

LE PETIT  
ARIÈGE  
ILLUSTRÉ

REGARDS CROISÉS DE CHERCHEURS SUR UN TERRITOIRE

# L'ARIÈGE, TERRE DE SCIENCE

LA DÉPÊCHE

cnrs

COLLECTION PETIT ILLUSTRÉ n°19 3,90€

## SOMMAIRE

### MOULIS p.2

- Le laboratoire du CNRS à Moulis, pionnier de la recherche expérimentale en sciences environnementales.....P.3
- Décrypter les fluctuations climatiques passées pour mieux comprendre la biodiversité.....P.4
- La faune cavernicole, modèle pour la compréhension des processus évolutifs et pour l'étude de l'adaptation à l'environnement.....P.5
- Plasticité phénotypique : ajuster rapidement son organisme pour survivre.....P.6
- Interactions sociales et évolution.....P.7
- Génétique quantitative : mesurer la réponse aux changements du milieu en temps réel.....P.8
- Impacts des changements globaux sur les écosystèmes aquatiques d'eau douce.....P.9
- Le Métatron : outil innovant d'expérimentation en écologie.....P.10
- Métapopulations, métacommunautés et Métatron : du « méta » en biologie de la conservation.....P.11
- Développement des méthodes statistiques pour le traitement de données biologiques complexes.....P.12
- La modélisation de la biodiversité : un outil en plein développement.....P.13
- Des modèles mathématiques pour comprendre les conséquences de la perte de biodiversité.....P.14
- Effets du changement climatique sur la biodiversité : analyse de données et modélisation.....P.15
- Changement climatique et réseaux d'interaction (Texte non reçu, titre non valide).....P.16
- Modélisation de la contribution du phytoplancton à la régulation des cycles biogéochimiques globaux.....P.17

### Observatoire Hommes-Milieus du haut Vicdessos p.18

- Nouveautés et permanences en haut Vicdessos, un territoire en reconversion.....P.19
- La fermeture des paysages dans les Pyrénées depuis les années 1940.....P.20
- Quel futur pour la neige dans le Vicdessos ?.....P.22
- Conséquences du passé métallurgique et minier sur les eaux.....P.23
- Évolution du pastoralisme en haute vallée de Soulcern.....P.24
- Les archives, de précieux indices pour reconstruire l'histoire et la dynamique des populations du haut Vicdessos.....P.25
- Les lacs : archives naturelles des interactions passées entre hommes, environnement et climat.....P.26
- La mémoire des tourbières : de l'histoire de la végétation à celle de la biodiversité.....P.27
- En montagne, les sols aussi ont de la mémoire.....P.28
- Une photothèque en ligne pour reconstituer l'histoire des paysages contemporains.....P.29
- La photo-comparaison paysagère dans le haut Vicdessos.....P.30
- L'OHM : un outil pédagogique pertinent pour la prise en compte des temporalités.....P.31

### Ailleurs en Ariège p.32

- Le talc : de Luzenac à Toulouse, de la carrière au laboratoire, du naturel au synthétique.....P.34
- Mesurer de très faibles niveaux de radioactivité dans un laboratoire souterrain.....P.35

Regards croisés de chercheurs sur un territoire

# ARIÈGE, TERRE DE SCIENCE



ous les ans, la délégation Midi-Pyrénées du *CNRS* choisit de mettre plus particulièrement en lumière certains laboratoires, certains chercheurs et certains travaux. Cette année et pour la première fois, c'est un territoire qui est à l'honneur : l'Ariège, terre de science.

Il est bien sûr question de la Station d'écologie expérimentale du *CNRS* à Moulis, seul laboratoire de recherche de grande envergure situé dans ce département. Sa grotte, son Métatron et son *Centre de théorisation et de modélisation de la biodiversité* font de Moulis un laboratoire atypique de par sa localisation mais aussi de par ses équipements de tout premier plan.

Le second coup de projecteur porte sur l'*Observatoire Hommes-Milieus du haut Vicdessos*, créé par l'*Institut écologie et environnement* du *CNRS*. Il permet à de nombreux laboratoires et chercheurs de disciplines très diverses d'étudier un territoire sous tous ses angles : sociologie, génétique, archéologie, botanique, biologie, géochimie, histoire, glaciologie...

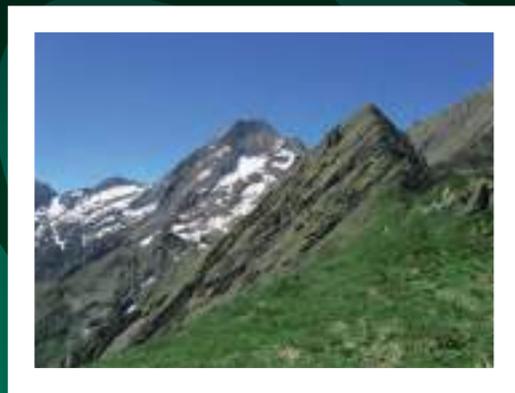
Ailleurs en Ariège, de nombreuses recherches sont menées en dehors de ces deux structures. Si les grottes ornées par nos ancêtres sont connues des touristes grâce aux travaux des archéologues et autres spécialistes, il n'en est pas de même pour d'autres études réalisées sur ce territoire. Nous avons choisi ici de vous présenter deux recherches particulièrement originales : l'une sur le talc, puisque Luzenac possède la plus grande carrière au monde de ce minéral ; l'autre sur les mesures réalisées dans la grotte de Ferrières, équipée d'instruments scientifiques de pointe.



# LA STATION D'ÉCOLOGIE EXPERIMENTALE DU CNRS À MOULIS :

Observer la nature sous toutes ses formes et la modéliser en laboratoire.

Voici un florilège de photographies illustrant la diversité des recherches menées par les équipes accueillies au laboratoire.



↑  
Glacier d'Arcouzan © Alain Mangin



↑  
Le laboratoire à Moulis © Quentin Benard



↑  
Pieris brassica © Michel Baguette



↑  
Vue aérienne du Métatron à Caumont © Quentin Benard



↑  
Lézard vivipare à l'étang de Bassiès © Olivier Guillaume



↑  
Serpent-tigre © Fabien Aubret

## LE LABORATOIRE DU CNRS À MOULIS : pionnier de la recherche expérimentale en sciences environnementales

Dès 1948 et sous l'impulsion d'une communauté scientifique française consciente de la nécessité de développer de nouveaux outils expérimentaux pour avancer dans la connaissance, a pris naissance le projet d'un centre d'étude pluridisciplinaire spécialisé dans l'étude du milieu souterrain.

### Contributeur

Olivier Guillaume  
Station d'écologie expérimentale  
du CNRS à Moulis  
Unité de service et de recherche 2936  
CNRS/Museum national d'histoire naturelle



est en Ariège, sur la commune de Moulis, que le CNRS a implanté cet outil unique au monde, combinant études physiques et biologiques avec des cavités naturelles instrumentées. Officiellement inauguré le 26 juin 1954, le Laboratoire souterrain est resté, durant plus de 50 ans d'activité, chef de file de la recherche dans ce domaine.

Face à l'émergence de nouveaux enjeux tels que les changements globaux et la perte de biodiversité, les thématiques de recherche du laboratoire se sont élargies vers ces questions centrales à partir de 2007. Une nouvelle équipe s'est constituée en s'enrichissant de chercheurs, ingénieurs, techniciens et doctorants français et étrangers. Une cinquantaine de personnes travaillent actuellement dans ce laboratoire sur des recherches de pointe en écologie.

Dans le même temps, l'infrastructure s'est considérablement développée. Tout d'abord, dans le cadre du contrat de plan État-Région 2007-2013, le laboratoire s'est converti en une plateforme expérimentale associant des dispositifs semi-naturels instrumentés tout à fait innovants et des équipements de laboratoire permettant des sciences complémentaires (génétique et biologie moléculaire, physiologie, biologie cellulaire). Puis, avec le soutien de la Région Midi-Pyrénées, du Conseil général de l'Ariège et de la Communauté de communes de Saint-Girons, il s'est doté d'un centre dédié à la modélisation de la biodiversité.

UN PÔLE DE RECHERCHE MAJEUR  
La synergie opérant au sein de cette nouvelle unité renommée « Station d'écologie expérimentale du CNRS à Moulis », celle-ci devient un pôle de recherche majeur sur le front des sciences environnementales. Reconnue en France et en Europe, elle suscite un intérêt croissant à l'international. ●



↑  
Entrée du laboratoire à Moulis.  
© Olivier Guillaume

# DÉCRYPTER LES FLUCTUATIONS CLIMATIQUES PASSÉES

pour mieux comprendre la biodiversité

**Contributeur**  
Christine Perrin  
Station d'écologie expérimentale  
du CNRS à Moulis  
Unité de service et de recherche 2936  
CNRS/Museum national d'histoire naturelle

**Évaluer l'impact des variations climatiques sur les systèmes naturels (biodiversité, ressources naturelles) et leurs implications socio-économiques est à l'heure actuelle un enjeu scientifique majeur.**

**L**a distribution actuelle des espèces est sous-tendue par une composante écologique (zones les plus favorables) mais aussi par une composante historique héritée des variations environnementales du passé, par exemple celles liées aux glaciations.

À l'échelle de la planète, la dynamique naturelle du climat est régie par l'imbrication de cycles interagissant à différentes échelles d'espace et de temps (de quelques années à plusieurs millions d'années). Dans une région donnée, estimer la variabilité naturelle du climat dans ses différentes composantes (température, précipitations, fréquence et amplitude des extrêmes...) nécessite des analyses rétrospectives, bien au-delà de ce que nous fournissent les données des instruments météorologiques. L'objectif principal de ces recherches est

d'établir des corrélations entre la dynamique du climat et celle de la biodiversité, avec prise de recul dans le temps.

## DES ARCHIVES PALÉOCLIMATIQUES

Le décodage des signaux environnementaux anciens a recours à des méthodes indirectes basées sur la caractérisation de proxies\* tels que les spéléothèmes (stalagmites, stalactites, etc.), reconnus comme les meilleures archives paléoclimatiques. Ils émanent en effet des eaux d'infiltration qui ont percolé à travers les sols et le réseau karstique sus-jacents et dépendent ainsi d'une multitude de facteurs environnementaux. Les recherches contribuent à distinguer les effets anthropiques des effets naturels sur la biodiversité. Les glaciations quaternaires ont en particulier joué un rôle important dans la fragmentation des populations, les aires de distribution des espèces et sur la biodiversité en général. ●



↑ **L'étude des spéléothèmes** permet de décrypter les fluctuations climatiques passées. ©Arnaud Goy

“ **Établir des corrélations entre la dynamique du climat et celle de la biodiversité** ”

LEXIQUE

**\*PROXIES :**  
paramètres ayant une relation plus ou moins directe avec les conditions climatiques.

# LA FAUNE CAVERNICOLE :

modèle pour la compréhension des processus évolutifs et pour l'étude de l'adaptation à l'environnement

**L'essentiel de la connaissance sur le protéé, un amphibien cavernicole, vient de l'élevage unique au monde, réalisé à Moulis.**

**Contributeur**  
Olivier Guillaume  
Station d'écologie expérimentale  
du CNRS à Moulis  
Unité de service et de recherche 2936  
CNRS/Museum national d'histoire naturelle



↳ **Œuf de protéé.** Œufs et larves n'ont encore jamais été observés dans la nature. © Patrick Cabrol



↳ **Le protéé**, seul vertébré cavernicole vivant en Europe. © Patrick Cabrol

depuis été l'objet d'un grand nombre d'études, visant à comprendre comment une espèce peut se transformer au cours du

temps, notamment en s'adaptant à son environnement. Chez le protéé, par exemple, la dépigmentation et la régression oculaire se sont accompagnées d'une meilleure acuité olfactive.

## EXPLIQUER L'ÉVOLUTION

Les recherches actuelles continuent de s'intéresser aux mécanismes qui permettent d'expliquer l'évolution. Des controverses subsistent à propos des mécanismes des processus évolutifs à court terme (quelques générations) et sur des temps plus longs. ●

**A**u début des années 1950, la création du Laboratoire souterrain fut conditionnée à l'aménagement d'une « grotte-laboratoire », cavité naturelle équipée pour pouvoir pratiquer l'expérimentation sur la faune cavernicole. L'un des objectifs initiaux des chercheurs était notamment de tester

les hypothèses de l'époque sur l'évolution des espèces et la transmission des caractères au fil des générations. Cette grotte-laboratoire, unique au monde, a ainsi accueilli toute une faune cavernicole autochtone mais aussi importée de toute l'Europe, comme le protéé (*Proteus anguinus*), devenu l'emblème du laboratoire. Cet amphibien originaire des Balkans a

# PLASTICITÉ PHÉNOTYPIQUE :

## ajuster rapidement son organisme pour survivre

**Contributeur**  
Fabien Aubret  
Station d'écologie expérimentale  
du CNRS à Moulis  
Unité de service et de recherche 2936  
CNRS/Museum national d'histoire naturelle

**Afin de comprendre comment les organismes peuvent s'adapter à un environnement changeant rapidement, il est important d'acquérir de nombreuses données empiriques et théoriques.**

**D**ans le contexte actuel de changement climatique et de fragmentation des habitats, il a récemment été démontré que les organismes capables d'ajuster rapidement leurs caractéristiques physiques, physiologiques ou comportementales aux conditions rencontrées tôt dans leur vie avaient de meilleures chances de survie que ceux qui n'en étaient pas capables. Cette capacité d'ajustement est appelée la plasticité phénotypique, dont un exemple classique est

la capacité qu'a la peau de bronzer afin de se protéger des ultra-violetts néfastes.

### L'INTERACTION GÈNE/ENVIRONNEMENT

D'un point de vue évolutif, les réponses plastiques permettent aux organismes non seulement d'atténuer les conséquences des changements environnementaux sur leur survie ou leur reproduction, mais également de faciliter leur migration. La colonisation de nouveaux environnements peut aller jusqu'à l'émergence d'espèces nouvelles. Afin de comprendre la réaction des écosystèmes entiers à

la perturbation environnementale, l'étude du gène à la physiologie en passant par celle du comportement est indispensable.

Un des thèmes majeurs des recherches développées au laboratoire vise à comprendre comment les gènes interagissent avec l'environnement social, thermique ou physique pour produire des changements phénotypiques comme l'anatomie et la morphologie chez les organismes. Les variations actuelles du climat planétaire offrent une réelle opportunité pour étudier et mesurer les tendances d'évolution des réponses plastiques. ●

**Différence de coloration** entre un individu mélanique d'euprocte des Pyrénées trouvé à 2400 m d'altitude (à gauche) et un individu de la même espèce trouvé dans l'obscurité d'une grotte (à droite).  
© Olivier Guillaume



# INTERACTIONS SOCIALES ET ÉVOLUTION

L'évolution d'une espèce résulte entre autres de l'influence sociale de l'écosystème auquel elle appartient.

**Contributeur**  
Alexis Chaîne  
Station d'écologie expérimentale  
du CNRS à Moulis  
Unité de service et de recherche 2936  
CNRS/Museum national d'histoire naturelle



← Bagueage d'une mésange bleue.  
© Alexis Chaîne



Mesure d'une mésange à longue queue.  
© Alexis Chaîne

la sélection résultant des interactions sociales peut être à l'origine d'une évolution de ces stratégies et de ces signaux, qui en retour peuvent créer un nouveau contexte sélectif agissant sur les interactions. Cette rétroaction peut générer très rapidement des systèmes sociaux très complexes et influencer à son tour l'adaptation.

Dans ce cadre, les chercheurs s'intéressent particulièrement à cinq espèces de mésanges (bleues, noires, nonnettes, charbonnières et à longue queue). L'étude de l'évolution du plumage, à travers les saisons et les années, permet de comprendre le choix du partenaire sexuel, l'investissement parental dans le nourrissage puis les soins aux nichées. Les résultats de ces recherches permettront de comprendre comment plusieurs épisodes sélectifs produisent des tendances évolutives à long terme. ●

**L**es interactions sociales sont une source importante de pression de sélection\* pouvant avoir un effet non négligeable sur l'adaptation et la dynamique des populations.

Lorsque des individus interagissent, les bénéfices respectifs de l'interaction se valent rarement. La sélection

résultante peut conduire à des comportements aussi bien coopératifs qu'égoïstes.

### DYNAMIQUES DES STRATÉGIES SOCIALES

L'objectif principal des travaux menés est de comprendre les dynamiques des stratégies sociales et des signaux sociaux qui découlent d'un équilibre entre coopération et conflit. L'intensité du conflit peut pro-

**\*PRESSION DE SÉLECTION** : contrainte exercée par l'environnement sur les organismes qui favorise les individus les plus adaptés à cet environnement.

LEXIQUE

# GÉNÉTIQUE QUANTITATIVE :

## mesurer la réponse aux changements du milieu en temps réel

**Contributeur**  
 Alexis Rutschmann  
 Station d'écologie expérimentale  
 du CNRS à Moulis  
 Unité de service et de recherche 2936  
 CNRS/Museum national d'histoire naturelle

**Comprendre les différents facteurs impliqués dans la mise en place d'un phénotype\* permet de mieux appréhender son évolution au cours du temps et ainsi de mieux comprendre comment les espèces changent.**

**L**e lézard vivipare est une espèce commune en Europe. Le sud de son aire de répartition est soumis depuis plusieurs années à de nouvelles contraintes climatiques et notamment à une augmentation des températures au printemps. Les espèces répondent habituellement de plusieurs façons à une contrainte environnementale, notamment par la migration ou par l'adaptation génétique.

**ARBRES GÉNÉALOGIQUES DU LÉZARD**  
 La génétique quantitative est une méthode statistique combinant le suivi génétique et démographique d'une population. Grâce à elle, les chercheurs sont en passe de mieux comprendre les origines de ces deux réponses chez le lézard vivipare.

En construisant des arbres généalogiques retraçant les lignées de populations suivies depuis près de 25 ans et en les couplant à des données démographiques, phénotypiques et environnementales, il est possible de dissocier la part génétique et la part environnementale déterminant la migration. Autrement dit, cette méthode permet de savoir si un individu migre parce que ses parents migraient et lui ont transmis cette capacité, ou si c'est l'environnement qui force le départ, ou s'il s'agit d'un mélange des deux.

Lézard vivipare. [→]  
 © Olivier Calvez



Lorsque la réponse est sous la contrainte de l'environnement, les chercheurs peuvent étudier les facteurs forçant la migration, mais aussi voir à quelle vitesse les individus s'adaptent à leur nouvel environnement. Elle dépend notamment de la puissance de la pression environnementale (plus elle est forte, plus la sélection naturelle agit rapidement). L'ensemble de ces études permet de mieux comprendre l'impact des changements climatiques sur le vivant. ●

**LEXIQUE**  
**\*PHÉNOTYPE :**  
 ensemble des caractères observables d'un individu (anatomie, morphologie...).

# IMPACTS DES CHANGEMENTS GLOBAUX

## sur les écosystèmes aquatiques d'eau douce

**Contributeurs**  
 Simon Blanchet, Géraldine Loot  
 Station d'écologie expérimentale  
 du CNRS à Moulis  
 Unité de service et de recherche 2936  
 CNRS/Museum national d'histoire naturelle

**L'eau douce, ressource rare et fondamentale, est sous contrainte forte des changements globaux quand l'homme extrait les granulats du lit des rivières, irrigue les cultures, construit des barrages pour produire de l'électricité, introduit de nouvelles espèces...**

**m**ieux comprendre le fonctionnement écologique des cours d'eau et l'impact des pressions anthropiques sur ces milieux permet de proposer des outils de gestion tenant compte des besoins humains en ressource et de la nécessité du maintien de la biodiversité aquatique.

**LES ATTENTES DES GESTIONNAIRES**  
 Dans ce genre d'étude pluridisciplinaire, les partenariats sont essentiels. L'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et les fédérations de pêche ont permis, entre autres, de renseigner la distribution du parasite non-natif *Tracheliastes polycolpus* sur plus de 150 localités en France. Ces données sont uti-

lisées pour comprendre son absence dans certaines localités et pour déterminer ses exigences biologiques. Destinées aux organismes gestionnaires, des cartes prédisant la distribution du parasite dans les prochaines décennies sont réalisées afin de prévenir son arrivée, car il est fortement pathogène. De plus, la fragmentation de l'habitat par les obstacles d'origine humaine a également un impact sur la biodiversité aquatique. Il a été démontré que les seuils de moulins, malgré leur nombre considérable (1 seuil tous les 3 km dans certaines rivières), impactent peu le déplacement des poissons, contrairement aux grands barrages hydroélectriques. Les chercheurs ont également mis en place une méthode permettant de définir les obstacles qui posent le plus de problèmes, ceux-ci devenant des priorités d'aménagement.



↑

Seuil de moulin des XVe et XVIe siècles. © Loo

Se situant à l'interface entre recherche fondamentale et appliquée, ces travaux permettent de tisser des liens étroits avec les gestionnaires pour mieux répondre à leurs attentes, leur proposer des adaptations et faire en sorte que les rivières, leurs riverains et leurs habitants y trouvent chacun leur compte. ●

“ La fragmentation de l'habitat par les obstacles d'origine humaine a un impact sur la biodiversité aquatique. ”

# LE MÉTATRON :

outil innovant d'expérimentation en écologie

**Contributeur**  
 Olivier Guillaume  
 Station d'écologie expérimentale  
 du CNRS à Moulis  
 Unité de service et de recherche 2936  
 CNRS/Museum national d'histoire naturelle

**Le Métatron est un dispositif expérimental dédié à l'étude de populations animales et végétales implantées dans des environnements semi-contrôlés.**



et équipement unique au monde dépend de la *Station d'écologie expérimentale* du CNRS à Moulis, sur la commune de Caumont en Ariège. Il consiste en un ensemble de 48 unités de 100 m<sup>2</sup> chacune, peuplées par une communauté d'espèces animales

et végétales auxquelles on impose certaines conditions de température, d'humidité et de rayonnement solaire. Les unités sont reliées entre elles par des passages qui permettent aux espèces de migrer d'un environnement à l'autre, si nécessaire. C'est cette liberté qui différencie le Métatron des autres Écotrons\*,

dans lesquels les espèces sont contraintes de subir l'environnement qu'on leur impose sans que leur soit offerte la possibilité de le quitter. Le Métatron a été mis au point principalement pour étudier les effets du climat sur le fonctionnement des systèmes écologiques, et notamment dans le cadre du réchauffe-

ment climatique. Le grand nombre d'unités permet de proposer une grande variété de conditions environnementales (par exemple un gradient de température) mais aussi de répéter les expériences pour en valider statistiquement les résultats et estimer les variations individuelles. ●



Vue aérienne du Métatron.  
 © Quentin Bénard

**LEXIQUE**  
**\* ÉCOTRON :**  
 plateforme de recherche expérimentale permettant d'étudier le fonctionnement des écosystèmes, des organismes et de la biodiversité, en réponse à des modifications de l'environnement.

# MÉTAPOPULATIONS, MÉTACOMMUNAUTÉS ET MÉTATRON : du « méta » en biologie de la conservation

**Beaucoup d'espèces régressent puis disparaissent car les habitats naturels sont de plus en plus morcelés et leur climat rapidement modifié. Comprendre la dynamique des populations dans ces conditions peut aider à proposer des mesures de gestion de l'espace assurant la persistance d'espèces ou d'écosystèmes menacés.**

**Contributeurs**  
 • Virginie Stevens, Delphine Legrand, Olivier Calvez, Michel Baguette  
 Station d'écologie expérimentale du CNRS à Moulis  
 Unité de service et de recherche 2936  
 CNRS/Museum national d'histoire naturelle  
 • Camille Turlure  
 Université catholique de Louvain  
 • Michel Baguette  
 Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité  
 Unité de service et de recherche 7205  
 Muséum national d'histoire naturelle/CNRS



← Piéride du chou, *Pieris brassicae*, l'un des papillons introduits dans le Métatron. La lettre « l », visible sur son aile, est un marquage permanent permettant l'identification des adultes à distance, depuis l'extérieur des cages. © Michel Baguette

tion naturelle, des chercheurs ont montré que la dispersion est conditionnée à l'état des individus (âge, sexe, gènes...) et aux conditions de l'environnement (climat, organisation du paysage...). En 2010, 220

composition génétique des populations et sur le fonctionnement des communautés d'espèces sera étudié dans les années à venir, dans l'objectif de mieux comprendre les conséquences de la fragmentation des habitats et du réchauffement climatique sur la biodiversité. ●

**L**a prise de conscience de l'importance de l'habitat, dans lequel vivent et évoluent les organismes vivants, a permis l'émergence de concepts tels que métapopulation\* et métacommunauté\*. Les espèces sont capables de se déplacer pour suivre les changements climatiques. Bien comprendre ces mouvements est devenu l'un des enjeux majeurs de la biologie de la conservation afin de pouvoir les anticiper. En étudiant des métapopulations en situa-

tion naturelle, des chercheurs ont montré que la dispersion est conditionnée à l'état des individus (âge, sexe, gènes...) et aux conditions de l'environnement (climat, organisation du paysage...). En 2010, 220 papillons et 350 lézards ont été introduits dans le Métatron. Les premières conclusions sont déjà intéressantes : les individus se déplacent et colonisent de nouveaux habitats mais seuls certains individus participent activement à ces mouvements de dispersion, une propension qu'ils se transmettent de génération en génération. Cette hérédité du comportement dispersif explique comment, dans les métapopulations naturelles, la dispersion peut répondre rapidement aux modifications de l'environnement. L'impact à long terme de ces déplacements sur la modification de la

**LEXIQUE**  
**\*MÉTAPOPULATION :**  
 ensemble de populations occupant des parcelles distinctes d'habitat mais échangeant suffisamment d'individus pour que leurs dynamiques ne puissent être considérées isolément.

**\*MÉTACOMMUNAUTÉ :**  
 ensemble de communautés locales, composées chacune d'organismes de plusieurs espèces liées par des interactions (compétition, prédation) et qui échangent des individus occupant des parcelles distinctes d'habitats.

# DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES STATISTIQUES

pour le traitement de données biologiques complexes

## Contributeur

Adam Richards  
Station d'écologie expérimentale  
du CNRS à Moulis  
Unité de service et de recherche 2936  
CNRS/Museum national d'histoire naturelle

Les processus écologiques résultent de la combinaison d'influences génétiques et environnementales. L'analyse mathématique qui suit l'acquisition des données expérimentales doit sans cesse être affinée.

# LA MODÉLISATION DE LA BIODIVERSITÉ,

un outil puissant en plein développement

## Contributeur

Michel Loreau  
Station d'écologie expérimentale  
du CNRS à Moulis  
Unité de service et de recherche 2936  
CNRS/Museum national d'histoire naturelle

Le Centre de théorie et modélisation de la biodiversité de Moulis est le seul centre de recherche au monde axé sur cette thématique.



Les nouvelles technologies permettent aux scientifiques de mesurer plusieurs milliers de variables au cours de leurs expériences. Par exemple, dans le domaine de la génétique, les chercheurs peuvent mesurer simultanément l'expression de milliers de gènes. Ils recueillent

ainsi des données sur les facteurs génétiques influant sur les comportements des animaux, comme par exemple la dispersion\*.

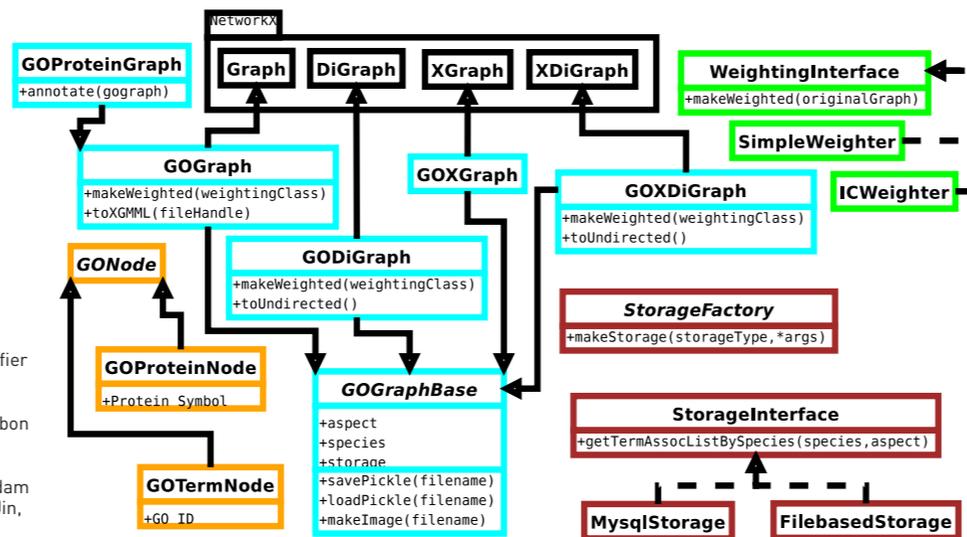
La part des influences génétiques, telles que l'âge ou le poids des animaux, dans ce comportement est également dégagée. Les méthodes d'analyse traditionnelles traitent les variables

issues de l'environnement et les variables génétiques comme étant indépendantes, alors qu'elles ne le sont pas.

De nouvelles méthodes statistiques plus pertinentes sont donc actuellement développées afin de mieux intégrer les relations biologiques

qui existent entre les différentes variables. Ces travaux de biostatistique se sont concrétisés par le développement d'un nouveau logiciel de traitement des données, permettant à la fois de reproduire des expériences et de les analyser. ●

Exemple de diagramme de classe UML utilisé pour spécifier, visualiser, modifier et construire les éléments nécessaires au bon développement d'un logiciel. © Brian Muller, Adam J Richards, Bo Jin, Xinghua Lu.



## LEXIQUE

\* **DISPERSION** : départ d'un individu de sa population d'origine vers un nouvel environnement.



Les conséquences des changements climatiques en cours et à venir sont aujourd'hui assez bien comprises, mais il n'en va pas de même des changements de biodiversité. Ils sont pourtant au moins aussi alarmants que

ceux du réchauffement climatique, puisque les projections pour le XXIe siècle font état de taux d'extinction environ dix mille fois supérieurs aux taux moyens du passé. La crise globale de la biodiversité appelle une science globale de la biodiversité qui transcende les frontières disciplinaires. Bien qu'une science intégrative de la biodiversité soit en cours d'émergence, l'absence d'un cadre théorique unifié et de modèles prédictifs des changements de biodiversité et de leurs conséquences constitue un handicap important pour la communauté scien-

tifique et pour l'interface entre science et politique. L'élaboration d'un tel cadre théorique et de tels modèles représente l'un des plus grands défis de la science de la biodiversité naissante.

## CHANGEMENTS DE BIODIVERSITÉ

Pour relever ce défi a été créé le Centre de Théorie et Modélisation de la Biodiversité (CTMB) à Moulis, dans un cadre de travail propice à des recherches théoriques en interaction avec une large palette d'infrastructures expérimentales. Le CTMB s'inscrit dans un vaste mouvement international de création de centres de recherche en réseaux. Il a pour mission de favoriser le développement de théories unifiées et de modèles prédictifs des changements de biodiversité et de leurs causes et conséquences écologiques, évolutives et sociales. Le couplage de

modèles visant à prédire les changements de biodiversité induits par les impacts directs ou indirects des activités humaines et de modèles servant à en prédire les conséquences écologiques et sociales devrait, à terme, permettre de mieux appréhender l'impact de ces changements sur les écosystèmes et les sociétés. Les sociétés pourraient ensuite utiliser ce diagnostic pour éclairer leurs décisions politiques. ●



Les changements de la biodiversité sont au moins aussi alarmants que ceux du changement climatique.

# DES MODÈLES MATHÉMATIQUES

pour comprendre les conséquences de la perte de biodiversité

## Contributeur

Claire de Mazancourt  
Station d'écologie expérimentale  
du CNRS à Moulis  
Unité de service et de recherche 2936  
CNRS/Museum national d'histoire naturelle

**La biodiversité a un effet direct sur les fonctions écologiques assurées par les écosystèmes naturels. Modéliser les conséquences de sa diminution est nécessaire pour les comprendre.**

**L**

es écosystèmes produisent des services écologiques dont nous dépendons directement ou indirectement, tels que la production de biomasse, la purification des eaux, le contrôle du ruissellement, la pollinisation, le contrôle des pestes et maladies, la fixation d'azote, etc. Un des axes de recherche du Centre de Théorie et Modélisation de la Biodiversité (CTMB) vise à comprendre comment la perte de biodiversité affecte ces services fournis par les écosys-

tèmes. Les chercheurs développent ainsi des modèles mathématiques du fonctionnement des écosystèmes, en lien avec des données expérimentales sur la biodiversité. De nombreuses grandes expériences ont été menées en Europe et aux États-Unis à ce sujet. Plusieurs espèces de plantes de prairie ont par exemple été plantées seules ou en mélange avec différents niveaux de diversité. Les systèmes les plus diversifiés se sont avérés plus productifs : encore une preuve de l'importance de la biodiversité. L'analyse du modèle mathématique établi

a permis de comprendre pourquoi les écosystèmes diversifiés sont plus productifs et plus stables. En particulier, les écosystèmes diversifiés produisent plus de biomasse car les espèces utilisent les ressources de façon différente, et donc une plus grande variété de ressources sont utilisées lorsque plusieurs espèces sont présentes. Ceci confère une plus grande stabilité à l'écosystème. La mise en lumière de ces mécanismes est nécessaire si l'on veut prédire les effets de la perte de biodiversité sur les écosystèmes, et donc sur les sociétés. ●

$$\ln \frac{N_i(t+1)}{N_i(t)} = r_{mi} \left[ 1 - \frac{N_i(t) + \sum_{j \neq i} \alpha_{ij} N_j(t)}{K_i} \right] + \sigma_{ei} u_{ei}(t) + \frac{\sigma_{di} u_{di}(t)}{\sqrt{N_i(t)}}$$

**Les systèmes les plus diversifiés se sont avérés les plus productifs.**

# EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA BIODIVERSITÉ : analyse de données et modélisation

**Étudier l'impact passé et actuel du changement climatique sur la biodiversité permet de modéliser son futur.**

## Contributeur

Romain Bertrand  
Station d'écologie expérimentale du CNRS à Moulis  
Unité de service et de recherche 2936  
CNRS/Museum national d'histoire naturelle

**D**

e par sa médiatisation et son ressenti direct (+1.05°C en moyenne depuis 1987 en France), le changement climatique contemporain est le plus connu des changements environnementaux globaux. Il entraîne une augmentation de la fréquence

des événements climatiques extrêmes et une redistribution spatiale des conditions climatiques, et avec elles, notamment, une migration des espèces vers les pôles et les sommets. L'analyse de larges bases de données écologiques via la modélisation est devenue incontournable pour comprendre ce phénomène.

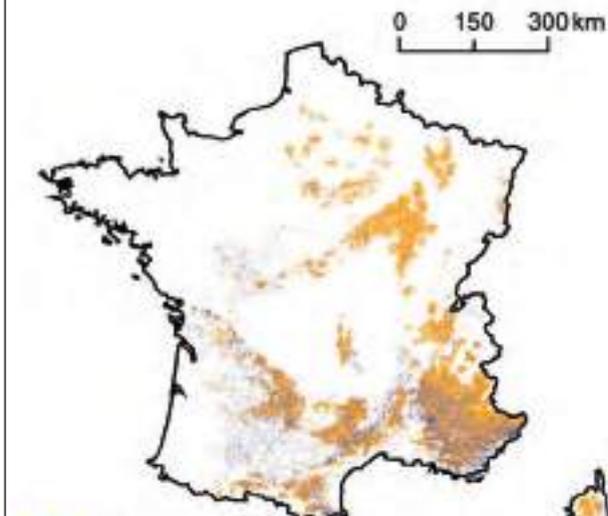
## ÉVALUER L'IMPACT ...

Le réchauffement climatique a modifié la composition en plantes des forêts françaises plus ou moins fortement selon leur localisation géographique. Les changements observés dans les communautés végétales de montagne ont permis, depuis 1987, la compensation de 0.54°C du réchauffement

climatique, contre seulement 0.02°C dans les forêts de plaine. Ce résultat démontre les difficultés de la végétation forestière à suivre le changement climatique actuel, notamment en plaine où la migration des plantes est limitée par la fragmentation spatiale des forêts. D'autres facteurs tels que la gestion sylvicole, la dégradation des sols forestiers et la tolérance thermique des espèces modulent la réponse des plantes au changement climatique actuel.

## ... ET LE PRÉVOIR

À quoi ressemblera la nature de demain ? Au regard des prévisions climatiques du XXI<sup>e</sup> siècle (environ +2°C en 2050 en France), cette question est devenue centrale pour la société, les politiques et l'économie. Dans ce contexte, il est crucial d'améliorer la qualité de nos prédictions en tenant compte de nombreux facteurs : capacité de dispersion des espèces, évolution du territoire, facteurs environnementaux non-climatiques impactant le développement des espèces, compétition entre espèces et éventuelles adaptations génétiques. ●



■ Aire actuelle  
■ Aire potentielle en 2100

↑  
Prédiction du changement de distribution du chêne pubescent entre 2010 et 2100.

# CHANGEMENT CLIMATIQUE,

## synchronisation des espèces et modélisation

**Contributeur**  
 Tomàs Revilla  
 Station d'écologie expérimentale  
 du CNRS à Moulis  
 Unité de service et de recherche 2936  
 CNRS/Museum national d'histoire naturelle

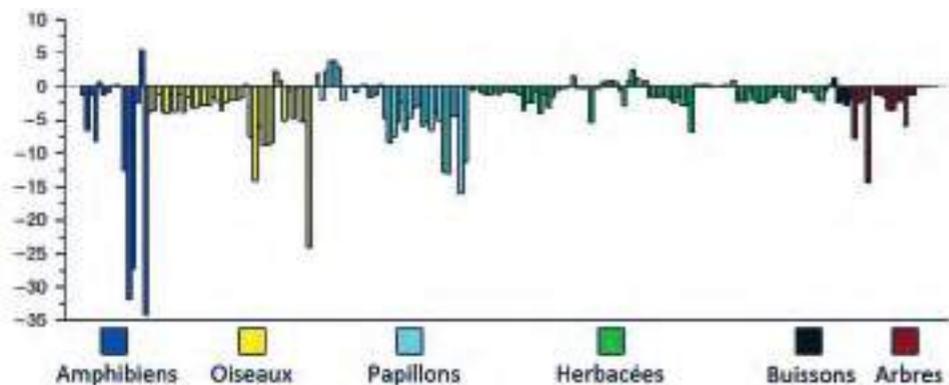
**L'étude des variations que les climats font subir aux différentes espèces végétales et animales permet de mieux comprendre les conséquences de ces changements.**

**L**a phénologie étudie l'apparition d'événements périodiques qui rythment la vie des animaux et des végétaux, sous l'effet des variations saisonnières du climat. Parmi ceux-là, on peut citer la floraison, la feuillaison ou la fructification en botanique, ou l'arrivée d'oiseaux migrateurs, l'apparition des larves et des formes adultes des insectes en zoologie. C'est l'enchevêtrement de ces événements qui assure la survie des espèces

et l'équilibre de l'écosystème tout entier, en conservant les services rendus par ce dernier. Le changement climatique affecte le déclenchement de ces événements, qui est généralement plus précoce. Mais toutes les espèces ne réagissent pas de la même manière, ce qui peut perturber leurs interactions telles que la compétition entre espèces, la prédation, la pollinisation ou la dispersion des graines. Certains amphibiens sont ainsi particulièrement sensibles aux conditions climatiques, anticipant d'un mois leur éclosion.

Si l'apparition d'une ressource et de son consommateur sont très décalées dans le temps, le consommateur en souffre. Si elles coïncident parfaitement, la ressource est surexploitée et se raréfie. Les études de modélisation menées au CTMB indiquent que la meilleure situation correspond à un léger décalage entre ressource et consommateur. En simulant l'accumulation de gains et pertes sur plusieurs années, cette étude vise à mieux comprendre les conséquences à long terme de ces changements, qui peuvent avoir un effet boule de neige d'une espèce à l'autre du fait de l'interaction dynamique entre consommateur et ressource. Dans l'avenir, l'objectif est de complexifier le modèle en considérant de plus en plus d'espèces, ainsi que des interactions telles que la pollinisation. Les nouveaux modèles issus de ces études serviront à prédire la tendance à la disparition d'espèces suivant différents scénarios de changement climatique. ●

↔ **Modification en jours** de la survenue d'événements, par groupes d'espèces. Une valeur négative indique un événement plus précoce, une valeur positive un événement plus tardif.



# MODÉLISATION DE LA CONTRIBUTION DU PHYTOPLANCTON

## à la régulation des cycles biogéochimiques globaux

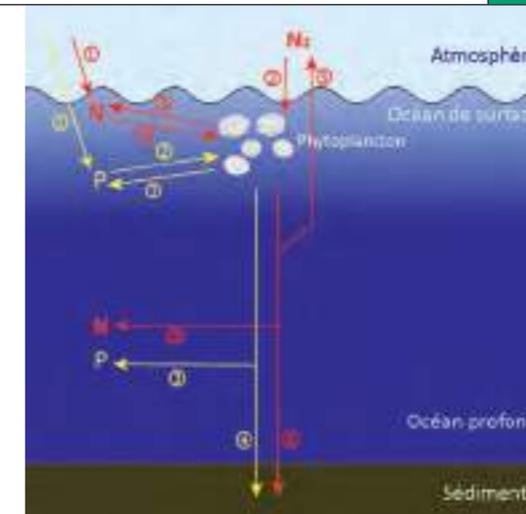
**Les activités anthropiques modifient de manière importante les cycles d'éléments-clés comme le carbone, l'azote, le phosphore et l'oxygène.**

**Contributeurs**  
 Anne-Sophie Auguères, Michel Loreau  
 Station d'écologie expérimentale du CNRS à Moulis  
 Unité de service et de recherche 2936  
 CNRS/Museum national d'histoire naturelle

**C**omprendre les mécanismes de régulation des cycles des éléments de la vie est au cœur des recherches actuelles en biogéochimie. Par exemple, le rôle du phytoplancton dans la régulation de ces cycles globaux est encore mal connu. La modélisation permet, en simplifiant les interactions entre les différents compartiments, de déterminer de manière théorique les cascades d'effets qui découlent de la variation de l'un des flux.

### CONSIDÉRER LE SYSTÈME DANS SON ENSEMBLE

Les apports d'azote et de phosphore dans l'océan sont très fortement augmentés par les activités agricoles et industrielles. Les chercheurs ont donc construit un modèle du cycle océanique de ces deux éléments afin d'étudier les capacités de régulation de leurs réservoirs océaniques par le phytoplancton, suite à une modification des apports fluviaux et atmosphériques (flèches 1 sur la



↔ Cycle simplifié de l'azote (en rouge) et du phosphore (en jaune) dans l'océan.

figure). L'analyse de ce modèle montre que les réservoirs de phosphore et d'azote sont parfaitement régulés en surface mais très faiblement en profondeur, le phytoplancton consommant en effet les nutriments en surface (contrôle direct, flèches 2). Par ailleurs, le contrôle indirect par recyclage de la matière organique, en surface et en profondeur, (flèches

3) permet au phytoplancton d'exercer un très fort contrôle sur le rapport, quasiment constant à l'échelle globale, entre concentration d'azote et concentration de phosphore de l'océan profond. Pour finir, la sédimentation de la matière organique (flèches 4) et le rejet de diazote dans l'atmosphère (flèche 5) viennent compléter les principaux flux d'azote et de phosphore dans l'océan. La question de l'inaccessibilité d'une grande partie des ressources se retrouve dans la plupart des écosystèmes, terrestres ou aquatiques. En effet, les organismes n'ont souvent accès qu'à une petite partie des nutriments disponibles dans leur environnement. Il est donc capital, pour appréhender les cycles dans leur globalité, de considérer le système dans son ensemble, en prenant en compte la contribution de chacun des protagonistes. ●

# L'OBSERVATOIRE HOMMES-MILIEUX DU HAUT VICDESSOS

Observer les interactions environnement/société et anticiper les changements d'un territoire montagnard en mutation



\*carte de localisation des OHM

La compréhension et l'anticipation des changements qui affectent l'environnement représentent un défi majeur, tant pour la communauté scientifique que pour l'ensemble de la société. Face à ce défi, l'Institut Écologie et Environnement du CNRS a créé en 2007 un outil de recherche, fédérateur et interdisciplinaire : les Observatoires Hommes-Milieux. Aujourd'hui au nombre de huit, ces OHM regroupés en réseau bénéficient depuis 2012 du statut de Laboratoire d'Excellence sous l'appellation « Dispositif de Recherche Interdisciplinaire pour les Interactions Hommes-Milieux » dans le cadre du programme des investissements d'avenir. Situé en haute Ariège, l'OHM du haut Vicdessos, créé en 2009, réunit plus d'une cinquantaine de chercheurs et d'étudiants. Il a pour objectif de suivre les évolutions passées, actuelles et futures de ce territoire montagnard soumis à de profondes mutations et récemment affecté par la fermeture des usines d'aluminium de Péchiney à Auzat. Marquée par le poids historique d'une activité minière et métallurgique ainsi que par une forte pression agro-pastorale, la vallée a vu décliner l'ensemble de ces activités depuis le XIXe siècle, laissant ainsi la forêt rega-

ner sur les anciens espaces de production aujourd'hui délaissés. Les adaptations successives de cette haute vallée sont au cœur des recherches de l'Observatoire. Envisagées sur la durée, elles peuvent guider les décisions en matière de gestion. Les recherches qui rassemblent des spécialistes des sciences de la nature et de la société s'articulent autour de l'étude des dynamiques socio-économiques et de celle des différentes transformations de l'environnement : le réchauffement climatique sur le manteau neigeux et sur la ressource hydraulique, les contaminations en polluants atmosphériques, la dynamique de la végétation ou de la biodiversité, pour ne citer que ces seuls exemples. Le but de ces recherches étant d'anticiper non seulement le futur du territoire du haut Vicdessos, mais plus largement celui des montagnes ariégeoises et du massif pyrénéen dans son ensemble.

**Didier Galop**  
Directeur du laboratoire GEODE  
Directeur de l'OHM du haut Vicdessos

## NOUVEAUTÉS ET PERMANENCES

en haut Vicdessos, un territoire en reconversion

Des géographes participent depuis 2010 au projet de recherche « Valorisation de la ressource paysagère et mutations contemporaines du système territorial en Vicdessos ».

Cette haute vallée, dont les collectivités se sont regroupées dès 1989 dans un district avant d'intégrer en 2002 la Communauté de communes d'Auzat et du Vicdessos, constitue un territoire cohérent, à l'identité clairement marquée, où les multiples interactions tissées entre l'environnement, l'économie, la société et les phénomènes

culturels peuvent être interprétées et analysées sous forme d'un système. Ces recherches s'efforcent notamment de décrypter le passage d'un système territorial principalement organisé autour de l'électrometallurgie de l'aluminium à un système dominé par les activités de service. Il s'agit notamment d'activités récréatives et touristiques (station sport-nature du Montcalm) et de valorisation de différentes formes de patrimoine léguées par les activités humaines : plusieurs sentiers à thèmes permettent ainsi de découvrir des terrasses agricoles restaurées, les anciennes mines de fer du Rancié, ou encore les orris\* et les estives de la vallée de Soulcem.

### LE PAYSAGE, RESSOURCE DE BASE

Dans cette reconversion relativement rapide, amorcée près de quinze ans avant la fermeture de l'usine d'Auzat en 2003, il s'agit de repérer les éléments nouveaux mais aussi les permanences : l'aménagement hydro-

↳ La station sport-nature du Montcalm : une station élargie aux dimensions d'un petit territoire, pour offrir une gamme variée d'activités de pleine nature.

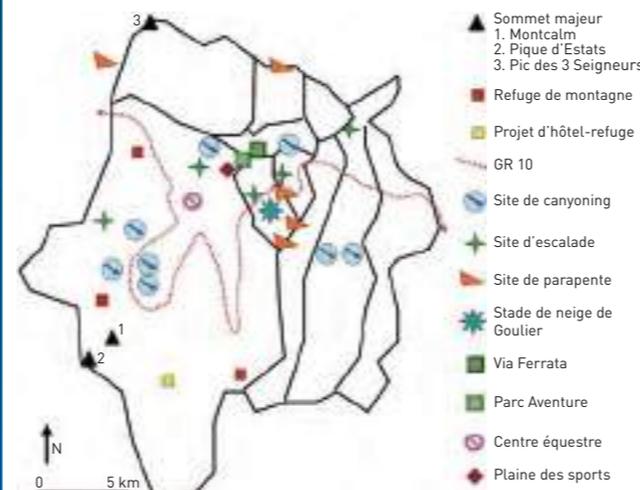
### Contributeurs

- Pierre Dérioz, Philippe Bachimon  
Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
- Maud Loireau, Anne-Elisabeth Laques, Nadine Dessay  
Espace-Dev  
Unité mixte de recherche 228  
IRD/Univ. Montpellier 2/Univ. Antilles et Guyane/  
Univ. Réunion

électrique de la quasi-totalité des cours d'eau de montagne, les forêts de protection gérées par l'Office National des Forêts (ONF), les activités pastorales, la part des résidences secondaires (67% du parc résidentiel)... Le paysage est un révélateur de premier ordre des mutations en cours mais représente aussi la ressource de base du nouveau système : la silhouette emblématique du Montcalm est ainsi omniprésente dans les brochures touristiques. La recherche combine ici l'exploitation de toutes les sources disponibles, la conduite de nombreux entretiens avec les acteurs locaux (élus, opérateurs touristiques ou éleveurs), et l'analyse systématique des paysages du Vicdessos. ●

### LEXIQUE

\*ORRI : cabane en pierres sèches couverte de terre et d'herbe. C'est là que vivaient les bergers pour surveiller les bêtes aux estives.



# LA FERMETURE DES PAYSAGES DANS LES PYRÉNÉES DEPUIS LES ANNÉES 1940

## Contributeurs

Thomas Houet, Olivier Ribiere, Laure Vacquie,  
Franck Vidal, Didier Galop  
Géographie de l'environnement  
Unité mixte de recherche 5602  
CNRS/Université Toulouse II

La reforestation des versants pyrénéens a été décrite sans être pour autant quantifiée avec précision. Cette contribution présente une méthodologie utilisant les données de télédétection pour caractériser l'ampleur, la vitesse et les types de changements d'occupation et d'usages des sols.

Les modes d'occupation des sols sont le reflet des interactions entre l'homme et son environnement. Ils traduisent et dépendent de l'influence cumulée des facteurs naturels (climat, nature du sol, relief...) et des actions anthropiques (usages, aménagements) responsables des modifications des écosystèmes et peuvent avoir des conséquences

environnementales et climatiques importantes. Ainsi, l'étude des changements passés des modes d'occupation et d'usages des sols est fondamentale pour comprendre les changements actuels, appréhender les changements futurs et leurs conséquences possibles à long terme.

## LES PYRÉNÉES TRÈS EXPOSÉES

Dans ce contexte de changement global, les Pyrénées présentent des intérêts scien-

tifiques et environnementaux particuliers car, d'une part, le *Groupe d'experts inter-gouvernemental sur l'évolution du climat* (GIEC) a identifié les montagnes du Sud de l'Europe comme particulièrement exposées au changement climatique. D'autre part, les Pyrénées connaissent des changements des modes d'occupation des sols depuis des millénaires, mais les mutations observées au cours du dernier siècle, reconquête de la forêt notamment, semblent particulièrement

rapides et prononcées. La méthodologie proposée sur cette grande étendue (250 km<sup>2</sup>) repose sur l'analyse de photographies aériennes historiques et actuelles, orthorectifiées, mosaïquées puis classées par photo-interprétation, avec une résolution temporelle quasi décennale. La validation des classifications obtenues est basée sur l'utilisation de photographies paysagères obliques, méthode utilisée pour la première fois.

## ABANDON DE L'AGROPASTORALISME

Les cartographies obtenues permettent une première comparaison visuelle confirmant la fermeture du paysage par afforestation spontanée, l'augmentation des surfaces urbanisées et la création du barrage de Soulcem (au Sud). Les surfaces considérablement réduites, les pacages de versant ont presque totalement disparu au même titre que les zones cultivées en terrasse au profit de zones boisées ou en cours de boisement.

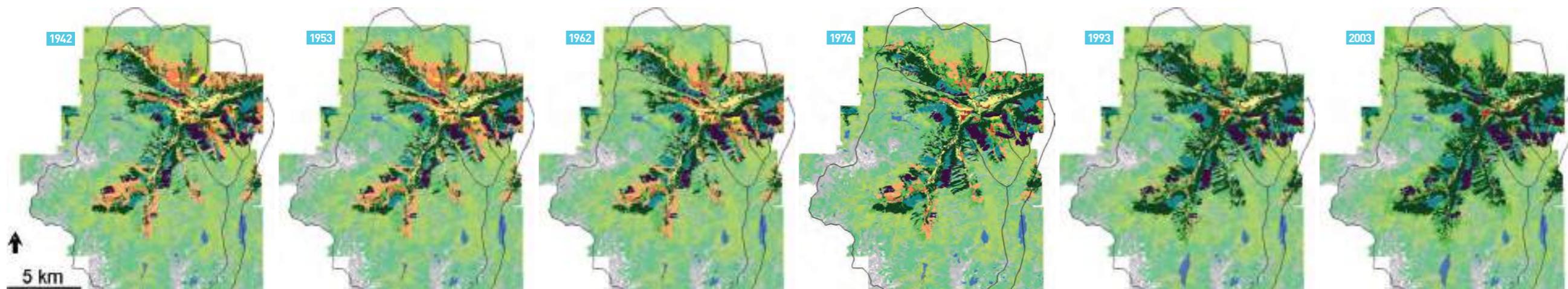
Dans le cas du haut Vicdessos, les résultats témoignent d'une fermeture des versants dès la fin des années 1950, à partir des années 1960 pour les fonds de vallées et à partir des années 1990 pour les zones d'altitude. Si ces transformations semblent clairement liées à l'abandon de l'agropastoralisme, elles révèlent des décalages temporels dans le processus d'enrichissement et de reforestation selon les zones d'usage considérées et soulèvent la question de l'évolution des usages des sols. Une étude plus approfondie doit maintenant être réalisée afin de comprendre l'asynchronisme du processus de reforestation entre les zones inter-

médiaires, de fond de vallées et d'altitude. Ces connaissances constituent un préalable à toute modélisation prospective des changements d'occupation et d'usage des sols sur le haut Vicdessos. ●



↑ Comparaison des classifications réalisées avec des photographies paysagères. Ci-dessus, d'après photographie aérienne 1993

← Auzat - cliché de 1996 © JP Métaillé



CARTOGRAPHIE DES TYPES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS DE LA VALLÉE DU HAUT VICDESSOS ENTRE 1942 ET 2003

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>Espaces agro-pastoraux</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cultures et prairies de fonds et vallées</li> <li>■ Cultures en terrasses</li> <li>■ Pâturages de versant</li> <li>■ Prairies de fauches</li> <li>■ Pelouse landes</li> <li>■ Pelouses rocheuses</li> </ul> | <p><b>Espaces boisés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bocage</li> <li>■ Conifères</li> <li>■ Feuillus</li> <li>■ Mixte feuillus / conifères</li> <li>■ Zone de recolonisation par le bois</li> </ul> |
| <p><b>Espaces urbanisés / aménagés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zones urbanisées</li> <li>■ Aménagements divers</li> <li>■ Routes et chemins</li> </ul>   | <p><b>Autres</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Surface en eau</li> <li>■ Neige</li> <li>■ Surface minérale</li> </ul>   |

### Contributeurs

• Simon Gascoin, Camille Szczypta, Renaud Marti, Pascal Fanise  
Centre d'études spatiales de la biosphère  
Unité mixte de recherche 5126  
CNRS/Université Toulouse III/IRD/CNES  
• Renaud Marti, Jean-Marc Antoine, Dominique Laffly, Thomas Houet  
Géographie de l'environnement  
Unité mixte de recherche 5602  
CNRS/Université Toulouse II

## QUEL FUTUR POUR LA NEIGE DANS LE VICDESSOS ?

L'eau provenant de la fonte des neiges est une ressource économique essentielle. Or, les projections des modèles de climat suggèrent une modification de la dynamique du manteau neigeux, donc de sa contribution hydrologique.

# A

border la question du devenir du manteau neigeux nécessite de considérer deux effets qui se produisent à une échelle de temps similaire : le changement climatique et l'augmentation de surface de la forêt due à la déprise agricole.

Dans la zone de Bassiès (1650-1950 m d'altitude), les chercheurs étudient ces deux phénomènes concomitants en effectuant un suivi et une modélisation de l'enneigement. Dans cette étude, différents scénarios d'évolution du climat et d'occupation des sols sont modélisés et testés. La qualité du modèle est évaluée par comparaison entre les simulations et les données expérimentales, issues d'une station météorologique ou d'images satellites.

D'après le modèle combinant une hausse de température avec une extension généralisée de la forêt, la réduction de l'épaisseur de neige est plus rapide qu'en ne considérant que le changement de température. Cela s'explique par le fait que sous couvert forestier, la neige s'accumule moins mais qu'elle est davantage protégée du rayonnement solaire. Pourtant, sous les arbres, l'albédo\*

de la neige diminue à cause des petits débris végétaux qui se déposent à sa surface. Ceci entraîne une hausse de la quantité d'énergie solaire absorbée par la neige, qui accélère sa fonte. Globalement, l'expansion des forêts accentue donc l'effet de la hausse des températures sur le manteau neigeux, particulièrement au printemps.

Il reste à améliorer la connaissance de la répartition de la neige dans le paysage en fonction de la topographie et de la nature de la végétation. Pour cela, des appareils photographiques automatiques, permettant de suivre très finement la surface enneigée, ont été installés. L'enneigement exceptionnel de l'hiver 2012-2013 a gêné leur fonctionnement ainsi que celui de la station météorologique. Cet événement nous rappelle que l'évolution du climat ne suit pas une tendance linéaire, ce qui nécessite l'affinement perpétuel des modèles grâce à l'acquisition de données récurrentes portant sur de nombreuses années. ●

LEXIQUE

#### \*ALBÉDO:

capacité à réfléchir la lumière du soleil (0 pour un corps noir, 1 pour un miroir).

## CONSÉQUENCES DU PASSÉ MÉTALLURGIQUE ET MINIER SUR LES EAUX

Étudier l'eau et son cycle dans le Vicdessos, ce n'est pas seulement suivre et mieux comprendre cette ressource indispensable, mais également suivre les contaminants associés à sa longue histoire de la métallurgie.

# L

e Vicdessos est un haut-lieu des activités métallurgiques et minières pyrénéennes. Celles-ci ont laissé un héritage important en matière de contaminants métalliques. Le plomb, par exemple, était extrait en même temps que

l'argent de plusieurs mines comme celle de Largentière ou celles de Castelmignier. En plus de cette pollution locale et ancienne, se superposent des contaminations récentes, conséquences combinées du trafic automobile, des activités industrielles lointaines, etc. En effet, les particules atmosphériques émises lors de ces activités peuvent être transportées sur de très longues distances et être ensuite déposées sur les sols montagnards à cause de conditions météorologiques propres à ces milieux. Les brouillards sont, par exemple, des vecteurs importants de particules atmosphériques contenant des métaux. La neige, en s'accumulant dans certaines dépressions, contribue aussi à accumuler

les métaux dans certaines zones topographiques particulières. Enfin les tourbières, véritables éponges à polluants, se gorgent des métaux apportés par les ruissellements des flancs de montagnes.

### LES TOURBIÈRES, ÉPONGES À POLLUANTS

Dans le cadre de ce projet, le site des étangs de Bassiès a été équipé de harpes à brouillard, longs fils tendus sur le parcours des brumes fréquentes dans cette région marécageuse et piégeant les gouttelettes d'eau et les métaux associés. Cette eau déposée de façon « occulte » (un pluviomètre classique ne la capterait pas) s'associe à la pluie et à la neige et s'enrichit en matière organique et éléments chimiques lors de son passage sur et dans les sols. La composition chimique de petits ruisseaux dans la forêt de Freychinède et aux étangs de Bassiès est également suivie, pour mieux comprendre comment une perturbation des tourbières ou du couvert forestier pourrait contribuer à relarguer dans les rivières des contaminants associés à la matière organique des sols. ●

### Contributeurs

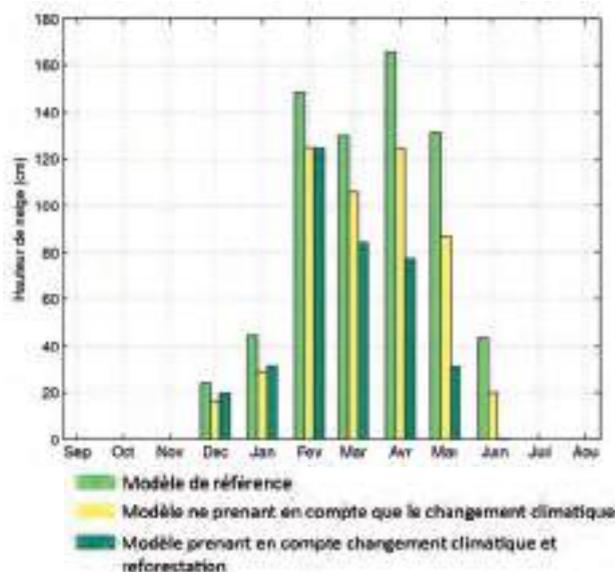
Gaël Le Roux, Adrien Claustres, Roman Teisserenc, Laure Gandois  
Laboratoire d'écologie fonctionnelle et environnement  
Unité mixte de recherche 5245



Harpe à brouillard. © CNRS/EcoLab



Simulations de la hauteur de neige moyenne mensuelle.



# ÉVOLUTION DU PASTORALISME EN HAUTE VALLÉE DE SOULCEM

## Contributeurs

• Florence Guillot

Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés  
Unité mixte de recherche 5608

CNRS/Université Toulouse II/Ministère de la Culture et de la Communication

• Florence Guillot (Dir.) André Raynaud, Patrick Combes, Christiane Rondi, Christiane Kirche  
Association Montagne et Patrimoine



↑ Fouille d'un abri pastoral, vallée de Soulcem (Auzat - Ariège)

L'association *Montagne et Patrimoine* mène une recherche de sciences humaines, mêlant fouilles et prospections archéologiques, analyses de la documentation écrite et ethnographie.

**E**n 2012, une opération archéologique de terrain a livré des éléments protohistoriques\* et médiévaux mais aussi des informations sur l'habitat pastoral jusqu'au milieu du XXe siècle. Les études de sciences humaines sur

le sujet du pastoralisme en haute vallée du Vicdessos, dans un cadre diachronique\* et pluridisciplinaire, mettent actuellement en œuvre :

- l'analyse documentaire, avec la transcription de centaines d'actes écrits des XVIe au XIXe siècles, sur la haute vallée du Vicdessos,
- la rédaction d'une synthèse des connaissances sur le pastoralisme en vallée du Vicdessos, grâce à la documentation médiévale recueillie,
- la poursuite et la synthèse de l'enquête ethnographique sur le groupe des orris dits de Jean Lamic, juste au-dessus du Pla de Soulcem,
- une prospection pour définir un site de sondages archéologiques pour 2014, en haute vallée de Soulcem.

## 500 ANS DE PASTORALISME

Les thématiques plus spécifiquement abordées par les recherches actuelles sont liées au pastoralisme au Moyen-Âge dans toute la vallée du Vicdessos à travers la documentation écrite et le pastoralisme au XXe siècle (plus précisément à Soulcem autour des orris de Jean Lamic), aux voies de communications transfrontalières du XVIe au XXe siècles (usages, conflits, entretien) et aux relations et accords dits de « lies et passeries ». Ces accords passés au XVIIIe siècle entre les communautés rurales de la vallée du Vicdessos et de celle du Valferrer en Espagne, apportaient une paix perpétuelle entre ruraux dont les rois se faisaient continuellement la guerre. ●

## LEXIQUE

**\*PROTOHISTORIQUE** : postérieur à la Préhistoire et antérieur à l'Histoire, correspondant à l'âge des métaux (cuivre, bronze, fer).

**\*DIACHRONIQUE** : relatif à l'évolution d'un fait dans le temps.

# LES ARCHIVES, de précieux indices pour reconstruire l'histoire et la dynamique des populations du haut Vicdessos

Les études en anthropologie démographique menées sur des sociétés de dimension réduite permettent d'appréhender l'adaptation des groupes humains à leurs environnements.

**D**

ans ce domaine, les populations de montagne ont fait l'objet de nombreuses recherches. En effet, ces populations sont modelées par les contraintes de l'environnement physique, associées à une histoire politique et culturelle particulière caractérisée par d'importants changements ayant affecté les paramètres démographiques au cours des derniers siècles.

## UNE ENQUÊTE GRÂCE AUX ARCHIVES

Ainsi les approches biodémographiques basées sur des paramètres tels que la taille de la population, la fertilité, la longévité, l'âge au mariage, le choix du conjoint, les migrations visent à replacer la dynamique des populations humaines au sein d'interactions complexes entre sphères sociales et écologiques. Ces paramètres constituent, parmi d'autres, des indices sur la façon dont l'homme agit, réagit et interagit avec son environ-

nement : quelles relations entre démographie et accès aux ressources ? Quelle résilience des populations face aux épidémies ? Quel impact des changements économiques sur les paramètres démographiques, notamment le nombre de descendants et les migrations ? ... Dans cette enquête, historiens et anthropologues disposent d'indices grâce aux archives historiques, parmi lesquelles les registres paroissiaux et d'état civil, les recensements, les registres cadastraux. Ces



## Contributeurs

Morgane Gibert, Audrey Roumieu, Norbert Telmon, Jean-Claude Sangoi, André Sevin  
Anthropologie Moléculaire et Imagerie de Synthèse  
Unité mixte de recherche 5288  
CNRS/Université Toulouse III

documents permettent d'évaluer, au-delà de la géographie, les facteurs affectant la dynamique des populations et leurs interactions.

## AU-DELÀ DE LA GÉOGRAPHIE

Centrée entre période préindustrielle et industrielle (soit essentiellement XIXe siècle-début du XXe), cette étude vise à évaluer la dynamique de la population du haut Vicdessos en relation avec l'évolution socio-économique et écologique de la vallée. Les premiers résultats attestent que la géographie n'est qu'un des éléments explicatifs de l'histoire de cette vallée. ●

↔ Registres d'archives municipales du XXe siècle © Morgane Gibert

## LES LACS: archives naturelles des interactions passées entre hommes, environnement et climat

### Contributeurs

- Anaëlle Simonneau, Emmanuel Chapron  
Institut des Sciences de la Terre d'Orléans  
UMR 7327 - CNRS/Univ. d'Orléans/BRGM
- Thierry Courp  
Centre de formation et de recherche sur les environnements méditerranéens  
UMR 5110 - CNRS/Univ. Perpignan
- Kazuyo Tachikawa  
Centre européen de recherche et d'enseignement de géosciences de l'environnement  
UMR 7330 - CNRS/Univ. Aix-Marseille/IRD/ Collège de France
- Didier Galop, Anaëlle Simonneau  
Géographie de l'environnement  
UMR 5602 - CNRS/Univ. Toulouse II

Les lacs, et plus particulièrement les sédiments qui s'accumulent en leur fond, constituent des archives de choix dont la composition traduit les forçages climatiques et anthropiques subis par le système au cours du temps. Dans ce projet est réalisée une lecture rétrospective de différents systèmes lacustres présents dans le haut Vicdessos. Ces études permettent d'identifier et de discriminer les impacts respectifs du climat et des hommes sur les milieux montagnards, à des échelles de temps variables allant du millénaire au siècle, tout en jugeant la capacité de ces écosystèmes à s'adapter

L'activité humaine peut perturber la dynamique des milieux naturels. Pour appréhender, et à terme limiter ce phénomène, il est nécessaire de décrire l'évolution des écosystèmes au cours du temps et de dresser un bilan de leur qualité.



Acquisition d'imagerie par émission d'ondes acoustiques haute fréquence.  
© Thomas Houet

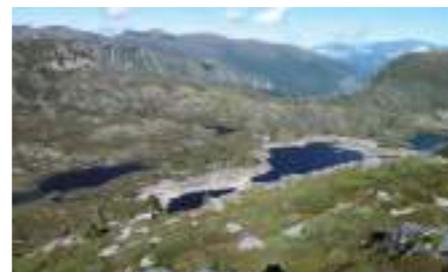
aux perturbations subies. L'utilisation d'un sonar permet d'imager la topogra-

phie des fonds lacustres et la densité des sédiments, et ainsi d'optimiser l'emplacement des carottages sédimentaires en choisissant des endroits où la dynamique de sédimentation apparaît particulièrement intéressante. Une fois en laboratoire, les carottes sont ouvertes, décrites, photographiées, radiographiées, datées puis découpées afin de subir de nombreuses analyses.

### SÉDIMENTATION LACUSTRE

Ce décryptage minutieux des archives, tant sur leur composition organique que minérale, permet, *in fine*, de caractériser l'évolution de la sédimentation lacustre au cours du temps. À l'issue de l'analyse du remplissage sédimentaire de l'étang Majeur, les résultats multiples précisent notamment les perturba-

tions résultant de la mise en place, au siècle dernier, du barrage hydroélectrique de la centrale de Bassiès. Ce constat permet de préciser les conséquences écologiques (blooms algaires\*, accélération du comblement lacustre) d'une telle installation sur les écosystèmes naturels et souligne la pertinence tout comme la nécessité d'une telle approche pour prévenir et appréhender l'impact humain sur les environnements naturels montagnards. ●



Vue panoramique des étangs de Bassiès.  
© Thomas Houet

### LEXIQUE

#### \*BLOOM ALGAIRE :

augmentation rapide de la concentration d'espèces de phytoplancton dans un système aquatique.

## LA MÉMOIRE DES TOURBIÈRES: de l'histoire de la végétation à celle de la biodiversité

Si les tourbières représentent des écosystèmes uniques qu'il convient de protéger, en raison de la flore et de la faune remarquable qu'elles accueillent, leur valeur patrimoniale en tant qu'archive de l'histoire de l'environnement est un peu moins connue.



Les carottages effectués dans différentes tourbières du haut Vicdessos permettent aux chercheurs de reconstituer l'histoire de la végétation et des activités humaines pour des périodes exemptes de toute autre source documentaire.

Des restes microscopiques (grains de pollen, spores de champignons ou particules carbonisées) déposés au fil du temps, fossilisés puis conservés dans la tourbe, parfois depuis plusieurs millénaires, sont analysés, déterminés et dénombrés. L'histoire des forêts a ainsi pu être reconstituée depuis le retrait des glaciers qui occupaient les hautes vallées. Sur près de 10 000 ans, la physionomie de la couverture forestière a considérablement évolué en fonction des conditions climatiques : des stades pionniers de recolonisation, marqués par la présence des genévriers et du bouleau, à l'installation des chênaies mixtes et des hêtraies-sapinières. Dans l'histoire de ces paysages montagnards, les premiers grains de pollens de céréales et de plantes nitrophiles\* associés à la présence de troupeaux sont repérés à la fin du néoli-

thique, il y a près de 6 000 ans. Ils marquent le début d'un processus d'anthropisation qui va s'accroître avec une accélération des défrichements à partir de l'âge du bronze.

### CARTOGRAPHIE DES PALÉOVÉGÉTATIONS

Dès cette période, les archives paléo-écologiques contenues dans les tourbières indiquent un net recul et une profonde transformation des forêts. Les espaces d'altitude sont déboisés pour laisser place à de vastes pâturages, tandis que le sapin est progressivement éliminé. Ces travaux, réalisés de manière systématique en différents points du territoire du haut Vicdessos, permettront d'aboutir pour la première fois à la réalisation d'une cartographie des paléovégétations dans ce secteur des Pyrénées. Ils ont aussi pour principal objectif de suivre la réponse des écosystèmes montagnards face à différents types de perturbations, climatiques ou anthropiques, dans le but d'anticiper les évolutions futures. C'est grâce au recul temporel offert par ces archives écologiques que les chercheurs ont récemment pu démontrer le rôle bénéfique de la pression pastorale sur la diversité floristique et la biodiversité des zones

### Contributeurs

- Didier Galop, Florence Mazier  
Géographie de l'environnement  
Unité mixte de recherche 5602  
CNRS/Université Toulouse II

d'altitude. Ils peuvent ainsi affirmer que le déclin pastoral caractérisant aujourd'hui le haut Vicdessos risque, à terme, d'entraîner son appauvrissement. ●



Carottage en cours dans une tourbière à Bassiès.  
© Didier Galop

### LEXIQUE

#### \*PLANTE NITROPHILE :

plante qui préfère ou exige des sols ou des eaux riches en nitrates

# EN MONTAGNE, LES SOLS AUSSI ONT DE LA MÉMOIRE...

## Contributeurs

Albane Burens, Laurent Carozza, Jean-Michel Carozza  
Géographie de l'environnement  
Unité mixte de recherche 5602  
CNRS/Université Toulouse II



Autour de la tourbière du Pla de la Font, les chercheurs souhaitent déterminer la part des changements environnementaux et celle de l'action de l'homme dans la transformation des paysages. En réalisant des sondages dans des zones

comportant des archives sédimentaires, il est possible de dater les sols et de reconstruire l'histoire de l'environnement grâce aux témoins du passé tels que bois, aiguilles et cônes de pins, arrachés aux sols fossiles lors d'épisodes érosifs.

Les archives des sols montrent ainsi combien le milieu évolue depuis le 3<sup>e</sup> millénaire avant notre ère. Les recherches archéologiques recensent que plusieurs charbonnières autour des étangs de Bassiès témoignent d'une exploitation de la forêt dès les XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles.

À compter du XVIII<sup>e</sup> siècle, le développement du pastoralisme entraîne la construction d'une multitude de structures pastorales en pierre sèche (orris, enclos, couloirs de traite), puis le déclin de cette économie pastorale s'ac-

**Le paysage contrasté de la montagne de Bassiès est composé de vastes espaces pastoraux mais aussi de dômes granitiques, mis à nu par l'érosion, et de vastes dépressions accueillant lacs ou tourbières.**

**Quelle est la part de l'homme dans la construction de ce paysage ?**

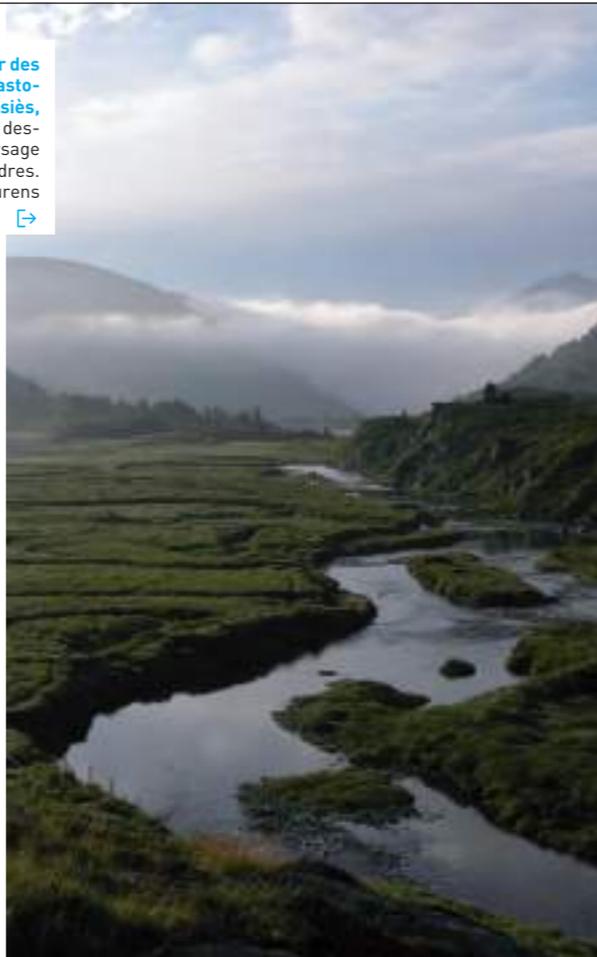
compagne de la destruction progressive de l'ensemble de ces structures. Aujourd'hui, les troupeaux ont quasiment disparu et seules quelques vaches de race gasconne entretiennent les estives. Toutefois et malgré cette déprise pastorale, les effets de l'érosion des sols et des berges des cours d'eau se poursuivent. Les changements du régime hydrologique conduisent à la formation de grands méandres en amont de l'étang du Pla de la Font. On peut y quantifier l'ampleur du phénomène, qui se développe dans un contexte global de changement climatique. La numérisation en 3D des berges du cours d'eau permettra de quantifier l'érosion des berges, année après année. ●

⤵ **Des aiguilles et cônes de pin** sont prélevés pour datation. Le cône de pin à gauche de la photographie remonte à l'âge du bronze (1400-1100 av. J.C.). © Albane Burens



Au cœur des espaces pastoraux de Bassiès, un torrent dessine un paysage de méandres.

© Albane Burens



# UNE PHOTOTHÈQUE EN LIGNE

pour reconstituer l'histoire des paysages contemporains

**Plus qu'un outil dédié à la recherche sur les évolutions paysagères à travers des photographies comparées, la photothèque offre la possibilité au grand public d'explorer, en ligne, les paysages de leur propre passé.**

## Contributeurs

Franck Vidal, Émilie Lerigoleur, Laurent Jégou  
Géographie de l'environnement  
Unité mixte de recherche 5602  
CNRS/Université Toulouse II



Si la photographie prend officiellement naissance en 1827 avec la première image de Joseph Nicéphore Niépce, on dispose de clichés des Pyrénées d'excellente qualité sur plaques de verre dès les années 1860, en particulier avec les travaux des

Eaux et Forêts. Vers la fin du XIX<sup>e</sup> et le début du XX<sup>e</sup> siècle, de grandes quantités de cartes postales sont également réalisées. À partir des années 1920 le grand public s'empare des techniques photographiques sur pellicule, puis sur diapositives et enfin, depuis les années 2000, en numérique. Les documents photographiques peuvent donc constituer

une source importante d'information sur l'état des paysages sur plus d'une centaine d'années, notamment en comparant des images anciennes et leur répétition (selon les mêmes lieux et angles de prise de vue) de nos jours. Ces techniques de photo-comparaison et de répétition photographique sont très utilisées, notamment par les observatoires photographiques des paysages.

## PRÈS DE 7 000 CLICHÉS

La création d'une banque d'images dédiée à la vallée du Vicdessos a nécessité dans un premier temps le recueil, la numérisation, l'indexation et la localisation géographique de collections photographiques non

seulement des chercheurs de l'*Observatoire Hommes-Milieus* (OHM) mais également des populations locales qui ont bien voulu mettre leurs archives à disposition. Dans un second temps, en utilisant des outils de géolocalisation et de gestion de bases de données électroniques, la photothèque en ligne sur la haute vallée du Vicdessos s'est enrichie de près de 7 000 clichés anciens et récents. Cette photothèque, en libre accès, est interrogeable par mots-clés, par date, par auteur, par collection mais aussi en recherchant directement sur l'interface cartographique *Google Maps*®. ●



⏪ **La même vue des villages de Suc et Sentenac** vers 1908 (carte postale *Labouche*) et 1989 (© J.P. Métaillé) : déclin du système agro-pastoral, abandon des terres, enforestation massive, fermeture des paysages.

Adresse photothèque : w3.ohmpyr.univ-tlse2.fr/phototheque



# LA PHOTO-COMPARAISON PAYSAGÈRE DANS LE HAUT VICDESSOS

## Contributeurs

Juliette Carré, Bernard Davasse  
Centre de recherche sur l'histoire et la culture du paysage  
ADESS - Unité mixte de recherche 5185  
CNRS/École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Bordeaux/Univ Bordeaux

La méthode repose sur la collecte de clichés anciens et leur reconduction à partir des mêmes points de vue. Dans le haut Vicdessos, on utilise les nombreuses photographies anciennes archivées dans la photothèque de l'Observatoire Hommes-Milieus (OHM) riche de 750 clichés de 1880 à 1920 et de 350 cartes postales de 1905 à 1920.

L'interprétation des clichés ne se base pas sur les seules apparences qui peuvent masquer certaines dynamiques. L'analyse critique des clichés est réalisée en multipliant les points de vue et en croisant systématiquement les informations obtenues avec celles d'autres sources documentaires : photos aériennes, cadastre et cartes actuels et d'époque, statistiques, archives diverses, etc.). Cela per-

## LEXIQUE

**\*SOULANE** : versant d'une vallée de montagne qui bénéficie de la plus longue exposition au soleil.

La photo-comparaison, ou analyse de photographies répétées, constitue un moyen d'observer les évolutions paysagères contemporaines. Elle est aujourd'hui utilisée en routine dans l'observation environnementale et paysagère.



Carte postale (vers 1910)

Photo-comparaison de la soulane\* de Sem, où l'on trouve le village, les terroirs et les excavations de la mine de fer. L'enforestation, entre 1910 et 2010, est spectaculaire. On trouve à Sem deux éleveurs qui, sous-couvert forestier défriché, ont installé des parcs à volailles et font pâturer des ovins en saison intermédiaire.

met d'interpréter de façon rigoureuse les évolutions passées et en cours. La création d'une base de données évolutive permet d'interpréter les changements paysagers observés et, en profitant du regard « paysager » offert par la photographie au sol, d'avoir la possibilité de débattre avec les différents acteurs du devenir paysager de leur territoire et de recueillir les aspirations des habitants en matière de cadre de vie.



Juliette Carré (2009)



Bernard Davasse (1890)



Bernard Davasse (2010)

## L'OHM : un outil pédagogique pertinent pour la prise en compte des temporalités

En domaine scolaire, pour contribuer à l'objectif éducatif visant à former un futur citoyen responsable vis-à-vis de son territoire, la contribution des différentes disciplines est sollicitée par les circulaires d'éducation au développement durable.

## Contributeurs

Marie-Pierre Julien, Christine Vergnolle Mainar, Anne Calvet, Jean-Yves Léna, Raphaël Chalmeau  
Géographie de l'environnement  
Unité mixte de recherche 5602  
CNRS/Université Toulouse II



éducation au développement durable prend de l'importance en ce début de siècle, en relation avec les questionnements socio-politiques sur les choix de gestion des milieux et territoires. Héritière de l'éducation à l'environnement, développée dans les dernières décennies du XXe siècle, elle s'en distingue par une articulation plus forte entre les dimensions environnementales et socio-économiques et par une projection vers le futur plus marquée. Mais au-delà de la prescription, les enseignants sont confrontés à plusieurs difficultés pour atteindre cet objectif ambitieux. La question

de la projection vers le futur en est une, car elle est peu présente dans la tradition scolaire et difficile à appréhender par les jeunes. Pourtant ce sont eux qui auront en charge l'avenir ! Aussi cette question mérite-t-elle une attention particulière.

## ABORDER LES ENJEUX DU FUTUR

La projection vers le futur a été au cœur d'un travail associant des chercheurs de l'OHM Pyrénées haut Vicdessos et des enseignants de l'école primaire et du collège de Vicdessos. Le contexte de cette vallée, qui a connu des changements de diverses natures sur des temporalités différentes (exode agricole et rural, fermeture d'une usine de fabrica-

tion d'aluminium, développement d'un tourisme vert) a été propice à un travail sur les choix à faire en fonction des types de futurs souhaités pour ce territoire.

La collaboration avec des chercheurs, producteurs de savoirs en cours de validation, a permis d'aborder avec les élèves les enjeux du futur sous l'angle de questionnements et d'hypothèses, donc de façon ouverte et non dramatique. Une attention particulière a été portée aux temporalités à l'œuvre dans le présent : issues d'un passé plus ou moins lointain, elles sont porteuses de dynamiques en devenir au regard des futurs envisageables. Un détour par le passé et les futurs possibles qui l'ont marqué, avant que des choix n'engagent dans

une voie, apparaît comme une entrée pertinente pour aider les élèves à penser les choix du présent.

Un détour par le passé pour mieux envisager les futurs possibles.





Contrairement à ce que suggère cette vue d'artiste d'une des parois ornées de la grotte de Niaux, nous avons choisi de mettre en avant deux lieux très particuliers dans cette partie « Ailleurs en Ariège ». Il faut savoir que sur ce territoire de multiples études se focalisent sur un insecte, une forêt, un fossile, une histoire... : des sujets parfois restés confidentiels mais tous parfaitement complémentaires dans la quête incessante de la connaissance.

Les deux études ici mentionnées sont en lien avec le monde de l'industrie et sont porteuses d'avenir, à n'en pas douter. Difficile quand même de ne pas dire un mot sur les recherches menées autour des nombreuses grottes ornées des Pyrénées ariégeoises, où les traces du passage des hommes remontent à l'époque glaciaire. D'illustres préhistoriens, parmi lesquels Jean Clottes en tant

que voisin et spécialiste de l'art pariétal, ont étudié tous les coins et recoins de ces lieux chargés de mémoire. Grâce aux années de fouilles et aux articles scientifiques associés, l'Ariège est désormais considérée comme une destination « préhistoire » incontournable. Un parc dédié, inauguré en 2009 à Tarascon-sur-Ariège, est le fruit de la collaboration entre scientifiques et acteurs locaux. L'on peut y admirer le fac-similé de la grotte de Niaux sans crainte de détériorer l'original qui reste visible, puisque la grotte de Niaux est l'une des rares grottes ornées encore ouverte au public. On y trouve de nombreuses représentations de bisons, chevaux, bouquetins, saumons et même une belette, représentation unique de cet animal dans l'art pariétal préhistorique.

De nombreux ouvrages retraçant le passé préhistorique de l'Ariège sont disponibles en librairie ou en bibliothèque.



**Contributeur**  
**François Martin**  
**Géosciences Environnement Toulouse**  
**Unité mixte de recherche 5563**  
 ERT 1074 Géo-matériaux  
 CNRS/Université Toulouse III

 **Vue de la carrière de Talc** de Trimouns à Luzenac, (Ariège). Les zones blanches correspondent aux zones à forte concentration en talc.  
 © IMERYS Talc de Luzenac



“ Des talcs de synthèse avec les caractéristiques des talcs naturels, mais sans les défauts.

## LE TALC : de Luzenac à Toulouse, de la carrière au laboratoire, du naturel au synthétique

**Minéral apprécié pour sa douceur et connu pour sa très faible dureté, le talc a depuis plusieurs décennies envahi le domaine des matériaux.**

**O** nséré en tant que charge minérale, il confère à ces nouveaux matériaux composites des propriétés physiques (mécaniques, résistance aux agents agressifs UV...) exceptionnelles. Ainsi ses domaines d'applications couvrent une très large gamme industrielle :

papiers, peintures, plastiques, cosmétiques, céramiques, alimentations humaine et animale, engrais, feutres bitumineux, revêtements de surface de matériaux métalliques... Mais ce minéral naturel, extrait dans la carrière de Trimouns à Luzenac, présente certaines limitations inhérentes à sa structure cristallographique, sa composition chimique, sa pureté, sa taille granulométrique, ... limitant le nombre de ses applications. Les talcs naturels ne pouvant se séparer de leurs défauts, les laboratoires de recherche et notamment l'ERT *Géo-matériaux* associé au groupe *IMERYS TALC* ont fabriqué par synthèse de nouveaux matériaux, conservant les caractéristiques des talcs naturels, avec de nouvelles propriétés physiques et chimiques, sans les défauts du talc naturel. La diminution de la taille des particules entre talc naturel (> 25 micromètres) et talc synthétique (> à 1 micromètre), la pureté chimique

et minéralogique et les propriétés physico-chimiques qui en découlent laissent présager d'un développement sans précédent pour de nouvelles applications industrielles inadaptées au talc naturel. En effet, la maîtrise des conditions de fabrication des talcs synthétiques exclut par exemple la cristallisation de fibres d'amiante. ●



 **Talc synthétique** produit en laboratoire : sa couleur est due à certains éléments chimiques incorporés lors de la fabrication.  
 © CNRS Photothèque/ Emmanuel Perrin

## MESURER DE TRÈS FAIBLES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ dans un laboratoire souterrain

**La plate-forme LAFARA (LABoratoire de mesure des FAibles RADIOactivités) rattachée à l'Observatoire Midi-Pyrénées de Toulouse (OMP) a été créée en Ariège pour mesurer, par spectrométrie gamma, la faible radioactivité des échantillons environnementaux prélevés par les scientifiques dans l'océan ou en milieu continental.**

**L** es éléments radioactifs sont largement utilisés pour étudier des processus variés dans l'environnement ainsi que pour dater et chronométrer des phénomènes, aussi bien dans l'océan qu'en milieu continental.

Ils servent ainsi à tracer les masses d'eau océaniques, à quantifier le mélange dans l'océan, à dater les sédiments marins, à déterminer l'origine des flux d'éléments chimiques dans les rivières et l'océan etc. Les radioéléments artificiels fournissent également des informations utiles, comme le césium-137 déposé dans les sédiments qui peut être utilisé pour la datation (<sup>137</sup>Cs issu de Tchernobyl ou des bombes thermonucléaires). Autre exemple, l'iode-131 a pu être détecté, par les instruments du laboratoire, dans des particules aérosols prélevées au sommet du Pic du Midi en mars 2011, marquant ainsi le passage dans le sud-ouest de la France du nuage radioactif issu de Fukushima au Japon.

Des mesures sont également réalisées pour les industriels désireux de connaître les niveaux de radioactivité de leurs matériaux.

### UN LABORATOIRE SOUTERRAIN RARE

La radioactivité des échantillons à analyser pour ces études est cependant souvent très faible et nécessite des instruments très sensibles. Pour les protéger du rayonnement cosmique qui viendrait perturber ces mesures fines, une montagne ariégeoise abrite nos instruments sous 85 m de roche. C'est en effet dans la galerie souterraine EDF de Ferrières que nous réalisons ces mesures. Un bruit de fond particulièrement bas est ainsi atteint, ce qui permet à LAFARA de faire partie du réseau européen de laboratoires souterrains CELLAR (Collaboration of European Low-level Underground Laboratories). Très peu de laboratoires souterrains de ce type existent dans le monde. ●



**Contributeurs**  
**Pieter van Beek, Marc Souhaut**  
**Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales**  
 Unité mixte de recherche 5566  
 CNRS/Université Toulouse III/CNES/IRD

 **Galerie souterraine** qui héberge la plate-forme LAFARA (OMP).  
 © Sébastien Chastanet

 **Spectromètres gamma** de la plate-forme LAFARA (OMP).  
 © Sébastien Chastanet



**Direction :** José Biosca

**Coordination :** Pascal Lemoine avec Isabelle Dixon, Olivier Guillaume et Franck Vidal (CNRS)

**Secrétariat de rédaction :** Jean-Paul Bobin

**Création graphique :** Sandrine Lucas

**Comité de Rédaction CNRS :** Patrick Mounaud, Carine Desaulty, Marie Aizpuru, Isabelle Dixon, Morgane Gibert, Olivier Guillaume, Kévin Lacoste, Valeria Medina-Ambiado, Franck Vidal.

**Diffusion :** La Dépêche du Midi

**Impression :** Techniprint Montauban

Bien que la société Le Cèdre ait fait tout son possible pour citer correctement et contacter la source et/ou le(s) détenteur(s) du copyright de chaque image, nous nous excusons par avance de toute erreur ou omission involontaire, qui serait immédiatement corrigée dans les prochaines éditions.



Journal de la Démocratie

Groupe La Dépêche du Midi

Société Anonyme au capital de 3 577 010 euros

Siège : Avenue Jean-Baylet, 31095 Toulouse CEDEX

Tél. 05 62 11 33 00 - Fax 05 61 44 74 74

e-mail : contact@ladepeche.com

Président Directeur Général et responsable de la Rédaction

**Jean-Michel BAYLET**

Directeur de la publication

**Jean-Nicolas BAYLET**

Commission paritaire n° 0310 C 87785 - ISSN 0181-7981



©Olivier



© Fabien Aubret



© Olivier Guillaume

## REMERCIEMENTS

Le Cèdre/Groupe La Dépêche tient à remercier les Laboratoires de Midi-Pyrénées, le service communication de la Délégation Midi-Pyrénées du CNRS, Science Animation, l'Europe, le Conseil général de l'Ariège, la Casden, la MGEN.



## Tous nos remerciements vont aux collectivités ariégeoises

qui facilitent les recherches menées sur leur territoire et donnent ici à leurs administrés (occasion d'entrevoir quelques-unes des facettes de l'Ariège, terre de science :

- Le Conseil Général de l'Ariège.
- La communauté de communes de Saint-Girons et les communes de Saint-Girons, Moulis et Caumont.
- La communauté de communes d'Auzat-Vicdessos et les communes d'Auzat, Gestières, Goulier, Illier-et-Laramade, Lencoul, Grus, Sem, Siguer, Suc-et-Sentenac et Modessos.
- Les communes de Fermières-sur-Ariège et de Luzenac.



Terrain méconnu de nombreuses recherches scientifiques, l'Ariège est au cœur de cet ouvrage. Vous y découvrirez un laboratoire de pointe en sciences de l'environnement, la Station d'écologie expérimentale du CNRS à Moulis. De nombreuses études expérimentales et théoriques tentent de décrypter et prévoir les effets du changement climatique sur les écosystèmes. Biodiversité, climat, adaptation et évolution sont quelques-uns des mots-clés de leurs recherches.

Vous découvrirez aussi que de nombreuses recherches en sciences humaines sont menées en Ariège. L'Observatoire Hommes-Milieu du haut Vicdessos s'intéresse ainsi aux interactions passées et présentes entre la société et son environnement, et tente d'anticiper les changements de ce territoire montagnard en mutation.

Le dernier chapitre de cet ouvrage emmènera les plus curieux dans des grottes et des carrières.

En collaboration avec *La Dépêche du Midi*, des chercheurs de Midi-Pyrénées [CNRS, Université de Toulouse...] expliquent ici leurs recherches. Après la chimie (2011) et l'énergie (2012), c'est l'Ariège, terre de science, qui est à l'honneur.

LA DÉPÊCHE

cnrs

