales. Les sites pollués sont le théâtre de processus de différenciations adaptatives (écotypes) menant dans certains cas à la naissance de taxa (ensemble des espèces, sous-espèces et variétés) particuliers. Ces espèces, dites métalophytes, ont un intérêt patrimonial majeur en biologie de la conservation. Les principaux objectifs des recherches sont de déterminer :

- les niveaux d'adaptation locale aux sols toxiques et notamment s'il existe des différences de tolérance aux métaux et de fortes variations de traits d'histoire de vie (système de reproduction, période de floraison, durée de vie, etc.) entre les populations sur sols toxiques et sur sols normaux,
- la dynamique des communautés végétales dans ces sites pollués après abandon des activités humaines.

La Centaurée de la Clape et le Chou insulaire

Les études entreprises depuis une dizaine d'années chez la Centaurée de la Clape et le Chou insulaire ont montré l'importance de la structure du paysage sur la dynamique démographique et génétique de ces espèces. Il semble que chez ces espèces la rareté soit « constitutive » et ne résulte pas d'une action anthropique directe. Mais ces espèces, caractérisées par des populations de petite taille et de diversité génétique réduite, sont particulièrement sensibles à l'action anthropique. Les deux espèces sont fortement auto-incompatibles (les individus ne peuvent pas s'autoféconder, ni se croiser avec des individus de même signature qu'eux). La réduction de la taille des populations a pour conséquence une augmentation de la ressemblance entre individus (ils sont plus apparentés dans une petite population) donc une réduction du nombre de partenaires possibles. Nous avons montré que dans certaines populations une action rapide de réintroduction de diversité génétique était nécessaire à leur maintien, même si cela doit s'accompagner d'une certaine perte d'originalité sur le plan botanique.



© CNRS - ISEM

Suivis démographiques sur le Chou insulaire en Corse

Les Leucadendron d'Afrique du Sud

Ce genre sud-africain comporte une centaine d'espèces, pratiquement toutes endémiques de la région du Cap. Certaines sont fortement menacées, d'autres au contraire sont cultivées comme ornementales. Cette diversité spécifique, qui caractérise l'écosystème particulier de la région du Cap qu'on appelle le fynbos, se traduit par une énorme diversité morphologique, de traits d'histoire de vie, de régimes de reproduction, de modes de dispersion. Comprendre les mécanismes évolutifs et écologiques ayant mené à cette diversité représente un formidable enjeu scientifique et de biologie de la conservation. La fragmentation des habitats, les perturbations induites par les incendies naturels sont-ils à l'origine de cette diversité ? Comment les modifications récentes des milieux, en particulier celles relatives aux régimes des

incendies, vont-elles affecter la persistance de ces espèces et les processus de diversification à l'oeuvre dans ce groupe ?

Le Séneçon du Cap

Cette espèce originaire d'Afrique du Sud a été introduite au début du 20^{ème} siècle dans la laine de mouton importée par bateau. Cette espèce a envahi toute l'Europe, de la Suède à l'Espagne. L'existence de plusieurs fronts d'invasion indépendants nous permet d'avoir des expériences grandeur nature de l'évolution d'une espèce en phase d'expansion démographique. La comparaison des populations sud-africaines et européennes a permis de montrer que les individus européens avaient un nombre de chromosome double de celui de la plupart des individus sud-africains. Nous avons aussi montré que ce doublement chromosomique s'était sans doute produit en Afrique du Sud, dans la région du Lesotho. Apparemment, seuls ces individus « tétraploïdes » sont parvenus à « prendre le bateau ». Sont-ils plus vigoureux ? Est-ce l'effet du hasard ? Est-ce dû à la structure de l'habitat ? Les études en cours de phylogéographie permettront peut-être de répondre à cette question.

Les différentes espèces étudiées



© CNRS – ISE-M

Contacts :

Contact général : Isabelle.Olivieri@univ-montp2.fr

Espèces métallophiles : Christophe.Petit@univ-montp2.fr et Ophelie.Ronce@univ-montp2.fr

Espèces endémiques : Agnes.Mignot@univ-montp2.fr, Eric.Imbert@univ-montp2.fr,

Espèces invasives : Sandrine.Maurice@univ-montp2.fr

Modélisation : Ophelie.Ronce@univ-montp2.fr, Francois.Rousset@univ-montp2.fr

Quand l'adaptation des espèces à leur milieu devient un problème de santé publique : la résistance aux insecticides

Les progrès considérables acquis dans le domaine de la santé publique sont largement dus au développement de composés « biocides » utilisés pour lutter contre les agents pathogènes (anti-bactériens et anti-parasitaires), les vecteurs qui transmettent des agents pathogènes (insecticides) ou la prolifération cellulaire (anticancéreux). L'efficacité d'un grand nombre de ces molécules est aujourd'hui compromise par des phénomènes de résistance, c'est-à-dire la capacité de survivre et de se reproduire en présence de « biocides ». Ces résistances sont observées dans un nombre croissant d'espèces et dans des régions de plus en plus vastes suite à l'étendue des traitements et à la mondialisation des transports.

Les moustiques constituent le plus important groupe de vecteurs d'agents pathogènes. Parmi eux, figurent les anophèles, vecteurs de *Plasmodium*, parasite responsable du paludisme. Cette affection parasitaire est la plus répandue et la plus dévastatrice des maladies tropicales, avec environ 500 millions de personnes infectées dans le monde et entre 1,5 et 2,7 millions de décès par an, principalement chez les enfants de moins de 5 ans. Parmi les autres espèces de moustiques, *Culex pipiens* est le principal vecteur des filaires lymphatiques qui touchent 120 millions de personnes, essentiellement dans les régions tropicales. Il transmet également le virus du Nil, maladie actuellement en pleine recrudescence, notamment aux Etats-Unis où des milliers de cas et plus de 700 morts ont été répertoriés depuis 1999. Les moustiques du genre *Aedes* transmettent principalement les arbovirus, tels que ceux responsables de la dengue, de la fièvre jaune et également le virus du chikungunya.

La lutte contre les insectes nuisibles est pratiquée dans de nombreux pays. Elle peut être physique (assainissement), biologique (utilisation de pathogènes ou de prédateurs), génétique (introduction de mâles stériles) et/ou chimique (utilisation d'insecticides), selon l'environnement économique et politique et les outils disponibles pour une espèce donnée. Même si la lutte chimique n'est pas à privilégier, elle reste dans bien des cas la seule approche possible. Malheureusement, en raison de leurs effectifs importants et de leur court temps de génération, les populations d'insectes traitées évoluent très vite, trop vite et deviennent résistantes. Les molécules encore efficaces sont de plus en plus rares et les nouvelles molécules tardent à être mises au point.

La résistance est un phénomène adaptatif

Les insecticides sont des composés de synthèse chimique ou des molécules extraites d'organismes naturels, qui inactivent une cible vitale des moustiques, entraînant ainsi la mort. La résistance est le résultat de la sélection d'individus mutants capables de se reproduire en présence d'insecticides. Elle correspond à une adaptation génétique, plus ou moins efficace pour l'espèce considérée selon les gènes mutés, la nature des mutations et la pression de sélection exercée. La résistance apparaît généralement dans une zone localisée mais elle peut s'étendre rapidement par migration active (déplacement d'une espèce au cours de son cycle de vie), mais aussi passive puisque les moustiques peuvent être transportés très loin de leur habitat naturel (avions et bateaux). Au passage, ces moustiques « exportent » les maladies induites par les pathogènes dont ils sont les vecteurs. Un exemple bien connu est le « paludisme des aéroports ». Avec le réchauffement climatique, certaines espèces de vecteurs tropicaux peuvent progressivement s'implanter dans les pays du Nord. C'est déjà le cas d'*Aedes albopictus*, le vecteur de la dengue et sans doute du chikungunya.

Des mécanismes de résistance variés et originaux ont été sélectionnés chez les espèces d'insectes traitées soumises à une lutte chimique. Les gènes impliqués dans cette adaptation dépendent des espèces (génome, écologie...), de la nature des insecticides utilisés et des stratégies (ou absence de stratégie...) d'épandage des insecticides. Les différents génotypes résistants présentent des valeurs adaptatives (capacité à se reproduire) variables et évoluent différemment en populations naturelles.

Les stratégies de lutte contre la résistance

Une stratégie évidente est la mise au point de nouveaux insecticides efficaces contre les mécanismes de résistance sélectionnés par les moustiques. Cependant, cette approche est longue et onéreuse. Peu de compagnies pharmaceutiques ont investi dans cette recherche ces 30 dernières années et très peu de nouvelles molécules ont été mises sur le marché. La question se pose d'ailleurs de savoir si cette recherche devrait être laissée aux seules entreprises privées motivées par des pressions commerciales. De plus, les réglementations européennes réduisent encore la panoplie des molécules disponibles. Il faut donc rapidement trouver de nouvelles molécules et composer en attendant avec ce dont on dispose.

En général, et c'est une chance, les moustiques résistants présentent, en l'absence d'insecticide, une valeur adaptative réduite (coût) par rapport aux individus sensibles. Le moyen le plus simple de diminuer la proportion d'insectes résistants, tout en maintenant un contrôle là où il est nécessaire, est de cibler les

traitements sur des surfaces plus restreintes en ménageant des zones non traitées à proximité. Les moustiques sensibles gagnent alors globalement la compétition avec les résistants et augmentent en fréquence en zone non traitée mais aussi en zone traitée *via* la migration. Cette stratégie n'est pas toujours applicable et dépend du coût du mécanisme de résistance sélectionné et de la taille de la zone à traiter relativement à la distance de migration active des moustiques. Elle peut cependant éviter à certains pays de traiter tout un territoire aveuglément, de se limiter aux zones d'habitations et de gérer ainsi les résistances de manière durable. Toutefois cette stratégie repose sur le fait que le coût de la résistance est élevé. Or, ce coût résistant peut être partiellement ou même totalement éliminé par la sélection de nouvelles mutations dans le gène de résistance ou dans d'autres gènes. Dans ce cas, la diminution ou l'organisation des traitements insecticides n'a plus d'incidence sur la fréquence des individus sensibles et la lutte devient plus difficile.

Programme de recherche

Le programme de l'ISE-M est centré sur l'étude de la résistance aux insecticides du moustique *Culex pipiens*, mais les recherches sont étendues à d'autres espèces de moustiques, en particulier aux vecteurs de maladies tels qu'*Anopheles* ou *Aedes*.

L'objectif est de caractériser les mécanismes de la résistance et d'étudier leur évolution en populations naturelles pour identifier les facteurs qui influencent cette adaptation et dégager des stratégies de lutte durable les plus adaptées.

Les approches moléculaires ont permis d'identifier un gène majeur, codant pour une protéine cible vitale des moustiques, impliqué dans la résistance à de nombreux insecticides. Nous avons montré qu'une seule et même mutation était responsable d'une forte résistance chez plusieurs espèces de moustiques. Cela ouvre de nouvelles voies de recherche de molécules actives sur cette cible mutée résistante que nous explorons en collaboration avec des spécialistes de structure de protéines et des chimistes.



Les recherches sont réalisées à une large échelle géographique. Les chercheurs échantillonnent des moustiques dans de nombreux pays et tentent de relier les données évolutives (mécanismes, valeurs adaptatives...) à l'historique des traitements appliqués.

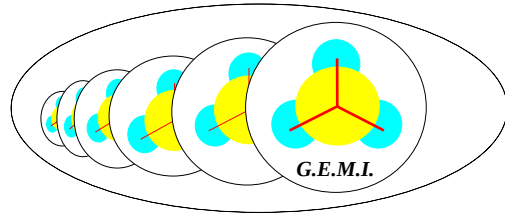
Beaucoup de régions du monde pour des raisons touristiques ou autres, traitent fortement les populations naturelles et sélectionnent de « super » moustiques résistants aux insecticides qui, hélas, peuvent présenter de bonnes valeurs adaptatives.

Ces moustiques peuvent migrer passivement et mettre en péril les stratégies de lutte raisonnée mises en place dans d'autres pays. La résistance est un problème mondial. C'est pourquoi il est important d'aider ces pays à étudier les résistances et à mettre en place une stratégie de gestion durable des populations de moustiques.

Gîte à moustiques Culex pipiens de Tunisie fortement chargé en matières organiques - © CNRS - ISEM

Certaines maladies véhiculées par des moustiques peuvent générer de graves épidémies comme nous l'avons récemment constaté pour le chikungunya dans l'île de la Réunion. Or, cette maladie que l'on qualifie d'émergente et pour laquelle chercheurs et médecins ont été pris de cours existe depuis des décennies en Afrique...

Contact : Mylène Weill, weill@isem.univ-montp2.fr

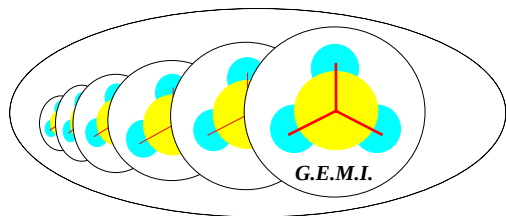


Laboratoire Génétique et évolution des maladies infectieuses

(CNRS - IRD)

Sommaire

- Présentation générale du laboratoire
- Structures génétiques et adaptations dans les systèmes symbiotiques
- Organismes « parasitiquement » modifiés
- Dynamiques des systèmes et maladies infectieuses
- Etude des pathogènes et des hôtes vers une approche intégrative
- Evolution théorique et expérimentale



Laboratoire Génétique et évolution des maladies infectieuses

L'unité mixte de recherche CNRS – IRD Génétique et évolution des maladies infectieuses (GEMI) développe des recherches sur la biologie évolutive des maladies transmissibles, la génétique et la dynamique des populations et les dialogues/conflits moléculaires entre hôtes et pathogènes. Son but : accroître les connaissances fondamentales sur la biologie des organismes impliqués (agents pathogènes, hôtes - principalement l'homme - vecteurs et réservoirs), et sur les modalités qualitatives et quantitatives de transmission de ces maladies. Les recherches développées par le laboratoire vont de la biologie moléculaire à la modélisation mathématique en passant par l'évolution expérimentale et l'analyse spatio-temporelle de terrain. Bien que des recherches très fondamentales soient menées au GEMI, le souci constant est de développer des outils opérationnels susceptibles d'être utilisés par des chercheurs de terrain ou des professionnels de la santé. Les chercheurs du GEMI s'intéressent potentiellement à toute pathologie infectieuse, que l'agent infectieux soit viral, bactérien, parasitaire ou fongique.

Principalement implantée à l'IRD de Montpellier, l'unité est également présente dans les centres IRD de Cayenne en Guyane et de Bangkok en Thaïlande.

Collaborations

Les 6 équipes du GEMI comprennent 45 personnes (dont 17 chercheurs IRD et CNRS, 1 enseignant-chercheur de l'Université Montpellier II, 2 chercheurs sous contrat ou en accueil, 13 agents administratifs et 12 doctorants). Elles ont développé un très grand nombre de collaborations extérieures, aussi bien au nord qu'au sud.

En zone sud, divers projets sont développés avec l'Amérique latine sur les leishmanioses et la maladie de Chagas, principalement en Bolivie, au Venezuela, en Argentine et au Brésil. Des collaborations existent également avec plusieurs pays d'Afrique, notamment le Sénégal et le Burkina Faso, et d'Asie, en particulier la Thaïlande.

Un programme trans-régional amazonien financé par la *National Science Foundation* est en cours de développement associant des partenaires du Brésil, du Venezuela et du Pérou, et incluant les recherches déjà menées par l'équipe en Guyane française.

Principaux partenaires

Au nord, le GEMI a établi depuis 10 ans une collaboration productive avec les Centers for Disease Control (CDC) d'Atlanta. L'Unité collabore avec des Universités situées dans l'Hexagone, mais également avec des structures scientifiques universitaires du sud et du nord comme : Athens, Madison, Maryland, Pennsylvannie, Irvine aux Etats-Unis, Cambridge, Oxford, Edimbourg, Leeds au Royaume-Uni, Queen's University au Canada, Lausanne en Suisse, Moscou en Russie, Kosice en Slovaquie, Belem (Fiocruz et université fédérale) au Brésil, Otago en Nouvelle Zélande, Sevilla en Espagne, Copenhague au Danemark, Rome en Italie.

Le GEMI appartient à l'Institut fédératif de recherche « Biodiversité continentale méditerranéenne et tropicale » du ministère de la recherche dirigé par Nicole Pasteur.

Au cours des 5 dernières années (2001-2005), le GEMI a publié 318 articles dans des revues internationales, dont 16 dans des revues comme *Nature* (4), *Science* (1), *PNAS* (6), *PloS (Biology, Medicine)* (2), *The Lancet* (1) et *Current Biology* (2). Au cours de ces mêmes années, 18 doctorants ont soutenu leur thèse avec succès au sein du GEMI.

Contact direction du laboratoire GEMI : François Renaud, Francois.Renaud@mpl.ird.fr

Secrétariat : Nadine Maury, T 04 67 41 61 97

Pour en savoir plus : <http://gemi.mpl.ird.fr/>

Lire l'article du Journal du CNRS sur le GEMI :

Repenser la lutte contre les parasites- N°193 – février 2006 :

<http://www2.cnrs.fr/presse/journal/2661.htm>

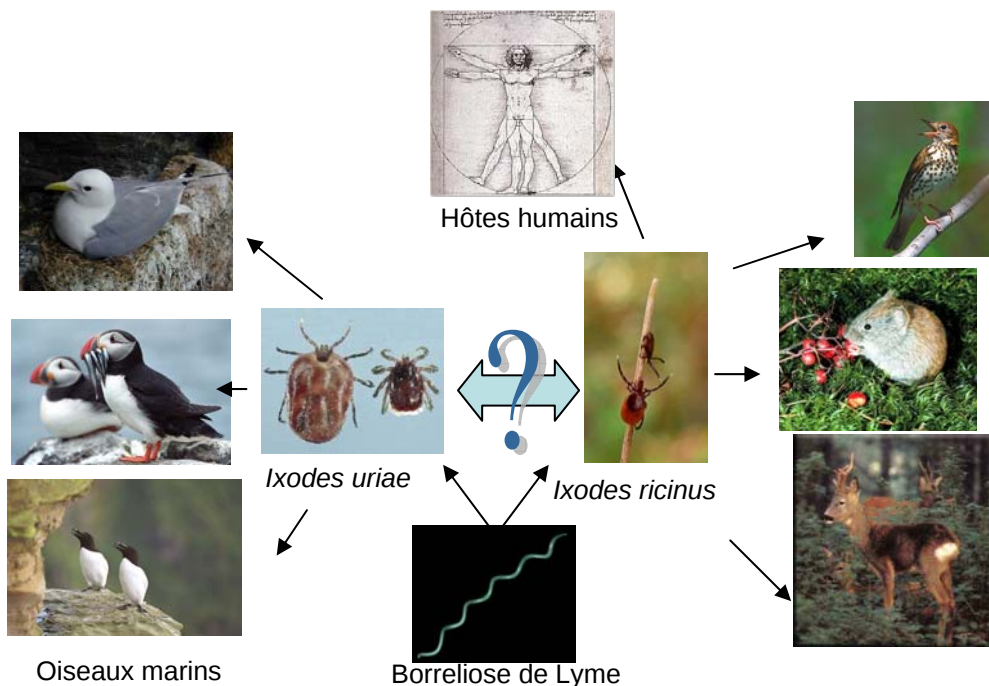
Structures génétiques et adaptations dans les systèmes symbiotiques

Les parasites représentent une part importante du vivant. Le fonctionnement de ces populations demeure cependant largement méconnu en raison des difficultés d'observations directes et de la complexité des interactions en jeu, en particulier quand le parasite se trouve lui-même être un vecteur de pathogènes (comme les moustiques qui transmettent la malaria). Comprendre le fonctionnement des populations de parasites, de leurs hôtes et leur biodiversité représente un défi très important tant du point de vue appliqué, car cela peut permettre de mieux appréhender l'épidémiologie de maladies d'importance médicale et/ou économique, que du point de vue fondamental. Les parasites représentent des modèles particulièrement pertinents pour appréhender les problèmes d'adaptations en environnements variables et d'évolution de la spécialisation (spécificité vis à vis de l'espèce hôte) et des conséquences de ces caractéristiques sur l'évolution de la virulence du parasite et/ou de la résistance de l'hôte.

Les principaux programmes de recherches de l'équipe :

Le système Tique-Vertébrés-Maladie de Lyme

Les chercheurs analysent la diversité des tiques *Ixodes uriae* (tique d'oiseaux marins) et *Ixodes ricinus* (tique de vertébrés terrestres), de la maladie de Lyme (bactérie spirochète du genre *Borrelia*) et des hôtes vertébrés à qui elles transmettent cette maladie. Ils étudient également l'adaptation des tiques à différents hôtes (on parle de spécificité), et cherchent à comprendre comment apparaissent ces spécialisations et à quelle fréquence. Les conséquences de cette spécificité sur l'évolution des pathogènes transmis sont également analysées.

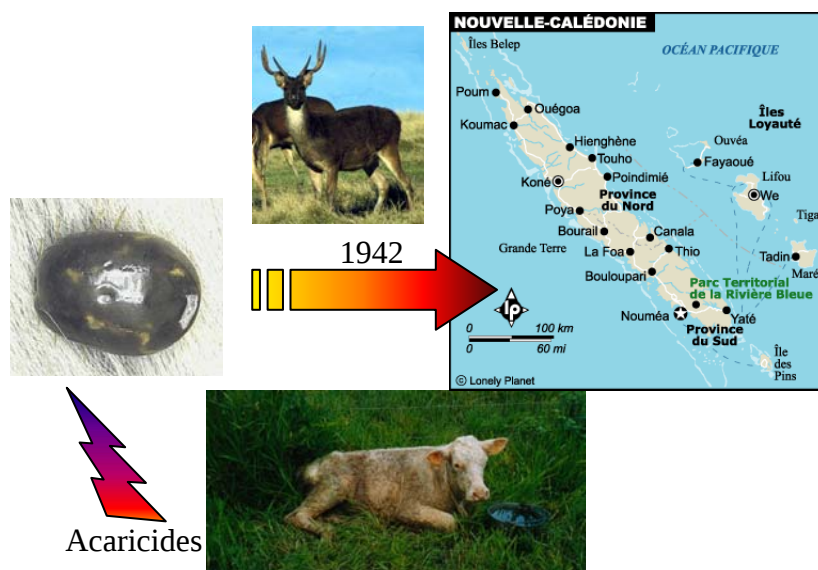


Ixodes uriae parasite les oiseaux marins vis-à-vis desquels elle tend à se spécialiser. *Ixodes ricinus* ne semble pas se spécialiser autant vis-à-vis de ses hôtes terrestres (peu ou pas de spécificité). Ces deux espèces de tiques transmettent la maladie de Lyme à leurs hôtes vertébrés mais, sauf exception, seule *Ixodes ricinus* la transmet à l'homme. Les connections entre cycles terrestre et marin de la maladie restent mystérieuses.

Contacts : Karen McCoy, T 04 67 41 62 32, Karen.mccoy@mpl.ird.fr
Thierry de Meeûs, T 04 67 41 63 10, demeeus@mpl.ird.fr

Evolution de la tique tropicale du bétail face à une diversité d'hôtes et de pesticides

La tique du bétail *Boophilus microplus* a envahi la Nouvelle Calédonie en 1942. La pullulation de ce parasite rend les traitements acaricides indispensables à la santé du cheptel bovin, les vaches hyper infestées étant dans un grand état d'épuisement (voir photo). Cette tique a rapidement évolué vers une résistance accrue aux acaricides et s'adapte à un nouvel hôte, le cerf rusa, lui-même envahissant sur l'île et non traité aux acaricides.



Contacts : Christine Chevillon, T 04 67 41 63 10, chevillo@mpl.ird.fr
Thierry de Meeûs, T 04 67 41 63 10, demeeus@mpl.ird.fr

Les virus de la dengue et leurs moustiques vecteurs

Il existe quatre espèces de virus de la dengue. Les chercheurs analysent la diversité chez chacune d'elles et chez leurs moustiques vecteurs, dans le Bassin amazonien, les Antilles et la Thaïlande. Ils étudient les différentes formes cliniques de la maladie (asymptomatique, grippale, hémorragique ou choc mortel) et analysent quelles variations sont corrélées aux pics épidémiques (transmission à l'homme).

Contact : Christine Chevillon, T 04 67 41 63 10, chevillo@mpl.ird.fr

Les modèles *Plasmodium falciparum* et *Plasmodium vivax*, agents de la malaria

La diversité génétique des différents agents de la malaria (*Plasmodium*) et de leurs moustiques vecteurs est analysée en Afrique, en Asie et en Amérique. En Afrique, pour *Plasmodium falciparum*, les recherches sont faites sur des antigènes reconnus par les défenses de l'hôte ou sur les gènes de résistance à la chloroquine, le médicament anti-malaria.

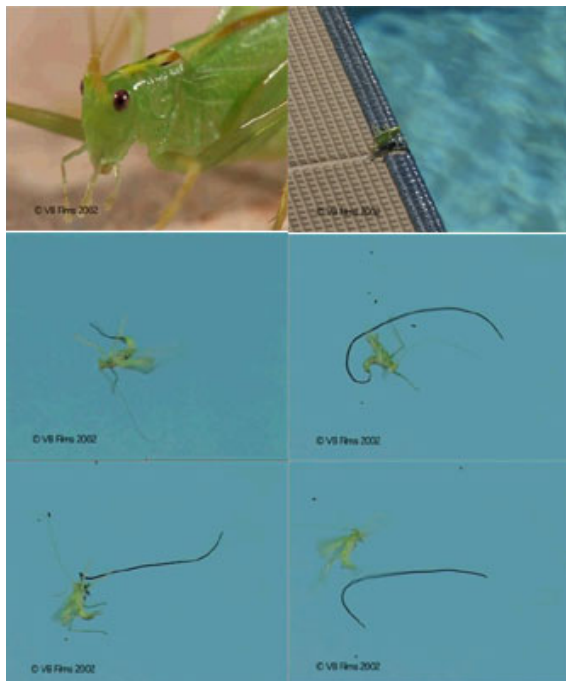
Contacts : Patrick Durand, T 04 67 41 63 33, patrick.durand@mpl.ird.fr
Franck Prugnolle, T 04 67 41 63 10, prugnoll@mpl.ird.fr
François Renaud, T 04 67 41 62 53, renaud@mpl.ird.fr

L'équipe Organismes « parasitiquement » modifiés s'intéresse à l'influence du parasitisme sur le monde libre (individus, populations, communautés, écosystèmes...) à travers la manipulation parasitaire et l'étude des conséquences écologiques et évolutives du parasitisme dans les écosystèmes.

La manipulation parasitaire

Quelle est la diversité des molécules de la manipulation parasitaire ? Comment ces molécules agissent-elles sur les hôtes ? Comment évoluent-elles en fonction des contextes phylogénétiques et écologiques ? Pour répondre à ces questions, les chercheurs font appel à des compétences variées, à l'interface de plusieurs disciplines : écologie comportementale, biologie évolutive, neurobiologie, biochimie, physiologie et biologie moléculaire. Outre leur intérêt fondamental, ces recherches permettent d'améliorer les connaissances sur la dynamique de transmission de certaines maladies touchant l'homme (maladie du sommeil, malaria).

L'exemple du ver qui pousse son hôte à se suicider en se jetant à l'eau



© CNRS Photothèque/VB Films / THOMAS Frédéric,
BIRON D.G., PONTON Fleur



© F.Thomas/CNRS-IRD

Les nématomorphes sont un groupe de vers parasites largement répartis sur la planète. Au stade larvaire, ce sont des parasites internes d'arthropodes terrestres comme les orthoptères (grillons, sauterelles). Quand ils passent du stade larvaire au stade adulte, ces parasites obligent leur hôte à se « suicider » en se jetant à l'eau. Les chercheurs du GEMI ont mis en évidence le dialogue moléculaire qui s'instaure entre le parasite et son hôte avant, pendant et après le « suicide » de l'insecte.

Récemment, les chercheurs ont étudié ce qu'il advenait des vers parasites lorsque l'insecte suicidaire était ingéré par un prédateur aquatique. Ils ont montré que le ver était capable, dans les minutes qui suivent l'évènement de prédation, de s'extirper du cadavre de l'insecte, de remonter le tube digestif du prédateur et de prendre la fuite par la première issue de secours : la bouche mais aussi la branchie ou la narine. Cette adaptation anti-prédation est unique chez les parasites.

Pour en savoir plus : lire les communiqués de presse sur ces travaux

Parasitisme : Une nouvelle stratégie pour échapper à la prédation de son hôte – 6 avril 2006 :

<http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/845.htm>

Des vers qui parasitent les sauterelles et les poussent à se suicider – 2 septembre 2005 :

<http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/733.htm>

Les conséquences écologiques et évolutives du parasitisme dans les écosystèmes

Pratiquement tous les écosystèmes de la planète subissent, à des degrés divers, les conséquences d'activités humaines. Il apparaît donc crucial d'améliorer la compréhension des interactions entre activités humaines, parasitisme et biodiversité. Les chercheurs souhaitent apporter des informations nouvelles pour une meilleure intégration de la composante parasitaire dans les programmes de conservation de la biodiversité dans les écosystèmes modifiés. Ils veulent également poser les bases fondatrices d'une discipline en plein essor, l'écologie de la santé.

Des recherches fondamentales visent ainsi à mieux comprendre le rôle des parasites dans le fonctionnement des écosystèmes. Dans un objectif plus appliqué, des travaux analysent l'influence des modes de gestion (usages agricoles, marais de chasse, réserves naturelles...) sur la dynamique de la biodiversité au travers de l'action sous-jacente des parasites et des pathogènes.

Contact : Frédéric Thomas, T 04 67 41 63 18, fthomas@mpl.ird.fr

Dynamiques des systèmes et maladies infectieuses

L'équipe Dynamiques des systèmes et maladies infectieuses (DySMI) intègre des approches écologiques et évolutives pour comprendre **comment les maladies infectieuses et parasitaires interagissent avec leur environnement, y compris les diversités d'hôtes vecteurs et réservoirs, à différents niveaux d'échelles et d'organisation, et pourquoi et comment les agents pathogènes (ré)émergent et diffusent dans les populations d'hôtes**. Les recherches mettent particulièrement l'accent sur la diffusion spatio-temporelle des agents pathogènes en systèmes fragmentés (réseaux hydrographiques, îlots forestiers, systèmes urbains et ruraux,...), et visent à apporter des éléments de connaissance sur les facteurs d'émergences de zoonoses, ainsi que sur des stratégies optimales de lutte et de contrôle des maladies infectieuses et parasitaires.

Les travaux de nature transdisciplinaire associent des recherches sur le terrain en France, en Amérique du Sud (Guyane, Brésil, Surinam, Pérou, Colombie), et en Afrique de l'Ouest (Sénégal) et du Nord (Maroc, Egypte) avec des approches empiriques (analyses de données) et plus théoriques (modélisation statistique et mathématique, génétique des populations en épidémiologie) pour comprendre la circulation d'agents pathogènes dans les populations d'hôtes.

L'équipe DySMI est à l'initiative des observatoires de surveillance sur le paludisme en Guyane française, et contribue actuellement au développement d'une approche similaire en Asie du Sud-Est (Thaïlande) dans un but ultérieur comparatif. Si une interaction existe déjà entre approche moléculaire et dynamique spatiale pour l'étude du virus de West Nile dans l'équipe actuelle, un effort important sera consenti au cours du plan quadriennal pour un rapprochement entre génétique moléculaire et des populations, et dynamique des populations d'agents infectieux ou parasitaires sur différents modèles : ulcère de Buruli, dengues, paludisme, choléra, et gripes aviaires, dans une perspective de développement d'une épidémiologie quantitative et intégrative, héritée de l'écologie et de la génétique populationnelles.

Les recherches développées tournent autour de 3 questions principales en épidémiologie des maladies infectieuses et parasitaires :

- Quels sont les mécanismes permettant d'expliquer la persistance d'agents microbiens ou parasitaires dans l'environnement ?
- Comment un agent infectieux diffuse-t-il dans et entre les populations animales ou humaines, et comment l'infection par un agent pathogène peut-elle avoir des répercussions sur la susceptibilité individuelle à d'autres agents microbiens ?
- Quelles sont alors les conséquences sur les dynamiques épidémiques d'autres agents ?
- Quelles peuvent être, en regard de ces connaissances, les conséquences des interventions humaines tant dans l'utilisation de la vaccination que de la modification des écosystèmes sur les dynamiques de transmission ?

Pour en savoir plus :

Lire l'article du Journal du CNRS sur le projet Eremiba lancé en Guyane pour tester les relations de causes à effets entre déforestation et ré-émergence de paludismes.

Eremiba – Des arbres contre le paludisme – N°194 mars 2006 :

<http://www2.cnrs.fr/presse/journal/2699.htm>

Contact : Jean-Francois Guégan, T 04 67 41 62 05, guegan@mpl.ird.fr

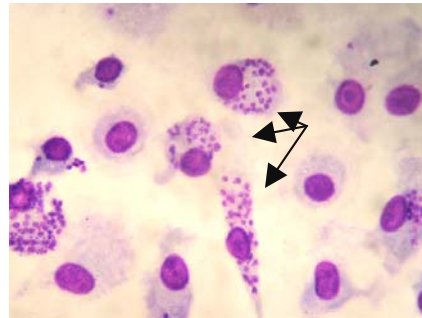
Etude des pathogènes et des hôtes vers une approche intégrative

Les maladies infectieuses peuvent être considérées comme des systèmes complexes dans lesquels divers paramètres agissent et interagissent : les vecteurs (pour les maladies à vecteurs), l'environnement, les réservoirs, les hôtes et les pathogènes. L'expression de la maladie chez l'homme est la résultante de tous ces paramètres. Etudier de manière isolée un seul d'entre eux serait restrictif, même si c'est indispensable pour progresser en génétique humaine, génétique des vecteurs ou des pathogènes, etc... L'approche des chercheurs est donc multidisciplinaire et se fixe comme objectif l'identification des paramètres impliqués dans le risque sur la santé humaine, et leurs interactions. Elle est réalisée au niveau des foyers de transmission, et au niveau génomique et expérimental. Deux types de maladies infectieuses sont étudiés : les leishmanioses et la tuberculose, qui représentent un problème de santé publique, en particulier dans les pays en développement.



©IRD-M. Hide

Le chien, réservoir potentiel de la leishmaniose humaine



©IRD B. Bucheton

Macrophages humains (cellules du système immunitaire) infectés par des Leishmania

Approche intégrée pour l'étude du fonctionnement des foyers de tuberculose et de leishmaniose

Biodiversité des foyers et impact sur la santé humaine

L'objectif est de comprendre la transmission, identifier les facteurs de risque et tenter de dégager les éléments gouvernant le maintien, l'émergence et la réémergence des foyers. Avec comme but final l'évaluation des impacts et des risques sur la santé humaine dans les différents foyers d'étude. Trois thèmes majeurs sont développés :

- * Etude intégrée de la leishmaniose au Sénégal et en Guyane : épidémiologie moléculaire et génétique des populations des pathogènes, des hôtes et des vecteurs.

- * Epidémiologie moléculaire de la tuberculose au Burkina Faso et à Montpellier (collaboration avec le laboratoire de bactériologie du CHU de Montpellier et le CHU de Bobo Dioulasso au Burkina Faso). Les données épidémiologiques et biologiques de chaque patient sont recueillies et analysées en synergie avec les données génétiques des agents pathogènes.

- * Rôle des hôtes asymptomatiques dans la transmission et le maintien de la leishmaniose : étude dans le sud de la France et en Espagne. Cette étude implique des collaborations avec les banques de sang des Baléares et de Montpellier.

Impact de l'anthropisation sur le fonctionnement des foyers de leishmaniose

Des analyses génétiques et épidémiologiques sont réalisées en Guyane, dans le Sud de la France, en Espagne et au Sénégal. Avec comme objectifs spécifiques :

- * la comparaison de la structure des populations des *Leishmania* en fonction de l'environnement (Guyane française/Sud de la France/Espagne/Sénégal) et des études moléculaires des souches isolées d'hommes, de réservoirs et des vecteurs,

- * l'étude épidémiologique des réservoirs et des hommes,

- * l'étude épidémiologique et génétique des populations des vecteurs,

- * l'évaluation de l'impact de l'anthropisation sur les foyers de leishmaniose en Guyane française et donc la comparaison des foyers en fonction du niveau d'activités anthropiques et les conséquences sur la santé humaine : forêt, zones de déforestation et zones périurbaines et zones totalement anthropisées.

Approche expérimentale multidisciplinaire pour l'étude génétique et phénotypique des hôtes et des pathogènes

Les paramètres génétiques et phénotypiques des hôtes et des pathogènes sont étudiés afin de mieux comprendre différents aspects des maladies infectieuses : leur transmission, l'expression clinique différentielle observée chez l'homme et le fonctionnement des foyers.

Analyser les gènes des agents pathogènes impliqués dans les phénomènes de pathogénicité permet d'expliquer la diversité épidémiologique et/ou la diversité clinique (épidémiogénicité, virulence, résistance, pathogénicité). Différentes approches moléculaires sont utilisées : étude du protéome, étude de la structure des populations naturelles, étude de gènes spécifiques impliqués dans des propriétés médicalement importantes ou dans les interactions hôtes/parasites.

Certaines **propriétés intrinsèques des hôtes** sont également analysées pour tenter d'**expliquer la susceptibilité aux maladies infectieuses** (notamment l'étude de la réponse du système immunitaire humain à l'infection).

Les chercheurs étudient également les **interactions intra et interspécifiques des pathogènes**. Ils analysent la nature des interactions qui s'établissent entre les différents génotypes de *Leishmania* (compétition, gènes favorisés, bases moléculaires des interactions, nature des interactions en fonction de la répartition géographique et du signe clinique engendré chez l'hôte vertébré ...). Ils étudient également les conséquences des interactions sur certaines caractéristiques biologiques de différentes familles de *M. tuberculosis* : cinétique de croissance, sensibilité et résistance. Ces études d'évolution expérimentale ont pour but final de mieux comprendre les caractéristiques spécifiques et différentielles de transmission des différentes familles de *M. tuberculosis*.

Contacts : Anne-Laure Bañuls, T 0467416180, banuls@mpl.ird.fr
Mallorie Hide, T 0467416180, hide@mpl.ird.fr
Bruno Bucheton, T 0467416180, bucheton@mpl.ird.fr
Sylvain Godreuil, T 0467416226, godreuil@mpl.ird.fr

Evolution théorique et expérimentale

Systèmes expérimentaux

Deux systèmes expérimentaux sont utilisés pour aborder l'écologie et l'évolution des interactions hôtes parasites :

Interactions moustiques – microsporidies (organismes unicellulaires, obligatoirement parasites endocellulaires)

Deux espèces de moustiques servent de modèles. Les premiers sont les moustiques *Aedes aegypti*. A distribution tropicale, ce sont les vecteurs majeurs de la fièvre jaune et de la dengue ainsi que du virus du chikungunya, dans certaines régions. Les deuxièmes sont les moustiques *Culex pipiens*, rencontrés dans des zones plus tempérées, et vecteurs de plusieurs encéphalites virales comme le West Nile. Ils sont sujets à d'intenses traitements insecticides, notamment le long du littoral français. Ces modèles ont permis d'obtenir quelques résultats marquants :

- l'expression de la virulence des parasites, définie comme l'ensemble des effets négatifs occasionnés par les parasites sur leurs hôtes, est modulée par les conditions environnementales.
- les individus parasités sont moins bons compétiteurs que les individus non-infectés. Cette interaction du parasitisme avec la compétition génère un coût supplémentaire du parasitisme. Ce coût indirect dépend en plus de la fréquence des parasites, et est donc susceptible de varier dans l'espace et dans le temps.
- le parasitisme interagit avec la résistance aux insecticides. Les moustiques qui résistent aux insecticides réagissent différemment à l'infection par les microsporidies. Ces interactions ont le potentiel d'affecter la dynamique des gènes de résistance dans les populations naturelles.

Interactions entre le virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV) et ses plantes hôtes

Les chercheurs souhaitent comprendre l'évolution du mode de transmission du *Cauliflower mosaic virus* (CaMV) et d'autre part l'évolution génomique et phénotypique du virus à long terme dans différentes espèces de plantes hôtes (*Brassicaceae* et *Solanaceae*).

Dans un premier programme de recherche, les chercheurs souhaitent quantifier les réductions drastiques que subissent les populations de virus lors de leur transmission de plante en plante par les pucerons (on parle de "goulots d'étranglement"), les effets de ces goulots sur la valeur adaptative virale, et enfin le coût sélectif (pour le CaMV) de la production de l'une des protéines permettant la transmission.

Dans le deuxième programme de recherche, ils se servent du CaMV comme système modèle pour analyser l'architecture génétique des adaptations (caractérisation de la distribution des effets des mutations, de l'épistasie, des mutations permettant d'élargir la gamme d'hôtes). En parallèle, ils essaient de comprendre comment une lignée de virus ayant évolué dans les différentes conditions expérimentales modifie la physiologie de son hôte (transcriptome et protéome d'*Arabidopsis thaliana*). Ces travaux s'effectuent en étroite collaboration avec l'équipe CaGeTE (INRA, UMR 385) dirigée par Stéphane Blanc (T 04 99 62 48 04, blanc@ensam.inra.fr).

Modélisation de l'évolution des interactions hôtes – parasites

Coévolution hôtes – parasites et adaptation locale

La sélection naturelle permet aux populations de s'adapter aux conditions locales qui, en général, varient d'un site à l'autre. On parle alors d'adaptation locale. La dynamique de l'adaptation locale se complique dans un environnement qui est variable dans le temps. On évoque souvent « la reine rouge » de Lewis Carroll (qui conseille à Alice de courir très vite pour rester à la même place) pour illustrer le fait que la sélection naturelle doit être particulièrement efficace pour permettre à une population de rester adaptée à son environnement. La variabilité de l'environnement peut être engendrée par la coévolution entre les parasites et leurs hôtes. Dans ce contexte, quels sont les facteurs qui affectent le processus d'adaptation locale ? Les chercheurs développent des modèles mathématiques qui visent à mieux comprendre le rôle de paramètres démographiques (par exemple la migration relative des hôtes et des parasites) sur l'adaptation locale des parasites à leurs hôtes. Des collaborations internationales sont développées pour tester les prédictions sur différents systèmes expérimentaux.

Conséquences évolutives et épidémiologiques de la vaccination

L'évolution de la résistance aux antibiotiques chez les bactéries pathogènes est bien connue et pose de graves problèmes de santé publique et vétérinaire. L'utilisation de vaccins, peut aussi engendrer des phénomènes de résistance. Des souches de parasites permettant « d'échapper » à la reconnaissance par le système immunitaire peuvent émerger et éroder les bénéfices associés à une campagne de vaccination. Est-il possible de prédire les conséquences à court et long terme des futures campagnes de vaccination ? Les chercheurs développent des modèles mathématiques permettant de suivre à la fois la dynamique épidémiologique (le nombre de cas) et évolutive des parasites (par exemple, leur virulence) juste après une campagne de vaccination. Ces modèles ont permis d'identifier que certains types de vaccins pourraient avoir des conséquences désastreuses en sélectionnant des souches plus virulentes de parasites. Ce travail pourrait donc permettre d'optimiser l'utilisation des vaccins afin de limiter le nombre de cas mais aussi l'émergence de souches plus dangereuses.

Contacts :

Moustiques, CaMV, adaptation locale : Yannis Michalakis, T 0467416154,

Yannis.Michalakis@ird.mpl.fr

Modélisation : Sylvain Gandon, T 0467416268, sylvain.gandon@ird.mpl.fr

CaMV : Rémy Froissart, T 0499624857, remy.froissart@ensam.inra.fr



Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive

(CNRS - Universités Montpellier 1,2,3 - CIRAD - ENSA Montpellier)

Sommaire

- Présentation générale du Centre
- Biologie des populations
 - La pollinisation des orchidées méditerranéennes
 - Les mutualismes « plante-insecte »
 - Une diversité créée par l'homme
 - Ecologie spatiale des populations
 - Une nouvelle espèce de manchot : le gorfou sauteur d'Amsterdam
- Dynamique des systèmes écologiques
- Fonctionnement des écosystèmes
- L'Ecotron



Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive

Le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE) développe ses activités aussi bien en recherche fondamentale qu'en relation avec les grandes préoccupations des sociétés concernant l'environnement : la biodiversité, les changements à l'échelle planétaire et le développement durable. Une grande partie des recherches porte sur les écosystèmes méditerranéens et tropicaux. L'objectif est de comprendre le fonctionnement des systèmes écologiques, de l'organisme à l'écosystème, et de contribuer à l'élaboration de scénarios d'évolution et de stratégies pour leur conservation, leur restauration ou leur réhabilitation.

Créé en 1961, le Centre d'études phytosociologiques et écologiques (CEPE), devient en 1988 le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE). Au 1er Janvier 2003 le CEFE devient une unité mixte de recherche associant des scientifiques du CNRS, des Universités Montpellier I, Montpellier II et Montpellier III, du CIRAD, de l'Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier (AGRO M) et de l'IRD.

Le centre regroupe 107 permanents, dont 66 chercheurs et enseignants-chercheurs, et environ 120 stagiaires. Il produit plus de 120 publications par an et une douzaine de thèses.

Le centre est organisé en trois départements de recherche : **Biologie des populations**, **Dynamique des systèmes écologiques** et **Fonctionnement des Ecosystèmes**. Quatre thèmes transversaux coordonnent l'apport scientifique du CEFE aux grands thèmes internationaux de la recherche en Ecologie :

- Action de L'homme, systèmes anthropisés et **écologie de la conservation**.
- **Valeur adaptative des traits d'histoire de vie** en présence de contraintes.
- Rôle de la **biodiversité** dans le fonctionnement des **écosystèmes**.
- **Changements globaux** et fonctionnement des écosystèmes.

Le CEFE dispose de terrains d'expériences permettant de réaliser une large gamme d'expérimentations en conditions naturelles ou contrôlées et d'entretenir des collections végétales permanentes. Il est porteur du projet Ecotron, grand équipement expérimental d'écologie, qui permettra de suivre en conditions contrôlées des portions d'écosystèmes, notamment pour étudier les conséquences biologiques des changements climatiques.

Le CEFE joue un rôle actif dans différentes structures et programmes fédérateurs : l'Institut fédératif de recherche (IFR) « Biodiversité continentale méditerranéenne et tropicale » du ministère de la recherche dirigé par Nicole Pasteur, l'IFR « Ecosystem », l'Observatoire de recherche en environnement « Fonctionnement des écosystèmes forestiers » et une zone atelier « Arrière-pays méditerranéen ». Il participe activement au pôle « Agronomie-Alimentation-Environnement-Biodiversité » (Agropolis International) de Montpellier, et dans ce cadre au renouvellement de l'IFR « Biodiversité continentale méditerranéenne et tropicale » qui fédérera sous le nom d'IFR « Montpellier-Environnement-Biodiversité », l'ensemble de l'exceptionnel dispositif de recherche Montpelliérain sur ces thèmes.

Contact direction du CEFE :

Jean-Dominique Lebreton, T 04 67 61 32 00, jean-dominique.lebreton@cefe.cnrs.fr

Pour en savoir plus : <http://www.cefe.cnrs.fr/>

Biologie des populations

Les travaux de l'équipe Biologie des populations visent à comprendre le fonctionnement et la dynamique spatio-temporelle des populations dans le cadre de la théorie Darwinienne de l'évolution. Leur approche intégrative se situe à la confluence de nombreuses disciplines : génétique des populations, écologie comportementale, écologie chimique ou physiologie. De nombreux modèles biologiques sont étudiés (animaux, végétaux et champignons), en s'appuyant sur des approches théorique et modélisatrice, des programmes de terrain à long terme et l'utilisation de divers marqueurs (génétiques et chimiques). Les interactions entre dynamiques écologiques et dynamiques sociales sont également abordées.

La pollinisation des orchidées méditerranéennes

Très largement représentées en région Languedoc-Roussillon (80 des 150 espèces françaises), **les orchidées méditerranéennes sont un modèle idéal pour l'étude des interactions entre plantes et pollinisateurs**. Elles présentent en effet une grande variété de stratégies pour attirer leurs pollinisateurs : piège à odeur, production de nectar, mimétisme de plantes à nectar, leurre sexuel. La nature, la spécificité et les conflits associés à l'interaction entre orchidées et pollinisateurs sont analysés par une approche complémentaire entre écologie comportementale, chimique et évolutive.



Les trois espèces du groupe d'*Ophrys insectifera*.

La pollinisation des espèces du genre *Ophrys* est uniquement assurée par les mâles de l'espèce pollinisatrice. En plus d'imiter la morphologie générale de la femelle (forme, taille et couleur), les fleurs parasitent le comportement sexuel de leur pollinisateur spécifique en émettant un bouquet d'odeur similaire à la phéromone sexuelle émise par les femelles. Lors de ses mouvements au cours du comportement de pseudocopulation avec la fleur, le mâle va se coller les pollinies (amas de pollen) sur une partie du corps ; il va réaliser la pollinisation en les transportant jusqu'à une autre fleur où il répète son comportement. Les trois espèces du groupe d'*O. insectifera* sont très proches morphologiquement et sont pourtant pollinisées chacune par une seule espèce d'hyménoptère : cette spécificité est assurée par l'odeur émise par ces fleurs.

Une des trois espèces du groupe d'*O. insectifera* © CNRS - CEFE

L'hybridation entre deux espèces du genre *Orchis*, l'orchis singe et l'orchis homme-pendu.

Grâce à leur morphologie mais surtout à la production d'une odeur volatile spécifique, ces deux orchidées attirent chacune une cohorte assez spécifique d'insectes, excepté un insecte en commun parmi les pollinisateurs. Des observations plus détaillées ont permis de montrer que ce dernier est responsable de l'hybridation entre ces deux orchidées. Les chercheurs ont pu vérifier que l'hybride entre ces deux orchidées n'est présent qu'à proximité des secteurs à résineux et à aubépine où l'on trouve l'insecte.

Cette dernière étude montre un impact inattendu de l'homme sur la biodiversité. En effet, en plantant après guerre des forêts de résineux dans la région des Grands Causses, l'homme a favorisé la présence de cet insecte, et donc l'hybridation entre ces deux orchidées. Les orchidées étant des espèces emblématiques à haute valeur patrimoniale, leur protection doit correspondre non seulement à une protection des plantes elles-mêmes mais également à celle de leur habitat et de leurs pollinisateurs.

Ce thème de recherche est réalisé en collaboration avec plusieurs membres de la SFO (Société Française d'Orchidophilie au sein de laquelle Bertrand Schatz est responsable du groupe « Relations insectes-orchidées »), ainsi qu'avec le Parc naturel des Cévennes et les Conservatoires naturels régionaux dans le but d'améliorer leur conservation grâce à la compréhension de leur écologie de pollinisation.



© CNRS - CEFE

L'orchis singe (*O. simia*) et l'insecte qui réalise l'hybridation

Les mutualismes « plante-insecte »

Un mutualisme se définit par l'échange de bénéfices réciproques entre deux espèces, ici entre une plante et un insecte. Qu'il s'agisse de mutualismes de pollinisation (plutôt spécifiques et obligatoires) ou de mutualismes de protection (généralement plus opportunistes), ces interactions plante-insecte permettent d'étudier plusieurs thèmes comme la rencontre des partenaires, l'estimation des coûts et des bénéfices pour chacun des partenaires, les conflits entre mutualistes, la spécificité de ces interactions. Ces thèmes de recherche sont analysés dans les domaines de l'écologie évolutive, chimique et comportementale.



© CNRS – CEFE

Les parasites du figuier (en haut)
et les fourmis prédatrices de
pollinisateurs de figuiers (en bas)

Le mutualisme entre figuiers et pollinisateurs est spécifique et obligatoire. Il existe à travers le monde 800 espèces de figuiers, chacune étant impliquée dans un tel mutualisme. Les insectes pollinisateurs se reproduisent à l'intérieur de l'inflorescence (comme dans le cas des palmiers). Attirés par une odeur volatile émise par les figuiers, ils assurent la pollinisation de leur plante-hôte. Sous les tropiques où plusieurs espèces de figuiers peuvent coexister, l'émission de cette odeur volatile spécifique va permettre de maintenir la spécificité du pollinisateur. Cependant, elle va également être détectée par plusieurs espèces de parasites (insectes hyménoptères) qui pondent depuis l'extérieur de la figue et à différents moments au cours de la maturation des figues. Les larves de parasites vont se développer dans les figues et sortir en même temps que les pollinisateurs. Cette odeur volatile peut aussi être détectée et utilisée par plusieurs espèces de fourmis prédatrices (voir photo) qui viennent capturer en grand nombre à la fois des pollinisateurs et des parasites. Ainsi, les figuiers sont le support de réseaux complexes d'interactions interspécifiques permis par les communications chimiques entre les acteurs de cette biodiversité.

Les mutualismes de protection plante-fourmi correspondent eux à des situations où la fourmi protège la plante-hôte contre les herbivores et où la plante offre aux fourmis des sites de nidification (renflement végétal comme des domaties) et souvent de l'alimentation (nectaires extrafloraux comme sur la photo). Ainsi, la plante de sous-bois *Leonardoxa africana africana*, endémique du sud du Cameroun, est spécifiquement protégée par la fourmi *Petalomyrmex phylax*. Les jeunes feuilles de la plante émettent une odeur volatile qui attire les ouvrières, focalisant leur effet protecteur sur la zone la plus fragile de la plante. Cependant, ce mutualisme est également parasité par une autre fourmi, *Cataulacus mckeyi* (voir photo), qui se nourrit des nectaires et loge dans les domaties mais sans apporter une protection efficace à leur plante-hôte.

La biodiversité supportée par cette plante à fourmis s'organise autour d'interactions interspécifiques, là encore permises par les communications chimiques entre les différents acteurs.



© CNRS – CEFE

La fourmi *Cataulacus mckeyi*,
parasite d'un mutualisme de
protection

Contact : Martine Hossaert-McKey, T 04 67 61 32 30, martine.hossaert@cefe.cnrs.fr

Une diversité créée par l'homme

La biodiversité est généralement considérée comme l'ensemble de la diversité du monde vivant, des paysages aux espèces en passant par les communautés. Cette diversité est pourtant le produit de l'interaction entre le monde vivant et les sociétés humaines qui y vivent. Ceci est particulièrement vrai pour les plantes et les animaux utilisés par les sociétés humaines : le travail de l'équipe « Interactions bioculturelles : domestication et gestion des ressources » du CEFÉ repose sur le fait que les espèces utilisées sont à la fois des construits sociaux et des entités biologiques. Il s'appuie donc sur le fait que la dynamique de la diversité génétique de ces espèces est dépendante non seulement des traits d'histoire de vie des espèces mais aussi des différents contextes culturels, sociaux et agronomiques qui interagissent.

L'exemple des agriculteurs Duupa du nord Cameroun

Ces agriculteurs cultivent une grande diversité d'espèces dont le sorgho. Cette céréale qui constitue la base de leur alimentation est aussi utilisée sous forme de bière dans de nombreux événements sociaux : mariage, circoncision, battage. Dans le village de Wanté, les agriculteurs cultivent 46 variétés différentes. Chaque agriculteur cultive un mélange de 4 à 24 variétés : un important brassage génétique entre les variétés peut donc avoir lieu par pollinisation croisée. De plus, les agriculteurs échangent des graines pour la semence lors de nombreuses occasions et en particulier lors des battages collectifs : il y a donc une migration importante de l'espèce dans le village et entre les villages. Comment les interactions entre les dynamiques biologiques de la plante et les pratiques des agriculteurs permettent-elles alors de maintenir un si grand nombre de variétés ? Les chercheurs ont développé une approche interdisciplinaire – génétique, anthropologie, écologie – pour comprendre l'impact des facteurs socioculturels sur la dynamique de la diversité génétique.



Panicules de sorgho sélectionnées pour la semence et battage du sorgho à Wanté (Cameroun)

© A.Barnaud / CNRS – CEFÉ

Ce travail est réalisé dans le cadre d'une collaboration interdisciplinaire - génétique écologie anthropologie et géographie - menée par des chercheurs de différents instituts : Cirad, CNRS, Universités Montpellier 2 et Nanterre, Mission d'étude et de développement de la province du Nord Cameroun.

Contact : Hélène Joly, T 04 67 61 33 01, helene.joly@cefe.cnrs.fr

Ecologie spatiale des populations

Les changements spontanés ou d'origine humaine de la structure des paysages, ainsi que le changement du climat, ont des conséquences sur la distribution et les réponses des organismes vivants. Il est alors crucial de prendre en compte la dimension spatiale des phénomènes. Dans ce contexte, l'objectif de l'équipe « Ecologie spatiale des populations » est de comprendre et de prédire la capacité des populations naturelles à faire face ou à s'adapter à ces modifications du milieu : dans quelle mesure la variabilité spatiale et temporelle de l'environnement va affecter les comportements de choix de l'habitat, la communication intra-spécifique, la sélection sexuelle, les variations phénotypiques, les interactions locales entre espèces et les dynamiques d'extinctions/colonisations au sein des paysages ?

Approches et modèles biologiques utilisés

Pour travailler sur ces thèmes, les chercheurs combinent différentes approches, telles que l'analyse de données d'observations et d'expérimentations menées sur le terrain, la modélisation et l'analyse d'échantillons au laboratoire (immunologie, analyse des signaux colorés et acoustiques, biologie moléculaire).

Différents modèles biologiques sont utilisés, en particulier la **Mésange bleue** *Parus caeruleus* en région méditerranéenne et la **Mouette tridactyle** *Rissa tridactyla* en zone arctique.

Les chercheurs étudient par exemple comment la **variabilité spatiale de l'exposition au parasitisme** a pu affecter l'évolution d'une réponse induite telle que la **transmission d'anticorps de la mère au jeune**, et quelles en sont les implications pour le fonctionnement des populations. Chez la Mouette tridactyle, les poussins sont exposés à de forts niveaux de parasitisme par des tiques. Les chercheurs ont mis en évidence que des anticorps étaient transmis via le jaune d'oeuf de la mère au poussin. Les étapes suivantes consistent à déterminer si cette capacité à transmettre des anticorps varie entre femelles, si la transmission d'anticorps représente un investissement coûteux et si elle protège effectivement les poussins contre les parasites auxquels ils sont exposés.



© CNRS – CEFE

Poussin de mouette tridactyle parasité par la tique des oiseaux de mer, *Ixodes uriae*



© CNRS – CEFE

Mouettes tridactyles sur leurs nids

Les tiques peuvent transmettre des virus et bactéries, tel que l'agent de la maladie de Lyme et le niveau d'infestation des zones de reproduction varie fortement dans l'espace. L'identification des individus par des bagues colorées permet d'étudier, d'une année sur l'autre, leur réponse aux facteurs affectant la qualité de leurs sites de reproduction.

Implications des travaux

Ces travaux ont des implications en **biologie de la conservation** (dynamique de la biodiversité, fragmentation des paysages et extinctions locales...), mais aussi en **épidémiologie** (dimension spatiale des interactions hôte-parasite, écologie évolutive de la transmission maternelle d'anticorps...).

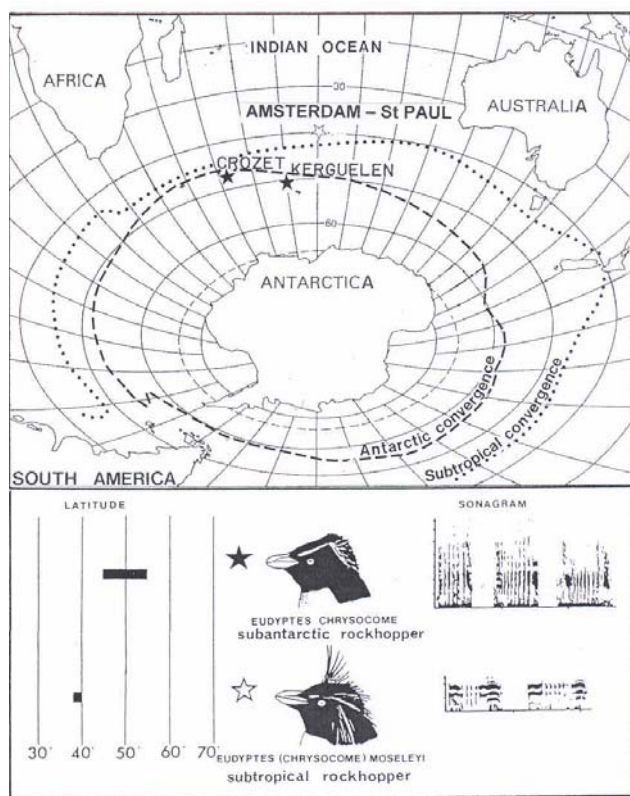
Contacts : Thierry Boulonier, 04 67 61 22 45, thierry.boulonier@cefe.cnrs.fr
Marcel Lambrechts, 04 67 61 32 15, marcel.lambrechts@cefe.cnrs.fr

Une nouvelle espèce de manchot : le gorfou sauteur d'Amsterdam

Très peu d'espèces animales sont parvenues à coloniser les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) car les conditions de vie y sont dures. Ces espèces, dont la taille des colonies est impressionnante, sont très originales. La découverte d'une nouvelle espèce d'oiseau est rare mais les chercheurs du CEFE en ont déjà découvert plusieurs (un albatros de 3m d'envergure, un canard aptère et deux pétrels), la plupart sur les îles St Paul-Amsterdam (sud de l'Océan indien). Ces îles sont particulièrement originales car elles n'ont dans le monde pour équivalent biogéographique que les îles Gough-Tristan da Cunha (sud de l'océan Atlantique), où des oiseaux marins subantarctiques exploitent des eaux subtropicales.

Pierre Jouventin étudie notamment les différentes espèces de manchots qui peuplent les TAAF. Il avançait dans sa thèse que les gorfous sauteurs étaient en fait constitués de deux espèces, l'une du sud austral dans les îles subantarctiques et l'autre du nord de l'océan austral. Les manchots de St Paul-Amsterdam se différenciaient en effet de ceux de Crozet-Kerguelen par le chant et la taille des aigrettes. Pierre Jouventin montrait qu'il s'agissait de mécanismes éthologiques d'isolement sexuel évitant l'hybridation entre ces deux espèces migratrices.

La classification des gorfous sauteurs était toujours discutée et aucun généticien n'avait testé cette hypothèse. En fin de carrière, Pierre Jouventin a voulu en avoir le cœur net ! L'équipe du CEFE vient de séquencer leur ADN : les sauteurs de St Paul-Amsterdam doivent dorénavant être élevés au rang d'espèce à part entière, *Eudyptes moseleyi*. Ils sont isolés génétiquement des populations de Crozet-Kerguelen, *Eudyptes chrysocome*, pourtant voisines et très proches de celles de Gough-Tristan da Cunha vivant dans un autre océan mais appartenant à cette même nouvelle espèce (article sur le point de paraître dans Molecular Ecology).



© CNRS - CEFE

Principaux sites de reproduction des gorfous sauteurs du sud (eaux subantarctiques, étoiles noires) et du nord (eaux subtropicales, étoiles blanches). Le chant des manchots des eaux subtropicales est plus grave et leurs aigrettes sont plus longues.



© CNRS - CEFE

Manchot gorfou sauteur d'Amsterdam
(eaux subtropicales)



© CNRS - CEFE

Manchot gorfou sauteur de Crozet-Kerguelen
(eaux subantarctiques)

Dynamique des systèmes écologiques

Les travaux du département Dynamique des systèmes écologiques alimentent une thématique prioritaire du CEFE : **l'anthropisation des milieux et ses conséquences écologiques**. L'homme est devenu l'un des premiers déterminants de la distribution et du fonctionnement des organismes vivants. Selon une étude récente, plus de 80 % de la surface de la Terre est directement influencée par les activités humaines qui modifient profondément les contraintes écologiques au sein des habitats, la distribution des habitats dans le paysage ainsi que le fonctionnement des populations et leurs interactions.

Les chercheurs étudient des systèmes écologiques où les activités humaines jouent un rôle crucial. Ils s'intéressent à l'étude de la dynamique de la biodiversité, et plus particulièrement aux mécanismes qui sous-tendent la réponse des organismes à l'hétérogénéité spatio-temporelle du milieu. Dans ce département, la stratégie et la politique scientifique spécifiques sont marquées par le développement de fortes interfaces entre l'écologie fonctionnelle, la dynamique des populations et l'écologie évolutive, d'une part, l'ancrage et le renforcement des recherches interdisciplinaires impliquant l'écologie et les sciences humaines, d'autre part.

Ecologie des paysages : processus écologiques et humains

Les recherches portent notamment sur les changements d'utilisation des terres et les mutations des systèmes agraires. Ces phénomènes se traduisent dans de nombreuses régions de l'espace rural européen par une très forte dynamique de reforestation spontanée. La progression spontanée des formations boisées met en jeu des processus écologiques et socio-économiques : organisation de la production agricole, stratégies d'acteurs, interprétation et construction sociale des problèmes d'environnement. Pour résoudre les problèmes théoriques et répondre à la demande sociale, les chercheurs développent une démarche interdisciplinaire véritablement intégrée entre géographie et écologie avec des études de long durée sur les Grands Causses du sud du Massif Central..

Organisation et dynamique de la diversité fonctionnelle

L'analyse des conséquences des changements d'utilisation des terres, qui mettent en jeu les mécanismes de succession, nécessite une approche fonctionnelle des organismes et des populations. Une priorité ici est de préciser, par la combinaison d'études théoriques et expérimentales, les mécanismes écologiques (compétition, fonctionnement racinaire, ...) qui sous-tendent l'installation et la réponse fonctionnelle des espèces végétales en milieu hétérogène. Dans ce contexte, l'étude des relations entre le fonctionnement des espèces en milieu hétérogène et la structure et la dynamique des communautés représente un axe clé.

Evolution contemporaine

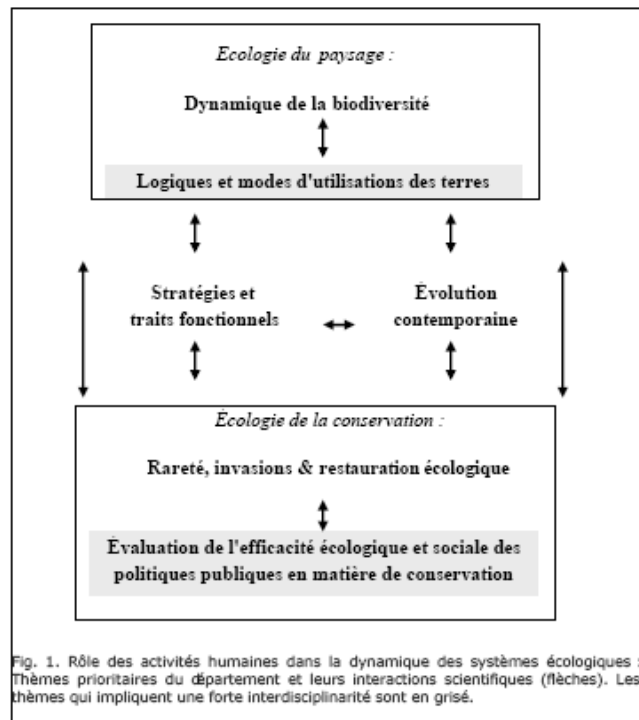
L'ampleur et la rapidité des changements actuels dans l'utilisation des terres pourraient avoir des conséquences profondes sur la capacité de réponse évolutive des espèces. Les modifications importantes des conditions écologiques locales créent de nouvelles pressions de sélection qui sont parfois très fortes (comme en témoigne la réponse adaptative des espèces végétales sur des sols pollués) et la fragmentation des habitats perturbe les flux d'individus et de gènes. Ainsi, les pressions de sélection sur les traits liés à la dissémination se trouvent radicalement changées. A titre d'exemple, un programme, commencé récemment, sur la dynamique et l'adaptation des populations et des communautés végétales en milieu urbain (qui est fortement fragmenté et perturbé) permettra d'analyser précisément les processus et les dynamiques liés aux pressions de sélection mises en œuvre.

Ecologie de la conservation : rareté, invasions et restauration écologique

Bien que l'histoire des paysages (notamment en région méditerranéenne) soit faite de modifications liées à l'activité humaine, le rythme de ces modifications s'est accéléré brutalement depuis à peu près un siècle. Devant les menaces d'extinction locale de nombreuses espèces, la multiplication des introductions d'espèces exotiques et potentiellement envahissantes, et la dégradation de certains milieux, il est devenu urgent de pouvoir améliorer notre capacité prédictive sur les mécanismes qui sous-tendent les processus de raréfaction, d'invasion et de restauration écologique. Un objectif prioritaire concerne la poursuite des suivis démographiques à long terme des populations d'espèces végétales protégées et d'espèces

patrimoniales de vertébrés en région méditerranéenne. Les recherches portent surtout sur les espèces et communautés de plantes et d'oiseaux des régions méditerranéennes menacées par les changements d'utilisation des terres : pivoine officinale, passeraux de milieux ouverts, tortues et lézards méditerranéens.

Les thèmes prioritaires du département Dynamique des systèmes écologiques et leurs interactions :



Contacts : Pascal Marty, T 04 67 61 32 19, pascal.marty@cefe.cnrs.fr
John Thompson, T 04 67 61 32 14, john.thompson@cefe.cnrs.fr

Fonctionnement des écosystèmes

Les écosystèmes jouent un rôle essentiel dans la régulation des flux d'eau, de carbone et d'azote. Il s'agit de **fonctions** qui font référence aux propriétés des systèmes et font appel à de nombreux processus physiologiques élémentaires. Ces fonctions assurent des **services** indispensables aux sociétés humaines tels que la régulation du climat, la qualité de l'air, de l'eau et des sols.

Les flux de matières sont régis par les activités de différents types d'organismes qui interagissent entre eux et avec le milieu. Les **changements globaux** (changements climatiques et changements d'usage des terres) altèrent profondément la structure et le fonctionnement des écosystèmes bien que **le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des écosystèmes** soit encore loin d'être élucidé. Nos recherches s'attachent à comprendre et à modéliser la régulation des processus biologiques à l'origine de ces flux afin de prédire leur évolution.

L'équipe Fonctionnement des écosystèmes étudie particulièrement les services concernant **le recyclage des nutriments** (azote), la **séquestration de carbone** par les écosystèmes et ses modifications prévisibles en fonction des changements climatiques, enfin la **régulation des flux d'eau**. Les travaux visent à répondre à deux grandes questions :

- Quel est le rôle de la diversité des organismes dans la régulation des flux d'eau et de matières dans les écosystèmes ?
- Comment prédire les réponses des écosystèmes en termes de diversité, fonctionnement et dynamique face aux changements globaux ?

A partir des travaux récents sur la relation **biodiversité-fonctionnement** des écosystèmes, on peut émettre trois hypothèses non exclusives pour expliquer cette relation. Un effet positif du nombre d'espèces sur le fonctionnement de l'écosystème peut provenir d'une complémentarité des espèces dans l'utilisation spatiale ou temporelle des ressources du milieu ; d'interactions positives entre espèces (facilitations ou mutualismes) ; ou encore d'un effet d'échantillonnage (probabilité accrue d'inclure une espèce très productive dans la communauté qui tendra à dominer celle-ci). **Très souvent, cependant, l'effet du nombre d'espèces est assez faible et c'est l'effet identitaire des espèces qui est prédominant.**

Décomposition de la matière organique, recyclage des nutriments et fonctions microbiennes

Les travaux relatifs au rôle de la biodiversité des réseaux trophiques des sols dans la décomposition des litières s'intéressent à la diversité de la qualité des litières et à la diversité fonctionnelle des décomposeurs dans les processus de décomposition. De façon complémentaire, les fonctions microbiennes qui sont étudiées, à savoir la respiration, la dénitrification et la nitrification, constituent des fonctions importantes dans la production et la régulation des flux de carbone et d'azote dans les sols et les sédiments. Le choix de ces fonctions réside aussi dans le fait qu'elles sont portées par des diversités et des densités microbiennes très différentes qui nous permettent de prendre en compte des niveaux variables de redondance fonctionnelle pour tester leurs capacités de résistance et de résilience face aux perturbations.

Contacts : Stephan Hättenschwiler, T 04 67 61 22 36, hattenschwiler@cefe.cnrs.fr

Robert Lensi, T 04 67 61 32 43, lensi@cefe.cnrs.fr

Impacts des changements globaux sur la phénologie¹ et la biodiversité

L'équipe privilégie une approche de modélisation basée sur les processus, s'appuyant fortement sur des expérimentations et abordant le problème de l'impact des changements globaux sur la biodiversité à différentes échelles. Ces quatre dernières années, les chercheurs ont étudié expérimentalement la réponse à la température et aux précipitations, d'une part, et au CO₂, d'autre part, de communautés herbacées et ligneuses en serre et en plein champ. Ces mesures réalisées entre l'automne 2002 et l'automne 2005 ont montré des différences importantes de phénologie dues à

¹ La phénologie est l'étude scientifique des variations que les divers climats font subir à la floraison et à la feuillaison des végétaux.

l'augmentation de température, ayant pour conséquence des changements importants de croissance et de fécondité. L'impact de la température sur la phénologie va dans le sens d'un avancement des stades de développement chez toutes les espèces. Ces résultats indiquent que toutes les espèces ligneuses jusqu'ici étudiées pourraient régresser dans la partie sud de leur aire de répartition et progresser au-delà de la limite nord de leur aire de répartition. La colonisation de nouveaux habitats au-delà de l'aire actuelle de répartition est cependant fortement dépendante des capacités de dispersion qui varient selon les espèces.

Contacts : Isabelle Chuine, T 04 67 61 22 5, chuine@cefe.cnrs.fr

Xavier Morin, T 04 67 61 22 37, morin@cefe.cnrs.fr

Emissions biogéniques des chênes méditerranéens et qualité de l'air

Les chênes méditerranéens émettent en quantité importante des composés chimiques très réactifs appelés composés organiques volatils (COV) dont les plus importants sont des isoprénoides : l'isoprène et les monoterpènes. Ces composés ont de multiples impacts sur l'environnement : ce sont non seulement des agents de défense et de communication entre les organismes, mais aussi des acteurs majeurs dans les interactions biosphère-atmosphère. Les COV biogéniques sont en partie responsables de la formation de nuages photochimiques selon les conditions météorologiques et les concentrations en oxyde d'azote (NOx). Lorsque les concentrations en COV et en NOx (NO et NO2 provenant en partie du trafic routier) sont élevées, des réactions photochimiques amènent à la formation d'ozone de basse couche. C'est le "smog"² que l'on observe de plus en plus fréquemment en été en région méditerranéenne et qui entraîne des problèmes sérieux de santé publique. La diversité des émissions des chênes est forte puisqu'il existe des chênes non-émetteurs, des émetteurs d'isoprène et des émetteurs de monoterpènes. Le chêne vert (*Quercus ilex*) espèce dominante des forêts méditerranéennes présente une forte diversité intraspécifique avec plusieurs chémotypes (molécules biochimiquement actives) se différenciant par la composition chimique des monoterpènes émis. Les études sur le rôle et la régulation des émissions sont essentiellement conduites au niveau individuel, mais la modélisation des émissions de COV, abordée au niveau du paysage, permettra de quantifier l'impact potentiel des changements de climat et d'utilisation des terres sur le bilan régional des émissions biogéniques et la qualité de l'air.

Contact : Michael Staudt, T 04 67 61 32 72, staudt@cefe.cnrs.fr

Changements d'occupation des terres, diversité des communautés végétales et ressources en eau

Les changements d'occupation des terres en région méditerranéenne se traduisent par une augmentation importante des forêts. Ces modifications de paysage ont des répercussions importantes en terme de diversité végétale mais aussi en terme de séquestration de carbone et de ressources en eau. Si de nombreuses études ont montré que la séquestration de carbone d'un écosystème est plus dépendante de la quantité de tissus chlorophylliens (surface foliaire) que de l'espèce (faible rôle de la biodiversité sur l'acquisition du carbone en milieu forestier), il n'en est pas forcément de même pour la consommation en eau par la végétation. La ressource en eau, définie comme la différence entre précipitations et eau évapotranspirée par les écosystèmes, est fortement dépendante des communautés végétales. Ainsi, l'augmentation du couvert forestier depuis 50 ans dans la région des hautes garrigues du Montpellierais a entraîné une réduction de la ressource en eau de plus de 80 mm. Ces modifications ont également un impact important sur la vulnérabilité des paysages aux incendies.

Contact : Serge Rambal, T 04 67 61 32 89, rambal@cefe.cnrs.fr

Forêts méditerranéennes et séquestration de carbone

Une expérimentation à long terme vise à comprendre la régulation du fonctionnement des taillis méditerranéens de chêne vert face aux changements climatiques. Ce programme traite *in natura* des relations diversité-fonctionnement en comparant plusieurs dispositifs expérimentaux. Les premiers résultats d'une expérience d'exclusion de pluies menée en pleine forêt a montré que la diversité des communautés microbiennes et fongiques est rapidement modifiée en réponse à la réduction de pluie. Ces modifications peuvent avoir de grandes répercussions fonctionnelles sur le bilan de carbone de l'écosystème (séquestration) en augmentant les pertes de carbone (respiration du sol).

Contact : Richard Joffre, T 04 67 61 32 89, joffre@cefe.cnrs.fr

² Le smog est un néologisme formé à partir des mots anglais smoke (fumée) et fog (brouillard). Il est composé de dioxyde de soufre (SO2) dégagé par le chauffage urbain utilisant des combustibles fossiles.

L'Ecotron

Plate-forme de recherche dédiée à l'analyse de l'impact des changements climatiques sur le fonctionnement des écosystèmes, des organismes et sur la biodiversité.

Projet européen porté par le CEFE, l'Ecotron est une plate forme de recherche destinée à fournir à la communauté scientifique nationale et internationale un ensemble intégré d'outils expérimentaux pour comprendre et prédire le fonctionnement des écosystèmes naturels et artificialisés, soumis à des forçages climatiques et anthropiques. Son originalité : être à la fois un outil de simulation du climat et de la chimie atmosphérique et un ensemble instrumental destiné à mesurer les réponses d'écosystèmes et d'organismes aux changements planétaires.



© Matte-Devaux-Rousseau/Auvertech

Maquette de l'Ecotron

L'Ecotron, dont la construction débutera en septembre 2006, sera implanté sur le campus Baillarguet, à quelques kilomètres de Montpellier, où sont déjà regroupés différents centres de recherche nationaux (INRA, CIRAD) et internationaux (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation - CSIRO, United States Department of Agriculture - USDA).

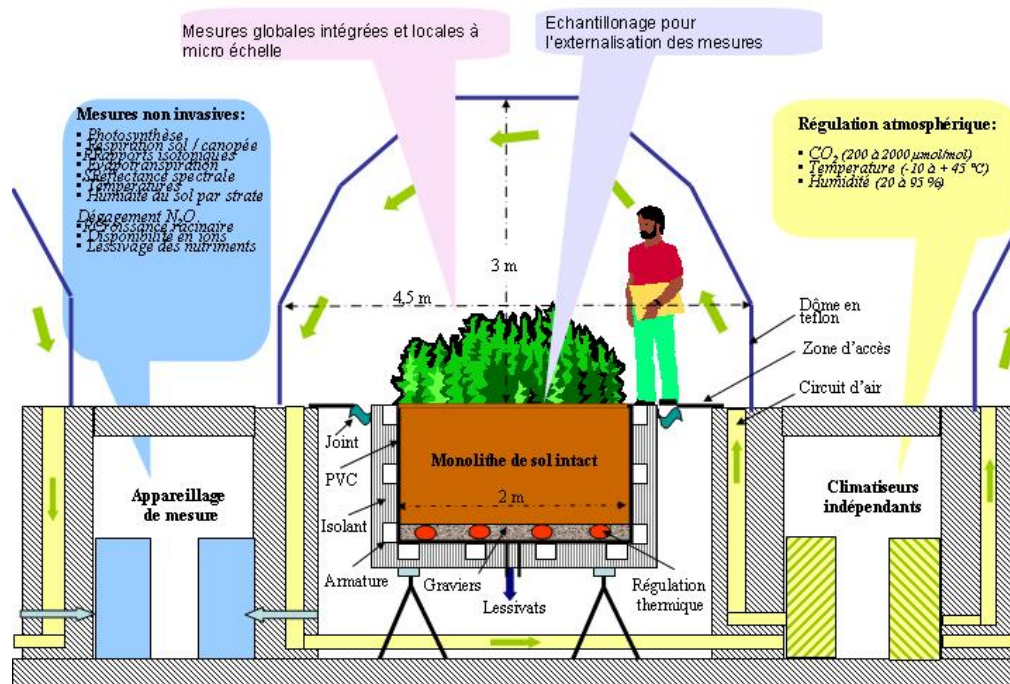
Conçu pour aborder une large gamme de questions scientifiques, l'Ecotron offrira une grande flexibilité permettant des approches innovantes à l'interface entre disciplines (écologie des organismes, microbiologie, physiologie des écosystèmes et des organismes, agronomie, écologie fonctionnelle, écologie évolutive). Il sera également apte à analyser des écosystèmes diversifiés (herbacés, ligneux bas, agroécosystèmes...) ainsi que différents types d'organismes végétaux ou appartenant à la faune du sol. A titre d'exemple, une des interactions étudiées pourrait être les conséquences du changement climatique sur le stockage du carbone dans un écosystème prairial. Il s'agit donc d'un équipement d'envergure susceptible de répondre aux questions environnementales qui se poseront dans les futures décennies.

Sa flexibilité tient notamment à la gamme des conditions climatiques, atmosphériques et édaphiques (facteurs environnementaux liés à la nature du sol et du sous-sol) qui pourront être simulées :

FORCAGES SIMULES	IMPACTS MESURES
Changements climatiques	Stockage du carbone
Chimie atmosphérique	Réserves en eau
Stress multiples et polluants	Rétention des nutriments des sols
Mode d'utilisation des terres	Emissions composées volatiles
Pesticides	Physiologie des organismes
Perte de biodiversité	Diversité des populations, communautés
Invasions biologiques	Symbioses, mutualismes, parasitismes
OGM	Interactions trophiques

Avec ses **trois plateaux expérimentaux**, l'équipement rendra possible la conduite de recherches à différentes échelles (de l'organisme à l'écosystème), une bonne capacité de reproductibilité des expérimentations et une capacité exceptionnelle de mesure du fonctionnement des écosystèmes :

- Le plateau 'Macrocosmes' sera constitué d'un réseau de 12 unités de confinement pouvant accueillir des monolithes de sol (échantillons de sol non perturbé) de 5 m³ avec leur végétation (30 m³).
- Le plateau 'Mésocosmes' sera constitué d'une grappe de 12 à 24 unités pouvant accueillir des monolithes de sol de 1 m³ et leur végétation (2 m³)
- Le troisième plateau expérimental 'Microcosmes' permettra d'insérer divers types d'organismes dans des enceintes (1 à 200 dm³) avec un environnement microclimatique contrôlé.



© CNRS – CEFÉ
Coupe schématique d'un macrocosme

Chaque plateau expérimental peut être utilisé pour conditionner d'une façon différentielle des écosystèmes et pour en mesurer les réponses spécifiques dans un système totalement contrôlé. Il sera également possible d'utiliser ces plateaux pour étudier des écosystèmes ayant subi un pré-traitement *in situ* et d'analyser en détail leur physiologie.

Les mécanismes qui pourront être étudiés par l'Ecotron concernent la régulation des flux, les chaînes trophiques, le rôle fonctionnel de la biodiversité, les interactions biotiques, la plasticité et l'adaptation des individus, l'expression des gènes.

Très complémentaire des études théoriques et des expérimentations *in situ*, ce type d'équipement fait actuellement défaut au niveau européen.

Le projet Ecotron est né dans le cadre d'un contrat de plan état-région 2000-2006, il bénéficie à ce jour d'un soutien financier du CNRS (Département Vivant, 1,8 M€) et de la région Languedoc-Roussillon (1,8 M€).

Pour plus de détails sur cet équipement : <http://www.ecotron.cnrs.fr/>

Contacts :

Responsable scientifique du projet : Jacques Roy, T 04 67 61 32 39, jacques.roy@cefe.cnrs.fr

Responsables techniques :

Olivier Ravel, T 04 67 61 32 44, olivier.ravel@cefe.cnrs.fr

Christophe Escape, T 04 67 61 22 37, christophe.escape@cefe.cnrs.fr

Responsables communication :

Jusqu'au 31 août : Johanna Rannou-Sachy, T 04 67 61 32 39, johanna.rannou-sachy@cefe.cnrs.fr

A partir du 1^{er} septembre : Jacques Roy