

# Les zones ateliers, des dispositifs pour la recherche sur l'environnement et les anthroposystèmes

Une action du programme « Environnement, vie et sociétés » du CNRS

CHRISTIAN LÉVÊQUE, ALAIN PAVÉ, LUC ABBADIE, ALAIN WEILL,  
FRANCK-DOMINIQUE VIVIEN

« Le vrai moyen, en effet, de parvenir à bien connaître un objet, même dans ses plus petits détails, c'est de commencer par l'envisager dans son entier ; par examiner d'abord, soit sa masse, soit son étendue, soit l'ensemble des parties qui le composent ; par rechercher quelle est sa nature et son origine, quels sont ses rapports avec les autres objets connus ; en un mot, par le considérer sous tous les points de vue qui peuvent nous éclairer sur toutes les généralités qui le concernent<sup>1</sup>. »

Jean-Baptiste Lamarck.

CHRISTIAN LÉVÊQUE  
Écologue

ALAIN PAVÉ  
Biologiste

LUC ABBADIE  
Écologue

ALAIN WEILL  
Physicien

FRANCK-DOMINIQUE VIVIEN  
Économiste

Programme « Environnement,  
vie et sociétés »,  
CNRS,  
1, place Aristide-Briand,  
92195 Meudon cedex, France

L'environnement, celui de l'homme et des sociétés humaines, est devenu un thème d'étude scientifique. C'est un objet complexe, qui peut maintenant se définir assez précisément (*encadré 1*). L'environnement est aussi un sujet de préoccupation sociale, d'une demande et d'une attente qu'il s'agit de traduire en questionnement scientifique, d'autant que les scientifiques sont de plus en plus interpellés pour participer à l'élaboration des processus de décision. Évaluer, prévoir, conseiller sont des activités qui nécessitent de s'appuyer sur des connaissances scientifiques rigoureuses.

Parmi les problèmes que soulève l'approche scientifique de l'environnement, le programme « Environnement, vie et sociétés » (PEVS) du CNRS a choisi de centrer son action sur l'étude des interactions entre les sociétés humaines et les systèmes dits « naturels », dans l'ensemble de leurs composantes physicochimiques et bioécologiques. Compte tenu de la multiplicité des facteurs en cause, et des différentes échelles spatiales et temporelles concernées, il y a une grande diversité de situations et une grande variabilité dans les réponses aux changements. Par exemple, on est amené à s'intéresser à des échelles spatiales qui vont de l'environnement local d'un individu, à l'échelle planétaire, celui de l'ensemble des sociétés humaines. Les échelles de temps à considérer sont également très variables et, on le comprend bien, souvent en relation avec la dimension des systèmes en cause. Elles vont de la microseconde, voire de la nanoseconde, des interactions au niveau moléculaire, aux milliards d'années de l'évolution de notre planète. Identifier ce qui relève de l'action anthropique, directe ou indirecte, ou de l'évolution naturelle, préciser les mécanismes sous-jacents, comprendre le fonctionnement global, sont autant de démarches qui nécessitent de mobiliser un large éventail de disciplines. Il

s'agit de fonder ces démarches sur des données solides, récurrentes, établies sur le long terme, et pertinentes pour répondre aux questionnements scientifiques, qu'ils proviennent de la dynamique propre de la science ou qu'ils soient la traduction d'une attente sociale.

Dans une première phase, les recherches sur l'environnement ont dû se structurer, le plus souvent, à partir d'approches disciplinaires. Il existe dans certains de ces domaines disciplinaires (météorologie, hydrologie, tectonique des plaques) des méthodes et des techniques de mesure appropriées, même si elles sont perfectibles. En revanche, les problèmes météorologiques se posent avec acuité pour identifier et estimer les variables bioécologiques et socioéconomiques. Et, quelle que soit la nature des composantes, l'approche

## Encadré 1 – Une définition de l'environnement

« L'environnement, c'est ce qui entoure l'homme, les sociétés humaines, de l'environnement local d'un individu ou d'un groupe d'individus à l'environnement planétaire, celui de l'ensemble des sociétés humaines. Il se compose d'éléments naturels non vivants (eau, air, roches), d'êtres vivants (animaux, végétaux, microorganismes), des dérivés de l'activité humaine (énergie, transports, constructions diverses, aménagements). Ces ensembles sont en interactions. Ils sont structurés et organisés, soit spontanément par leurs propres dynamiques, soit par l'activité de l'homme et des sociétés humaines, et par les interactions entre les processus naturels et les actions anthropiques. » (Cf. par exemple, Jollivet M., Pavé A. 1993. L'Environnement, un champ de recherche en formation. *Natures Sciences Sociétés* 1,1, 6-20.)

<sup>1</sup> Jean-Baptiste Lamarck. 1873. *Philosophie zoologique ou exposition des considérations relatives à l'histoire naturelle des animaux*. Tome II. Dentu et l'auteur, Paris, p. 31.

expérimentale est encore très difficile, voire impossible. Nous en sommes encore souvent réduits à des observations, ou à profiter d'événements naturels, techniques ou socioéconomiques pour saisir les incidences de ces « perturbations » sur les variables environnementales. Mais d'autres domaines de la connaissance, comme l'astronomie, nous ont déjà montré qu'il est possible de progresser à partir d'observations, à condition de procéder simultanément à des innovations métrologiques et méthodologiques, à construire des modèles, à développer des concepts et des théories.

Actuellement, pour ce qui concerne l'environnement, la recherche est entrée dans une seconde phase. Toutes disciplines confondues, la métrologie a fait des progrès. La démarche interdisciplinaire, bien qu'encore largement en construction, permet de mettre en relation des données et des résultats de types différents. La modélisation est devenue une pratique courante, toutes disciplines confondues. En effet, son rayon d'action s'élargit : de plus en plus de champs disciplinaires font appel à cette méthodologie (après les sciences physiques, les sciences du vivant et les sciences de l'homme et de la société sont maintenant concernées), ses finalités se diversifient (aide à la compréhension, mais aussi à l'action et à la décision). Trait d'union entre les disciplines, elle devient un outil de plus en plus nécessaire dans les approches interdisciplinaires<sup>2</sup>.

Il s'agit aujourd'hui d'unifier encore mieux les recherches sur l'environnement. D'acquiescer et d'organiser des données encore plus fiables et surtout plus cohérentes entre elles. Il s'agit aussi de ne pas se limiter à des progrès dans la connaissance, mais d'élaborer progressivement des règles et des techniques qui préservent, voire améliorent notre environnement et tout particulièrement d'élaborer un nouveau secteur scientifique, celui de « sciences pour l'ingénierie de l'environnement ». Pour cela, il faut que la communauté scientifique concernée se dote des moyens correspondants. Il faut aussi que le monde politique soit persuadé que, sans un effort significatif, les questions marquantes concernant l'environnement et le développement, traduites dans celles du « développement durable », ne trouveront pas de réponses viables et à long terme.

L'urgence pour avancer significativement est de définir et de disposer de moyens d'observation et d'expérimentation à la mesure des problèmes posés. Mais rien ne pourra se faire sans des propositions convaincantes de la communauté scientifique. L'objet de ce texte et de l'appel à propositions lancé par le PEVS est donc d'engager la communauté scientifique concernée à se mobiliser pour élaborer de telles propositions.

## Le contexte scientifique et technique

Pour la France, les TGE (très grands équipements) représentent en investissement et en fonctionnement

### Encadré 2 – La question des TGE

Les TGE ont été regroupés par grands secteurs disciplinaires : sciences physiques (physique des particules, physique gravitationnelle, recherches nucléaires, structure de la matière condensée), sciences de l'univers (astronomie, astrophysique spatiale, planétologie), sciences de la planète et de l'environnement (observation de la Terre, géologie, océanologie), sciences de la vie (biologie moléculaire et expériences en microgravité), recherches et supports techniques (station spatiale, météorologie). Ces derniers équipements ont connu une croissance importante (0,150 milliard de francs en 1990, 1,272 milliard de francs en 1999). Documents de base : ministère de la Recherche (mars 2000). Cette question des TGE, des secteurs scientifiques concernés et de ceux qui le seront bientôt est analysée dans un rapport récent du CSRT (Conseil supérieur de la recherche et de la technologie) : Pavé A., Laurent C. 2000. Les très grands équipements scientifiques : vers une évolution du concept et des moyens. CSRT, *Natures Sciences Sociétés* (sous presse).

une part importante du BCRD (budget civil de la recherche et du développement). Par exemple, sur le budget 2000, la prévision budgétaire est de 4,6 milliards de francs pour un total de 54,6 milliards de francs, soit 8,4 % du BCRD, ce qui équivaut au total des budgets annuels de l'Inra (Institut national de la recherche agronomique) et de l'IRD (Institut de recherche pour le développement, ex-Orstom), ou encore à plus du double du soutien de base aux laboratoires du CNRS. La dépense totale entre 1990 et 1999 a été de 37,45 milliards de francs.

Ainsi, ces dix dernières années, l'investissement a représenté : pour les sciences physiques 46,5 % du total (soit 17,42 milliards de francs), pour les sciences de l'univers 16,6 % (soit 6,18 milliards de francs), pour les sciences de la planète et de l'environnement planétaire 19,4 % (soit 7,27 milliards de francs), pour les sciences de la vie 5,7 % (soit 2,14 milliards de francs) et pour les recherches techniques 11,8 % (soit 4,43 milliards de francs) (encadré 2). Quant aux sciences de l'homme et de la société, elles sont totalement absentes.

L'importance du financement et l'émergence de nouvelles priorités (par exemple, les aspects génomiques pour les sciences de la vie, l'étude de la biosphère, de la géosphère et de l'hydrosphère continentales, des interactions avec les sociétés humaines, pour les sciences de l'environnement) font que les pouvoirs publics et la communauté scientifique s'interrogent sur les financements actuels. Une réflexion est engagée sur ce sujet.

Cela étant, on ne peut nier que les sciences de l'environnement aient reçu des moyens significatifs, mais principalement au titre de l'observation spatiale de la Terre (satellites) et de l'étude des milieux marins (la flotte océanographique). Il reste à mieux définir et à équiper des dispositifs de terrain pour l'étude des masses continentales<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Ce point de vue a été développé dans deux articles, le premier [Schmidt-Lainé C., Pavé A. 1999. La modélisation comme trait d'union. *Le Figaro* (actualité scientifique), lundi 11 janvier 1999] à l'usage du grand public et le second [Schmidt-Lainé C., Pavé A. 2000. Environnement : modélisation et modèles pour comprendre, agir ou décider dans un contexte interdisciplinaire. *Natures Sciences Sociétés* (sous presse)] pour la communauté scientifique. Ces deux textes ont été largement inspirés par les réflexions menées dans le cadre du programme « Modélisation et simulation numérique » du CNRS. Par ailleurs, on peut citer deux ouvrages de référence sur le sujet : Blasco F. (Ed.) 1997. *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*. Elsevier, Paris. Blasco F., Weill A. (Eds.) 1999. *Advances in Environmental and Ecological Modelling*. Elsevier, Paris. Ils résultent, en grande partie, des travaux du comité « Méthodes, modèles et théories » du programme « Environnement » du CNRS.

<sup>3</sup> Cf. *Nature* 403 (2000) 822.

<sup>4</sup> Cf. *Nature* 404 (2000) 216.

<sup>5</sup> Pour ne prendre que deux exemples : 1)

L'application du protocole de Kyoto sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) implique non seulement de limiter ces émissions (principalement d'origines industrielles, y compris les transports, et agricoles) mais aussi d'identifier les puits (par exemple, les forêts), leur capacité à stocker ces composés et à améliorer ces capacités. 2) L'application de la convention internationale sur la biodiversité va conduire également à des contraintes écologiques, économiques et techniques.

On notera au passage que ces deux problématiques ne sont pas indépendantes l'une de l'autre. Il semble en effet que les écosystèmes diversifiés aient de meilleures capacités de fixation des GES que ceux qui le sont moins (*Science* 286 (1999) 1123-1127). Ce type de résultat, s'il est confirmé et précisé, devrait conduire à des modes nouveaux de gestion des écosystèmes, couplant préservation, voire amélioration, de la biodiversité et de la capture des GES, notamment du CO<sub>2</sub>. Enfin, on retiendra que ces deux thématiques font l'objet de deux initiatives internationales indépendantes : Fluxnet, pour l'étude des échanges forêt-atmosphère et Diversitas, pour l'étude de la biodiversité. La communauté scientifique française est concernée à travers les opérations Euronet (instance européenne de Fuxnet) et IFB (Institut français de la biodiversité).

Sur le plan international, ce type d'effort est à l'ordre du jour. Par exemple les États-Unis, après la création des stations écologiques à long terme entrant dans le réseau LTER (*Long Term Ecological Research*), organisent le réseau NEON (*National Ecological Observatory Network*), lourdement doté<sup>4</sup>. La France, et plus généralement l'Europe, ne peut pas rester absente de ces initiatives. L'émergence d'un Programme national sur la dynamique de la biosphère continentale va dans ce sens, les actions du PEVS aussi. Cependant, il reste à asseoir cet effort conceptuel et d'organisation sur des dispositifs de terrain à la mesure des enjeux. On notera que le territoire national (métropolitain et extra-métropolitain) présente une grande diversité de situation. C'est un atout important.

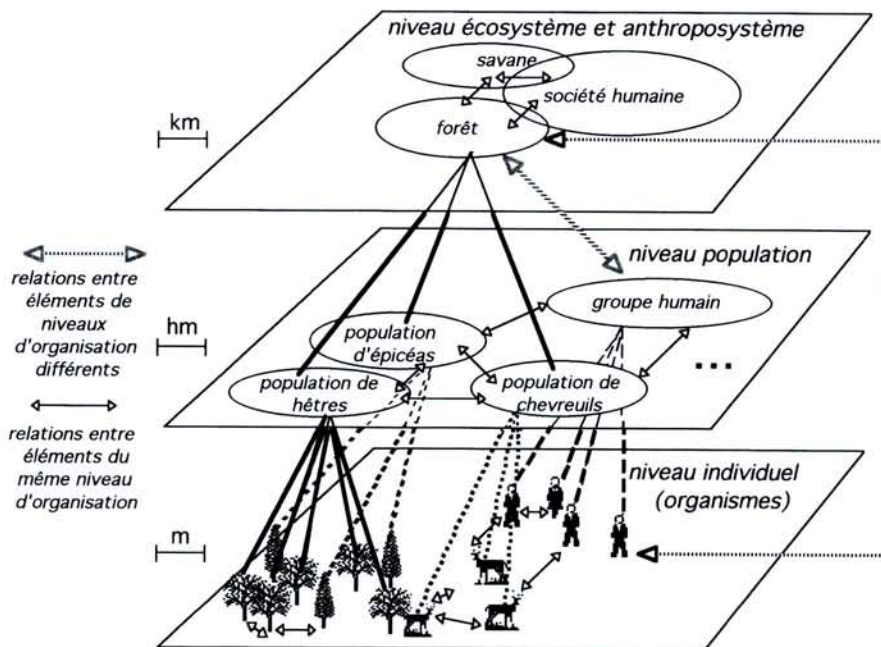
## Une attente sociale, économique et politique

Les citoyens, les gestionnaires, les ingénieurs et les politiques attendent des scientifiques une évaluation des risques potentiels d'ordre sanitaire, social et économique qu'entraîne l'évolution de notre environnement. Ils espèrent même plus : que la communauté scientifique puisse anticiper les conséquences environnementales des prises de décisions ou de l'emploi de nouvelles techniques. Il s'agit aussi d'imaginer une

évolution « favorable » de l'environnement qui préserve, restaure ou bien améliore les fonctions et les « services » des systèmes écologiques (maintien ou augmentation de la biodiversité, amélioration de la gestion des ressources naturelles renouvelables, amplification de leur rôle de dépollution et d'épuration, organisation des paysages, aménagement du territoire). Les contraintes seront de plus en plus pressantes tant au niveau national qu'international<sup>5</sup>. Dans une optique de développement durable, il s'agit d'abord de fournir des conseils aux décideurs politiques et économiques, mais aussi de concevoir des techniques et pratiques nouvelles respectant ou même améliorant l'environnement.

## Enjeux et moyens scientifiques et technologiques

L'environnement, quels que soient l'échelle et les niveaux d'organisation concernés, est constitué de multiples composantes, de natures diverses et en interactions. Ces interactions sont souvent non linéaires. De plus, il y a des liens entre échelles ou niveaux d'organisation différents<sup>6</sup>. Par exemple, un décideur peut influencer sur un écosystème, un écosystème peut conditionner la vie d'un individu (figure 1).



**Figure 1.** Exemples de niveaux d'organisation et de relations entre les éléments d'un niveau donné (représentation systémique de ces éléments et de leurs interactions), puis entre niveaux (appartenance à un groupe fonctionnel, interactions entre éléments de niveaux différents).

Sur ce schéma, le niveau individuel est à une échelle de l'ordre du mètre ; le niveau population est à une échelle de l'ordre du hectomètre ; le niveau écosystème est à une échelle de l'ordre du km (en se rapportant à une mesure linéaire). Cela étant, un écosystème forestier peut tenir dans moins d'un hectare (exemple des îlots boisés des grandes plaines) ou sur plusieurs milliers de km<sup>2</sup> (la forêt amazonienne couvre de l'ordre de 4,5 millions de km<sup>2</sup>). Quel que soit le niveau, ses éléments peuvent être repérés dans le temps et dans l'espace. Des éléments de niveaux différents peuvent interagir entre eux. Par exemple, un seul être humain peut être à l'origine de la destruction d'un écosystème forestier, par exemple, en y mettant le feu ou de la modification de cet écosystème dans le cas d'une décision individuelle ; réciproquement, l'état d'un écosystème forestier peut influencer sur la santé d'un individu, par exemple en abritant des vecteurs transmetteurs de pathologies, comme le paludisme.

L'environnement est donc un *système complexe* au sens premier du terme. Ce système est soumis à des actions ou influences diverses, notamment d'origines anthropiques. Son approche scientifique peut se fonder sur :

- l'analyse systémique, qui a déjà fait ses preuves, en intégrant les dimensions spatiales et en incluant les échelles et les niveaux d'organisation différents (figure 1) ;
- la modélisation et la simulation, méthodes incontournables dans ce type d'approche ;
- la coopération, autant qu'il est nécessaire, entre diverses disciplines, pour élaborer des visions intégrées du fonctionnement des systèmes environnementaux.

Pour cela des progrès ont déjà été obtenus et sont à envisager :

- au niveau des disciplines elles-mêmes, au vu des problèmes qui leur sont posés,
- dans la mise en relations des résultats disciplinaires, pour engendrer une représentation systémique,
- dans l'élaboration des modèles et méthodes qui synthétisent cette représentation et la rendent opérationnelle.

Enfin, les avancées, notamment méthodologiques et théoriques, obtenues sur les systèmes environnementaux, seront en partie transposables à d'autres situations et participeront donc à l'élaboration d'un cadre d'analyse et de théorisation des systèmes complexes.

Beaucoup des systèmes auxquels la recherche environnementale est confrontée sont sous la dépendance de sociétés humaines. Souvent elles y vivent et elles en vivent. En ce sens, ce sont des anthroposystèmes. Nous proposons de privilégier ce point d'entrée systémique de la recherche environnementale à partir de la définition suivante :

*Les anthroposystèmes comportent des composantes physicochimiques et bioécologiques, qui ont été ou sont plus ou moins élaborées ou modifiées par l'action directe ou indirecte de l'homme. En retour, les sociétés humaines ont développé des pratiques techniques et culturelles adaptées aux conditions offertes par leur environnement. Les systèmes sociaux, avec leurs dimensions culturelles, économiques et techniques, et les systèmes écologiques dans lesquels vivent ces sociétés sont le plus souvent en interaction. Ils évoluent à des échelles de temps et d'espace très variées, avec des intensités et des vitesses très diverses.*

Très globalement, la notion d'anthroposystème peut être représentée par la figure 2.

L'analyse de ce type de système et les conséquences à en tirer, notamment sur les plans technologiques et réglementaires, doivent s'appuyer sur :

- des études à long terme, permettant d'observer les évolutions lentes et rapides,
- l'observation, mais aussi l'expérimentation et le recueil de données pertinentes physiques, chimiques, biologiques, écologiques, sociales et économiques, soigneusement repérées dans l'espace et dans le temps,
- la mise au point et l'installation de moyens d'acquisition, d'organisation et de traitement des données expérimentales et d'observation,
- l'utilisation des modèles comme moyen de synthèse et de dialogue entre les disciplines,

- l'élaboration de modèles normatifs et d'aide à la décision, soigneusement testés et validés.

Pour réaliser ces objectifs, il devient essentiel de disposer de systèmes d'expérimentation et d'observation à la mesure des enjeux scientifiques, sociaux, économiques, techniques et politiques. En l'occurrence, nous proposons de créer des zones ateliers, prévues pour fonctionner sur le long terme (plusieurs dizaines d'années), bien équipées et auxquelles sont associées des compétences techniques et scientifiques.

## Sites et zones ateliers, réseaux

Pour engendrer une vision à la fois précise, globale et intégrée du fonctionnement des anthroposystèmes, il faut prendre en compte la variété des situations. On ne peut donc pas se limiter à une seule d'entre elles. Inversement, il n'est pas possible de les embrasser

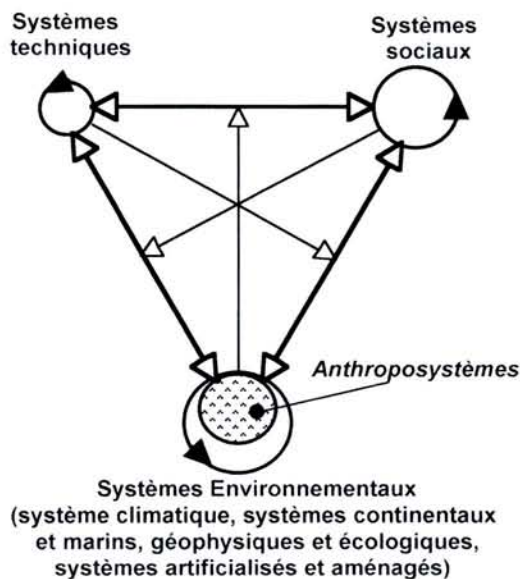


Figure 2. Environnement et anthroposystèmes.

Ces derniers comportent des composantes environnementales soumises directement ou indirectement à l'action de l'homme, les composantes sociales et économiques interviennent sur l'environnement par la médiation de techniques et de pratiques. Ces différents ensembles sont en interactions et agissent aussi directement sur ces interactions. Un dossier constitué par la revue *Science* (1997) soulignait l'importance du « facteur humain », mais le présentait de façon hiérarchique, c'est-à-dire essentiellement en termes de forçages (actions de l'homme sur les écosystèmes). La représentation proposée ici en diffère par son caractère systémique. Elle souligne l'importance des dynamiques sociales économiques et techniques. Les sciences humaines et sociales et les sciences de l'ingénieur sont alors concernées par les recherches sur l'environnement. En fait, cette figure n'est que la traduction actuelle d'une pratique de la recherche interdisciplinaire patiemment mise en place par la communauté scientifique française depuis une vingtaine d'années, notamment à travers les programmes successifs de recherche interdisciplinaires du CNRS sur l'environnement (PIREN, programme Environnement et programme Environnement, vie et sociétés, programmes Ecotech et Ecodev) .

\* Human dominated ecosystems. *Science* 277, 445-608. \*\* Jollivet M. (Ed.). 1992. *Sciences de la nature, Sciences de la société*. Les passeurs de frontières. CNRS Éditions, Paris. 589 p.

<sup>6</sup> Habituellement, on confond les deux. En fait, s'il y a une corrélation entre échelle spatiale et niveau d'organisation, il n'y a pas superposition. Par exemple, une population bactérienne peut tenir dans un tube à essai, une population d'épicéas peut s'étaler sur plusieurs hectares. Les rapports entre échelles sont d'ordre arithmétique, ceux entre niveaux sont précisément d'ordre organisationnel. Cela suppose que les interactions entre individus d'un niveau donné forment des ensembles cohérents et que ces ensembles interagissent globalement entre eux.

toutes. Il est donc nécessaire d'en sélectionner un nombre restreint, supposées représentatives, de les doter d'une instrumentation adéquate, puis de les organiser en réseaux. Cette organisation a l'avantage de permettre d'analyser des situations qui ne peuvent être abordées en un seul lieu. Il est aussi utile de réfléchir à des moyens communs d'observation (par exemple, les moyens aériens et satellitaires), à des systèmes d'organisation et de circulation de l'information (par exemple, les réseaux informatiques). La *figure 3* donne un aperçu d'une telle organisation.

### Définitions

Compte tenu de la diversité des définitions que recourent les termes employés, il est bon d'en préciser le sens dans le contexte présent et d'en donner une représentation schématique (*figure 3*) :

#### Zones ateliers

Ce sont des zones géographiques, souvent à l'échelle régionale, ayant une certaine unité fonctionnelle (par exemple, une forêt, le bassin versant d'un fleuve, un massif montagneux). Elles sont définies en fonction de questionnements scientifiques impliquant des recherches à long terme sur les anthroposystèmes (*encadré 3*). Ces questionnements proviendront soit d'une dynamique scientifique, soit d'une attente ou d'une demande sociale reformulées en termes scientifiques<sup>7</sup>. Elles disposent de moyens techniques d'acquisition, d'organisation et de traitement des données ainsi que de centres de compétences nécessaires.

#### Sites ateliers

Ce sont, à l'intérieur des zones ateliers, des sites plus ou moins instrumentés pour l'acquisition de données provenant soit d'observations, soit d'expérimentations. Ils sont de dimension réduite, d'un ou de deux ordres de grandeurs plus petits que les zones ateliers (petit bassin versant, parcelle forestière, quartier d'une ville).

#### Réseaux

L'ensemble du dispositif est mis en réseau à plusieurs niveaux. Le réseau des sites ateliers pour les zones ateliers, celui des zones ateliers, au niveau national, enfin un réseau international de zones ateliers. L'objectif est de mettre à la disposition de la communauté scientifique l'information repérée dans le temps et dans l'espace qui est recueillie au niveau des sites et zones ateliers. L'infrastructure matérielle est un réseau informatique.

### Objectifs généraux

L'étude du fonctionnement des anthroposystèmes dans le cadre des zones ateliers, et dans une perspective de développement durable, prend en compte les points suivants.

#### Le long terme

Les activités humaines modifient l'environnement. En retour, celui-ci agit sur l'état, le développement et les

### Encadré 3 – Le contexte du développement durable

La démarche « Zones ateliers » s'inscrit dans la problématique du développement durable, c'est-à-dire dans une perspective d'usage et de partage à long terme des ressources, des espaces et des territoires. La problématique du développement durable se structure au point de rencontre entre les questions portant sur la satisfaction actuelle et future des besoins fondamentaux des êtres humains pris dans toutes leurs dimensions (alimentation, santé, éducation, qualité de vie, liberté d'expression, etc.) et les questions portant sur les conséquences à long terme des trajectoires actuelles du développement. La notion de développement durable met ainsi l'accent sur la nécessité d'une approche et d'une gestion intégrées des milieux et des ressources, faisant ainsi le contre-poids à une approche trop sectorielle des problèmes et des politiques. Elle suppose aussi – ce que l'on désigne parfois comme une problématique de « gouvernance » (Theys, 1998)<sup>8</sup> – que l'on trouve un équilibre entre une gestion centralisée devant assurer une cohérence d'ensemble et une gestion participative, permettant que les populations concernées soient parties prenantes des processus de négociation et de décision, et se les approprient très largement.

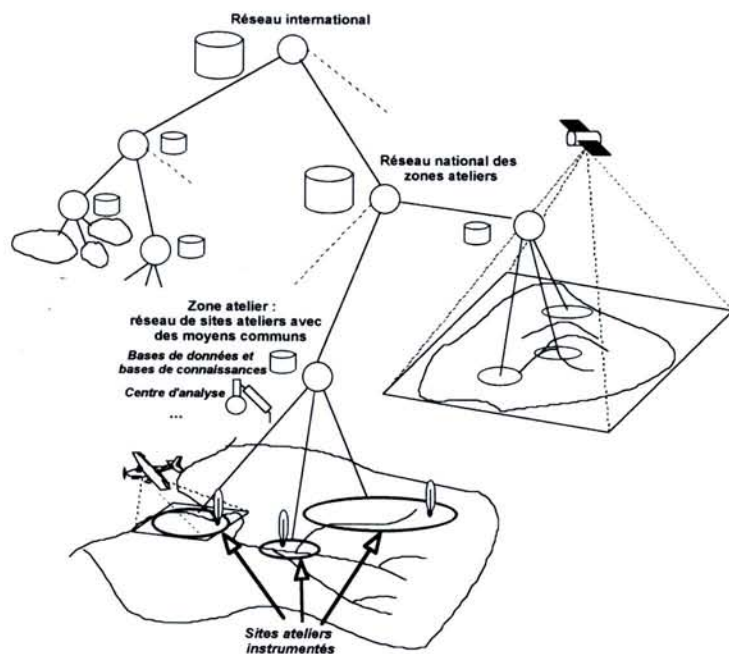
Au sein de la problématique du développement durable, l'environnement acquiert un statut particulier en tant que lieu, matériel et symbolique, où se déploient les activités humaines. C'est un lieu de confrontation conflictuelle entre les temporalités s'inscrivant dans le court terme et les temporalités mettant en jeu le long terme, voire le très long terme. L'environnement s'inscrit aussi dans un espace géographique et, de ce fait, est un lieu, plus ou moins conflictuel, de confrontation entre les dynamiques locales et les dynamiques globales.

Il est donc nécessaire de se donner les moyens de suivre les évolutions à long terme des interactions entre les acteurs sociaux et les milieux, et d'organiser la recherche sur le fonctionnement des anthroposystèmes dans une perspective de développement durable. La démarche Zones ateliers vise à mettre en place les outils conceptuels, méthodologiques et informationnels, permettant d'articuler le local, le régional et le global ; le court, le moyen et le long terme ; l'économique, le social, le technique et l'écologique.

<sup>8</sup>Theys J. 1998. *Entre gouvernance et gouvernabilité : quelle forme de gouvernement pour les changements globaux de l'environnement au XXI<sup>e</sup> siècle. Vol. 1. Les enjeux*, pp 339-379.

activités de l'homme et des sociétés humaines. L'identification des interactions entre ces activités humaines et l'environnement, notamment via les techniques employées, l'analyse des causes et des effets, permettent d'orienter les processus de décision. Toute gestion nécessite de prévoir les issues possibles des actions entreprises et, à cette fin, de construire des

<sup>7</sup> On remarquera au passage que de nombreuses questions en matière d'environnement ont d'abord pour origine une interrogation scientifique, médiatisée, puis reprise par la société qui la retourne ensuite, plus ou moins transformée et adaptée, vers la communauté scientifique qui se voit alors chargée d'y donner des réponses concrètes. Il en est ainsi des « grandes questions » environnementales comme celles relatives à la biodiversité ou aux changements climatiques.



**Figure 3.** Exemple de dispositif de recherche sur l'environnement et les anthroposystèmes. Les Zones ateliers correspondent à des secteurs géographiques ayant une certaine unité fonctionnelle (par exemple, une forêt, le bassin versant d'un grand fleuve, un massif montagneux), de taille « régionale ». Elles sont le lieu d'observations et d'expérimentations. Elles disposent de moyens d'analyse pour l'acquisition de données non accessibles par l'instrumentation de terrain, de systèmes d'organisation et de stockage de données et de connaissances ainsi que de compétences scientifiques et techniques nécessaires. À un niveau plus fin, des sites ateliers sont instrumentés pour des fins d'observations et d'expérimentations (petit bassin versant, parcelle forestière). Les Zones ateliers sont organisées en réseau national. Ce réseau est lui-même une composante d'un réseau international. Des moyens complémentaires d'observation, par exemple aériens, maritimes ou satellitaires doivent être disponibles.

modèles de simulation qui, en sortie, engendrent des résultats pouvant être confrontés avec la réalité, avec des variables observables ou calculables, qu'elles soient quantitatives ou qualitatives.

Dans le cas des anthroposystèmes, les recherches relevant des sciences de la nature doivent nécessairement être associées à des recherches historiques, sociologiques, anthropologiques, économiques, juridiques, géopolitiques. Selon la nature de la question posée, elles pourront être traitées à différentes échelles spatiales (du local au global) et sur le long terme (du passé au futur, 20 ans semblant être une durée standard).

Beaucoup de phénomènes ne sont pas perceptibles aux échelles habituelles et avec les métrologies courantes. On peut améliorer cette métrologie, mais l'appréhension des divers niveaux de variabilité demande néanmoins des observations à l'échelle de cette variabilité<sup>8</sup>, souvent plusieurs décennies, à l'image des observations sur l'évolution du climat.

Mais, sur le long terme, les concepts et centres d'intérêts évoluent. Certaines variables inaccessibles ou même non identifiées aujourd'hui le seront demain. D'autres seront éliminées du champ de l'observation. Or, on sait que les corpus de données devront être comparables. Comment rendre compatible ces deux exigences, avec d'un côté un corpus, des concepts, des centres d'intérêts évolutifs, et d'un autre côté, la possibilité d'études comparatives, de suivi dans le temps et sur le long terme ? Une réflexion méthodologique et épistémologique doit être développée à ce sujet.

Les sociétés agissent sur leur environnement par le biais de systèmes techniques. Dans ce cadre, elles développent des pratiques, au sens de la « bonne » utilisation de l'objet technique. Comment anticiper les

effets éventuellement négatifs de certaines de ces techniques et de ces pratiques ? Comment en concevoir de meilleures ? Il y a donc lieu d'associer également des sciences de l'ingénieur, au sens large, non seulement celles des systèmes industriels, mais aussi de l'agriculture et de la gestion des ressources et des milieux « naturels ». Une réflexion sur une évolution de ce domaine de recherche, qui vise à intégrer les dimensions environnementales, reste à entreprendre. C'est en ce sens que nous parlons de « sciences pour l'ingénierie de l'environnement ».

#### Le comparatif

La mise en place de réseaux a pour objectif de spatialiser les données, de les repérer dans le temps et de permettre des études comparatives dans des contextes variés (climatiques, écologiques, économiques, réglementaires, technologiques) et cela sur le long terme. Un élément essentiel dans cette approche est de disposer d'informations comparables, ce qui suppose un effort initial en vue de confronter les hypothèses de travail et de standardiser des méthodes, et un suivi de cet effort avec les progrès métrologiques et conceptuels. Un réseau de recueil de données cohérent avec une normalisation de l'instrumentation, des méthodes et des variables mesurées et observées, dont la qualité est certifiée (assurance qualité des données), est essentiel pour une approche opérationnelle de l'environnement.

#### L'expérimentation

L'un des objectifs assignés aux zones ateliers est d'être des lieux d'observation et d'expérimentation pour y étudier l'effet des actions de l'homme, considérées comme des formes d'expériences en vraie grandeur. Ces actions sont soit accidentelles, soit volontaires et

<sup>8</sup> Par exemple, l'expérience accumulée dans les dispositifs LTER (*Long Term Ecological Research*) américains a conduit à la notion de « présent invisible », de phénomènes sensibles uniquement à l'échelle de la décennie. Les progrès métrologiques ne suffisent pas toujours pour les observer, car la variabilité des mesures et des phénomènes eux-mêmes peut masquer les évolutions lentes.

contrôlées. Ces dernières peuvent s'inscrire dans des perspectives d'aménagement et de gestion des territoires.

#### La modélisation et la simulation

Ces méthodologies sont devenues incontournables aussi bien pour formaliser et vérifier la cohérence des connaissances acquises, que pour rendre ces connaissances opérationnelles, à des fins techniques ou d'aide à la décision. Les modèles peuvent être quantitatifs, mais aussi qualitatifs. La simulation peut être numérique, mais aussi symbolique. C'est aussi un moyen de dialogue entre les disciplines. C'est un objectif prioritaire que de développer la pratique de ces méthodes, compléments indispensables de l'observation et de l'expérimentation. Demain, il n'y aura, sans doute, d'approches qualifiées de scientifiques que celles qui font appel à la modélisation et à la simulation, sans oublier que la réciproque n'est pas toujours vraie. Enfin, l'approche systémique est efficace pour construire des modèles à un niveau d'organisation donné, par exemple en dynamiques des populations ou pour représenter l'évolution d'écosystèmes. En outre, on commence à construire des modèles associant dynamiques biogéochimiques, écologiques, voire socioéconomiques. En revanche, le couplage formel entre niveaux d'organisation, c'est-à-dire la construction de modèles à partir de représentations du type de celle de la *figure 1*, reste encore à largement à explorer, même si les approches multi-agents ou individus-centrés commencent à donner des résultats.

#### La prospective

Les ingénieurs, gestionnaires et décideurs demandent souvent une réflexion construite sur l'évolution des systèmes environnementaux, sur lesquels ils peuvent intervenir<sup>9</sup>. C'est l'objet de la prospective. Dans le domaine des recherches sur l'environnement, la prospective a un double objectif :

– Se donner un cadre de synthèse pour étudier les interactions dans le long terme entre les différentes dimensions d'un problème environnemental.

– Valoriser les résultats des recherches vis-à-vis des usagers en leur montrant les utilisations possibles dans un cadre décisionnel des connaissances produites par un projet multidisciplinaire. Ces images du futur sont des éléments centraux dans les discussions entourant la problématique du développement durable, qui est, avant tout, un problème de choix de société. Mais c'est aussi du rôle de la recherche d'examiner les conséquences possibles de ces choix.

Dans ce cadre, la modélisation et la simulation sont aussi de précieux outils d'analyse de scénarios.

#### La formation et la restitution des résultats de la recherche

Les Zones ateliers doivent être des lieux de dialogues entre scientifiques et acteurs sociaux, d'information et de formation des scientifiques et des gestionnaires, des associations, ainsi que du public.

## Organisation des Zones ateliers

### Unité de lieu, unité d'action, unité de temps

Un des objectifs des Zones ateliers est d'amener différentes équipes à travailler en même temps sur un même lieu de manière à créer d'emblée les conditions d'une approche pluridisciplinaire des questions scientifiques définies conjointement par les chercheurs de différentes disciplines. Par les moyens dont elles disposent et les situations qu'elle proposent, les Zones ateliers doivent aussi permettre des approches disciplinaires pointues.

L'intérêt des Zones ateliers est également de pouvoir traiter de questions communes et d'intérêt général dans le cadre d'un réseau afin de comparer les résultats en sachant que l'on n'obtient pas nécessairement les mêmes réponses dans tous les sites (contraintes locales ou régionales, questions de statut juridique, etc.).

Chaque Zone atelier doit faire clairement apparaître :

- les questions scientifiques posées,
- les méthodologies et instrumentation utilisées ; recueil, traitement et gestion des informations appropriées ; conception d'instruments originaux pour l'observation et l'expérimentation,
- le développement de modèles pour la connaissance et la gestion à long terme des anthroposystèmes étudiés,
- la production et valorisation des connaissances.

### Identifier les questions scientifiques majeures en liaison avec les problèmes de société

L'existence d'une Zone atelier sur les anthroposystèmes ne se justifie que par la nature de l'objet transversal de recherche étudié et des questions posées. Ces questions peuvent provenir ou bien des scientifiques ou bien des acteurs économiques et sociaux. Dans ce dernier cas, la demande devra être « traduite » en questions scientifiques par les chercheurs. Ces questions doivent être suffisamment précises pour que l'on puisse y répondre dans des délais compatibles avec la mise en œuvre opérationnelle de la recherche (vingt ans).

### L'information

Pérenniser les données d'observation, c'est décrire les méthodes utilisées pour les acquérir et préciser le contexte dans lequel elles ont été obtenues. C'est assurer la conservation des données, de toutes les informations relatives à leur signification et à leur organisation, et le maintien des procédures permettant l'accès et l'assistance à l'utilisation<sup>10</sup>. La pérennisation est coûteuse et exige une infrastructure. L'archivage des données a d'autant plus de sens qu'il y a des perspectives de s'en servir. Elle implique des critères de qualité et de validation spécialement explicites et rigoureux.

Il faut donc établir un *cahier des charges* précis définissant :

- la nature des données : données issues de sites instrumentés, provenant d'enquêtes, d'origine administrative, etc. ;
- les conditions d'utilisation des données collectées

<sup>9</sup> Mermet L., Piveteau V. 1997. Pratiques et méthodes prospectives : quelle place dans les recherches sur l'environnement ? », in : Les temps de l'environnement. Journées du Pirevs, Toulouse, 5-7 novembre 1997, pp. 327-335.

<sup>10</sup> Cf. les bases de données pour les géosciences.

par les membres de l'équipe (statut des données, transparence des données et mise à disposition) ;  
– le mode de stockage et de sauvegarde de l'information ; procédures d'harmonisation, de standardisation, et de transportabilité ;  
– l'identification des variables et des paramètres qui sont pertinents pour l'étude des interactions entre composantes des systèmes étudiés.

### Modélisation

Le traitement de ces données doit conduire à la production et à la formalisation de connaissances. À cette fin, il y a lieu :

- de standardiser les méthodes et logiciels utilisés et de faire des progrès méthodologiques (par exemple pour l'analyse de données de natures différentes, qualitatives et quantitatives) ;
- d'inciter au développement de modèles et à la constitution de bases de modèles et d'algorithmes.

### L'instrumentation

Pour acquérir des données nouvelles, mesurer des variables environnementales (physiques, chimiques ou biologiques), la conception d'instruments adaptés est souvent nécessaire. Ils constituent souvent des innovations technologiques de premier plan<sup>11</sup>. Parmi les développements possibles, on pourrait, par exemple, réfléchir au concept de « *lab on a chip* » en matière environnementale.

### Moyens et supports de production de connaissance

Ils sont de plusieurs ordres : publications des résultats sous forme d'articles ou de monographie, outils d'aide à la décision, bases de données spécifiques, accès à des bases de données nationales et internationales, utilisation du Web et de ses futures extensions, SIG, etc.

L'un des objectifs des Zones ateliers est, bien entendu, d'élaborer des scénarios prospectifs à l'usage des utilisateurs des résultats de la recherche, sachant que cette démarche est également un outil pour structurer la recherche interdisciplinaire.

### Lieux d'innovation technologique

Accumuler des connaissances sur les processus fondamentaux n'est pas suffisant pour définir de nouvelles technologies qui agissent sur l'environnement. C'est ce que nous ont appris les sciences de l'ingénieur. Les Zones ateliers peuvent être des lieux privilégiés où s'élaboreront et où seront testées de nouvelles techniques et pratiques. Là encore le long terme est nécessaire, l'histoire des pollutions par les engrais azotés est là pour nous le rappeler.

### Mise en œuvre

Le PEVS a implicitement soutenu et développé dans le passé des programmes qui préfiguraient des Zones ateliers. Ce n'est donc pas une incitation à une démarche complètement nouvelle. En revanche, nous proposons de mieux la formaliser afin de lui donner un « label » assurant une meilleure visibilité vis-à-vis des partenaires, et des gages d'assurance qualité par

une évaluation régulière des activités. La labellisation implique l'engagement des responsables de la Zone atelier de participer à une réflexion au niveau national et international, dans le cadre d'une structure de coordination qui aura pour rôle transversal d'élaborer un corps de principes et de méthodes permettant de rendre les approches comparables et de dégager des thèmes d'intérêt commun.

Ces Zones ateliers doivent donc contribuer à rendre plus cohérentes, plus efficaces, et plus lisibles les recherches sur les anthroposystèmes, à favoriser l'interaction entre disciplines, et à mieux répondre à l'attente et à la demande sociale, voire à l'anticiper.

Cela implique :

- la mobilisation de *différentes disciplines* pour répondre aux questions souvent de nature complexe qui sont posées à propos des anthroposystèmes ;
- la mise en place d'observations sur le *long terme*, que ce soit pour mettre en évidence l'impact de facteurs naturels ou des activités humaines ou les conséquences de mesures de gestion (réglementations, contrats, conservations, réhabilitations, etc.) ;
- la mise en œuvre d'*outils de traitement et de gestion de l'information et de dialogue* entre les disciplines concernées (métrologie, bases de connaissances, bases de données géoréférencées, modèles, etc.) ;
- la possibilité de mener des *activités expérimentales* multidisciplinaires, que ce soit en mésocosmes ou sur le terrain ;
- l'élaboration de *modèles prévisionnels* et d'aide à la décision et à la négociation qui doivent être validés par les observations et les expérimentations.

### Les termes de l'appel à propositions

Il s'agit dans un premier temps de sélectionner quelques « Zones ateliers » de référence qui devront répondre à un cahier des charges portant sur :

- les questions précises qui sont posées en matière d'environnement et les programmes scientifiques proposés pour y répondre ;
- les méthodes d'acquisition des données et les informations pertinentes à acquérir ainsi que les modes et les moyens de gestion de l'information ;
- la modélisation et la production de connaissances, y compris l'utilisation de la prospective comme outil de structuration des Zones ateliers ;
- l'articulation avec des partenaires scientifiques et les utilisateurs des résultats de la recherche.

Cette sélection est faite sur la base des réponses à l'appel à propositions.

Le rôle du PEVS dans le contexte d'un réseau de Zones ateliers serait triple :

- veiller à ce que les équipes labellisées définissent d'emblée les questions scientifiques transversales sur le fonctionnement durable des anthroposystèmes étudiés pour les traiter en interdisciplinarité (des sciences de la nature aux sciences de l'homme et de la société) ;
- aider à la définition des méthodologies (standardisation des méthodes) de mise en place de Zones ateliers et des outils nécessaires à son fonctionnement ;
- assurer par des thématiques transversales une

<sup>11</sup> Le rôle de l'innovation technologique dans les recherches écologiques a été fortement souligné dans l'ouvrage : Legay J.M., Barbault R. (Eds), 1995. *La révolution technologique en écologie*. Masson, Paris.



communication entre les différentes Zones ateliers (animation scientifique et approche comparative, etc.).

Pour réussir les Zones ateliers il faut également assurer les interfaces avec d'autres programmes du CNRS (PNRH, etc.), avec d'autres programmes nationaux (par exemple, le PNRZH ou le Pnec), avec les ACI, avec d'autres organismes de recherche, et avec les programmes régionaux de recherche en environnement.

Enfin, l'un des objectifs des Zones ateliers est de favoriser l'insertion des équipes dans un réseau international, par exemple celui des Iter.

## Objectifs à moyen terme

Les recherches sur l'environnement demandent de plus en plus de moyens techniques. À terme, ils seront du même ordre que pour les recherches en sciences physiques. Des progrès ont été faits pour l'observation à distance (moyens spatiaux). Il reste à relativiser leur apport et à les compléter par des moyens plus proches du terrain (par exemple, des moyens d'observation aérienne qui font cruellement défaut).

Il faut aussi envisager que chaque Zone atelier puisse mobiliser :

- des laboratoires d'analyse physicochimique et biologique équipés des appareils les plus performants et disposant des compétences techniques les plus pointues pour les utiliser ;
- d'un centre informatique de stockage des données et connaissances, mis en réseau avec d'autres centres ;
- de moyens de traitement des données.

De plus en plus de modèles, pour leur mise en œuvre, demanderont des moyens de calcul puissants. C'est vrai aujourd'hui pour les recherches sur le climat, mais ce le sera demain dans bien d'autres cas (par exemple pour la simulation de l'évolution de grands écosystèmes ou pour le couplage de dynamiques sociales et environnementales). La communauté française doit explorer les solutions adaptées, non exclusives, par exemple les super calculateurs vectoriels ou parallèles, le calcul coopératif sur réseau, et, dans un avenir proche, l'extension du Web à l'ensemble des ressources informatiques : les « grilles de calcul »<sup>12</sup>.

La définition des Zones ateliers entre complètement dans cette logique. Elle vise à doter la communauté scientifique concernée par les recherches sur l'environnement des moyens à la hauteur des enjeux scientifiques, technologiques et socioéconomiques. L'équivalent des très grands équipements actuels. Cet effort doit se structurer à tous les niveaux : « régional »

avec les Zones ateliers, national et international, avec les réseaux correspondants.

## Conclusion

La démarche proposée par les Zones ateliers trouve son origine dans une double préoccupation : faire face à des enjeux scientifiques et répondre à une demande sociale en matière d'environnement et de développement durable. Par ailleurs et sans confondre région administrative et unité environnementale fonctionnelle, elle fait néanmoins écho à la préoccupation affichée par la Commission européenne de renforcer le rôle des régions dans l'effort de recherche européen par une interaction plus forte entre les systèmes de recherche et le développement économique régional. Il s'agit en particulier de favoriser une meilleure prise en compte des interrogations des opérateurs politiques et économiques et de renforcer une pratique de transfert des connaissances auprès des opérateurs et des citoyens.

Autrement dit, les Zones ateliers doivent être un lieu de convergence d'activités de recherche menées sur des objectifs scientifiques, à partir de questions posées par la société. Elles impliquent nécessairement un partenariat entre équipes de recherches de différents instituts, opérateurs privés et opérateurs publics. L'expérience de quelques programmes multidisciplinaires menés depuis près de vingt ans par le programme Environnement montre que cette démarche n'est pas une utopie et trouve un écho tout à fait favorable sur le terrain. Cela étant, elle doit avant tout s'intégrer dans une stratégie scientifique à long terme, régulièrement révisée et adaptée, faute de quoi le risque est grand de se disperser et de n'obtenir qu'une liste de résultats ponctuels, sans doute pertinents, mais globalement peu consistants.

Cette expérience nous permet également d'aborder en bonne position les projets de collaboration avec des partenaires internationaux (réseau LTER, par exemple). En effet, l'accent mis actuellement dans les pays anglo-saxons sur le thème *ecosystem management* ou *ecosystem approach*, ou encore *human dominated ecosystems* correspond somme toute à la « redécouverte » d'une pratique de programmes multidisciplinaires de dimension régionale que le Piren avait initiée dans les années 1980, et qui s'est poursuivie dans diverses actions des comités du programme Environnement et du programme Environnement, vie et sociétés, notamment celles du comité Seah (Systèmes écologiques et actions de l'homme).

<sup>12</sup> Cf., par exemple, Wormser G. 2000. Grilles de calcul. *Pour la science* 273, 9.