

# ENVIRONNEMENT ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

*Directeur du département*  
Bernard DELAY

*Président du Conseil scientifique de département*  
Jean-Christophe AUFFRAY

*Membres du Conseil scientifique de département*

Jean-Pierre AMIGUES  
Robert BARBAULT  
Marc BERGDOLL  
Hervé BOHBOT  
Wolfgang CRAMER  
Bruno DAVID  
Geneviève DEFAGO  
Jean-Jacques DELANNOY  
Sylvie DERENNE  
Olivier DONARD  
Josette GARNIER  
Claude GILBERT  
Joël GUIOT  
Françoise HENNION  
Yvon LE MAHO  
Sandrine MAUJEAN-DUBOIS  
Véronique MARTIN-JEZEQUEL  
Gilles MORVAN  
José-Miguel SANCHEZ-PÉREZ  
Claudine SCHMIDT-LAINE  
Yolène THOMAS  
Gérard THOUZEAU  
Christiane WEBER

## 1 – PRÉSENTATION

Les problématiques relatives aux questions environnementales et au développement durable sont nées dans les années 1970. Nous arrivons aujourd'hui à une période charnière au cours de laquelle la perception économique, sociale et politique de ces questions est devenue un enjeu mondial. Des actions internationales se traduisent par des engagements tels que le Protocole de Kyoto qui bénéficie de l'expertise du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), les directives sur l'électricité d'origines renouvelables, la performance énergétique des bâtiments, le règlement communautaire « REACH » pour les produits chimiques, etc.

Au regard de l'objectif général de développement durable, les connaissances sur l'environnement et sur les sociétés humaines doivent encore être approfondies, aussi bien dans les pays développés que dans les pays en développement. Ce besoin doit mobiliser l'ensemble des acteurs de la recherche de manière interdisciplinaire.

Le CNRS agit dans ce domaine depuis longtemps au travers d'une partie de l'INSU et au travers de programmes interdisciplinaires. Les « Sciences de l'Environnement » sont désormais une priorité, comme en témoigne la création du département transversal « Environ-

nement et Développement durable» (EDD) et du «groupe de disciplines Sciences de l'Environnement» (GD SDE). L'enjeu pour le CNRS au travers de la structure novatrice du département EDD, est de mettre la recherche en situation d'éclairer la décision et de préparer l'action en promouvant la recherche aux interfaces.

**Le Département transversal «Environnement et Développement Durable» (EDD)**, créé en janvier 2006, a pour mission d'organiser la recherche sur l'environnement et le développement durable avec l'ensemble des départements scientifiques du CNRS. Il dispose pour cela de moyens spécifiques dont il gère l'attribution et le suivi. Il a la responsabilité directe des unités qui lui sont rattachées et qui travaillent majoritairement sur les questions d'environnement. Il accompagne en outre des unités ou équipes relevant d'autres départements mais dont les activités s'inscrivent en partie dans le domaine de l'environnement. Il a de ce fait deux fonctions : une de département classique et une d'agence de programmes et de moyens. De plus, grâce aux conventions avec les partenaires tant privés que publics, les dialogues et échanges inter-organismes instaurés, les liens tissés avec les collectivités locales, le département EDD permet au CNRS d'être très réactif face aux demandes sociétales urgentes.

**La fonction d'agence interne repose sur la création du groupe de disciplines «Sciences de l'Environnement»** qui regroupe les unités déclarant plus de 30% de leur activité dans le domaine de l'environnement. Cette démarche permet d'identifier, de structurer et de renforcer l'ensemble de la communauté scientifique concernée par ce domaine, en la dotant des outils nécessaires pour des recherches performantes dont les résultats doivent contribuer à l'élaboration des stratégies de développement durable et d'adaptation aux changements planétaires. L'objectif est de créer une communauté scientifique interdisciplinaire «Sciences de l'Environnement» à l'horizon 2020 en cohérence avec le plan stratégique du CNRS dans son ensemble.

**Les Sciences de l'Environnement** mettent en interaction un ensemble de disciplines et leurs objets d'étude sont par définition à l'interface des systèmes naturels et humains. Elles sont donc axées sur la dynamique des interactions entre les systèmes. De ce fait, là plus qu'ailleurs toutes les avancées en matière de recherche ne pourront se faire qu'à l'interface et aux frontières des disciplines.

## LES GRANDES ORIENTATIONS STRATÉGIQUES

### Mise en œuvre de la priorité «Environnement et développement durable» du CNRS

Le Département «Environnement et développement durable» (EDD) est l'outil majeur de mise en œuvre de la priorité «environnement et développement durable» du CNRS en synergie étroite avec les autres départements et les deux instituts : IN2P3 et INSU. Deux types d'actions peuvent être identifiés :

– i) la structuration, la dotation et l'animation scientifique du groupe de disciplines «Sciences de l'Environnement», environ 150 unités dont 70 d'entre elles mènent presque exclusivement des recherches sur des questions immédiatement pertinentes pour les problématiques de l'environnement et du développement durable ;

– ii) renforcer le potentiel du CNRS en incitant d'autres laboratoires ou équipes du CNRS, qui n'ont qu'une faible partie de leur activité consacrée à l'environnement ou au développement durable, à s'engager plus fortement dans des projets pluridisciplinaires sur ces thématiques.

### Favoriser l'innovation dans les Sciences de l'Environnement

Plusieurs composantes de l'environnement sont aujourd'hui l'objet de changements

rapides : climat, biodiversité, usages du vivant, couverture des sols, etc. Il est donc impératif de pouvoir définir des politiques de prévention, rationaliser les procédures de normalisation, nourrir les négociations internationales. De manière à pouvoir produire des connaissances toujours plus fiables sur les mécanismes du monde qui nous entoure, la priorité du département EDD, dans sa fonction d'agence interne, porte sur les personnels et les équipements. Quatre types d'actions sont identifiés :

- i) favoriser des recrutements de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens dans tous les champs scientifiques et intéressés par les questions d'environnement, de façon à constituer une communauté centrée sur ce domaine ;

- ii) renforcer les formations pluridisciplinaires à l'attention des chercheurs comme des ITA, par le biais d'écoles thématiques, d'animations scientifiques, ou de mise à disposition de documentations de qualité ;

- iii) veiller à l'enrichissement de la base d'archives ouvertes HAL ;

- iv) pourvoir les unités en équipements et les doter des technologies les plus avancées par la constitution de plateformes et d'observatoires.

### **Réussir le passage du pluridisciplinaire vers l'interdisciplinaire pour mieux comprendre les interactions entre les composantes de la crise environnementale**

L'environnement n'est pas une discipline en soi mais recouvre conceptuellement, l'ensemble des problématiques scientifiques liées à un même espace constitutif. Or, les crises liées aux changements climatiques, aux déséquilibres des écosystèmes, à l'épuisement de nombreuses ressources biologiques et minérales, mises en corrélations avec la crise de l'énergie ou les problèmes de démographie et de progression économique etc., nécessitent l'élaboration de théories génériques. Cet objectif requiert une banalisation de l'analyse pluridis-

ciplinaire et la promotion de l'approche interdisciplinaire. Celles-ci ont déjà été mises en place ponctuellement par le CNRS mais demandent un plan d'action volontariste avec comme objectif de positionner le CNRS en tant qu'institution de veille scientifique, pôle d'expertise et centre de ressources en environnement. Nous proposons la constitution d'unités pluridisciplinaires de taille importante, le développement de GDR renforcés regroupant des équipes isolées dans des unités non majoritairement tournées vers les questions d'Environnement et de Développement Durable, la multiplication d'écoles thématiques sur ce thème, la mise en place de procédures innovantes d'évaluation de chercheurs pluri et interdisciplinaires. Cinq types d'actions ont été identifiés :

- favoriser l'élaboration de nouveaux systèmes de modélisation permettant de lier les problématiques entre elles ;

- mettre en place des observatoires sociaux (impact d'un bouleversement naturel, économique ou industriel sur une population donnée à un moment et en un lieu) ;

- améliorer la qualité et augmenter le nombre des observatoires et des plateformes expérimentales en physique, en biologie et en environnement ;

- renforcer les zones ateliers étudiant l'impact de l'anthropisation dans un contexte régional ;

- proposer une expertise interdisciplinaire à la communauté scientifique comme aux partenaires sociétaux.

### **Rapprocher la recherche de l'action**

Il s'agit d'ouvrir les champs d'innovation inédits, l'objectif étant à la fois d'améliorer la compétitivité et l'efficacité des entreprises et d'identifier les nouvelles voies du développement économique, écologique et social, aussi bien aux niveaux locaux que nationaux, européens et internationaux. Cet enjeu repose essentiellement sur :

– le développement du dialogue entre les chercheurs et les praticiens (industriels, agriculteurs, gestionnaires, élus) ;

– la valorisation de la recherche vers le secteur socio-économique ;

– la mise en place de réponses rapides à la demande sociétale au moyen de la recherche en partenariat ;

– la participation à l'émergence de nouvelles stratégies de développement compatibles avec les contraintes imposées par l'environnement.

## 2 – LES ENJEUX SCIENTIFIQUES DU DÉPARTEMENT

Le CNRS dispose d'un large spectre de ressources disciplinaires qui peuvent s'associer pour servir au mieux les thématiques environnementales. Cette richesse disciplinaire donne au CNRS la capacité de répondre à certains enjeux transversaux, qui, par la collaboration entre tous les départements scientifiques, mettront l'organisme en mesure de répondre au mieux à l'ensemble des questions environnementales. Ces enjeux sont importants puisque ce sont eux qui contribuent à la définition des nouveaux paradigmes des Sciences de l'Environnement.

### La complexité environnementale

Un système complexe se caractérise par le nombre élevé d'éléments qui le constituent, par le nombre et la nature des interactions entre ces éléments, et par la dynamique non linéaire de son développement, les oscillations et les propriétés émergentes. Ceci est le propre des thématiques environnementales.

La prise en compte des effets du changement climatique, l'impact des choix de sociétés

sur les espaces, la richesse de la biodiversité, les efforts à fournir pour préserver les équilibres de ces systèmes interactifs, tout ceci incline à s'approprier plus avant les théories de la complexité et à proposer des voies de recherche innovantes de manière à répondre aux questions sociétales du moment, voire d'anticiper celles de demain.

Pour réaliser ces objectifs, le département EDD doit soutenir les recherches spécifiques faites sur les systèmes complexes et mettre en œuvre des procédures de transfert des connaissances issues du domaine d'étude des systèmes complexes vers les autres parties de la communauté scientifique. De plus le département doit soutenir :

– i) la vision intégrative afin d'identifier les enjeux à court, moyen et long terme (pollution de l'eau et de l'air, pollution des sols, biodiversité, changement climatique, etc.) ;

– ii) la pérennité des moyens d'investigation (programmes, outils d'observation, supports divers) qui est une condition *sine qua non* de la qualité des résultats dans un contexte où il s'agit d'avoir un recul suffisant par rapport à l'objet de recherche ;

– iii) la réflexivité des choix politiques, scientifiques et technologiques qui requiert la mise en place de référents, de repères de gestion, d'évaluation (indicateurs) et d'expertise, élaborés par rapport aux attendus implicites ou explicites de la société.

### Société de la connaissance et perception des enjeux de l'environnement

Les travaux de prospective nationale et internationale convergent pour faire de l'émergence de la « société de la connaissance » un des traits majeurs de la dynamique des sociétés postindustrielles comme des nouveaux pays émergents.

De plus, les recherches sur la thématique générale « sociétés et environnement », indiquent un potentiel d'évolution très rapide des

sociétés modernes susceptible de modifier durablement les impacts anthropiques sur l'environnement ainsi que le traitement politique, économique et social des questions d'environnement.

De ce fait, les thèmes de recherche à mener dans ce cadre nécessitent une forte synergie entre les différents départements concernés du CNRS et avec les partenaires. Ils portent sur :

- i) le contenu en croissance des sociétés postindustrielles et les impacts sur l'environnement ;
- ii) les risques environnementaux et la société ;
- iii) l'information, la connaissance et l'expertise environnementale ;
- iv) l'évaluation environnementale et les politiques publiques.

## 2.1 ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Dans le contexte du département EDD, l'évaluation environnementale porte principalement sur l'identification de la nature « naturelle » ou anthropique des modifications constatées dans les différents compartiments des écosystèmes, en s'attachant à déterminer la part des interactions entre anthropique et naturel.

Une attention particulière doit être portée à l'étude des environnements extrêmes qui par comparaison permet de mieux appréhender la nature des résultats obtenus dans les sites d'études faiblement ou fortement anthropisés (milieux acides, milieux profonds, sources hydrothermales, milieux hypersalés). Ces environnements se traduisent par des réponses environnementales généralement rapides et marquées qui permettent d'anticiper ou de mieux comprendre les effets des perturbations (contaminants et autres) dans les environnements à contraintes anthropiques.

Un effort sera fait concernant l'identification, la discrimination et l'impact biologique de l'expression de la contamination anthropique à toutes les échelles allant de la molécule jusqu'à l'impact sur la dynamique des populations. Dans un premier temps, l'aspect « identification » devra se fonder sur des approches de quantification des perturbations induites par les pratiques et les aménagements anthropiques dans un esprit interdisciplinaire. Les recherches menées viseront à une meilleure prise en compte de l'impact des contaminants sur le milieu. Un intérêt particulier devrait être porté à la réactivité aux différentes interfaces (oxie/anoxie, biotique/abiotique, solide/liquide, liquide/air) lieu d'échanges privilégiés permettant les transferts dans les différents compartiments d'un écosystème donné. Ces analyses permettront de pouvoir appréhender globalement les interactions contaminants-vivant via les modèles théoriques « structure/propriétés ». De plus, l'étude des interactions permettra de développer des stratégies prédictives intégrant notamment les concepts de changements climatiques. Ces stratégies seront également utiles pour tous les volets concernant la remédiation des milieux anthropisés. Ceci doit s'accompagner d'un effort tout particulier sur les procédures pour comprendre l'impact sociétal et favoriser les transcriptions légales. Ce dernier point concerne l'analyse de la logique de l'évolution des normes et de leurs acceptations, l'intégration, l'application dans l'environnemental et sa transcription économique.

### Durabilité

La durabilité concerne la prise en compte conjointe et globale de la protection de l'environnement, de la croissance économique et de l'égalité sociale à l'échelle planétaire. Le concept de durabilité appelle trois grands types de questions de recherche :

- i) l'irréversibilité de certaines situations engendrées par le développement pose la question des temporalités des processus, des sociétés et des réponses à apporter ;

– ii) l'équité et la solidarité entre les générations conduisent à s'interroger sur l'évolution des ressources environnementales disponibles ainsi que sur les contextes sociaux dans un contexte de disparités spatiales et socio-économiques ;

– iii) les situations de risque et d'incertitude posent la question de la nature et de l'intensité des liens entre les différents risques, sanitaires, climatiques, de conflits sociaux et violence urbaine, d'usages et d'appropriation des ressources actuelles et à venir.

Outre la biodiversité et les changements climatiques, les champs d'investigation à décliner en terme de durabilité doivent notamment concerner : la qualité et quantité d'eau (hydro-systèmes de surface et systèmes aquifères), la qualité des sols, la distribution de l'urbain *vs* rural, La production (eau, végétation, animal, industrielle), la consommation (énergie), la commercialisation et le respect de la nature et de l'environnement, la qualité de l'air, les patrimoines naturels et culturels.

## 3 – LES THÉMATIQUES SCIENTIFIQUES DU DÉPARTEMENT

### 3.1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

#### Position du problème

L'impact humain sur le climat, amorcé depuis plusieurs millénaires, s'est accéléré durant les deux derniers siècles par le rejet massif de gaz, d'aérosols et par une utilisation intensive des surfaces terrestres. Le Département EDD aborde le changement climatique à travers les questions :

- i) des risques induits ;
- ii) de la vulnérabilité des ressources biologiques et hydrologiques ;

– iii) de l'impact sur les écosystèmes, la santé, l'économie, les territoires et ;

– iv) des choix socio-économiques et des stratégies d'adaptation. Au-delà de l'évaluation de l'aléa climatique, EDD porte ses efforts sur le suivi et la prévision des impacts afin d'améliorer les politiques de développement durable dans toutes leurs dimensions, y compris en termes de transports, d'énergies, d'habitat, d'urbanisation, etc.

#### Enjeux

**Incertitudes.** L'identification des tendances du changement climatique n'est pas suffisante pour aborder les questions d'impact, il faut prendre en compte les changements de variabilité du climat, notamment la nature et la récurrence des phénomènes extrêmes (canicule, sécheresse, excédent hydrologique, etc.). Les approches probabilistes, rendues nécessaires par l'amplitude et la rapidité inédites du changement, sont à la base de toute stratégie d'adaptation ou de remédiation. Combinées à l'étude des archives historiques et naturelles du passé, elles permettent aussi de distinguer la variabilité naturelle de la variabilité anthropique.

**Indicateurs et données du changement climatique.** Les dynamiques de réponses au changement climatique sont souvent non linéaires, en particulier dans le cas des systèmes écologiques et socio-économiques qui répondent en fonction de seuils. On manque souvent de recul pour identifier ces non-linéarités : la collecte de données à différentes échelles de temps et d'espace et leur consignation dans des bases de données accessibles à tous est une nécessité pour tester les scénarios climatiques, les modèles d'impact, la pertinence des indicateurs de réponse. Ces données sont issues de réseaux d'observation (stations météorologiques, satellites, etc.), d'observatoires thématiques, de plateformes expérimentales, qui doivent être soutenues à long terme.

**Impacts.** Une véritable interdisciplinarité, en termes de concepts et de méthodes,

est à mettre en œuvre pour l'évaluation des impacts du changement climatique actuel et futur sur les activités économiques et l'émergence de nouveaux risques. Il faut notamment repenser la modélisation des interactions entre variables climatiques et anthropiques (aménagement, organisation territoriale, énergie, etc.) en privilégiant la co-construction de nouveaux modèles issus des problématiques d'environnement et de développement durable. Pour mener à bien une telle démarche, le choix des indicateurs (environnementaux, économiques, sanitaires, etc.) est central ainsi que les effets des forçages qu'ils soient externes (aléas) ou internes. Une telle démarche s'ancre de fait dans une approche systémique pluridisciplinaire des questions environnementales et territoriales. L'évaluation de l'impact des changements climatiques sur les écosystèmes et les ressources naturelles doit également être repensée en privilégiant un cadre théorique fort, complémentaire de l'approche empirique qui reste indispensable pour calibrer et valider les modèles.

**Économie, politiques publiques.** Le changement climatique est aujourd'hui une dimension majeure de la définition des politiques publiques. Des questions cruciales sont posées à la recherche, notamment en ce qui concerne l'articulation entre les politiques globales longues et les actions locales (régionales ou nationales) plus radicales et rapides, ou à propos de l'évaluation de la pertinence de la transposition de l'outil « permis négociables » au plan international, dans une société internationale encore faiblement hiérarchisée et institutionnalisée. Cela pose le problème de la viabilité du Protocole de Kyoto et du post-2012 : quelle sera la forme juridique des engagements après 2012, comment vont coexister et s'articuler les normes contraignantes et les actions volontaires ? Comment les pays en développement pourront-ils s'intégrer dans le système post-Kyoto ? Par ailleurs, l'énorme marché impulsé par les technologies propres en carbone, la perspective d'efforts internationaux pour la remédiation des changements climatiques, la nécessité pour l'industrie de mettre en œuvre une révolution technologique adéquate, créent de nouvelles opportunités

pour le développement économique qu'il faut encore préciser et scénariser.

## 3.2 BIODIVERSITÉ

### Position du problème

L'immense diversité du vivant sur la Terre demeure l'une des grandes aventures intellectuelles de la science moderne. Les interrogations fondamentales portent sur les mécanismes d'apparition, de diversification et d'extinction des êtres vivants, sur l'importance du vivant dans la détermination des caractéristiques de l'environnement physico-chimique, et, réciproquement sur la réponse de la biodiversité aux changements de l'environnement, passés et actuels. Des questions plus pratiques se posent sur l'importance de la biodiversité dans la régulation des services écosystémiques, sur sa gestion, sur le potentiel des espèces en termes de ressources et d'innovation. Le département EDD positionne la plupart de ses recherches aux interfaces entre les grands systèmes naturels ou anthropiques qui composent l'environnement, les dynamiques propres à chacun de ces systèmes demeurant du ressort des départements sectoriels du CNRS. La biodiversité représente le seul secteur de la recherche sur l'environnement relevant majoritairement du département EDD. À ce titre, le vaste champ des recherches fondamentales portant sur la composition, l'histoire et la dynamique de la biodiversité, les modalités et les mécanismes de son évolution, est non seulement une des prérogatives importantes de ce département mais une condition pour la bonne compréhension des processus en cours impliquant la biodiversité, ses transformations et sa gestion.

### Enjeux

**Biodiversité et changement global.** La diversité biologique s'adapte et évolue en réponse aux variations à court terme et aux

changements à long terme de l'environnement. Les modifications de la diversité peuvent également avoir en retour des impacts majeurs sur l'environnement. Les modèles, les archives historiques et les relevés de terrain attestent que la biosphère est aujourd'hui confrontée aux changements les plus importants et les plus rapides qu'elle ait jamais connus. La sixième crise majeure de la biodiversité est amorcée : extinctions d'espèces, changements d'aires de distribution, invasions, évolution d'agents pathogènes, problèmes de qualité des ressources et des paysages. Or, la réponse des écosystèmes aux changements globaux dépend avant tout du nombre d'espèces présentes (hypothèse de l'assurance), de la nature de leurs relations, de leur capacité à s'acclimater, à se disperser, à évoluer : la lutte contre l'érosion de la biodiversité constitue donc un enjeu majeur pour l'Humanité.

#### **Valeurs et services de la biodiversité.**

Un des challenges actuels consiste à évaluer la biodiversité en tant que ressource. En effet, les organismes sont une source quasi inépuisable de molécules d'intérêt pour les industries pharmaceutiques et chimiques, ils sont des outils potentiels pour réhabiliter les milieux dégradés, ils jouent un grand rôle dans la composition chimique de l'eau et de l'atmosphère, dans la propagation des maladies, etc., comme l'a bien montré le *Millennium Ecosystem Assessment*. La biodiversité présente un intérêt biomédical qui demeure mal exploré ; elle peut pourtant permettre d'accroître notre compréhension notamment des mécanismes de vieillissement, de résistance aux pathogènes. Elle est aussi une source d'inspiration pour l'élaboration de nouveaux matériaux et de nouveaux procédés industriels.

**Composition de la biodiversité.** La connaissance de la biodiversité commence par le dénombrement des espèces (mais aussi des gènes, des fonctions biologiques, des métabolites), l'analyse de leurs relations horizontales (au sein d'un même niveau trophique) et verticales (entre niveaux trophiques), le décryptage des processus adaptatifs et évolutifs liés à la diversification, au maintien ou à l'extinction des espèces. Pour avancer dans

ce domaine, l'établissement d'observatoires à long terme, comme c'est le cas pour le climat ou d'autres paramètres physiques, ainsi que la construction de bases de données de grande envergure, sont des moyens indispensables. Par ailleurs, la compréhension de l'état actuel de la biodiversité implique aussi une étude approfondie de la biodiversité passée car les oscillations de la biodiversité que l'on observe actuellement sur quelques années ou dizaines d'années se superposent à des tendances lourdes qui ne peuvent s'apprécier que sur des centaines de milliers d'années. Les recherches en paléontologie portant sur la biodiversité du passé et sur la paléoécologie doivent donc être fortement soutenues.

#### **Analyse des mécanismes évolutifs.**

Prédire l'impact des changements globaux sur les organismes vivants et les systèmes écologiques exige une compréhension fine des capacités de réponses et d'adaptation des organismes aux changements. Cela repose sur une démarche pluridisciplinaire associant les concepts et les méthodes des sciences de la vie (physiologie moléculaire, génétique, biologie de la reproduction), des sciences de l'évolution et de l'écologie. D'autre part, l'identification des mécanismes qui gouvernent l'apparition et la diversification des espèces, leur disparition ou la disparition de leur plan d'organisation, et d'une façon plus générale les capacités de recouvrement des communautés vivantes est un pré-requis à la bonne compréhension des conséquences des transformations en cours de la biodiversité.

**La recherche en action.** Atteindre l'objectif politique d'une « forte réduction du rythme actuel de perte de diversité biologique » en 2010 demande une mobilisation forte des chercheurs dont le rôle est de proposer des scénarios prédictifs et de fournir les bases scientifiques de l'ingénierie écologique et de la gestion durable de la biodiversité. Une telle gestion durable se doit :

- i) d'utiliser les approches du diagnostic et de la modélisation prédictive ;
- ii) d'intégrer des concepts comme ceux des aléas, de la vulnérabilité et des risques ;



– iii) de générer des actions de préservation, de conservation, et de valorisation au sens le plus large.

Toutefois, les sciences de la nature seules ne suffisent pas. En effet, les politiques de gestion de la biodiversité rencontrent en pratique d'importantes difficultés qui tiennent largement à l'insuffisance de la réflexion sur le choix des outils les plus pertinents des politiques publiques (contrat, normes volontaires, réglementation, outils économiques), de leur articulation entre eux, de leur efficacité environnementale, de leur coût financier et de leur dimension sociale. L'ensemble des sciences et des champs disciplinaires du secteur EDD a donc un rôle majeur à jouer dans la réconciliation entre développement socio-économique et maintien de la biodiversité.

### 3.3 VILLE DURABLE

#### Position du problème

Les villes et les zones périurbaines sont partout en croissance rapide, tant en termes de surface couverte que de nombre de résidents. 80 % de la population des régions développées et la moitié de la population mondiale sont d'ores et déjà urbaines. C'est donc un nouveau « biome » qui s'étend à la surface de la planète, milieu de vie pour les humains et pour un grand nombre d'organismes vivants, mais aussi zone d'échange entre l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. La ville et les milieux suburbains sont donc justiciables d'une véritable approche systémique qui doit être renforcée. Ils sont aussi un lieu majeur d'enjeux environnementaux compte tenu de l'importance de la population humaine qui y vit, de la spécificité des processus sociaux, physiques et biologiques qui s'y déroulent et de l'impact de la ville sur les milieux ruraux et naturels environnants. Adapter les sociétés aux changements globaux de toutes natures et les engager dans un développement durable revient assez largement à changer le regard qui est porté sur la ville.

#### Enjeux

L'environnement urbain est à la fois un terrain privilégié d'expression de comportements sociaux et culturels et un milieu de vie, c'est-à-dire un champ continu d'interactions entre les systèmes biologiques – physiques et les systèmes sociaux. Le comprendre passe nécessairement par la mise en commun des concepts et des méthodes des sciences sociales, des sciences de la vie, des sciences de l'ingénieur et des sciences de l'univers. Cette pluridisciplinarité s'impose absolument par exemple pour l'évaluation des vulnérabilités du milieu urbain aux aléas climatiques. En effet, ces vulnérabilités dépendent avant tout des caractéristiques structurelles et fonctionnelles de la ville et elles dépassent largement l'échelle de l'aléa lui-même en raison des réseaux multiples dans lesquels la ville est insérée.

La vulnérabilité des systèmes urbains aux aléas de toutes natures (naturels ou technologiques), les risques encourus, les conséquences des variations de l'environnement (sociales, sanitaires, économiques) ainsi que les disparités spatiales et sociales qui en découlent sont des éléments importants de l'élaboration de scénari d'évolution des systèmes urbains. Ceux-ci doivent faire appel entre autres, à la modélisation du métabolisme urbain et des dynamiques socio-économiques. Un effort particulier de recherche est à accomplir dans ce domaine, en relation avec les théoriciens des systèmes complexes. Par ailleurs, ces scénari prédictifs peuvent aider à concevoir des politiques publiques d'adaptation de la ville aux changements globaux. La conception comme l'évaluation de l'action publique en matière d'environnement et de développement durable demande le développement de concepts, de méthodes et d'outils nouveaux qui mobilisent la plupart des sciences sociales, notamment les sciences juridiques, géographiques, économiques et politiques. Dans cette optique, la communication et l'appropriation des résultats scientifiques par les citoyens et les décideurs sont un enjeu majeur en raison du décalage fréquent entre la représentation scientifique d'un problème d'environnement, sa communication et la représentation commune.

La réévaluation du milieu de vie urbain et de ses évolutions possibles requiert le renforcement et la mise en place de moyens nouveaux d'observation et de modélisation afin de mieux comprendre les interactions entre systèmes urbanisés, changements globaux et impacts locaux (pollutions, imperméabilisation des surfaces, perturbation des milieux, etc.). Le changement climatique doit être abordé en termes d'impacts directs sur le climat des villes et de rétroactions possibles compte tenu des caractéristiques actuelles et futures des processus d'urbanisation, mais aussi en termes d'atténuation en fonction de l'évolution des choix de société, notamment dans le domaine énergétique (climatisation, transports, production, isolation, végétalisation). L'hydrologie urbaine doit évoluer vers une vision intégrée du cycle de l'eau en milieu urbain. Cela suppose une évaluation rationnelle de l'efficacité des systèmes de gestion des eaux urbaines, de l'incidence des pratiques et des usages des habitants dans cette gestion (pollution, recyclage de l'eau à l'échelle du bâtiment, utilisation des eaux pluviales), de la vulnérabilité et des risques hydrologiques. Cette démarche intégrative est également valable pour les sols urbains qui reflètent l'histoire de la ville et contraignent son évolution en tant que modulateurs de l'hydrologie, accumulateurs de polluants variés, émetteurs de composés gazeux, milieux de reconquête animale et végétale.

Le milieu urbain dans son ensemble pose aussi des questions particulières aux sciences de la biodiversité : Quelles pressions de sélection exerce-t-il sur les espèces ? À quelles conditions peut-il accueillir une biodiversité ? Quels risques et avantages biologiques et sociaux présente la biodiversité en ville et dans les milieux périurbains ? Comment sont liées la biodiversité urbaine et la biodiversité régionale ?

### 3.4 CHIMIE

#### Position du problème

La chimie est un secteur économique majeur au niveau mondial comme au niveau

national. Pourtant, la chimie est souvent mal perçue en raison des problèmes de pollution qu'elle a pu engendrer. Les préoccupations de l'opinion, des élus et des décideurs à propos de la santé, de la qualité de l'environnement et, plus généralement, du développement durable, conduisent l'industrie comme la recherche à s'engager dans une révision radicale des modes de conception, de production, d'utilisation et d'évaluation des ressources chimiques. Une expression de ce mouvement est le règlement européen REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*) qui impose l'établissement de données très précises sur les propriétés chimiques, les effets toxicologiques et l'impact sur l'environnement de toute nouvelle molécule avant sa mise sur le marché. Cette réglementation constitue donc un formidable appel pour la recherche puisqu'elle va conduire à concevoir un grand nombre de produits de substitution, aux effets sur l'homme et l'environnement plus explicites et mieux contrôlés. Dans ce contexte, l'innovation est plus que jamais une composante majeure de la compétitivité des industries chimiques, mais aussi des institutions de recherche. Il s'agit de créer de nouvelles molécules plus sélectives ou de nouveaux procédés de synthèse plus économes en énergie par exemple, mais aussi de mieux prendre en compte le contexte socio-économique et culturel de la chimie, de mieux évaluer et prévenir les impacts sur la santé humaine et sur la qualité des milieux.

#### Enjeux

L'enjeu majeur est de penser autrement la chimie en la mettant résolument au service du développement durable, c'est-à-dire en situation de répondre aux besoins des générations actuelles sans compromettre la qualité de la vie des générations futures. Cela passe par une approche pluridisciplinaire, qui revisite les concepts et les pratiques de la chimie « dans l'environnement », en tenant compte à la fois des exigences de la société en matière de santé et d'environnement et du contexte de la globalisation économique et culturelle, de l'intensi-

fication de la concurrence et de l'évolution rapide des technologies.

Pour le CNRS, la conception d'une chimie pour le développement durable repose sur quatre composantes. La première est l'utilisation préférentielle de ressources renouvelables comme matières premières et comme sources de nouveaux produits et matériaux. La deuxième est l'optimisation des procédés et des milieux de synthèse afin de les rendre plus inoffensifs pour l'environnement, ce qui suppose un renforcement de la recherche à l'interface entre la chimie et l'ingénierie. La troisième composante est la réduction et l'évaluation systématique de l'impact de la chimie sur l'environnement, ce qui passe pour l'essentiel par de nouveaux progrès en chimie analytique et le développement de l'étude des cycles de vie des matériaux et des produits. Enfin, la dernière composante de la chimie pour le développement durable est la mise en œuvre des principes de la chimie verte. Ceux-ci concernent la prévention de la pollution à la source, l'économie d'atomes et d'étapes, des procédés de synthèses moins dangereux, la mise au point de molécules plus sélectives et non toxiques, la réduction des consommations d'énergie, un recours plus important aux procédés catalytiques, la conception dès l'origine de produits en vue de leur dégradation finale, la mise au point de méthodologies d'analyses en temps réel afin de prévenir la pollution en contrôlant le suivi des réactions chimiques, la prévention des accidents, des incendies et de l'émission de composés dangereux.

### 3.5 L'ÉNERGIE

#### Position du problème

L'énergie est un déterminant majeur de l'activité économique tandis que sa nature conditionne largement la qualité de l'environnement. Réciproquement, l'élaboration des politiques énergétiques est le reflet des dynamiques économiques, de l'évolution des techniques, de l'intensité des contraintes envi-

ronnementales et des projets de sociétés. La question de l'énergie est donc à la croisée des multiples dimensions du développement durable, elle relève clairement d'une approche système prenant en compte tous les jeux d'interaction entre les différents secteurs sociaux et techniques, les notions de résilience et de durabilité des systèmes, les dimensions spatiales et temporelles des composantes du système énergétique. Le paysage énergétique d'aujourd'hui est caractérisé par la montée en puissance de l'activité industrielle dans les pays émergents, l'accroissement généralisé des surfaces et des rendements agricoles, la pollution de l'atmosphère par le dioxyde de carbone à l'échelle planétaire, l'épuisement programmé des gisements de pétrole. Les sociétés sont donc confrontées à une transition énergétique aussi nécessaire que complexe, qui mobilisera dans les années qui viennent toutes les ressources de la science et de la technologie. Trois grands défis doivent être relevés :

- i) l'indépendance énergétique et la sécurité de l'approvisionnement ;
- ii) la maîtrise de la demande d'énergie ;
- iii) la préservation de la santé humaine et de l'environnement, en luttant notamment contre l'aggravation de l'effet de serre.

#### Enjeux

Le CNRS possède de multiples compétences en physique, ingénierie, biologie, écologie, économie, chimie, communication, etc. qui lui permettent d'aborder efficacement la complexité de la question énergétique. Les recherches doivent être menées dans trois directions principales : l'amélioration de l'efficacité énergétique, la limitation des émissions de dioxyde de carbone, l'organisation de la complémentarité entre les principaux vecteurs d'énergie, l'hydrogène, l'électricité et la chaleur.

Économiser l'énergie revient principalement à améliorer l'efficacité de l'ensemble des composants énergétiques, qu'ils fassent appel aux ressources classiques ou renouvelables. Mais, il faut aussi prendre en compte les

aspects sociétaux et environnementaux et mener une réflexion sur les choix énergétiques en fonction des usages et du contexte local. En effet, le modèle de distribution centralisée des vecteurs énergétiques est amené à évoluer vers une complémentarité avec des sources locales d'énergie souvent générée dans le cadre de systèmes intégrés énergétiques. L'amélioration de l'efficacité des systèmes de production, de transport, de stockage et de conversion de l'énergie passe par l'optimisation de chacun des composants, leur intégration dans des systèmes et le développement de cascades énergétiques. La modélisation, l'évaluation des performances et l'optimisation des composants et des systèmes, le contrôle et la gestion des flux d'énergie seront les éléments essentiels du développement de réseaux intelligents intégrant la production décentralisée à large échelle.

La nécessaire réduction des émissions de dioxyde de carbone requiert une réflexion sur la place respective des énergies nouvelles renouvelables et des énergies classiques. Il importe donc de favoriser l'émergence de méthodes de diagnostic énergétique et de formulation de projets énergétiques intégrés au niveau des collectivités territoriales, qui tiennent compte de scénarios socio-économiques prospectifs. L'organisation de la ville et l'aménagement du territoire en général doivent être intégrés dans l'évaluation de l'efficacité des technologies. De plus, il faut considérer la gestion du carbone sur la totalité de la chaîne énergétique, de l'exploration de la ressource fossile à son usage, ce dernier pouvant comporter à la fois une réduction des émissions et la maîtrise de la capture et du stockage de CO<sub>2</sub>. Plusieurs pistes sont à explorer dans ce contexte :

- i) la ressource biomasse ;
- ii) les techniques de détection des ressources en hydrocarbures fossiles, de récupération des ressources difficiles d'accès, d'exploitation de ressources non conventionnelles ;
- iii) la maîtrise de nouveaux régimes de combustion et d'oxydation ;
- iv) la meilleure exploitation du potentiel énergétique ;

- v) la capture, le stockage et le piégeage du dioxyde de carbone qui font appel à l'innovation technologique comme à la recherche fondamentale en sciences de la terre, sciences des sols et écologie ;

- vi) le développement de nouvelles filières nucléaires, fusion et fission.

Un des axes majeurs de la recherche sur l'énergie est l'amélioration des vecteurs d'énergie. L'hydrogène est l'un des plus prometteurs. Le CNRS améliore et développe de nouveaux procédés de production et de stockage et mène une recherche très innovante sur les piles à combustible. En ce qui concerne l'électricité, l'objectif est de rendre performante et accessible la production distribuée d'électricité à partir de sources d'énergie primaire renouvelable, à substituer l'électricité à d'autres vecteurs énergétiques partout où le gain énergétique ou environnemental le justifie, et à permettre de consommer globalement moins d'énergie. En matière de stockage, les procédés électrochimiques demeurent un problème crucial pour les sources intermittentes d'électricité ou pour l'énergie embarquée. Le transport de chaleur ou de froid est également une composante importante des stratégies énergétiques du futur. Une attention particulière doit être portée à l'exploitation de l'énergie solaire en vue de la production de froid. D'une manière plus générale, le transport à longue distance de grandes quantités de chaleur conditionne assez largement l'organisation des parcs industriels et de la ville, notamment en regard de l'utilisation de chaleur fatale ou de chaleur issue de la cogénération. Quant au stockage de la chaleur ou du froid, il passe par la conception de nouveaux matériaux. Le stockage de la chaleur en profondeur est également une voie intéressante.

## 3.6 INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE

### Position du problème

L'ingénierie écologique est l'application des résultats de la recherche en environnement

et des principes de l'écologie à la conservation des espèces, la restauration des milieux et la gestion durable des services écosystémiques et des ressources naturelles. Au sens strict, l'ingénierie écologique est la manipulation *in situ* de systèmes écologiques (quelques individus, des populations, des communautés, des écosystèmes) dans un contexte écosystémique explicite (autres organismes, dimensions physiques et chimiques). Au sens large, l'ingénierie écologique désigne la gestion de milieux et la conception d'aménagements durables, adaptatifs, multifonctionnels, inspirés de, ou basés sur, les mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques (auto-organisation, diversité élevée, structures hétérogènes, résilience, par exemple).

Le succès international actuel de l'ingénierie écologique s'explique par l'émergence de problèmes environnementaux locaux et globaux multiples, la crise de l'énergie, le mouvement culturel vers une réconciliation avec la nature et, surtout, l'évolution législative et réglementaire. Dans ce dernier domaine, on peut citer le « *Clean Water Act* » aux États-Unis, la directive cadre européenne sur la qualité écologique des eaux de surface, le marché des droits d'émission de carbone en Europe, les projets français de mécanisme « compensatoire » sur la biodiversité, la nouvelle politique agricole commune, etc. En France et en Europe, une ingénierie écologique ancrée dans les savoirs les plus récents en écologie et sciences alliées (hydrologie, science des sols, etc.), en chimie et en ingénierie technique est en cours d'émergence rapide, créant de fait un formidable potentiel de développement pour la recherche.

## Enjeux

Une ingénierie écologique à la pointe des Sciences de l'Environnement. Pour s'imposer l'ingénierie écologique doit disposer d'outils performants. Il faut approfondir nos connaissances, du niveau de la molécule ou des gènes à celui des écosystèmes, dans une approche systémique (ou intégrative). En d'autres

termes, la connaissance des composants pris isolément et la compréhension des relations entre les éléments d'un même niveau d'observation ou de niveaux différents sont requises. L'ingénierie écologique est dépendante de la capacité de la science à modéliser les systèmes écologiques et à développer une représentation conceptualisée globale de l'environnement. Réciproquement, l'expérience acquise au fur et à mesure des applications de l'ingénierie écologique apportera des données qui enrichiront les modèles théoriques et permettront la progression de l'ensemble des disciplines des Sciences de l'Environnement. Ces développements ne pourront se faire que si les chercheurs en amont travaillent dans la durée de manière interdisciplinaire et intégrative.

Lier ingénierie écologique et ingénierie technique. L'ingénierie écologique repose sur une approche système, elle fédère des disciplines aussi diverses que l'urbanisme, l'agronomie, l'écologie, les biotechnologies, la sociologie, l'économie. L'ingénierie écologique est aussi tournée vers l'action *in natura*. Elle est donc intrinsèquement liée à l'ingénierie technique qui intègre aujourd'hui très en amont les impacts sur le milieu des techniques et des aménagements, qui met au point des procédés nouveaux au service du développement durable dans les domaines de l'énergie, des transports, du suivi de l'environnement, du bâtiment, etc. et qui s'inspire des organisations et des dynamiques observées dans la nature pour concevoir de nouvelles technologies. De la même façon que l'ingénierie classique a fait sienne les approches adoptées en biotechnologie, il s'agit aujourd'hui d'associer le traitement écologique des problèmes d'environnement au traitement technique de ces mêmes problèmes. La solution de nombreux problèmes d'environnement, sur le plan de la prévention comme sur celui de la remédiation relève parfois de l'ingénierie écologique au sens strict. Mais, dans la plupart des cas, c'est l'association des deux types d'ingénierie qui permettra de concevoir des nouveaux modes de gestion et de réhabilitation de l'environnement, durables, adaptatifs et multifonctionnels. L'enjeu est de créer une

nouvelle culture éco-technique en ingénierie de l'environnement.

### 3.7 SANTÉ ET ENVIRONNEMENT

Les études de l'impact des facteurs environnementaux sur la santé constituent un vaste champ d'investigation. La connaissance de l'interaction de ces facteurs avec les autres déterminants de la santé, qu'ils soient comportementaux, sociaux, ou génétiques, constitue un défi pour la recherche scientifique. La complexité de ces questions nécessite une intensification des échanges et des collaborations entre différentes disciplines (biologie, chimie, sciences humaines, etc.).

*« Il existe un manque de connaissance scientifique dans ces domaines, et c'est un véritable challenge pour le département Environnement et Développement Durable. »*

Les domaines prioritaires :

#### **a) Les déterminants environnementaux : les contaminants, les milieux, les expositions**

Les activités industrielles, agricoles, domestiques, émettent des polluants organiques, des polluants métalliques et chimiques, des gaz, des particules et des nanoparticules, des rayonnements non-ionisants et ionisants.

Analyser les transferts des polluants, des différents contaminants, vers les humains nécessite de mieux connaître le fonctionnement des milieux (sols, eau, air, atmosphère, habitat intérieur, etc.), de pouvoir définir la biodisponibilité des polluants et leur biotransformation dans les milieux naturels prenant en compte la réactivité du contaminant initial, les interactions entre contaminants et les produits de dégradation ainsi que la biorestauration des environnements contaminés.

Il y a dans ce domaine une nécessité de développer des biomarqueurs (indicateurs biologiques) pour gérer et prévenir les impacts

des contaminations de l'environnement sur la santé humaine.

De même la rémédiation des milieux contaminés par des moyens biologiques ou physico-chimiques ainsi que les études toxicologiques – et écotoxicologique – des contaminants chimiques font parties des axes scientifiques recherches à développer.

Le cas des toxines (produites par des procaryotes et des eucaryotes) reste d'actualité mais un effort important doit être fait pour replacer ces recherches dans les « écosystèmes ».

#### **b) La dynamique des agents pathogènes : rôles modifications de l'environnement dans la dynamique des agents infectieux et les interactions avec l'hôte**

Face aux problèmes de l'émergence ou la ré-émergence de micro-organismes pathogènes, il est nécessaire de renforcer les connaissances de l'impact des modifications de l'environnement (abiotique et biotique) sur l'émergence ou la dynamique des agents pathogènes, émergents ou opportunistes, quel que soit le milieu : hospitalier, urbain, péri-urbain, industriel ou agricole, etc.

Quelle est l'origine des agents pathogènes ; leur niche écologique (réservoirs et vecteurs) ; les conditions de leur développement, leur dynamique et leur distribution spatio-temporelle, les déterminants de la virulence à l'échelle micro-évolutive et génomique, biogéographique des modifications environnementales ou bioclimatiques, autant de questions, aujourd'hui sans réelles réponses qui sont de véritables challenges pour notre département.

La modélisation (théorique et appliquée) des paramètres de l'émergence, de la propagation, de la diffusion, de la virulence, de la résistance et des stratégies de lutte est aussi à prendre en considération.

#### **c) Santé, environnement et société : vulnérabilités, savoirs, perceptions, pratiques sociales, etc.**

La compréhension des liens entre santé et environnement doit passer aussi par l'analyse des explications causales de la santé et des pathologies, des pratiques des acteurs des représentations, que ce soit dans le domaine de l'alimentation, de la gestion des milieux et des villes, etc.

Les conditions socio-économiques, démographiques, historiques et organisationnelles d'émergence des problèmes de santé-environnement ou de réduction de leur incidence, doivent faire l'objet de recherches particulières.

Dans ce cadre là, le département EDD développera les deux thèmes suivants :

- maladies infectieuses émergentes et ré-émergentes ;
- émergence et gestion des risques et des crises.

En première conclusion, la création du département EDD au sein du CNRS prend tout son sens à condition d'anticiper et de prendre en compte de manière pertinente et opérationnelle la demande sociétale dans toutes ces composantes y compris celles qui ne sont pas médiatisées.

## 4 – DES OUTILS AU SERVICE DES ENJEUX

Mener à bien les enjeux scientifiques du département EDD suppose de s'interroger en amont sur les modes d'actions à mettre en place, sur la pertinence des outils scientifiques actuels, sur l'émergence de nouvelles pratiques propres aux Sciences de l'Environnement et sur les moyens nécessaires à leur développement. Ces interrogations sont d'ordre scientifique et sociétal.

Les différents modes d'actions et outils qui seront utilisés par EDD sont déclinés de la manière suivante :

- acquisition et production de données ;

- intégration des connaissances ;
- formalisation systémique et modélisation ;
- transfert, diffusion ;
- aide à la décision/métiers de l'environnement.

### 4.1 ACQUISITION ET PRODUCTION DE CONNAISSANCES

La production et l'acquisition de nouvelles connaissances sont essentielles à la définition d'indicateurs et de référents pertinents pour :

- traiter les dynamiques, interactions et évolutions environnementales ;
- et évaluer les modes appropriés de gestion, d'aménagement et de développement durable.

Les outils adaptés à cet objectif sont ceux développés par les unités de recherche (**instrumentation**, métrologie, sites ateliers, enquêtes, etc.) et ceux portés par les structures actuelles comme les **Zones Ateliers** (ZA) et les **Observatoires** (ORE). Si la plupart de ces structures sont appropriées aux démarches et problématiques portées par les Sciences de l'Environnement, il apparaît nécessaire :

- de leur donner les moyens nécessaires pour disposer d'observations sur le long terme (suivi de certains indicateurs de contamination par exemple) ;
- d'accroître la représentativité spatiale et sociale des observations ;
- de couvrir des secteurs à forts enjeux environnementaux (littoraux, marins, montagnes, etc.) et à forte anthropisation (systèmes urbains et périurbains).

Les modes d'action associés vont du recueil d'observations environnementales à la définition de modes de gestion durable adaptée en passant par des opérations de modélisation ou d'analyse des mécanismes de

fonctionnement et d'évolution des processus et phénomènes étudiés.

De plus, il est nécessaire d'adjoindre des outils permettant d'extraire les informations environnementales et anthropiques enregistrées dans les *archives naturelles et historiques*.

Enfin, de nouvelles synergies sont à mettre en place entre sciences du vivant, sciences de la terre et sciences humaines pour rechercher les indicateurs pertinents.

Dans ce cadre, le rôle du département EDD est de mettre en place des appels d'offre, de flécher les recrutements et de monter des projets interdisciplinaires et/ou de structures collectives (ZA, ORE, fédération, UMS, etc.).

## **4.2 STRUCTURATION ET INTÉGRATION DES CONNAISSANCES**

Il s'agit d'un important challenge du fait qu'il nécessite une mobilisation des données existantes, de développer leur accessibilité, de valider leur pertinence. Il conviendra également de les structurer en vue de leur utilisation pour les problématiques d'EDD, et de les géo- et chronoréférencer pour les inscrire d'emblée dans des logiques dynamiques, évolutives et modélisatrices. Au-delà de ces différentes missions, il s'agit aussi d'assurer la pérennité des données (anciennes et nouvelles) et de favoriser leur diffusion tant envers les chercheurs, les acteurs que le grand public.

De fortes synergies devraient être mises en place entre les départements EDD et les autres départements (particulièrement SHS) pour faciliter la création de plateformes et systèmes d'information collectant les nombreuses données existantes au sein des unités de recherche. Toutefois, les retours d'expérience sur les «plateformes-centres de ressources» invitent à une relative prudence envers les «très gros instruments» souvent peu réactifs à

l'évolution des pratiques, des attentes des chercheurs et des enjeux scientifiques.

La structuration en réseaux apparaît comme pertinente. Celle-ci pourrait être déclinée par enjeux scientifiques, par champs environnementaux, voire par objets environnementaux (littoral, montagne, etc.). Ces réseaux pourraient être portés par des structures fédératives, UMS, observatoires ou «Maisons des Sciences de l'Environnement». De telles structures doivent créer les conditions nécessaires à :

- i) la diffusion des connaissances issues des unités ;
- ii) l'identification rapide et efficace des structures et unités-ressources dans les différents champs des Sciences de l'Environnement et ;
- iii) l'interfaçage avec les sollicitations issues des acteurs, politiques et de la presse.

Pour parvenir à une telle structuration, en dehors du soutien qu'apportera le département EDD, il est indispensable de :

- i) mobiliser l'ensemble des champs de collaboration notamment avec les SHS ;
- ii) de travailler avec les sciences de l'ingénieur, en particulier pour la partie «systèmes d'information» et ;
- iii) d'associer les différents acteurs de la recherche en environnement et développement durable.

Une fois le mode de structuration défini, sa mise en œuvre peut passer à la fois par des actions incitatives, par des soutiens programmatiques explicites du département et du CNRS voire en lien avec l'ANR et d'autres organismes (INRA, CEMAGREF, IRD, etc.).

## **4.3 FORMALISATION SYSTÉMIQUE ET MODÉLISATION**

Face à la complexité environnementale, à la multiplicité des processus et interactions



intervenant dans les dynamiques environnementales, à la nécessité d'intégrer les spatialités et temporalités naturelles et sociétales, les Sciences de l'Environnement ne se sont engagées dans la formalisation systémique et la modélisation des objets environnementaux.

Une des clés de l'avancement des recherches en Sciences de l'Environnement repose sur le développement d'interactions les plus étroites possibles entre cette formalisation systémique et la production des données. C'est en effet sur la base des modes d'observation novateurs que pourront être améliorés :

- les niveaux d'observations de modifications de structure et de processus ;
- la recherche d'indicateurs intégrateurs des dynamiques et changements ;
- l'identification des vulnérabilités structurelles et fonctionnelles ;
- et les simulations d'évolution.

La réussite de l'interdisciplinarité, nécessaire au développement des Sciences de l'Environnement, passe non pas par l'adaptation de modèles conçus dans des démarches disciplinaires mais assurément par la co-conception de nouveaux modèles prenant en compte d'entrée la diversité des processus (naturels et anthropiques) intervenant dans le fonctionnement et l'évolution des objets environnementaux étudiés.

Un moyen de favoriser une réflexion commune efficace passe par des actions programmatiques légères autour de problématiques clairement d'interface auxquelles de « petites » équipes multidisciplinaires pourraient s'adresser avant de répondre à des appels d'offre plus ambitieux (ANR, etc.). Compte tenu du caractère émergent de cette action, il est important que le département l'accompagne, à la fois en interne (ATIP, GDR, RTP, etc.) mais également dans les instances de l'ANR, en amont des orientations des programmes et dans les modes d'évaluation des projets interdisciplinaires. Si le « filtre » des actions programmatiques et de prospective (via des RTP) a pour intérêt d'organiser la réflexion, de favoriser le développement de nouvelles synergies, de produire des

nouvelles connaissances intégrées et de mettre en avant la « permanence » de certaines faiblesses, l'efficacité d'une dynamique interdisciplinaire de formalisation systémique et de modélisation nécessite un accompagnement dans la durée du département EDD.

## **4.4 TRANSFERT DES CONNAISSANCES, AIDE À LA DÉCISION ET FORMATION**

Il est indispensable de développer des actions claires et lisibles envers les acteurs, les décideurs et les politiques qui agissent dans les champs de l'environnement, de l'aménagement, et du développement durable.

C'est pourquoi il est nécessaire de développer des modes d'action, sinon nouveaux tout au moins pertinents. Ceux-ci passent, notamment, par :

- un transfert adapté des données acquises par les chercheurs ;
- la participation à la gestion environnementale et territoriale (ex. des plans climats territoriaux, des conseils de structure territoriale ou d'espaces protégés, etc.) ;
- le développement d'outils intégrés et d'aide à la décision ;
- la formation de nouveaux métiers liés à l'environnement et au développement durable.

Pour ce faire, les modes d'actions sont :

- le transfert de données, la production d'expertises et l'appui aux actions publiques ;
- le développement et l'adaptation d'outils intégrés et d'aide à la décision ;
- les formations et l'orientation vers de nouveaux métiers de l'environnement.

Ces moyens d'action dépassent largement ceux du seul département EDD. Néanmoins, celui-ci se doit d'aider toutes actions allant dans ce sens que ce soit au niveau :

- de la création de « plateformes de transfert et d'expertise » ;
- de moyens humains permettant une mise en place rapide et efficace de ces plateformes et de nouveaux outils d'aide à la décision ;
- d'affichage de postes ;
- d'une évaluation prenant mieux en compte les actions et parcours transversaux.

Ces actions doivent également être accompagnées par l'ensemble du CNRS et du Comité National.

## CONCLUSION

La question des modes d'action a été abordée au travers des trois dimensions suivantes :

- la dimension temporelle : de l'action à trois ans à des projets structurants à long terme, typiquement 10 ans voire plus ;

- la dimension des objets : de l'observation d'un terrain pour l'étude d'un phénomène précis, localisé dans l'espace et dans le temps, à des objets de grande échelle (écologie des grands domaines écosystémiques, voire planétaire, à long terme, etc.) ;

- la dimension des objectifs : allant de la production de connaissances de base au transfert des acquis de la science vers le grand public, en passant par la formation, l'enseignement, l'animation de réseaux, l'expertise ou l'appui à la décision publique.

La réussite de ces différents modes d'action suppose que les communautés scientifiques jouent pleinement le jeu et prennent leur part de responsabilité dans les réussites mais aussi et surtout dans les échecs de certaines actions et moyens mis en place. La résolution des problèmes qui se poseront inévitablement dans toutes actions nouvelles et celles proposées dans cette prospective entrent essentiellement dans ce cadre, suppose autant de persévérance, d'ouverture, que de modestie.