



# 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](mailto: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

Contact : Bertrand Schatz, T 04 67 61 32 62, [bertrand.schatz@cefe.cnrs.fr](mailto:bertrand.schatz@cefe.cnrs.fr)

## 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](mailto: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](mailto: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...).

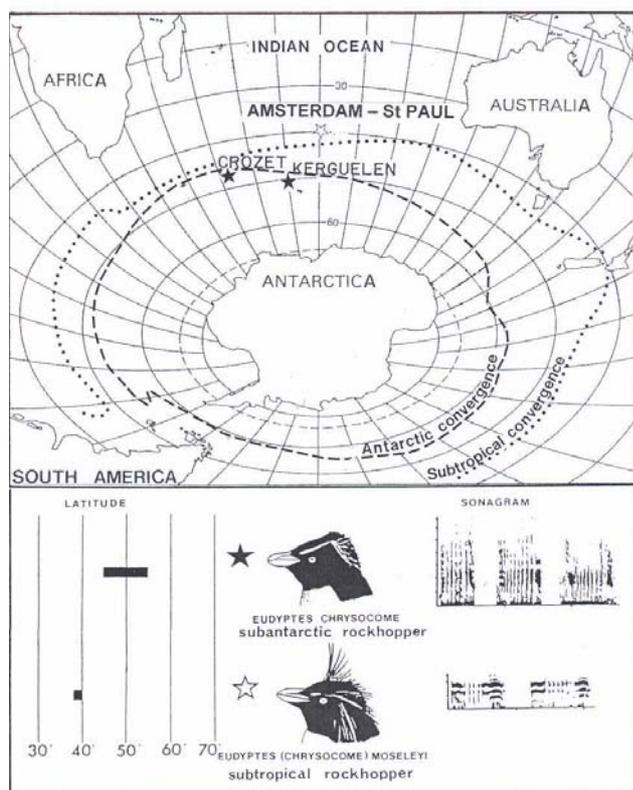
Contacts : Thierry Boulinier, 04 67 61 22 45, [thierry.boulinier@cefe.cnrs.fr](mailto:thierry.boulinier@cefe.cnrs.fr)  
Marcel Lambrechts, 04 67 61 32 15, [marcel.lambrechts@cefe.cnrs.fr](mailto:marcel.lambrechts@cefe.cnrs.fr)

## 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**

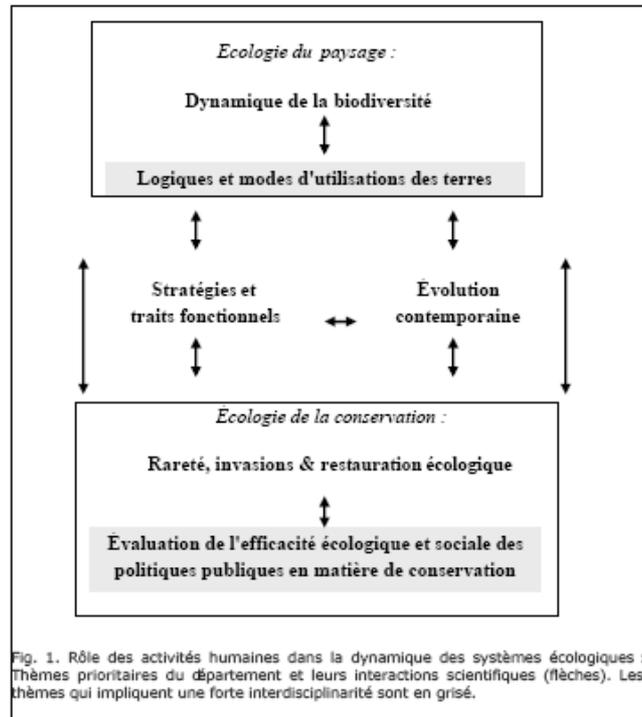
L'ampleur et la rapidité des changements actuels dans l'utilisation des terres pourraient avoir des conséquences profondes sur la capacité de réponse évolutive des espèces. Les modifications importantes des conditions écologiques locales créent de nouvelles pressions de sélection qui sont parfois très 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](mailto:pascal.marty@cefe.cnrs.fr)  
John Thompson, T 04 67 61 32 14, [john.thompson@cefe.cnrs.fr](mailto: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](mailto:hattenschwiler@cefe.cnrs.fr)

*Robert Lensi*, T 04 67 61 32 43, [lensi@cefe.cnrs.fr](mailto:lensi@cefe.cnrs.fr)

## Impacts des changements globaux sur la phénologie<sup>1</sup> 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 CO<sub>2</sub>, 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

---

<sup>1</sup> 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](mailto:chuine@cefe.cnrs.fr)

Xavier Morin, T 04 67 61 22 37, [morin@cefe.cnrs.fr](mailto: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 isoprénoïdes : 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"<sup>2</sup> 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](mailto: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](mailto: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](mailto:joffre@cefe.cnrs.fr)

---

<sup>2</sup> 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).

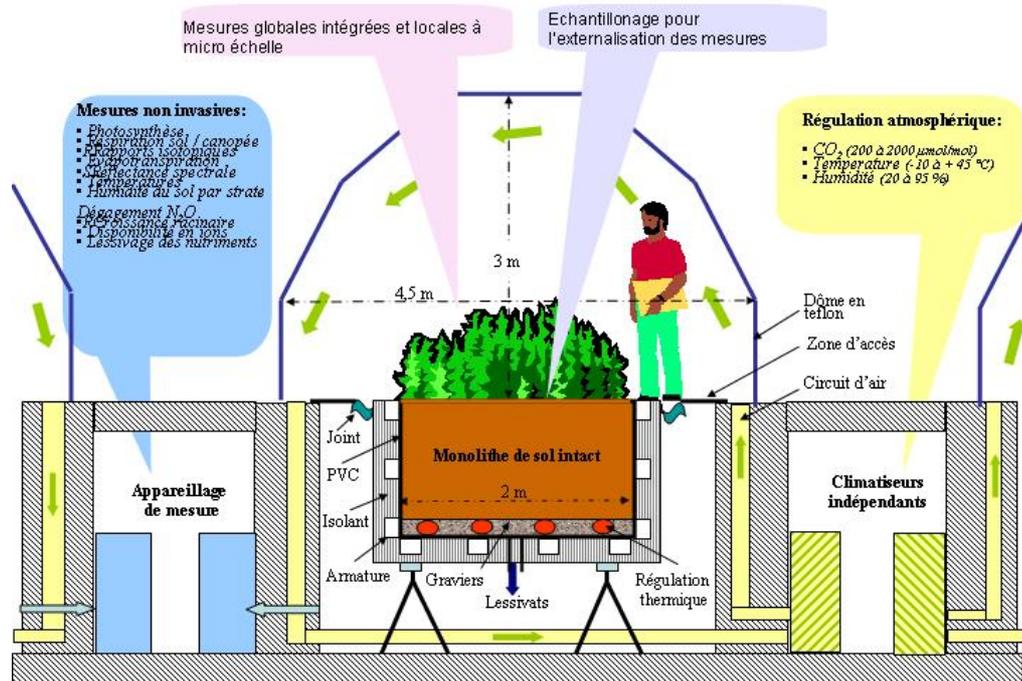
Conçu pour aborder une large gamme de questions scientifiques, l'Ecotron offrira une grande flexibilité permettant des approches innovantes à l'interface entre disciplines (écologie des organismes, microbiologie, physiologie des écosystèmes et des organismes, agronomie, écologie fonctionnelle, écologie 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 simulés :

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 m<sup>3</sup> avec leur végétation (30 m<sup>3</sup>).
- Le plateau 'Mésocosmes' sera constitué d'une grappe de 12 à 24 unités pouvant accueillir des monolithes de sol de 1 m<sup>3</sup> et leur végétation (2 m<sup>3</sup>).
- Le troisième plateau expérimental 'Microcosmes' permettra d'insérer divers types d'organismes dans des enceintes (1 à 200 dm<sup>3</sup>) avec un environnement microclimatique contrôlé.



© CNRS - CEFE

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](mailto:jacques.roy@cefe.cnrs.fr)

Responsables techniques :

Olivier Ravel, T 04 67 61 32 44, [olivier.ravel@cefe.cnrs.fr](mailto:olivier.ravel@cefe.cnrs.fr)

Christophe Escape, T 04 67 61 22 37, [christophe.escape@cefe.cnrs.fr](mailto: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](mailto:johanna.rannou-sachy@cefe.cnrs.fr)

A partir du 1<sup>er</sup> septembre : Jacques Roy