

– les stratégies d'acteurs économiques et leurs interactions.

À l'issue de cette phase, les « processus » caractéristiques de la dynamique du système sont identifiés et hiérarchisés.

Il s'agit alors, à partir de ce travail, d'élaborer une série d'hypothèses, d'étudier leurs relations, et de

construire différents scénarios d'évolution. Cette étape passionnante et redoutable s'est déroulée à l'automne-hiver 2001.

On explicitera ensuite, pour les différents scénarios, les besoins de connaissance, de veille et d'expertise auxquels nos organismes devraient répondre dans le futur et on imaginera des stratégies de recherche adaptées.

## L'action scientifique structurante *Aquae* (eau et agriculture)

DANIEL ZIMMER

L'agriculture occupe une part importante de l'espace rural où se forme la ressource en eau. Elle intervient donc fortement sur le fonctionnement hydrologique et hydraulique des bassins-versants, notamment à travers les pratiques et les aménagements hydroagricoles (drainage, irrigation). S'ils ont permis un meilleur contrôle des facteurs de production, ces pratiques et aménagements n'en sont pas moins responsables d'une dégradation de la ressource en eau et des écosystèmes aquatiques. Pollutions par les fertilisants ou les produits phytosanitaires, prélèvements d'eau pour l'irrigation, drainage de zones humides constituent des exemples marquants de ces dégradations.

La prise de conscience de l'influence de l'agriculture est allée croissant au cours des vingt dernières années. Elle est exacerbée aujourd'hui par la crise de confiance entre producteurs et consommateurs liée au risque alimentaire. Elle a suscité – et suscite encore – de nombreuses controverses, des travaux de recherche et une réorientation progressive des politiques publiques afin de protéger et de restaurer le patrimoine commun « milieux aquatiques ». Toutefois ces actions n'ont pas donné les résultats escomptés : la qualité des eaux brutes, tant de surface que souterraines a tendance à se dégrader, ce qu'il convient de mieux comprendre afin de proposer des mesures correctives.

L'inra et le Cemagref ont décidé d'unir leurs forces afin de progresser dans la connaissance des méca-

nismes bio-physiques et socioéconomiques explicatifs des tendances actuelles. Ce renforcement se fait au travers d'une « action scientifique structurante » nommée *Aquae* qui mobilise des fonds et des équipes des deux organismes. L'idée est de valoriser au mieux les complémentarités des deux centres de recherche, l'Inra sur les pratiques agricoles et la connaissance des milieux terrestres, le Cemagref sur les pratiques d'aménagement et la connaissance des milieux aquatiques.

Le fonctionnement de cette action est celui d'un programme scientifique classique : appel d'offres, sélection et évaluation par un comité scientifique largement ouvert. Le budget de l'action est d'un million d'euros sur trois ans. Huit projets ont été sélectionnés qui portent sur les thèmes suivants : liens entre pratiques agricoles et structuration des milieux aquatiques, prise en compte des hétérogénéités du milieu dans les pratiques d'irrigation, stratégies d'acteurs dans la gestion de la ressource en eau, rôle d'ouvrages compensateurs dans la réduction des impacts des pollutions diffuses, détection automatisée des adventices, mécanismes de régulation de « système à retard », qualité de la pulvérisation des produits phytosanitaires. Ces huit projets associent tous des équipes des deux organismes, et généralement des équipes d'autres centres de recherche. L'action est aujourd'hui à mi-parcours et les résultats obtenus paraissent prometteurs tant en termes scientifiques qu'en termes de structuration des coopérations.

DANIEL ZIMMER  
Directeur  
de recherche  
au Cemagref,  
adjoint au chef  
du département EEE  
(Équipements pour l'eau  
et l'environnement)

## Les sciences et technologies du vivant au Cemagref Situation et perspectives

CLAUDINE SCHMIDT-LAINÉ, ALAIN PAVÉ

Dès 1999, le Cemagref, pour faire évoluer ses axes stratégiques, a décidé de faire le point dans les principaux secteurs disciplinaires qui le concernent. Une première mission sur les sciences et technologies du vivant a été confiée à Alain Pavé<sup>3</sup>. Nous en livrons ici les principales conclusions. Une autre mission sur les

sciences de l'homme et de la société est dirigée par Paul Caseau, elle vient de se terminer. Enfin, courant 2002, une dernière étude concernera les sciences pour l'ingénieur.

Rappelons d'abord que le Cemagref situe son domaine de compétence à l'interface entre la recherche scienti-

<sup>3</sup> A. Pavé, 1999. Les sciences et technologies du vivant au Cemagref. Rapport à la direction scientifique du Cemagref, 52 p.

rique et technologique et l'ingénierie. Ses objets et thématiques de recherche relèvent principalement de l'environnement rural (agrosystèmes, écosystèmes forestiers, hydrosystèmes), du génie rural (gestion des écosystèmes, gestion des ressources et des déchets) et de l'agroalimentaire (conservation des aliments, génie des procédés agroalimentaires).

De ce fait, une part importante de son activité concerne des systèmes vivants, mais essentiellement aux niveaux d'organisation supérieurs (organismes, populations et écosystèmes), des produits de ces systèmes vivants (produits alimentaires) ou des résultats de leur activité (épuration biologique). Néanmoins, dans les différentes études, le recours à des techniques de la biochimie et de la biologie moléculaire est de plus en plus fréquent.

Enfin, l'acquisition et l'organisation de l'information, l'analyse des données et la modélisation font partie de l'arsenal méthodologique privilégié des scientifiques du Cemagref, cela est notamment vrai pour la partie relevant des sciences de la vie (dynamique des populations et des écosystèmes, génie des procédés biologiques).

### La population des chercheurs et des ingénieurs de recherche au Cemagref, la part des sciences de la vie

Le nombre total de chercheurs et d'ingénieurs de recherche au Cemagref peut être évalué à 262. Pour ce qui est du secteur des sciences de la vie, on peut distinguer deux sous-populations.

- La première dont l'objet principal de recherche est un système vivant : le premier cercle. Il s'agit, par exemple, de toutes les recherches sur les écosystèmes et les populations naturelles.
- La seconde dont l'objet ne relève pas à proprement parler des sciences de la vie, mais dont la dimension biologique est un élément principal de leur thématique de recherche : le second cercle. C'est le cas, par exemple, de l'étude des procédés d'épuration biologiques.

Globalement, le premier cercle correspond à 32 % (85/262) et le deuxième cercle à 8 % (21/262). Au total, c'est donc un peu plus d'une centaine de chercheurs et d'IR, soit environ 40 % des effectifs, qui ont une activité principale en sciences de la vie. C'est aussi un domaine où le nombre d'HDR est le plus élevé de tous les secteurs du Cemagref (7 en 2001 sur 14 au total, 22 prévues en 2004 sur 54 envisagées pour l'ensemble de l'établissement). C'est enfin celui où la culture de la publication scientifique est la plus affirmée (cf. ci-dessous).

On notera une originalité du Cemagref : les chercheurs et ingénieurs de recherche relèvent de deux corps distincts, celui des EPST dépendant du ministère chargé de la recherche et celui des « ingénieurs A+ » du ministère chargé de l'agriculture<sup>4</sup> dont une moitié a un profil de chercheur et une autre moitié d'ingénieur de recherche. Cette composition originale établit un gradient de compétences de la recherche à l'ingénierie.

<sup>4</sup> EPST : DR, CR et IR ; ingénieur « A+ » du MAP ; Igréf (ingénieurs du génie rural des eaux et des forêts), IDA (ingénieurs d'agronomie). La répartition est la suivante : 76 chercheurs EPST, 47 chercheurs MAP, 92 IR EPST et 47 assimilés IR MAP. L'égalité entre le nombre de chercheurs et d'IR relevant du MAP est purement conjoncturelle.

### Les disciplines et domaines de recherche des sciences et technologies du vivant représentés au Cemagref

Étant donné les missions de l'établissement et la composition sociologique qui lui correspond, il est mieux adapté de parler de sciences et technologies du vivant (STDV) que de sciences du vivant.

#### Les disciplines et les principaux secteurs méthodologiques

La liste, la plus complète possible, des disciplines de ce secteur représentées au Cemagref a été établie non seulement à partir des classifications institutionnelles, mais aussi à partir d'une appréciation de la situation. De même, les domaines méthodologiques traitant de systèmes vivants ont été identifiés. On trouve ainsi :

- Pour les disciplines : l'agronomie (pour partie), la biochimie, la dynamique des populations et des communautés, l'écologie et ses « variantes » (écologie terrestre, écologie des eaux douces, écologie forestière, écologie du paysage, écologie microbienne, écotoxicologie), la génétique forestière, l'hydrobiologie, la microbiologie, la phytopathologie, la physiologie et l'écophysiologie végétales, l'entomologie, la systématique. Cet ensemble représente le premier cercle des 30 % des scientifiques relevant des sciences de la vie au sens strict. On remarquera que dans le concert national, le Cemagref occupe une bonne position en écologie des eaux douces et en écotoxicologie.
- Un groupe de disciplines qui a recours aux sciences du vivant : les sciences des aliments, les sciences forestières (hors de celles déjà citées), le génie des procédés (procédés d'épuration).
- Un ensemble technique et méthodologique partiellement impliqué dans ce secteur : l'instrumentation, la télédétection, l'organisation et traitement de l'information spatialisée, la modélisation et l'analyse des données. Une partie de ces activités peuvent relever de la bio-informatique (non réduite aux aspects génomiques).

Il faut remarquer que ces références disciplinaires et méthodologiques sont susceptibles d'évoluer. De nouvelles disciplines apparaissent, comme la bio-informatique, d'autres tombent en désuétude ou disparaissent. Sans grand risque de se tromper, on peut prévoir que les diverses variantes de l'écologie vont tendre à d'estomper au profit d'une discipline unique. Plus généralement, le spectre des disciplines en sciences de la vie va singulièrement évoluer en intégrant notamment les aspects technologiques.

#### Production scientifique du secteur STDV au Cemagref

Cette production a été estimée à partir de la base de données bibliographiques de l'établissement, en ne

retenant que les articles parus dans des revues à comité de lecture. Elle a porté sur les années 1996 à 1998.

- Les publications du secteur STDV représentent 37,6 % du total des publications du Cemagref pendant cette période (274 articles ont été recensés ; parmi eux 103 relèvent principalement des sciences et technologies du vivant), mais 55 % des signatures d'articles.
- 60 % des publications STDV sont en anglais, 54 % pour les autres secteurs.
- environ 0,75 publication par an et par scientifique, signée à titre individuel ou cosignée.
- Le nombre de publications du secteur STDV, relativement à son importance numérique, est du même ordre que celui de l'ensemble des autres secteurs. Mais le taux de participation des scientifiques SDV (0,75) à l'effort de publication est significativement plus élevé que celui des scientifiques de l'ensemble des autres secteurs (0,44).
- Cette différence est due au nombre d'auteurs cosignant les articles. On observe en moyenne 2,1 noms de scientifiques STDV du Cemagref par article contre 1,1 pour les autres secteurs. Ce nombre moyen caractérise un travail collectif plus affirmé en STDV.
- L'indice (SCI) moyen des revues dans lesquelles les scientifiques STDV publient (0,55) est significativement supérieur à celui des publications des scientifiques d'autres champs disciplinaires du Cemagref (0,35).

Pour mémoire, le même indice calculé sur l'ensemble de la communauté française des chercheurs SDV est de 1,5. Il est distribué de la façon suivante : 1,7 en biologie fondamentale, 1,5 en biologie médicale et 1,3 en biologie appliquée et écologie (indice calculé à partir des données OST). Ce dernier secteur connaît une forte progression depuis quelques années<sup>5</sup>.

## Contribution du Cemagref à la formation doctorale en STDV

Les unités de recherche du Cemagref accueillent des jeunes doctorants. La plupart d'entre elles sont laboratoires d'accueil d'écoles doctorales. Pour l'année 2000-2001, les thèses en cours, co-financées par l'établissement, représentaient un tiers du total pour les SDTV (22/66) au sens strict. Les post-docs représentent aussi environ un tiers des accueils.

Les écoles doctorales SDV ou à forte composante SDV auxquelles le Cemagref est lié sont les suivantes :

- Sciences de l'environnement et de la santé. Université d'Aix-Marseille-III. Directeur : Bruno Hamelin.
- Sciences du vivant, géosciences, sciences de l'environnement. Université de Bordeaux-I. Directeurs : Robert Jaffard et Jean-Pierre Peypouquet.
- Chimie-biochimie. Université de Nantes. Directeur : M. Jacques.
- Évolution, écosystèmes, microbiologie, modélisation (E2M2) Université Claude-Bernard-Lyon-I. Directeur : Jean-Pierre Flandrois.
- Ingénierie pour la santé : santé, cognition, environnement. Université Joseph-Fourier-Grenoble. Directeur : Jacques Demongeot.
- Diversité du vivant. Université Paris-VI. Directeur : Robert Barbault.

- Biologie intégrative. Université de Montpellier-II. Directeur : André Charrier.
- Sciences du végétal : du gène à l'écosystème. Université de Paris-Sud (Orsay), Paris-XI. Directeur : Pierre Gadal.
- Vie-Santé. Université de Rennes-I. Directeur : Michel Philippe.
- Agriculture, alimentation, biologie, environnements et santé (Abies). Institut national agronomique Paris-Grignon. Directeur Henri Gibert.
- Sciences de la nature et de l'homme. Muséum national d'histoire naturelle, Paris. Directeur : Joseph Schevrel.
- Biologie environnement, sciences pour l'ingénieur. Université de Perpignan. Directeur : Serge Morand.

## Perspectives

Dans son plan stratégique et dans son contrat avec l'État, le Cemagref a annoncé son intention de développer les sciences et technologies du vivant, tout en maintenant son originalité de continuer à s'intéresser aux niveaux supérieurs d'organisation. Ainsi, il peut être une pièce maîtresse dans le développement d'une véritable ingénierie des systèmes écologiques, très à l'ordre du jour - ce thème est l'un des axes majeurs de l'ACI Écologie quantitative -, sachant que ces systèmes peuvent être de natures et de dimensions très différentes ; ainsi, aux deux extrêmes, on trouve les écosystèmes forestiers et les écosystèmes microbiens.

Des lois de l'écologie peuvent leur être appliquées, indépendamment de leurs tailles. Des mécanismes analogues peuvent être identifiés (compétition, mutualisme, etc.). Cette ingénierie des systèmes écologiques concerne non seulement les milieux « naturels » plus ou moins anthropisés, mais aussi des milieux « artificiels », comme les boues d'épuration ou des procédés agroalimentaires. Elle a pour objectif le suivi, la gestion ou le contrôle de ces systèmes. À ces fins, un effort important doit être fait pour déterminer les variables pertinentes à observer pour déterminer l'état et suivre l'évolution de ces systèmes (en particulier les bio-indicateurs) et celles qui ont une action déterminante sur ces états et évolutions (par exemple, la directive sur l'eau de l'Union européenne, promulguée fin 2000, qui introduit notamment la notion d'état écologique des hydrosystèmes, nécessite ce type d'approche pour être applicable).

L'un des objectifs principaux est de promouvoir une gestion intégrée des territoires, couplant, notamment gestion des écosystèmes terrestres et aquatiques et prenant en compte les systèmes techniques, par exemple les aménagements, les procédés d'épuration des déchets d'origine agricole ou les nouvelles techniques liées au développement d'une agriculture de précision.

Cependant, pour atteindre ces objectifs, le Cemagref doit s'associer à des compétences dont il ne dispose pas ou les développer en interne. On peut citer : la génétique, notamment la génétique des populations, les outils de la biologie moléculaire, notamment pour l'identification et l'évaluation des compositions spécifiques des peuplements complexes, l'écologie théorique pour établir les bases conceptuelles de la gestion des systèmes écologiques et du génie des procédés biologiques, et enfin les interfaces avec les secteurs SPI et SHS, nécessaires pour assurer les finalités de sa recherche.

<sup>5</sup> Les données disponibles ne permettent pas d'entrer plus dans les détails. Cependant, on peut dire, en se limitant au secteur biologie appliquée et écologie, que la communauté « biologie évolutive, dynamique et génétique des populations » tire cet indice vers le haut et que, très probablement, l'ensemble des chercheurs travaillant au niveau écosystème a un indice plus faible (revue à SCI plus faible, travaux de terrain relativement longs, etc.).