

Article paru dans : Natures, Sciences, Sociétés, 2000, 8 :4, 43-52

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

Christian Lévêque, Alain Pavé, Luc Abbadie, Alain Weill, Franck-Dominique Vivien¹

¹ Programme Environnement Vie et Sociétés. CNRS, 1 place Aristide Briand. 91195 Meudon cedex, France.

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

Christian Lévêque, Alain Pavé, Luc Abbadie, Alain Weill, Franck-Dominique Vivien²

« 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. »³

Préambule

L'environnement, celui de l'homme et des sociétés humaines, est devenu un sujet d'étude scientifique. C'est un objet complexe, qui peut maintenant se définir assez précisément⁴. 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 physico-chimiques et bio-écologiques. 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 sont 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.

² Programme Environnement Vie et Sociétés. CNRS, 1 place Aristide Briand. 91195 Meudon cedex, France.

³ Jean-Baptiste Lamarck, *philosophie zoologique ou exposition des considérations relatives à l'histoire naturelle des animaux*. Paris : Dentu et l'auteur, 1873, tome 2, p. 31.

⁴ Par exemple, on pourra retenir la définition suivante :

« 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, micro-organismes), 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. et Pavé A. 1993, L'Environnement un champ de recherche en formation. *Natures-Sciences-Sociétés*, 1,1, 1993, 6-20).

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 métrologiques se sont posés avec acuité pour identifier et estimer les variables bio-écologiques et socio-économiques. Et quelle que soit la nature des composantes, l'approche expérimentale est encore très difficile, voire impossible. Nous en sommes encore souvent réduits à des observations, ou à profiter d'événements naturels, techniques ou socio-économiques pour observer 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 et 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. Si nous sommes encore loin d'une théorie globale de notre environnement, on peut commencer à en avoir une vision synthétique. 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 interdisciplinaires⁵.

Il s'agit aujourd'hui d'unifier encore mieux les recherches sur l'environnement. D'acquérir 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 aussi 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

⁵ Ce point de vue a été développé dans deux articles, le premier à l'usage du grand public et le second, pour la communauté scientifique, qui sera prochainement publié :

Schmidt-Lainé Cl. et Pavé A. 1999, *La modélisation comme trait d'union*. Le Figaro (actualité scientifique), lundi 11 janvier 1999.

Schmidt-Lainé Cl. et Pavé A. 1999, Environnement : modélisation et modèles pour comprendre, agir ou décider dans un contexte interdisciplinaire (à paraître dans *Natures, Sciences, Sociétés*).

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. et Weill A. (Eds) 1999. *Advances in Environmental and Ecological Modelling*. Elsevier, Paris.

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.

1. Le contexte scientifique et technique

Pour la France, les TGE (Très Grands Équipements) représentent en investissement et en fonctionnement 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 GF 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 et de l'IRD⁶, 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 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 francs⁷.

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 de moyens significatifs, mais principalement au titre du domaine spatial et de l'océanographie. Il reste à définir et à équiper des dispositifs de terrain pour l'étude des masses continentales⁸.

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 doté⁹. 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.

2. 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 économiques qu'entraîne

⁶ INRA : Institut National de la Recherche Agronomique, IRD (ex-ORSTOM) : Institut de Recherche pour le Développement.

⁷ 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 micro-gravité), recherches et supports techniques (station spatiale, météorologie). Ces derniers équipements on connu une croissance importante (0,150 GF en 1990, 1,272 GF en 1999). Documents de base : Ministère de la Recherche (mars 2000).

⁸ Cf. *Nature*, 403, p. 822 (2000).

⁹ Cf. *Nature*, 404, p. 216 (2000).

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'international¹⁰. 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.

3. Des 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 a des liens entre échelles ou niveaux d'organisation différents¹¹. Par exemple, un décideur peut influencer sur un écosystème, un écosystème peut conditionner la vie d'un individu (figure 1).

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 :

¹⁰ Pour ne prendre que deux exemples :

- 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'origine 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.
- 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, p. 1123-1127, (1999)). 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 captation des GES, notamment du CO₂. 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 Fluxnet) et IFB (Institut Français de la Biodiversité).

¹¹ 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.

- 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 et rendent cette représentation opérationnelle

Enfin et plus généralement dans l'analyse et la théorie des systèmes complexes. Les avancées, notamment méthodologiques et théoriques obtenues sur les systèmes environnementaux seront en partie transposables à d'autres situations.

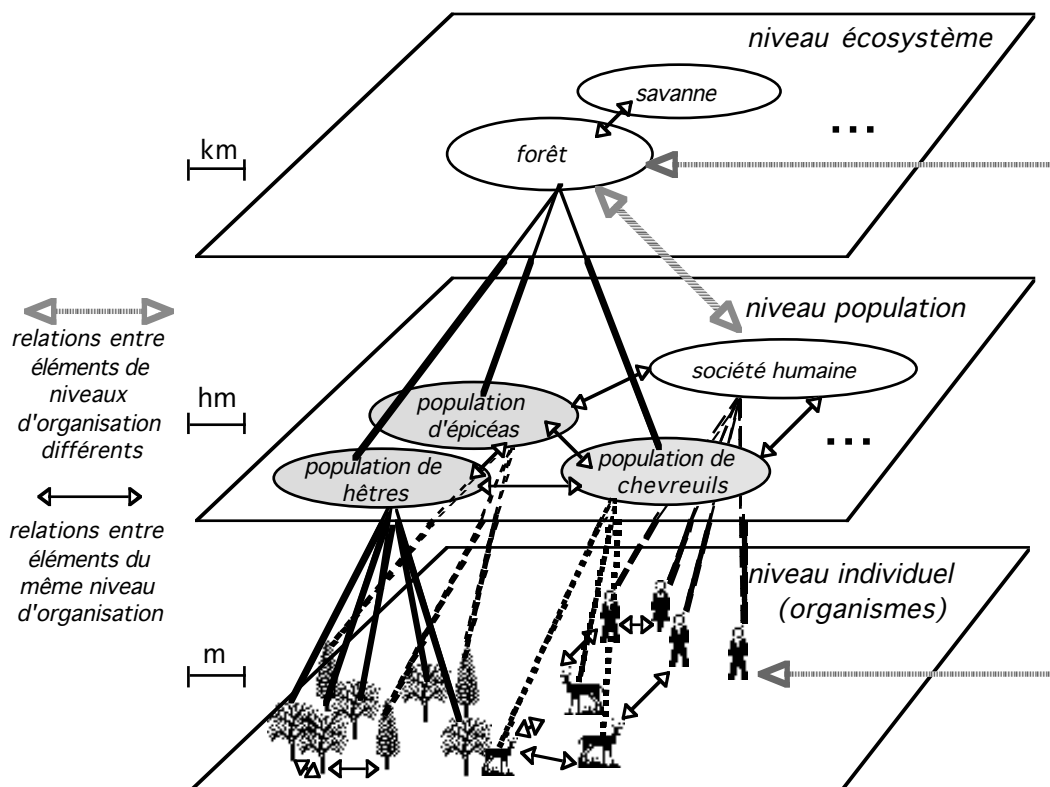


Figure 1 - Exemples de niveaux d'organisation et de relations entre les éléments d'un niveau donné (représentation systémique de ces éléments et de leurs interactions), puis entre niveaux (appartenance à un groupe fonctionnel, interactions entre éléments de niveaux différents). Sur ce schéma, le niveau individuel est à une échelle de l'ordre du mètre ; le niveau population est à une échelle de l'ordre de l'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 km² (la forêt amazonienne couvre de l'ordre de 4,5 millions de km²). 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.

Baucoup 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'entrées systémique de la recherche environnementale à partir de la définition suivante :

Les anthroposystèmes sont des systèmes naturels ou artificialisés, dans lesquels les sociétés humaines interviennent ou sont intervenues, soit en les exploitant, soit en les aménageant. Ces systèmes sont constitués de composantes physico-chimiques et bio-écologiques, plus ou moins modifiées ou élaborées par l'homme. En retour, les sociétés ont développé des pratiques techniques et culturelles adaptées aux conditions offertes par leur environnement. Les composantes sociales, culturelles, économiques et techniques, ainsi que les écosystèmes dans lesquels vivent les sociétés sont le plus souvent en interaction, et 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.

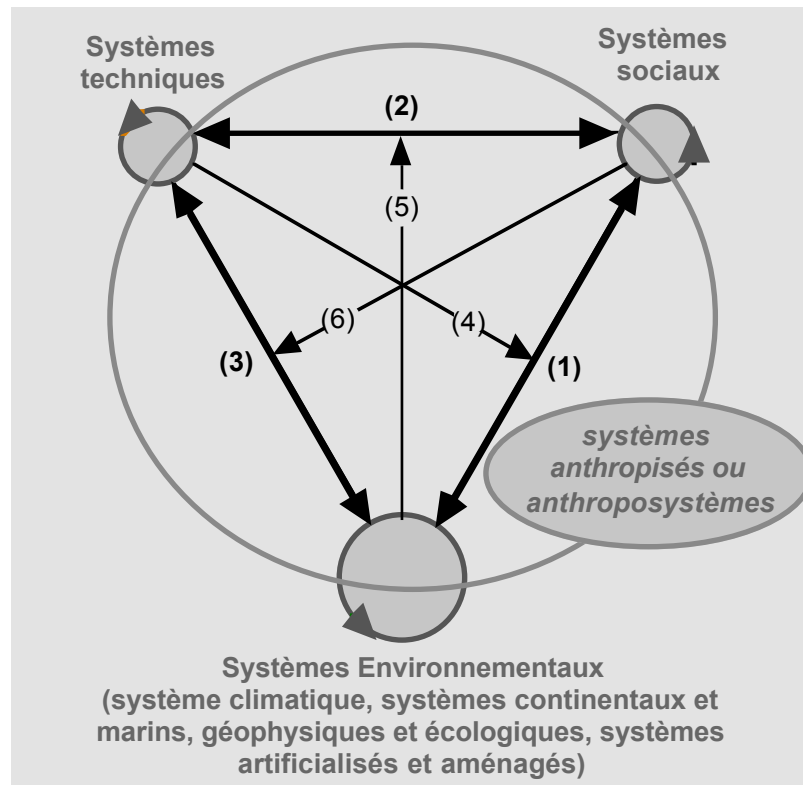


Figure 2 - Environnement et anthroposystèmes. Ces derniers intègrent les composantes environnementales soumises directement à l'action de l'homme, les composantes sociales et économiques interviennent sur l'environnement par la médiation de techniques et de pratiques. Ces différents ensembles sont en interactions et agissent aussi directement sur ces interactions. Un dossier constitué par la revue *Science* (1997)¹², 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 techniques, sociales et économiques. Les sciences de l'ingénieur et les sciences humaines et sociales sont alors interpellées pour participer activement aux 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, Programme Ecodev).

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

- Des études à long terme, permettant d'observer les évolutions lentes et rapides

¹² Human dominated ecosystems. *Science*, 277, 1997, 445-608.

- L'observation, mais aussi l'expérimentation et le recueil de données pertinentes physique, 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.

4. 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 limiter à une seule d'entre elles. Inversement, il n'est pas possible de les embrasser toutes. Il est donc nécessaire d'en sélectionner un nombre restreint, supposées représentatives, de bien les instrumenter et de les organiser en réseaux. De plus, les réseaux ont l'avantage de permettre d'analyser des situations qui ne peuvent être abordées en un seul lieu. Il est aussi utile de réfléchir sur des moyens communs d'observation (par exemple, les moyens aériens et satellitaires), sur les systèmes d'organisation et de circulation de l'information (par exemple, les réseaux informatiques). La figure 3 donne un aperçu d'une telle organisation.

4.1. Définitions

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

Zones ateliers : ce sont des zones géographiques, souvent à l'échelle régionale, ayant une certaine unité de fonctionnelle (par exemple, une forêt, le bassin versant d'un fleuve, un massif montagnard). Elles sont définies en fonction de questionnements scientifiques impliquant des recherches à long terme sur les anthroposystèmes. Ces questionnements proviendront soit d'une dynamique scientifique, soit d'une attente ou d'une demande sociale reformulées en termes scientifiques¹³. 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

¹³ On remarquera au passage que de nombreuses questions en matière d'environnement ont l'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.

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).

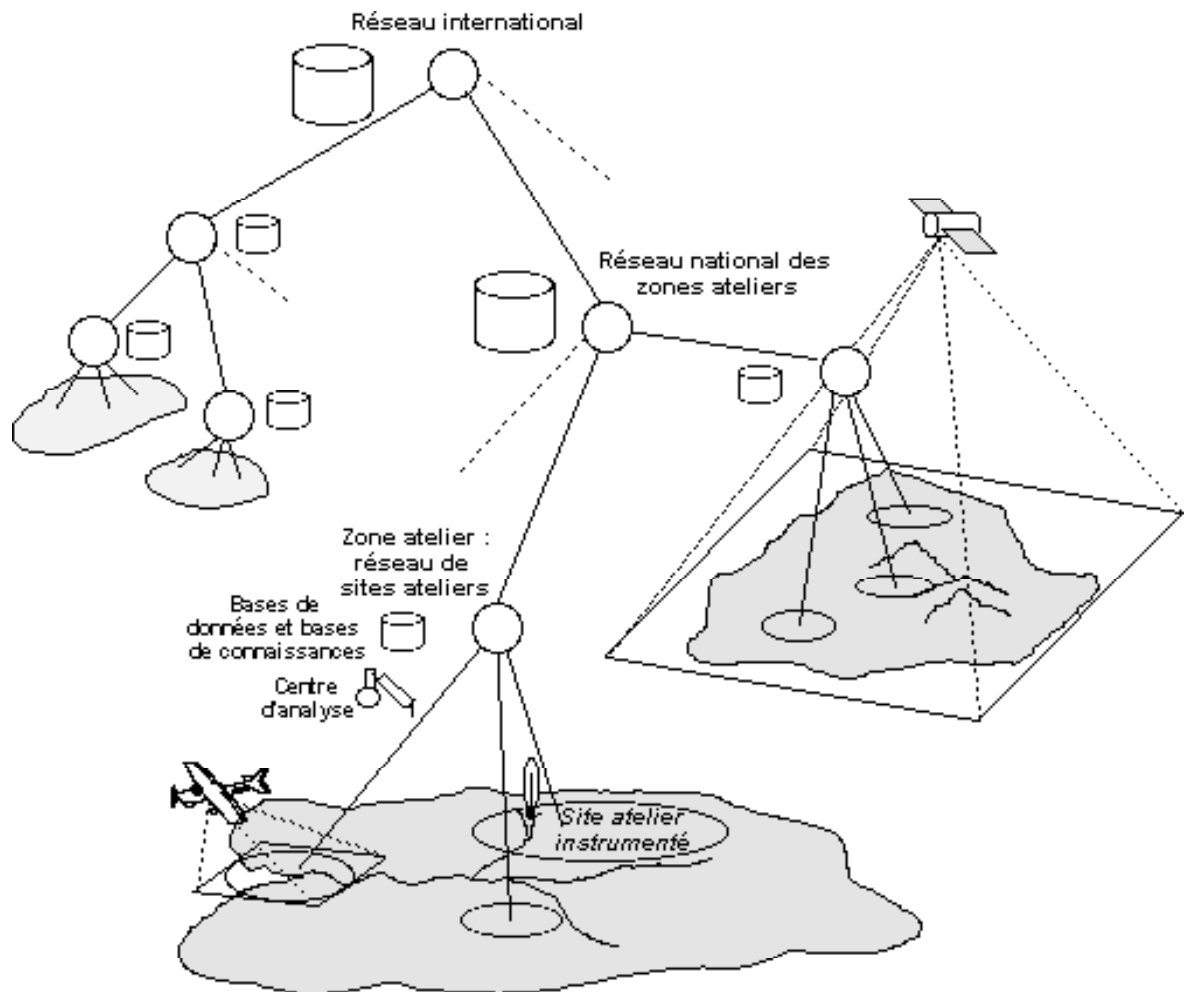


Figure 3- Exemple de dispositif de recherche sur l'environnement et les anthroposystèmes. Les zones ateliers correspondent à des secteurs géographiques ayant une certaine unité fonctionnelle (par exemple, une forêt, le bassin versant d'un grand fleuve, un massif montagnard), de taille « régionale ». 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 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.

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. 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.

4.2. 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 : la dynamique des systèmes anthropisés et les questions posées concernent différentes échelles temporelles et spatiales. 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 variabilité¹⁴, 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, d'un côté un corpus, des concepts, des centres d'intérêts évolutifs, 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 activités humaines modifient l'environnement. En retour, celui-ci agit sur l'état, le développement et les 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, peuvent permettre d'orienter les processus de décision. Toute gestion nécessite de prévoir les issues possibles des actions entreprises et à cette fin de construire des modèles de simulation qui, en sortie, engendrent des résultats pouvant être confrontés avec la réalité, avec des variables observable 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).

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 l'évolution de ce secteur, intégrant les dimensions environnementales, reste à faire. C'est en ce sens que nous parlons de « *sciences pour l'ingénierie de l'environnement* ».

¹⁴ 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 peuvent masquer les évolutions lentes.

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 de politiques. Elle suppose aussi – ce que l’on désigne parfois comme une problématique de « gouvernance » - 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 négociations 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.

Le comparatif : la mise en place de réseaux à 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 de **standardisation 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’expérimentation pour y étudier l’effet des perturbations anthropiques, qu’elles soient contrôlées ou accidentelles, ou qu’elles s’inscrivent dans une perspective d’aménagement et de gestion des territoires, comme des formes d’expériences en vraies grandeurs.

La modélisation et la simulation : que ce soit à des fins cognitives, pour formaliser et rendre opérationnelles les connaissances acquises, normatives, à des fins techniques ou d’aide à la décision, la modélisation et la simulation sont devenues des méthodologies incontournables. 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, de « vraie science » que

celles qui font appel à ces méthodes, 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 des modèles de dynamiques des populations, voire des modèles d'évolution d'écosystèmes. En outre, on commence à construire des modèles associant dynamiques biogéochimiques, écologiques, voire socio-économiques. En revanche, le couplage formel entre niveaux d'organisations 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. 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

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 d'information et de formation des scientifiques et des gestionnaires, des associations, ainsi que du public. Ce doit être un lieu de dialogue entre disciplines.

4.3. Organisation des Zones Atelier

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 aussi 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 la tétralogie suivante :

- Questions scientifiques posées
- Méthodologies et instrumentation utilisées ; recueil, traitement et gestion des informations appropriées ; conception d'instruments originaux pour l'observation et l'expérimentation
- Développement de modèles pour la connaissance et la gestion à long terme des anthroposystèmes étudiés
- 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 gestionnaires, mais 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 (dix ans).

À titre d’exemple, on peut suggérer les problématiques suivantes :

- Influence des changements climatiques sur l’évolution des anthroposystèmes
- Influence de l’utilisation des terres, des techniques et des pratiques agricoles sur les anthroposystèmes
- Aménagement du territoire, gestion de la biodiversité et des ressources renouvelables
- État et évolution des anthroposystèmes : incidences sur la santé humaine
- État et évolution des anthroposystèmes : effets sur les échanges biosphère-atmosphère

Il est évident que bien d’autres questions, entrant dans la problématique générale définie, peuvent émerger de la communauté scientifique et qu’elles ont toute légitimité pour être prise en compte.

L’information : pérenniser les données d’observation, c’est décrire les méthodes utilisées pour les acquérir et de 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’utilisation¹⁵. 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 administratives, etc.
- les conditions d’utilisation des données collectées 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 biologique), la conception d’instruments adaptés est souvent nécessaire. Ils constituent souvent des innovations technologiques de

¹⁵ Cf les bases de données pour les géosciences. Eléments pour un schéma directeur. Octobre 1999.

premier plan¹⁶. 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
- 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 multidisciplinaire.

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.

4.4. Mise en œuvre opérationnelle

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.

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.

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.

Il est nécessaire de se donner les moyens de suivre l'évolution 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. Cela implique :

- la mobilisation de **différentes disciplines** pour répondre aux questions souvent de nature complexe qui sont posées à propos des anthroposystèmes

¹⁶ Le rôle de l'innovation technologique dans les recherches écologiques a été fortement souligné dans l'ouvrage : Legay J.M. et Barbault R. (Eds). 1995. La révolution technologique en écologie. Masson, Paris.

- 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 qui doivent être validées par les observations et les expérimentations

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 se fera sur la base des réponses à un appel à proposition.

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 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.)
- d'autres programmes nationaux (PNRZH, PNEC, par exemple), avec les ACI, et avec d'autres organismes de recherche
- 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 ILTER.

5. 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 physico-chimique et bio-écologique 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 calculs 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). La communauté française doit explorer les solutions adaptées, non exclusives, par exemple :

- super calculateurs vectoriels ou parallèles
- calcul coopératif sur réseau (par exemple les grilles de calcul¹⁷)

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 socio-économiques. Cet effort doit se structurer à tous les niveaux : « régional » avec les zones ateliers, national et international, avec les réseaux correspondants.

L'objectif de l'appel d'offre lancé par le Programme Environnement, Vie et Sociétés est précisément sinon de poser la première pierre de l'édifice, du moins d'en creuser les fondations.

6. 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, sans oublier les aspects sociaux. 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.

¹⁷ Cf., par exemple, :

Wormser G. - Grilles de calcul. *Pour La Science* (Ed. française de *Scientific American*), 273, 9, 2000.

Autrement dit, les Zones Ateliers doivent être un lieu de convergence d'activités de recherche menées sur des objectifs scientifiques et 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). Par ailleurs et dans ces mouvances, de nombreuses réflexions et résultats de recherches interdisciplinaires publiés, notamment dans *NSS* (Nature, Sciences, Sociétés), peuvent aussi servir de référence.